



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Diseño del sistema de  
abastecimiento y recirculación de  
agua en el Centro Mexicano de la  
Tortuga, Mazunte, Oaxaca**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**Ingeniero Civil**

**P R E S E N T A**

Cristian Emmanuel González Reyes

**DIRECTOR DE TESIS**

M.I. Enrique César Valdez



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2007**

## *Agradecimientos*

*A la Facultad de Ingeniería. Porque sin pedir nada a cambio me dio la formación técnica necesaria para colaborar con el desarrollo de mi País*

*A mis Padres Lucio y Sara. Porque con cariño me educaron para la vida, además del apoyo incondicional que siempre me han brindado*

*A Enrique César Valdez por el ejemplo de bondad, éxito y entrega total a la docencia y a la Ingeniería*

# ÍNDICE

## ÍNDICE

### INTRODUCCIÓN

### CAPÍTULO 1. DIAGNÓSTICO DE LAS CONDICIONES FÍSICAS Y DE SERVICIO DE LA INFRAESTRUCTURA PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA.

1.1. Sistema de Abastecimiento de Agua Dulce.....	1.2
1.1.1. Levantamiento Físico.....	1.2
1.1.1.1. Ingeniería.....	1.2
1.1.1.2. Bases del Proyecto.....	1.3
1.1.1.3. Proceso.....	1.4
1.1.1.4. Ingeniería Básica y de Detalle.....	1.4
1.1.1.4.1. Ingeniería Básica.....	1.4
1.1.1.4.2. Ingeniería de Detalle.....	1.4
1.1.1.5. Operación.....	1.4
1.1.1.6. Descripción del Sistema.....	1.5
1.1.1.6.1. Extracción de Agua del Pozo.....	1.5
1.1.1.6.2. Instalaciones Eléctricas.....	1.5
1.1.2. Diagnóstico del Estado Actual.....	1.6
1.1.2.1. Extracción.....	1.6
1.1.2.2. Conducción.....	1.6
1.1.2.3. Almacenamiento.....	1.6
1.1.2.4. Operación.....	1.7
1.1.2.4.1. Fundamentos para la operación del Sistema.....	1.7
1.1.3. Definición de Mantenimiento en General.....	1.8
1.1.3.1. Mantenimiento General.....	1.8
1.1.4. Levantamiento de Necesidades para la Elaboración del Proyecto.....	1.8
1.2. Sistema de Abastecimiento de Agua Salada.....	1.9
1.2.1. Levantamiento Físico.....	1.9
1.2.1.1. Obra de Toma.....	1.9
1.2.1.1.1. Dique.....	1.9
1.2.1.2. Caseta de Bombeo.....	1.10
1.2.1.2.1. Bombas Instaladas.....	1.11
1.2.1.3. Conducción.....	1.12
1.2.1.4. Sistema de Tratamiento de Agua Salada.....	1.12
1.2.1.4.1. Filtros Rápidos.....	1.13
1.2.1.4.2. Sistema de Desinfección por Rayos Ultravioleta.....	1.13
1.2.1.5. Tanque de Regularización.....	1.14
1.2.2. Diagnóstico del Estado Actual.....	1.14
1.2.2.1. Cárcamo de Bombeo.....	1-14
1.2.2.1.1. Cuerpo del Dique.....	1-14
1.2.2.1.2. Altura del Dique.....	1-15
1.2.2.1.3. Tubería de Llamada.....	1-15
1.2.2.2. Tubería de Aspiración.....	1-15
1.2.2.2.1. Canastilla.....	1-15
1.2.2.2.2. Tubos de Aspiración.....	1-15
1.2.2.3. Equipo de Bombeo.....	1-15
1.2.2.4. Tubería de Conducción.....	1-16
1.2.2.5. Sistema de Tratamiento.....	1-16
1.2.2.5.1. Filtros de Lecho Profundo.....	1-16
1.2.2.5.2. Desinfección por rayos ultravioleta.....	1-16
1.2.2.6. Tanque de Regularización.....	1-16
1.2.3. Definición de Mantenimiento en General.....	1-17
1.2.3.1. Elementos Construidos por Concreto Armado.....	1-17
1.2.3.2. Tuberías de Conducción.....	1-17
1.2.3.3. Tanque de Regularización.....	1-17

1.2.3.4. Sistema de Tratamiento.....	1-17
1.2.3.4.1. Filtros de Lecho Profundo.....	1-17
1.2.3.4.2. Sistema de Desinfección por Rayos Ultravioleta.....	1-18
1.2.4. Levantamiento de necesidades para la elaboración del proyecto.....	1-18

## **CAPÍTULO 2. PROYECCIÓN DE LAS NECESIDADES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA**

2. Proyección de las Necesidades de Abastecimiento de Agua.....	2-2
2.1. Proyección de las Necesidades de Abastecimiento de Agua Dulce.....	2-2
2.1.1. Cálculo del Caudal por Concepto de Consumo Humano.....	2-2
2.1.1.1. Gasto por Concepto de Visitantes.....	2-2
2.1.1.1.1. Estimado de la cantidad de Visitantes a Futuro.....	2-2
2.1.1.1.1.1. Análisis de los Registros de Visitantes.....	2-3
2.1.1.1.1.2. Proyección del Número de Visitantes.....	2-5
2.1.1.2. Cálculo del uso por Trabajadores.....	2-9
2.1.2. Cálculo del Consumo por Concepto de Huéspedes.....	2-10
2.1.3. Cálculo del Gasto por Concepto de Piletas, Charcas y Acuaterrios.....	2-10
2.1.4. Cálculo del Gasto Total.....	2-11
2.2. Proyección de las Necesidades de Abastecimiento de Agua Salada.....	2-11
2.2.1. Necesidades Proyectadas Para el Uso de Agua Salada Para las Tortugas.....	2-11
2.2.1.1. Volumen a Instalarse en los Estanques.....	2-12
2.2.1.2. Volumen a instalarse en Piletas.....	2-13
2.2.1.3. Volumen a Instalarse en el Acuario.....	2-13
2.2.2. Recambios Requeridos Para el Adecuado Funcionamiento de las Instalaciones.....	2-13
2.2.3. Necesidades para la Instalación del Sistema de Ósmosis Inversa.....	2-14
2.2.4. Caudal Total de Agua Salada Requerido.....	2-14

## **CAPÍTULO 3. DISEÑO DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA SALADA**

3. Diseño de la Propuesta de Solución para el Abastecimiento de Agua Salada.....	3-2
3.1. Obra de Captación.....	3-2
3.1.1. Muro Complementario.....	3-3
3.1.2. Pozo de Absorción.....	3-3
3.1.2.1. Cárcamo de Bombeo.....	3-5
3.1.2.2. Estructura Soportante del Múltiple de Descarga.....	3-5
3.2. Sistema de Bombeo.....	3-7
3.2.1. Múltiple de Descarga.....	3-8
3.2.2. Bombas Utilizadas.....	3-9
3.3. Tubería de Conducción.....	3-9
3.4. Tanque de Regularización de Agua Salada.....	3-10

## **CAPÍTULO 4. DISEÑO DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA DULCE**

4. Diseño de la Propuesta de Solución para el Abastecimiento de Agua Dulce.....	4-2
4.1. Dictamen Hidrogeológico.....	4-2
4.1.1. Antecedentes.....	4-2
4.1.2. Objetivos y Alcances.....	4-2
4.1.3. Resultados y Análisis.....	4-4
4.1.3.1. Aspectos Hidrogeológicos.....	4-4
4.1.3.2. Reconocimiento Hidrogeológico.....	4-5
4.1.3.3. Prueba de Productividad en la Captación Mazunte 1.....	4-7
4.1.3.4. Prueba de Productividad en el Cárcamo de Agua Salada.....	4-8
4.1.3.5. Prueba de Conductividad en la Captación Mazunte 1.....	4-8
4.1.3.6. Prueba de Conductividad en la Captación Mazunte 2.....	4-9
4.1.4. Análisis de los Resultados.....	4-9
4.1.4.1. Censo y Ubicación de la Nueva Captación de Agua Dulce.....	4-9
4.1.4.2. Salinidad del acuífero.....	4-9

4.1.4.3. Sustentabilidad de la Calidad del Agua y del Volumen Requerido.....	4-9
4.1.4.4. Rehabilitación del Cárcamo de Agua Salada.....	4-10
4.1.4.5. Requerimientos.....	4-11
4.1.5. Conclusiones y Recomendaciones del Estudio Hidrogeológico.....	4-11
4.1.5.1. Conclusiones.....	4-11
4.1.5.2. Recomendaciones.....	4-11
GRAFICAS DEL ESTUDIO.....	4-13
TABLAS DEL ESTUDIO.....	4-19
4.2. Limitaciones del Proyecto.....	4-25
4.3. Diseño del Pozo.....	4-25
4.3.1. Sistema de Bombeo Utilizado.....	4-28
4.4. Línea de Conducción.....	4-28
4.5. Tanque de Regularización.....	4-29

## **CAPÍTULO 5. DISEÑO DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN A LA NECESIDAD DE RECIRCULACIÓN DE AGUA**

5. Diseño de la Propuesta de Solución a la Necesidad de Recirculación de Agua.....	5-2
5.1. Justificación.....	5-2
5.2. Determinación de Gastos en el Ciclo Cerrado propuesto.....	5-3
5.2.1. Flujo de Agua Salada.....	5-3
5.2.2. Flujo de Agua Dulce.....	5-4
5.3. Diseño del Sistema de Soporte de Vida.....	5-5
5.3.1. Sistema de Cisternas.....	5-7
5.3.2. Sistema de Tanques Prefiltro.....	5-11
5.3.3. Diseño del Sistema de Filtrado.....	5-11
5.3.3.1. Ramificación de Entrada.....	5-14
5.3.3.2. Geotextil de Protección.....	5-16
5.3.3.3. Tubería de Descarga.....	5-16
5.3.3.4. Sistema de Retrolavado.....	5-17
5.3.3.4.1. Tasa de Retrolavado.....	5-18
5.3.4. Esquema General del Sistema de Soporte de Vida ( Agua Salada).....	5-19
5.3.5. Esquema General del Sistema de Soporte de Vida ( Agua Salada).....	5-20
5.3.6. Elección de los Equipos de Bombeo.....	5-20

## **CONCLUSIONES**

## **BIBLIOGRAFÍA**

# INTRODUCCIÓN

Este documento, presentado como Tesis de titulación, resume los resultados del trabajo desarrollado de noviembre de 2006 a abril de 2007 por el Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental en el Proyecto Ejecutivo de Reestructuración del Centro Mexicano de la Tortuga ubicado en Mazunte en el Estado de Oaxaca, proyecto realizado en convenio con la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP).

Se invitó al Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental a colaborar en el desarrollo de la propuesta de solución tanto para el abastecimiento de agua salada como para el abastecimiento de agua dulce y recirculación del agua.

En el Capítulo 1 se presenta un estudio de diagnóstico que describe la infraestructura existente y su condición, tanto física como de servicio, también se presenta un diagnóstico y propuesta de solución. Otra parte del Capítulo 1 se refiere al levantamiento de necesidades para la elaboración del proyecto.

En el Capítulo 2 se hace una proyección de la cantidad de visitantes que tendrá el CMT, tomando en cuenta el incremento en la calidad de las instalaciones y el aumento de infraestructura, además de una posible mejora en la difusión del CMT. Para ello se utilizó un método que contempla la capacidad de recepción de visitantes.

En el Capítulo 3 se presenta la metodología para el desarrollo de la solución al abastecimiento de agua salada. Tomando como base las necesidades puntualizadas en el Capítulo 2 y completando la infraestructura existente mencionada en el Capítulo 1.

En el Capítulo 4 se presenta la propuesta de solución al abastecimiento de agua dulce, requiriendo para ello el desarrollo de un estudio hidrogeológico que describirá las condiciones del acuífero y la posibilidad de la extracción del agua requerido.

Y por último en el Capítulo 5 se presenta la propuesta de solución a la necesidad de recirculación de agua en el CMT. Para ello se propone un ciclo cerrado en el cual se sanearán las aguas tanto dulce como salada y se reutilizarán constantemente para satisfacer las necesidades planteadas en el Capítulo 2.

# **CAPÍTULO 1**

## **DIAGNÓSTICO DE LAS CONDICIONES FÍSICAS Y DE SERVICIO DE LA INFRAESTRUCTURA PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA.**

## CAPÍTULO 1

### DIAGNÓSTICO DE LAS CONDICIONES FÍSICAS Y DE SERVICIO DE LA INFRAESTRUCTURA PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA EN EL CENTRO

El Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, de la División de Ingenierías Civil y Geomática de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, formó parte del equipo de Ingeniería encargado del diseño del Proyecto Ejecutivo de reestructuración del Centro Mexicano de la Tortuga que en adelante será referido en este texto como CMT, en convenio con la Comisión de Áreas Naturales Protegidas (CONANP).

En el mes de noviembre de 2006 el tesista visitó el CMT comisionado por el Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, con el fin de llevar a cabo el reconocimiento en sitio, el estudio de diagnóstico de las instalaciones y los muestreos, tanto del agua residual que llega a la planta de tratamiento instalada, como del agua del pozo, para efectuar los análisis de laboratorio referentes a la calidad del agua que posteriormente fueron utilizados para el adecuado diseño.

#### **1.1. SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DULCE**

En este capítulo se describe el estado físico y de servicio encontrado en las instalaciones del CMT. Primeramente el sistema de abastecimiento de agua dulce y consecuentemente el estado de las instalaciones que sirven para el abastecimiento del agua salada.

##### **1.1.1. LEVANTAMIENTO FÍSICO**

En este capítulo se describe la información referente al sistema de agua dulce que opera en el CMT. Gran parte de la información fue recopilada directamente en campo por el personal que elaboró el diagnóstico mediante la observación de los distintos elementos que conforman este sistema, entrevista con el responsable del mantenimiento, y planos de los distintos componentes de la red.

###### **1.1.1.1. INGENIERÍA**

Se informó a la Coordinación General del Proyecto Ejecutivo de la Reestructuración del CMT, de la necesidad que tiene el Centro para abastecerse de agua dulce, tanto para consumo humano en el que se incluyen los usos para visitantes, trabajadores y

residentes, así como el uso en piletas y acuarios. La Coordinación informó desde el inicio del diagnóstico que la fuente de abastecimiento subterránea de la cual se extrae el agua dulce actualmente, podría estar contaminada por agua salada lo que implicaría que el agua fuese salobre. Con estas características se prevé que la calidad del agua no es adecuada para los usos que se pretenden y no hay un abastecimiento adecuado. El resto de la información se obtuvo de planos y datos recopilados en campo.

#### 1.1.1.2. BASES DEL PROYECTO

El agua dulce actualmente se extrae de un pozo somero, que se encuentra dentro de las instalaciones del CMT, la ubicación se muestra en el plano del estado actual. Se extrae un gasto promedio de 0.95 l/s ( $.00095\text{m}^3/\text{s}$ ) durante el tiempo que permanece encendido el equipo de bombeo que en promedio es 2.5 horas diarias hasta que el tanque alcanza su nivel máximo.

Por medio de una tubería de PVC de 25mm (1") de diámetro y 182 metros de longitud, el agua es transportada a un tanque elevado de almacenamiento (Figura 1.1) y de ahí se distribuye a las distintas instalaciones.



Fig. 1.1. Tanque elevado de almacenamiento

Mediante planos topográficos y generales del CMT, realizados por los responsables del subproyecto de topografía, se ubicó la cota a la cual se encuentran el pozo y el tanque de almacenamiento, 8.3 y 16.5 msnm respectivamente. Al hacer un análisis de las condiciones de presión, se garantiza la carga hidráulica necesaria para que los muebles sanitarios funcionen de manera adecuada.

No existen datos de caracterización del agua dulce que se extrae del pozo, tampoco se han practicado análisis de laboratorio para conocer la calidad del agua del efluente del sistema de tratamiento; se carece de registros de operación y mantenimiento del sistema.

La calidad del agua del pozo se evaluará con la Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-1994) "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE

EL AGUA PARA SU POTABILIZACION". Los resultados de los análisis de calidad del agua dulce se muestran más adelante en el diagnóstico del estado actual.

### **1.1.1.3. PROCESO**

No se cuenta con documentos de ingeniería conceptual (planeación) que definan y justifiquen algún tratamiento de potabilización ni calidad del agua. Tampoco se cuenta con registros de operación sistemáticos de donde se pueda inferir con certeza los parámetros de diseño y operación del proceso.

### **1.1.1.4. INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE**

#### **1.1.1.4.1. INGENIERÍA BÁSICA**

El CMT no cuenta con memoria de cálculo, referente al proyecto de abastecimiento de agua dulce que se encuentra actualmente instalado, por lo que no se dispone de diagrama en los que se puedan cotejar presiones en la tubería, ni justificación para emplear ciertos equipos.

#### **1.1.1.4.2. INGENIERÍA DE DETALLE**

No hay documentación de ningún componente empleado en el sistema.

### **1.1.1.5. OPERACIÓN**

Existen algunos elementos que automatizan el sistema en el encendido y apagado del equipo de bombeo. El equipo se activa cuando el nivel en el tanque de almacenamiento es insuficiente.



Fig. 1.2. Bomba de 2 HP para bombeo de agua al tanque de almacenamiento

En promedio la bomba (fig. 1.2.) se activa tres veces al día durante lapsos de 2 horas.

Se hace hincapié en que no se cuenta con programas de operación y mantenimiento, ni se llevan bitácoras, registros de mantenimiento, ni memorias de labores como tales.

## 1.1.1.6. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

### 1.1.1.6.1. EXTRACCIÓN DE AGUA DEL POZO

El agua para el abastecimiento de agua dulce en el CMT se obtiene de un pozo ubicado dentro del mismo predio. La bomba (fig.1.3.) que se utiliza tiene una potencia de 2HP, la tubería que conduce el agua hasta el tanque de almacenamiento es de 25mm (1") de diámetro, el material es PVC de baja calidad. En este proceso no se incluye ningún tratamiento de potabilización.



Fig. 1.3. Pozo de extracción

### 1.1.1.6.2. INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Al igual que en los casos anteriores, no se contó con documentos de operación de las instalaciones eléctricas, por lo que lo relativo a este tema tuvo que ser recopilado y observado en la visita de reconocimiento al sitio.



Fig. 1.4. Controles eléctricos del equipo de bombeo

## **1.1.2. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL**

En este capítulo se describen las condiciones de los componentes del sistema de abastecimiento de agua dulce, que se observaron durante el reconocimiento en sitio.

### **1.1.2.1. EXTRACCIÓN**

Se hizo un recorrido, constatando la existencia y localización de los distintos componentes del sistema, así como la identificación del equipamiento de sistema realmente instalado.

El CMT cuenta con dos pozos someros, de los cuales sólo uno está funcionando, ya que él que está fuera de servicio, tiene intrusión salina por lo que se decidió construir el otro en una zona más alejada de la línea de costa; sin embargo, dentro del mismo predio. La legislación al respecto prohíbe tener más de un pozo, por lo que se clausuró el primero. El pozo que está en operación se encuentra en regular estado físico, posteriormente se presenta un estudio hidrogeológico en donde se detalla la calidad del agua de la fuente de abastecimiento y la calidad del acuífero.

No existen registros de ninguna clase de mantenimiento, sin embargo, para conservar la calidad del agua la entrada del pozo está cubierta con una tapa de malla de mosquitero.

Los controles eléctricos que ahí se encuentran dan un buen servicio, sin embargo, se encuentran ligeramente dañados debido a que no están protegidos del ambiente. La bomba, muestra óxido y salitre en la succión y descarga, debido probablemente a las fugas visibles. Además, no hay un orden en la instalación eléctrica ya que hay cables sin protección o pendiendo sin saber de donde son o qué función cumplen.

### **1.1.2.2. CONDUCCIÓN**

Se hizo un recorrido a lo largo de la línea de conducción y se observó lo siguiente. EN la descarga de la bomba está conectada una manguera, que forma parte de la línea de conducción, la cual se utiliza para cumplir funciones de riego y cuando no es necesario se conecta a la tubería principal que se encuentra enterrada. Algunas de las cajas de válvulas y registros se encuentran obstruidas por maleza y vegetación, las válvulas que son metálicas se encuentran oxidadas y las conexiones se ven bien, aparentemente no hay fugas. La tubería está conformada principalmente de PVC y a juzgar por lo que se ve, no presenta ningún problema.

### **1.1.2.3. ALMACENAMIENTO**

La tubería de conducción descarga el agua que fue bombeada desde el pozo en un tanque de almacenamiento cilíndrico, de concreto reforzado, con una capacidad de 13 metros cúbicos. Este tanque no presenta deficiencias físicas, está en buen estado y las características organolépticas del agua son adecuadas.

A continuación se enlistan las características técnicas de los elementos que componen el sistema:

<b>BOMBA INSTALADA</b>	
<b>Cantidad:</b>	1
<b>Marca:</b>	BONASA
<b>Potencia:</b>	2 HP
<b>Status:</b>	Operando
<b>Observaciones:</b>	La entrada y salida de la bomba se encuentran oxidadas y con incrustaciones salitrosas.

<b>LINEA DE CONDUCCIÓN</b>	
<b>Longitud:</b>	182m
<b>Diámetro:</b>	25mm (1")
<b>Tipo:</b>	PVC
<b>Status:</b>	Operando
<b>Observaciones:</b>	A la salida de la bomba se encuentra conectada una manguera que cumple con la función de regar las zonas aledañas y también funciona como complemento del resto del sistema.

#### **1.1.2.4. OPERACIÓN**

A continuación se describe lo observado en el recorrido realizado en el sitio de la captación y lo evidente en cuanto a actividades de control del sistema, así como lo informado durante la entrevista al jefe de mantenimiento del CMT.

##### **1.1.2.4.1. FUNDAMENTOS PARA LA OPERACIÓN DEL SISTEMA**

No se cuenta con un manual de operación y mantenimiento para el sistema de agua; funciona conforme a la experiencia diaria.

### **1.1.3. DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO EN GENERAL**

En este capítulo se describen las necesidades de mantenimiento del sistema de abastecimiento de agua dulce en el CMT.

#### **1.1.3.1. MANTENIMIENTO GENERAL**

El sistema de abastecimiento de agua dulce se encuentra en estado físico deficiente ya que las actividades de mantenimiento no han sido del tipo preventivo, ya que no existe un manual al respecto.

Uno de los factores que afectan a las instalaciones del CMT, es el ambiente corrosivo que afecta a la mayoría de las piezas metálicas expuestas. El sistema de abastecimiento de agua dulce ha sido afectado por la corrosión y salitre, en la succión y descarga de la bomba, así como óxido en las piezas metálicas que se observan. En el caso de las válvulas, deberán cambiarse por material de PVC. Se recomienda que en adelante haya una limpieza constante de las sales en el sistema de bombeo para que no se lleguen a tomar medidas extremas. De la misma manera, como medida de prevención deberán de retirar la maleza y pasto de las cajas de válvulas, de tal manera que siempre se encuentren a la vista y con fácil acceso.

Sin embargo, este mantenimiento se tomará en cuenta siempre y cuando en el proyecto ejecutivo se decida conservar algunas de las instalaciones aquí mencionadas, por lo que este mantenimiento está sujeto a estudios de ingeniería posteriores.

#### **1.1.4. LEVANTAMIENTO DE LAS NECESIDADES PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

Las necesidades que dan lugar a la elaboración del proyecto, se dan conforme a los objetivos planteados, que en el caso del abastecimiento de agua dulce es proveer el caudal requerido por los distintos rubros que conforman las necesidades en el CMT, como puede ser para el área de estanques y para consumo humano.

Tomando en cuenta el estudio geohidrológico que ya se realizó, se ha tomado la decisión de cambiar el tipo y lugar de fuente de abastecimiento, esto con la finalidad de optimizar el recurso y su extracción.

Se tendrá que diseñar un sistema de conducción adecuado para los requerimientos de presión y gasto del CMT.

Se hará un estudio de las necesidades que tiene el Centro en cuanto al abastecimiento de agua potable.

Se diseñará un tanque elevado que tenga la función de regular el caudal entrante y el demandado, y que garantice la carga hidráulica necesaria para poder contar con muebles ahorradores de agua y optimizar el recurso.

## 1.2. SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA SALADA

### 1.2.1. LEVANTAMIENTO FÍSICO

#### 1.2.1.1. OBRA DE TOMA

El sistema de abastecimiento de agua salada del CMT inicia en la línea de costa del Océano Pacífico, lugar donde se construyó un confinamiento que genera un cárcamo, utilizado para el bombeo de agua salada que el Centro requiere para sus actividades. El agua que abastece al cárcamo llega directamente del mar por medio de 4 tubos de polietileno de alta densidad de 0.5m (20") de diámetro RD-17 con una longitud de 7.5 metros cada uno. Estos tubos se encuentran ahogados en el dique (Figura 1.5).



Figura 1.5. Obra de toma de agua salada

El cárcamo de bombeo, está conformado naturalmente de roca que lo confina en un 60%, el restante 40% del confinamiento es artificial y está constituido por un dique de mampostería.

##### 1.2.1.1.1. DIQUE

El dique es utilizado, además, para la protección del tubo de succión contra la fuerza del oleaje, sin embargo, debido a un mal diseño, el nivel del agua de mar en ocasiones supera la altura de la corona del dique lo que provoca daños constantes en el cárcamo.

El diseño original del dique, de acuerdo con un plano obtenido durante el reconocimiento en sitio, contemplaba como único material de construcción bolsas rellenas de mortero que serían apiladas a modo de conformar una estructura trapezoidal capaz de soportar el oleaje; sin embargo, y debido a lo observado en campo durante el reconocimiento en sitio, se infiere que durante la construcción se presentaron dificultades que obligaron a cambiar los materiales y el proceso constructivo.

El dique construido tiene en su base bloques de mortero que originalmente constituirían el dique, el cuerpo del dique está constituido de roca pegada con mezcla de cemento de características de calidad no definidas (fig. 1.6.). Las longitudes y características se muestran en los planos del estado actual.

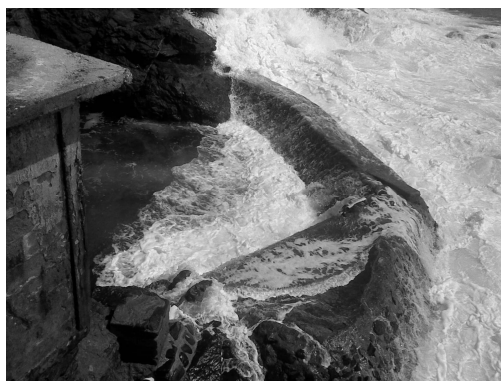


Figura 1.6. Dique de protección

Los bloques que se encuentran en la base y que originalmente conformarían la totalidad del dique son bolsas de 1m \* 2m \* 0.5m rellenas con mortero; relación cemento arena de 360 kg de cemento y 1.10m<sup>3</sup> de arena de playa y 1 kg de fluidizante integral.



Figura 1.7. Base y cuerpo del dique

Dentro del cárcamo de bombeo se encuentra sumergida una rejilla que protege al extremo de la tubería de succión así como a la válvula de no retorno.

#### 1.2.1.2. CASETA DE BOMBEO

Empotrado en una saliente del macizo rocoso sobre la línea de costa, a aproximadamente 4 msnm, en la parte superior del cárcamo, se encuentra la caseta de bombeo (fig. 1.8), en donde se alojan los componentes electromecánicos utilizados para elevar el agua salada, ésta se conduce por tres tuberías de distintos materiales.



Figura 1.8. Caseta de bombeo

Las tuberías de succión son de plástico flexible y en la proximidad al cárcamo se le unieron tubos de PVC.



Figura 1.9. Rejilla de protección a la tubería de succión

La caseta de bombeo es de muros de mampostería y losa de concreto armado, dentro de ésta se encuentran dos bombas centrífugas horizontales conectadas a una tubería de succión que se encuentran sumergidas en el cárcamo, una de las bombas no funciona y la segunda es la que abastece de agua salada actualmente al Centro.

#### 1.2.1.2.1. BOMBAS INSTALADAS

La bomba que actualmente abastece de agua salada al CMT tiene una potencia de 6 HP y conduce un gasto de 7.28 litros por segundo.



Figura 1.10. Bombas instaladas

#### 1.2.1.3. CONDUCCIÓN

Existen tres tuberías que conducen el agua desde el cárcamo hasta el tanque de almacenamiento. La tubería “A” tiene un diámetro de 38mm (1.5”) y conduciría el agua elevada por la bomba que actualmente se encuentra fuera de servicio, se conduce a nivel del terreno y tiene algunas piezas de conexión de acero galvanizado. La tubería “B” tienen un diámetro de 50mm (2”), actualmente es la única que da servicio, se conduce a nivel del terreno y cuenta con algunas válvulas y conexiones de acero galvanizado. La tubería “C” tiene un diámetro de 75mm 3”, es de polietileno de alta densidad, se

conduce a 0.5 m sobre el nivel del terreno y está soportada por muertos de concreto a cada 10m en donde se encuentran las uniones de los tramos.



Figura 1.11. Tuberías de conducción

La longitud de la línea de conducción se obtuvo haciendo la medición sobre el plano topográfico, obtenido durante la fase de recopilación de información. En los tres casos la longitud de la tubería es de 125 metros.

#### **1.2.1.4. SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA SALADA**

Antes de que el líquido llegue al tanque de regulación, el agua pasa por un sistema de tratamiento con la finalidad de mejorar la calidad del agua que llega a los depósitos internos del Centro.

##### **1.2.1.4.1. FILTROS RÁPIDOS**

El tratamiento del agua salada inicia en un sistema de filtrado, el cual consta de dos tanques cilíndricos sellados de 1.5m de diámetro, con materiales minerales graduados en su interior. El agua salada pasa por los filtros a presión, éstos retienen los sólidos suspendidos y mejora la calidad del agua (fig. 1.12)



Figuras 1.12 Filtros rápidos

##### **1.2.1.4.2. SISTEMA DE DESINFECCIÓN POR RAYOS ULTRAVIOLETA**

El agua que ya fue filtrada llega a un sistema de desinfección a base de rayos ultravioleta, que consiste en una ramificación de tuberías con lámparas cuya longitud de onda reducen la cantidad de agentes patógenos, mejorando así la calidad bacteriológica

del agua salada. El agua ya desinfectada sigue su trayecto por la tubería de conducción hasta llegar al tanque de regularización.



Figura 1.13 Sistema de desinfección

#### **1.2.1.5. TANQUE DE REGULARIZACIÓN**

La fase final del sistema de abastecimiento de agua salada está conformada por el tanque de regularización, construido de concreto armado, de forma rectangular y sus dimensiones se especifican en el plano del estado actual referente al tanque de almacenamiento de agua salada.

El tanque de regularización de agua salada tiene una capacidad de 336 m<sup>3</sup>, abastece a la totalidad de piletas y estanques que requieran agua salada, además de que el nivel al que se encuentra garantiza la presión requerida por los distintos usos.

#### **1.2.2. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL**

El diagnóstico del estado actual se describirá siguiendo el orden en que se fueron mostrados los elementos que conforman el levantamiento físico en el documento que conforma la etapa 1.

Para realizar el diagnóstico fue necesario acudir a las instalaciones, realizar un recorrido y así determinar el estado actual, en algunos casos en que no fue posible determinar el estado de ciertos elementos, fue necesario interrogar al jefe de mantenimiento quien amablemente contestó todas las preguntas que complementan el diagnóstico.

##### **1.2.2.1. CÁRCAMO DE BOMBEO**

Uno de los elementos básicos de que consta el sistema de abastecimiento de agua salada es el cárcamo de bombeo, el cual confina agua salada que llega del mar en un vaso conformado de roca y de un dique de mampostería, el cárcamo se abastece de agua salada por medio de cuatro ductos que atraviesan el dique de protección.

#### **1.2.2.1.1. CUERPO DEL DIQUE**

El dique de protección presenta irregularidades en su estructura, ya que su base está construida de bloques de mortero, esto hasta una altura del 20% de la total del dique y el restante 80% está construido de piedra pegada con mezcla de cemento y arena.

La estructura del dique carece de refuerzo contra el deslizamiento, así mismo carece de protección contra el intemperismo y erosión provocada por el oleaje constante

Debido a lo observado durante el reconocimiento en sitio y con ayuda del jefe de mantenimiento, se infiere que durante la construcción del dique se tomó la decisión de cambiar el tipo de material y el proceso constructivo, esto, porque el constante empuje del oleaje, desestabilizaba los bloques recién colocados impidiendo un avance. Al hacer un estudio de la estructura del dique se determinó que no fue diseñado tomando en cuenta las fuerzas provocadas por su entorno.

#### **1.2.2.1.2. ALTURA DEL DIQUE**

Durante el reconocimiento en sitio se observó que el dique de protección no cumple con la altura requerida para evitar que el agua rebase el nivel de la corona. En ocasiones sobrepasa la cota a la cual se encuentra la corona del dique, por ello, el constante oleaje deteriora la tubería de aspiración levantando la rejilla de protección y resuspendiendo los sólidos sedimentados en el cárcamo disminuyendo la calidad del agua en el vaso.

#### **1.2.2.1.3. TUBERÍA DE LLAMADA**

La tubería que se encuentra sumergida en el cuerpo del dique se encuentra en condiciones estables ya que son de polietileno de alta densidad y no se han deteriorado por el constante oleaje, únicamente se encuentran incrustadas con precipitados de carbonato de calcio.

#### **1.2.2.2. SISTEMA DE ASPIRACIÓN**

##### **1.2.2.2.1. CANASTILLA**

Dentro del vaso del cárcamo de bombeo se encuentra sumergida una canastilla de acero inoxidable de forma rectangular, la cual sirve para contener y dar estabilidad a la tubería de aspiración, así mismo protege la válvula de no retorno del posible golpeteo de las olas. La canastilla de acero inoxidable se encuentra en malas condiciones ya que en ocasiones ha sido levantada por el oleaje que sobrepasa la corona del dique.

##### **1.2.2.2.2. TUBOS DE ASPIRACIÓN**

La tubería de succión es de polietileno de alta densidad de 50mm (2") y 38mm (1.5") de diámetro y se encuentra en buenas condiciones, sin embargo, no cuentan con ningún elemento que las sujete al cárcamo, por lo que es factible el desprendimiento y deterioro de las mismas.

### **1.2.2.3. EQUIPO DE BOMBEO**

El equipo de bombeo cuenta con dos bombas independientes de 6 y 15 HP, que nunca han funcionado de manera conjunta. Únicamente funciona la bomba de 6 HP y es la que actualmente abastece al CMT de agua salada. El estado de la bomba es bueno, sin embargo, presenta deterioro en su carcasa debido al intemperismo y falta de mantenimiento.

El sistema de bombeo cuenta con un arrancador en buenas condiciones que servirá para las instalaciones que se proyecten.

La bomba que actualmente abastece al CMT, no tiene la capacidad para completar los requerimientos actuales que demanda el Centro, por lo que se decidió no utilizar el sistema de tratamiento de agua salada ya que requería de mayor potencia en la impulsión.

### **1.2.2.4. TUBERÍA DE CONDUCCIÓN**

La conducción consta de tres tubos de distintos diámetros, el que actualmente abastece es de PVC y tiene un diámetro de 50mm (2”), sin embargo, también existen otras dos tuberías, una de PVC de 38mm (1.5”) y otra de polietileno de alta densidad de 75mm (3”) que es la tubería que servía al Centro en un inicio.

El estado externo de las tuberías es bueno, sin embargo, se presume que en el interior se encuentran incrustaciones que disminuyen el área hidráulica y aumentan la resistencia al flujo.

### **1.2.2.5. SISTEMA DE TRATAMIENTO**

Se determinó el estado en el cual se encuentra el sistema de tratamiento de agua salada que consta de un sistema de filtros de materiales graduados, además de un sistema de desinfección a base de lámparas de rayos ultravioleta que mejoran la calidad del agua salada.

#### **1.2.2.5.1. FILTROS DE LECHO PROFUNDO**

El sistema de filtrado de agua salada actualmente se encuentra fuera de servicio ya que la falta de mantenimiento en el sistema ocasionó un taponamiento en los 15cm iniciales de la primera capa que conforma el lecho filtrante, esto debido a que nunca se llevó a cabo el procedimiento de retrolavado con el cual se eliminan los sólidos que han sido removidos y que provocan una baja eficiencia en el sistema.

Se recomienda que antes de llevar a cabo la rehabilitación del sistema se lleve a cabo un retrolavado que elimine las partículas retenidas y mejore la eficiencia del sistema.

#### **1.2.2.5.2. DESINFECCIÓN POR RAYOS ULTRAVIOLETA**

Actualmente el sistema de desinfección a base de rayos ultravioleta no funciona ya que no tuvo el mantenimiento adecuado. El jefe de mantenimiento informó que las lámparas están fundidas.

#### **1.2.2.6. TANQUE DE REGULARIZACIÓN**

El tanque de regularización de agua salada tiene una capacidad de 336m<sup>3</sup>, presenta deterioro en el acero de refuerzo sobre todo en la losa tapa en la que se nota corrosión en las varillas. El concreto que cubría las varillas en el diseño original se ha botado descubriendo el refuerzo lo que ha ocasionado que se presente corrosión y deterioro provocando disfunción estructural.

Algunas de las válvulas que forman parte de la línea de conducción en el extremo cercano al tanque de regulación fueron fabricados de materiales metálicos por lo que presentan deterioro. Se recomienda cambiarlas por materiales no metálicos.

#### **1.2.3. DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO EN GENERAL**

El proyecto contempla una captación por medio de un cárcamo de bombeo, un tanque de regularización y el sistema se complementa con un subsistema de tratamiento del agua salada. Se ha decidido cuales subsistemas se mantendrán a partir de los alcances de que consta el proyecto propuesto. El sistema de tratamiento con el que cuenta el Centro se ha deteriorado debido a la falta de un adecuado programa de mantenimiento, sin embargo, los elementos que conforman el sistema, en algunos casos, son susceptibles de ser rehabilitados y reutilizados si se someten a un adecuado mantenimiento correctivo.

##### **1.2.3.1. ELEMENTOS CONSTRUIDOS DE CONCRETO ARMADO**

Los elementos que forman parte del sistema de abastecimiento de agua salada que fueron construidos de concreto armado, presentan un deterioro masivo, por lo que no son susceptibles de ser rehabilitados, ya que se encuentran en un medio húmedo y salino que deteriora el acero de refuerzo y provoca daños constantes irreparables.

##### **1.2.3.2. TUBERÍAS DE CONDUCCIÓN**

Las tuberías de conducción no han sido afectadas por la salinidad, sin embargo, debido a la necesidad crecimiento de suministro de agua salada, se requiere sustituir las tuberías de conducción instaladas por una sola de diámetro adecuado, por ello, la propuesta de cambio del sistema de conducción se describirá hasta el proyecto ejecutivo.

##### **1.2.3.3. TANQUE DE REGULARIZACIÓN**

El tanque de regulariza que actualmente cubre las necesidades del Centro, presenta daños irreparables en la tapa losa de concreto armado, por lo que este concepto no es susceptible a mantenimiento de rehabilitación, además, los nuevos requerimientos de caudal involucran un incremento en el volumen de regulación por lo que este tanque no cumple con este requerimiento. Con ello se concluye que el tanque de regularización no requiere de mantenimiento.

#### **1.2.3.4. SISTEMA DE TRATAMIENTO**

##### **1.2.3.4.1. FILTROS DE LECHO PROFUNDO**

El sistema de tratamiento de agua salada consta de dos subsistemas, uno de filtración a base de materiales graduados y otro de desinfección a base de rayos ultravioleta. El subsistema de tratamiento a base de lecho filtrante no está deteriorado por la salinidad del agua, sin embargo, se ha disminuido su eficiencia ya que nunca se llevó a cabo un retrolavado lo que provocó una exagerada pérdida de carga en el sistema ya que se saturó de los sólidos removidos al agua salada filtrada.

Este subsistema requerirá de un mantenimiento que le permita remover los sólidos detenidos en los primeros 15cm de la primera capa del lecho filtrante, esto se lleva a cabo haciendo pasar un flujo de agua en sentido contrario al normal, llamando a este proceso “retrolavado”.

Cada sistema de filtrado involucra en su diseño un proceso de retrolavado periódico el cual se especifica en el manual de uso; sin embargo, haciendo referencia a la literatura consultada, se prevé que el retrolavado tendrá que realizarse por lo menos cada tercer día esto con la finalidad de evitar taponamientos, además de mantener la carga hidráulica en un rango permisible.

##### **1.2.3.4.2. SISTEMA DE DESINFECCIÓN POR RAYOS ULTRAVIOLETA**

Uno de los elementos susceptible de mantenimiento correctivo, es el de desinfección a base de elementos de rayos ultravioleta, ya que no fueron sujetos a un adecuado programa de mantenimiento. El jefe de mantenimiento informó que el mantenimiento constaba de la sustitución de las lámparas de rayos ultravioleta.

#### **1.2.4. LEVANTAMIENTO DE NECESIDADES PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

Para abastecer de agua salada de una manera adecuada se necesitaría efectuar las siguientes acciones:

- 1) Rehabilitar y mejorar el cárcamo de bombeo, ya que el actual es susceptible a un colapso durante combinaciones de carga no comunes.
- 2) Elevar el nivel de la corona del dique de protección con el fin de evitar que el nivel del mar lo rebase.
- 3) Construir una ataguía dentro del cárcamo que genere una zona seca en donde se puedan llevar a cabo las labores de construcción del nuevo dique.
- 4) Sustituir el sistema de bombeo por uno que sea capaz de satisfacer las necesidades de gasto y carga, además de que el nuevo sistema sea adecuado para las condiciones del agua de mar.
- 5) Sustituir la canastilla de filtrado primario que se encuentra sumergida dentro del cárcamo, ya que actualmente se encuentra deteriorada y no cumple su función.

- 6) Cambiar las 3 tuberías de conducción por una sola tubería calculada a partir de los requerimientos de gasto y velocidad óptima.
- 7) Demoler el tanque de regularización que se encuentra actualmente instalado, para que en su lugar se construya uno que cumpla con los requerimientos de almacenaje parcial, dependiendo de la capacidad del sistema de bombeo y de los requerimientos del Centro.

## **CAPÍTULO 2**

### **PROYECCIÓN DE LAS NECESIDADES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA**

## CAPÍTULO 2

### PROYECCIÓN DE LAS NECESIDADES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

#### **2.1. PROYECCIÓN DE LAS NECESIDADES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DULCE**

En este apartado se detalla la metodología para la obtención del gasto de agua dulce que requerirá el CMT en un ciclo de 24 horas, para las necesidades de consumo humano y para el requerimiento de las instalaciones de acuaterriorios, charcas y piletas.

##### **2.1.1. CÁLCULO DEL CAUDAL POR CONCEPTO DE CONSUMO HUMANO**

El gasto por consumo humano se define como aquél que se genera por las necesidades de los trabajadores, visitantes y residentes de la casa dentro del CMT. En párrafos posteriores se describirá la metodología para la obtención de cada uno de los conceptos que integran el gasto por consumo humano.

##### **2.1.1.1. GASTO POR CONCEPTO DE VISITANTES**

El gasto de agua dulce que demandan los visitantes, está integrado por el uso de los muebles sanitarios, además del requerimiento adicional que conlleva la limpieza y mantenimiento de los distintos módulos y unidades utilizadas por los visitantes.

Parte de la cantidad de agua potable que requerirá el CMT se destinará al consumo por cada uno de los visitantes, por lo tanto, para este cálculo se requerirá la cantidad media de visitantes que puede atender el Centro en un día. Para poder llevar a cabo este cálculo se requiere del análisis de la cantidad de visitantes que llegarán al Centro. El cálculo se muestra en el siguiente apartado.

##### **2.1.1.1.1. ESTIMADO DE LA CANTIDAD DE VISITANTES A FUTURO**

La infraestructura de abastecimiento de agua dulce deberá de cubrir las necesidades que genere el Centro después de su reestructuración. Se prevé una mayor afluencia de visitantes debida al mejoramiento de las condiciones para la atención, además de que se prevé una mayor difusión del CMT.

Para llevar a cabo un estimado de los visitantes que llegarán al Centro, se requiere de información referente al aforo de visitantes en años pasados. Estos datos se recopilaron en las instalaciones del CMT durante el levantamiento físico.

### 2.1.1.1.1. ANÁLISIS DE LOS REGISTROS DE VISITANTES

De acuerdo con los datos proporcionados por el personal del CMT en su Informe Ejecutivo del Área de Difusión y Educación Ambiental consistentes en un análisis anual en un período de tres años, y en función de las características de funcionamiento del Centro, se determina que no es aplicable la metodología convencional de proyección de población tal como se realiza para una localidad con cierto crecimiento demográfico, ya que además de que se presentan variaciones estacionales en cuanto al número de visitantes, la capacidad máxima de atención es constante y depende de las características de las instalaciones.

Durante el levantamiento físico se investigó la afluencia de visitantes. El personal que labora en el Centro proporcionó una copia del Informe Ejecutivo del Área de Difusión y Educación Ambiental, en el cual se especifican las acciones realizadas por dicha área en el período (2001-2004); se obtuvo un resumen de la cantidad de visitantes por mes y por año, que se muestra en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1. Registro de visitantes al CMT (2001-2004)**

Número de visitantes por mes de 2001 a 2004													
MES	Nacionales				Extranjeros				Grupos Escolares				TOTAL
	2001	2002	2003	2004	2001	2002	2003	2004	2001	2002	2003	2004	
<b>Enero</b>	4235	4470	6981	5307	1294	1133	1508	1305	319	468	201	417	27638
<b>Febrero</b>	2936	2690	3699	3545	1521	1125	1205	1186	1025	1079	1065	626	21702
<b>Marzo</b>	3605	10510	3576	2822	1024	999	831	726	1164	1187	2022	1400	29866
<b>Abril</b>	13092	5248	9744	13045	266	645	682	728	1175	1586	2251	2105	50567
<b>Mayo</b>	4606	4598	4826	3465	166	486	408	312	1014	1597	1088	1485	24051
<b>Junio</b>	2492	3307	2125	3044	212	490	489	504	993	708	1272	1193	16829
<b>Julio</b>	7049	13312	9637	14090	866	1272	1127	1167	214	302	163	123	49322
<b>Agosto</b>	9539	10352	8690	6543	1155	1450	1393	1201	30	107	0	0	40460
<b>Septiembre</b>	1874	2644	2237	2409	768	558	520	536	274	36	54	34	11944
<b>Octubre</b>	2107	2184	2094	2129	429	800	661	568	227	487	653	126	12465
<b>Noviembre</b>	2993	3676	3858	2197	551	821	680	600	374	263	658	382	17053
<b>Diciembre</b>	5325	7688	6765	6803	660	1029	982	931	1262	530	689	522	33186
<b>Total anual</b>	59853	70679	64232	65399	8912	10808	10486	9764	8071	8350	10116	8413	335083

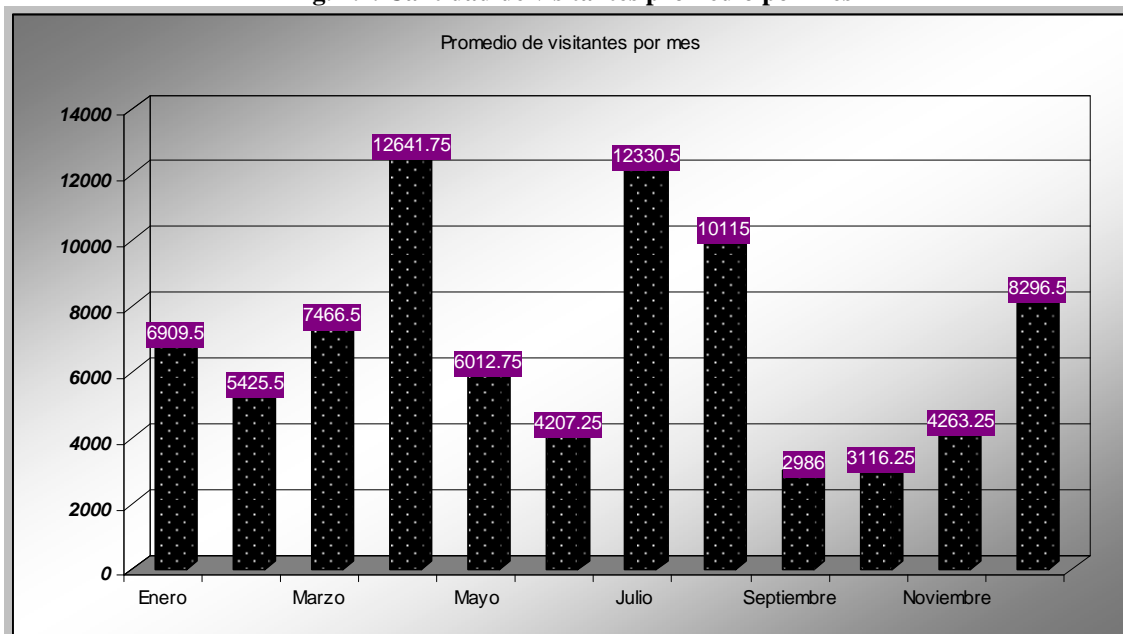
Haciendo un promedio de los visitantes que se presentaron en un mismo mes durante los cuatro años del registro, se obtiene un comportamiento de la afluencia durante el año, es decir, se obtiene un promedio de afluencia para cada mes respecto del mes con

mayor número de visitantes. La Tabla 2.2 muestra los promedios y la Fig. 2.1 muestra el comportamiento de la curva que describe los resultados.

**Tabla 2.2. Promedio de visitantes al CMT por mes (2001-2004)**

Registro de visitantes por mes (2001-2004)					
MES	2001	2002	2003	2004	Promedio
Enero	5848	6071	8690	7029	6909.5
Febrero	5482	4894	5969	5357	5425.5
Marzo	5793	12696	6429	4948	7466.5
Abril	14533	7479	12677	15878	12641.75
Mayo	5786	6681	6322	5262	6012.75
Junio	3697	4505	3886	4741	4207.25
Julio	8129	14886	10927	15380	12330.5
Agosto	10724	11909	10083	7744	10115
Septiembre	2916	3238	2811	2979	2986
Octubre	2763	3471	3408	2823	3116.25
Noviembre	3918	4760	5196	3179	4263.25
Diciembre	7247	9247	8436	8256	8296.5
TOTAL	76836	89837	84834	83576	335083

**Fig. 2.1. Cantidad de visitantes promedio por mes**



Con base en la Fig. 2.1., se puede establecer una afluencia máxima de 12641 visitantes al mes, que se presenta en el promedio que corresponde a abril; asignando el 100% a la afluencia de este mes, se puede asignar un porcentaje menor a los demás meses. Los porcentajes asignados a cada mes se presentan en la Tabla 2.3.

**Tabla 2.3. Porcentaje de afluencia de visitantes asignado a cada mes según el comportamiento observado en el período(2001-2004)**

MES	Promedio de Visitantes	Porcentaje asignado según el análisis
Enero	6910	54.7
Febrero	5426	42.9
Marzo	7467	59.1
Abril	12642	100.0
Mayo	6013	47.6
Junio	4207	33.3
Julio	12331	97.5
Agosto	10115	80.0
Septiembre	2986	23.6
Octubre	3116	24.7
Noviembre	4263	33.7
Diciembre	8297	65.6

En la Tabla 2.3, se puede observar que para cada mes existe una variación de visitantes, la cual en algunos meses de mayor afluencia está relacionada con la temporada vacacional.

Debido a que el comportamiento de la afluencia de visitantes es similar en los cuatro años, los porcentajes obtenidos para cada mes se tomarán como base para la proyección anual de visitantes anual a partir de la capacidad máxima que tendrá el Centro después de la reestructuración.

#### **2.1.1.1.1.2. PROYECCIÓN DEL NÚMERO DE VISITANTES**

Debido a la falta de información con respecto a la capacidad futura que tendrá el Centro para la atención a visitantes se recurre a la aplicación de un método que toma en cuenta la capacidad de atención del personal y las instalaciones, es decir se obtendrá el número máximo de atención a visitantes a partir de la cantidad de gente que pueda ser atendida.

Para la determinación de la capacidad máxima de atención a visitantes, se consideran grupos de 50 personas y recorridos con una duración de 45 minutos. Se estima que cada 15 minutos entra un grupo nuevo, además de contabilizar al personal de planta, los que cumplen jornadas laborales y los posibles huéspedes del Centro.

Tabla 2.4. Análisis de la capacidad de atención a visitantes durante el horario de atención

HORARIO	Adentro	Entran	Salen
10:00 - 10:15	0	50	0
10:15 - 10:30	50	50	0
10:30 - 10:45	100	50	0
10:45 - 11:00	150	50	50
11:00 - 11:15	150	50	50
11:15 - 11:30	150	50	50
11:30 - 11:45	150	50	50
11:45 - 12:00	150	50	50
12:00 - 12:15	150	50	50
12:15 - 12:30	150	50	50
12:30 - 12:45	150	50	50
12:45 - 13:00	150	50	50
13:00 - 13:15	150	50	50
13:15 - 13:30	150	50	50
13:30 - 13:45	150	50	50
13:45 - 14:00	150	50	50
14:00 - 14:15	150	50	50
14:15 - 14:30	150	50	50
14:30 - 14:45	150	50	50
14:45 - 15:00	150	50	50
15:00 - 15:15	150	50	50
15:15 - 15:30	150	50	50
15:30 - 15:45	150	50	50
15:45 - 16:00	150	50	50
16:00 - 16:15	150	50	50
16:15 - 16:30	150	50	50
16:30 - 16:45	150	0	50
16:45 - 17:00	100	0	50
17:00 - 17:15	50	0	50
		1300	

**Tabla 2.5. Fluctuación de visitantes, trabajadores y huéspedes a lo largo del día ideal de máxima afluencia.**

Hora	Trabajadores	Visitantes	Huéspedes
0 -- 1	0	0	4
1 -- 2	0	0	4
2 -- 3	0	0	4
3 -- 4	0	0	4
4 -- 5	0	0	4
5 -- 6	0	0	4
6 -- 7	0	0	4
7 -- 8	0	0	4
8 -- 9	0	0	4
9 -- 10	45	0	4
10 -- 11	45	200	4
11 -- 12	45	200	4
12 -- 13	45	200	4
13 -- 14	45	200	4
14 -- 15	45	200	4
15 -- 16	45	200	4
16 -- 17	45	100	4
17 -- 18	45	0	4
18 -- 19	0	0	4
19 -- 20	0	0	4
20 -- 21	0	0	4
21 -- 22	0	0	4
22 -- 23	0	0	4
23 -- 24	0	0	4
		1300	

A partir de la tabla 2.5 se puede conocer la población fija más flotante que hay a cada hora del día. El CTM albergará durante toda la semana 45 trabajadores en un horario de 9:00 a 18:00 horas, además de 4 huéspedes. La cantidad máxima de visitantes que el Centro atenderá en una hora será de 200 personas.

**Tabla 2.6. Resumen de la capacidad máxima diaria**

Huéspedes :	4
Trabajadores:	45
Visitantes	1300
<b>TOTAL</b>	<b>1349</b>

Como conclusión, en el día de máxima afluencia se estiman 1300 visitantes, 4 huéspedes y 45 trabajadores; sin embargo, el CMT, tendrá abiertas las puertas al público, únicamente de miércoles a domingo.

La variación en el número de visitantes durante la semana en función del día de máxima afluencia, de acuerdo a la experiencia es como sigue: el miércoles y jueves se presenta el 50% del total de posibles visitantes, el viernes 80% y el sábado y domingo se presenta la cantidad mayor de visitantes por lo que se considera el 100%.

Si el número de visitantes obtenido a partir del análisis de las capacidades de atención es multiplicado por el porcentaje asignado a cada día según lo observado en los registros de asistencia, se conoce la proyección de afluencia semanal. Al multiplicar este dato por el número de semanas que tiene un mes (4.66), se tendrá una estimación de la población mensual máxima.

**Tabla 2.6. Proyección semanal y mensual de visitantes**

SEMANA MEDIA		
Día de la semana	Porcentaje de visitantes según la experiencia	Visitantes y trabajadores del Centro
Lunes	0%	49
Martes	0%	49
Miércoles	50%	675
Jueves	50%	657
Viernes	80%	1079
Sábado	100%	1349
Domingo	100%	1349
Proyección semanal de visitantes		5224
Proyección mensual de visitantes		24376

Con el análisis anterior se obtuvo la cantidad máxima de visitantes que podría atender el CMT por mes, sin embargo, como se especificó en el análisis de los registros de visitantes a cada mes se le asignó un porcentaje según el comportamiento observado.

Si la proyección de visitantes por mes obtenida en el análisis anterior es multiplicada por el porcentaje mensual asignado que se muestra en la Tabla 2.3, se puede determinar un número máximo de visitantes esperado en un año, como se muestra en la Tabla 2.7.

MES	Porcentaje asignado según el comportamiento observado en los registros	Proyección de visitantes para cada mes
Enero	54.66	13323
Febrero	42.92	10462
Marzo	59.06	14397
Abril	100.00	24376
Mayo	47.56	11594
Junio	33.28	8113
Julio	97.54	23776
Agosto	80.01	19504
Septiembre	23.62	5758
Octubre	24.65	6009
Noviembre	33.72	8220
Diciembre	65.63	15998
<b>TOTAL de personas esperadas en un año</b>		<b>161529</b>

**Tabla 2.7. Proyección anual de visitantes**

Por lo que la cantidad de visitantes anual de proyecto será de 162000 personas. Con este dato, se efectuarán los estudios de Ingeniería para el subproyecto de sistema de abastecimiento de agua dulce.

Para realizar el cálculo del gasto medio es necesario que la población sea expresada en términos de población media diaria, ya que el gasto se calculará en términos de los requerimientos de un ciclo diario.

Si la cantidad de visitantes obtenida anteriormente es dividida entre el número de días del año en el que se da atención al público, se obtiene la cantidad de visitantes promedio diario, dato que servirá para asignar diariamente una dotación de agua dulce a este concepto.

**Tabla 2.8. Cálculo del promedio diario de visitantes**

Días del año	Días del año con atención visitantes	Cálculo de visitantes al año	Promedio de visitantes al día
365	248	161529	651

Según la bibliografía consultada la cantidad de agua demandada por un visitante a una zona de recreo como el CMT, es de 5 litros por visitante al día. Si consideramos que el número de personas promedio que asistirá al Centro será de 651 diarias, la cantidad de agua demandada por los visitantes es de  $3.3 \text{ m}^3$  al día.

### 2.1.2. CÁLCULO DEL GASTO POR TRABAJADORES

Parte de la información que se obtuvo durante el reconocimiento en sitio fue la cantidad de trabajadores que laboran en el CMT, la cantidad de agua que se requiere por trabajador se obtuvo de la bibliografía, los datos obtenidos se muestra en la tabla 2.9.

**Tabla 2.9. Gasto por tipo de trabajador**

Tipo de trabajador	Número de trabajadores	Gasto que demanda (l/trabajador/día)
Oficinista	20	55
Operación y mantenimiento	25	70

Por lo tanto la cantidad de agua que demandan los trabajadores es de 2.85 m<sup>3</sup> al día.

### 2.1.3. CÁLCULO DEL GASTO POR HUÉSPEDES

Una de las unidades que conforman el Centro que se encuentra fuera de servicio, es la zona de dormitorios. El proyecto de reestructuración contempla la rehabilitación y ampliación de la zona de huéspedes por lo que se tomará en cuenta para el cálculo del gasto de agua potable.

La capacidad de la zona de huéspedes es de 2 personas por casa, únicamente se cuenta con dos casas, así que deberá de tomarse en cuenta la cantidad de agua potable que demanden los huéspedes del CMT.

La cantidad de agua que demanda un huésped es de 150 (l/huésped/día), así que la cantidad que se demanda por concepto de huéspedes es de 0.6 m<sup>3</sup> al día.

### 2.1.2. CÁLCULO DEL GASTO POR CONCEPTO DE PILETAS, CHARCAS Y ACUATERRARIOS

Para tener una eficiente oxigenación e higiene en el agua de las piletas en donde se encuentran las tortugas, es necesario que se renueve el líquido. El agua dulce para las charcas y piletas se deben de renovar cada 24 horas y para los acuaterriorios una vez por semana.

**Tabla 2.9. Volumen de la infraestructura que requiere de recambio de agua dulce diariamente**

Concepto	Volumen [m <sup>3</sup> /día]
CHARCA JICOTEAS	0.875
CHARCA JAPONESA	0.312
CHARCA JICOTEAS JUVENILES	0.5
CHARCA CASQUITO	0.4
CHARCA SABANERAS	0.4
OVALADA FIBRA DE VIDRIO	0.2
FIBRA DE VIDRIO	3.5
PILETAS DE CEMENTO	10.82
ACTIVIDADES DE LIMPIEZA	2.0
<b>TOTAL</b>	<b>19.007</b>

**Tabla 2.10. Volumen de la infraestructura que requiere de recambio de agua dulce semanalmente**

ACUATERRARIOS	Volumen [m <sup>3</sup> /semana]	Volumen [m <sup>3</sup> /día]
	16.66	2.38

### 2.1.3. CÁLCULO DEL GASTO TOTAL

Considerando la totalidad de los conceptos, la cantidad promedio de agua dulce que demanda el CMT, es de **28.2 m<sup>3</sup> al día**.

## 2.2. PROYECCIÓN DE LAS NECESIDADES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA SALADA

En este capítulo se detalla la cantidad de agua salada que requiere el CMT para su correcto funcionamiento tomando en cuenta la proyección de la infraestructura diseñada por el área de arquitectura, que contempla un incremento en el volumen instalado de las piletas tanto circular como cuadrada, así como un incremento en la cantidad de agua inyectada al sistema, es decir, se hará un incremento en la velocidad de recambio del agua, ya que en la actualidad se efectúa un recambio semanal lo que afecta a la calidad del agua y la calidad de vida de las especies que ahí se encuentran.

### 2.2.1. NECESIDADES PROYECTADAS PARA EL USO DE AGUA SALADA PARA LAS TORTUGAS

La Administración del CMT informó los requerimientos de abastecimiento de agua salada, esto con el fin de efectuar un diseño adecuado de los componentes del sistema. La información proporcionada fue la siguiente:

#### *REQUERIMIENTOS DE AGUA DULCE Y SALADA EN EL CENTRO MEXICANO DE LA TORTUGA*

*En relación a la cantidad de agua dulce que se requiere en el área de piletas y acuarios le mencionaré lo siguiente:*

*En el acuario central tenemos tres acuaterrarios con agua dulce de 5.6 m<sup>3</sup> cada uno, estos tres acuaterrarios mantienen un volumen de agua estático y sólo se recambian cada 7 a 8 días, siempre dependiendo de la disponibilidad de personal y de agua dulce.*

*Cada uno cuenta con un filtro que no funciona. La empresa Baja Mantenimiento y Operación, S. A. de C. V. de las Bahías de Huatulco que es parte de FONATUR diseñó 3 filtros para estos acuaterrarios que desde su instalación presentaron problemas, ya que más que un diseño fue una copia-adaptación de los filtros con los que ya contaban estos alojamientos. Estos tres acuaterrarios requieren un volumen de agua de 10.82 m<sup>3</sup>*

*En ellos se requiere la instalación de tres filtros biológicos con un recambio óptimo del 15 al 20% del total diariamente, o cómo mínimo un 10%.*

*En el área de charcas de tortugas dulceacuícolas y terrestres (que son charcas externas), piletas de cemento, de fibra de vidrio, se requiere un volumen de 19 m<sup>3</sup> diariamente, esto incluye el requerimiento de 2 m<sup>3</sup> aproximadamente que se utilizan para el lavado de las piletas.*

*Por otro lado en lo que se refiere a agua salada contamos con un tanque reservorio de 336 metros cúbicos que se encuentra ubicado en el cerro que está en el lado oriente del CMT. El agua es bombeada directamente del mar con bombas. Debido a ello, la única bomba operando debe apagarse varias horas al día interrumpiéndose el suministro de agua; no obstante ello, este equipo está siendo sometido a una sobrecarga de trabajo que nos hace temer que su vida útil ya está próxima a llegar a su fin.*

*La bomba que actualmente está en funcionamiento tardaría aproximadamente dos a tres días en llenar el tanque reservorio, aunque por la demanda de los distintos alojamientos, este depósito casi nunca se llena dado que la cantidad de agua que ingresa es casi la misma cantidad que se consume.*

*Aunque contamos con filtros mecánicos éstos no operan por mal funcionamiento, por lo que el agua entra directamente del tanque reservorio a los alojamientos sin ningún tratamiento. También se contaba con un sistema de filtro ultravioleta que nunca ha funcionado y que actualmente ya se encuentra en alto grado de deterioro.*

*En el CMT se requiere para todos los alojamientos de agua salada un total de 911 metros cúbicos de agua, sin embargo, para el adecuado mantenimiento de organismos marinos en cautiverio, se requiere de un flujo constante en cada alojamiento que permita un cambio total del líquido por lo menos tres a cuatro veces al día. Cabe señalar que, por ejemplo, en las instalaciones del Acuario Veracruz, en donde también cuentan con tortugas marinas en cautiverio, el responsable de estos reptiles señala que el recambio total del volumen de agua se realiza hasta en 11 veces al día, además de contar con 18 filtros biológicos.*

*También se propone plantear algún sistema de tratamiento del agua utilizada antes de ser vertida nuevamente al Océano Pacífico para cumplir con las normas ambientales.*

*De antemano gracias y estoy a sus órdenes para las aclaraciones que crea necesarias.*

*Martha Harfush*

#### **2.2.1.1. VOLUMEN A INSTALARSE EN LOS ESTANQUES**

EL CMT cuenta con dos grande estanques en los cuales se exhiben los especímenes más grandes y que requieren de este volumen grande de agua para poder subsistir adecuadamente. El estanque cuadrado es llamado estanque para adultos. A continuación se muestran los volúmenes provistos para estos conceptos.

Estanque	Volumen (m <sup>3</sup> )
Estanque Circular	184.17
Estanque para Adultos (rectangular)	122.16

### 2.2.1.2. VOLUMEN A INSTALARSE EN PILETAS

En el área de sanidad se encuentran las piletas tanto de cemento como las piletas de fibra de vidrio en donde se alojan los especímenes de tamaño mediano que se encuentran en periodo de crianza y que también son exhibidos al público.

Piletas	Volumen (m <sup>3</sup> )
Piletas de cemento	28.86
Piletas de fibra de vidrio	9.24

### 2.2.1.3. VOLUMEN A INSTALARSE EN EL ACUARIO

El acuario es la infraestructura que demanda la mayor cantidad de agua salada, ya que en su interior se encuentra la mayor cantidad de especímenes y el tamaño de los alojamientos es muy grande. El acuario es una construcción de forma circular que contiene dos anillos concéntricos que están formados por acuaterrarios, los acuaterrarios son alojamientos de gran tamaño para las tortugas que contienen ventanas de acrílico que permiten ver el interior y así poder mostrar las tortugas a los visitantes. El anillo exterior cuenta con 5 acuaterrarios de 64 m<sup>3</sup> cada uno, el anillo central contiene 7 acuaterrarios con un volumen de 35 m<sup>3</sup> cada uno. La cantidad total de agua demanda en el acuario se muestra a continuación:

Acuario	Cantidad de acuaterrarios	Volumen por acuaterrario m <sup>3</sup>	Volumen m <sup>3</sup>
Acuaterrario Exterior	5	64	320
Acuaterrario Interior	7	35	245
Acuario Número 11	1	7.5	7.5
<b>Volumen total por concepto del Acuario</b>			572.5

### 2.2.2. RECAMBIOS REQUERIDOS PARA EL ADECUADO FUNCIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES

Como se observa en el documento emitido por la Maestra en Ciencias Martha Harfush que es la encargada de la administración de la calidad de vida de las tortugas, la cantidad mínima de recambios del volumen total instalado que se requiere para el

adecuado funcionamiento del sistema es de 4 diarios, por lo que tendrá que tomarse en cuenta para el desarrollo de la propuesta de solución al abastecimiento de agua salada.

### **2.2.3. NECESIDADES PARA LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE ÓSMOSIS INVERSA**

El Centro de Investigación en Energía colaboró con el proyecto de reestructuración del CMT. La labor que esta institución realizó es una auditoria energética, además de recomendaciones para la disminución del consumo energético. Otra de las aportaciones del CIE, fue la implantación de un sistema de ultrafiltración de agua de mar utilizando la tecnología de ósmosis inversa, lo que aportaría un caudal promedio de 3m<sup>3</sup> diarios, esto con el fin de disminuir la cantidad de agua extraída del acuífero. Debido a ello es necesario contemplar las necesidades de infraestructura que conlleva la instalación de un sistema de ósmosis inversa, en este caso el caudal de agua que se requiere elevar para el abastecimiento del CMT aumenta.

### **2.2.4. CAUDAL TOTAL DE AGUA SALADA REQUERIDO**

Tomando en cuenta la totalidad de infraestructura que requiere agua salada se llega a que la cantidad total requerida para la extracción de la fuente de abastecimiento es de 911m<sup>3</sup> al día.

## **CAPÍTULO 3**

### **DISEÑO DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA SALADA**

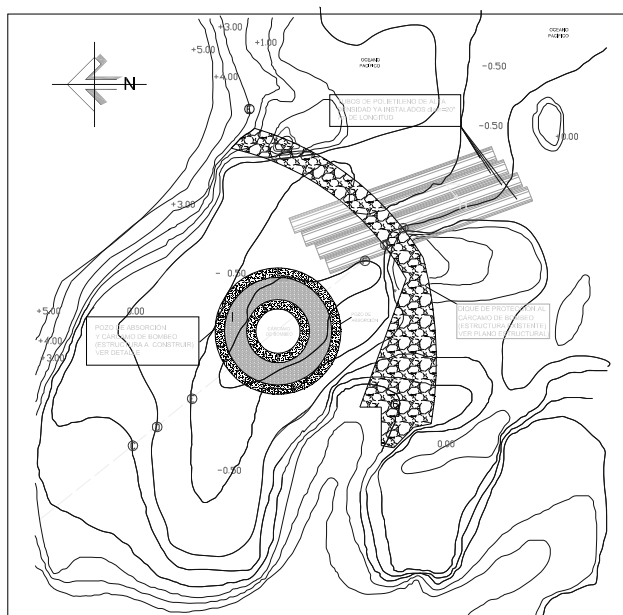
## CAPÍTULO 3

### DISEÑO DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA SALADA

El sistema de abastecimiento de agua salada se diseñó con base en los requerimientos calculados en el capítulo anterior en el cual se especificaban la totalidad de conceptos que generan una demanda de agua salada. Como parte del estudio de diagnóstico se ha determinado que el caudal requerido para los recambios pedidos para el volumen total instalado de infraestructura de agua salada es de gran tamaño lo que involucra el diseñar una infraestructura muy grande y costosa, además, demandante de energía eléctrica por lo que se ha previsto diseñar un sistema cerrado llamado Soporte de Vida en el cual se efectúe un saneamiento de las aguas utilizadas en el acuario, en piletas y estanques, con el fin de optimizar la cantidad de agua extraída de las fuentes abastecimiento y reducir el costo energético de efectuar los recambios de agua. Estas consideraciones en conjunto con el caudal requerido se han tomado en cuenta para el diseño de la propuesta de solución para el abastecimiento de agua salada la cual se presenta a continuación.

#### 3.1. OBRA DE CAPTACIÓN

Como se mencionó en el Capítulo 1 referente al levantamiento físico, el CMT cuenta con un cárcamo de bombeo de agua salada del cual se extrae el total para los requerimientos diarios. Como parte del diseño se han planteado mejoras al sistema actual, además de elementos que complementarán la infraestructura mencionada. Los elementos complementarios se muestran a continuación.



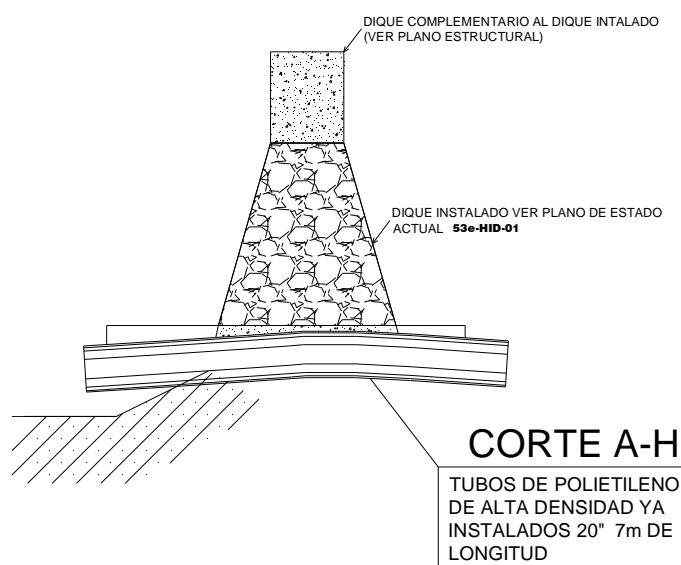
### 3.1.1. MURO COMPLEMENTARIO

En el CMT existe un dique de protección, descrito en el capítulo de diagnóstico del estado actual. Se propone que el dique de protección se conserve, ya que estructuralmente funcionaría de cimentación para un muro complementario con el cual se obtendría mayor protección al pozo de absorción que se encontrará dentro del vaso.

Se ha calculado que la elevación adicional necesaria para proteger el pozo de absorción será de un metro. Se propone que el muro complementario sea de concreto armado y que se ancle al lecho rocoso que conforma el vaso.

El armado del muro será de materiales no metálicos con el fin de optimizar la protección en contra de la corrosión, la propuesta de armado correspondió al área de estructuras. Lo mencionado anteriormente se explica por el hecho de que la solución que se propone únicamente tiene alcances dentro del área de Ingeniería Sanitaria y Ambiental y al ser un proyecto multidisciplinario la solución de ingeniería de detalle específica fue dada por el área especializada.

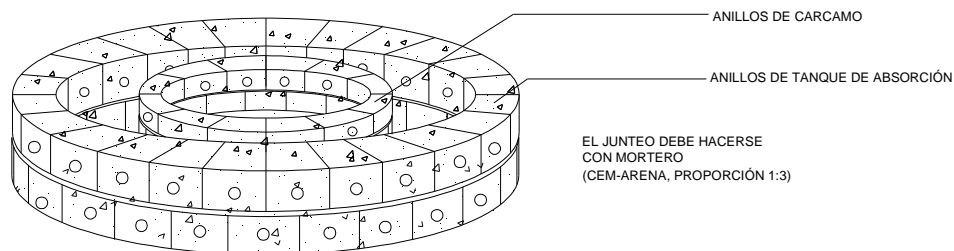
El eje vertical del muro de concreto armado que complementará al dique de protección se encontrará sobre el eje vertical que divide en dos el dique, esto con el fin garantizar la estabilidad del mismo. En la figura 3.2 se presenta el esquema propuesto para la solución integral.



**Figura 3.2 Corte transversal del dique propuesto**

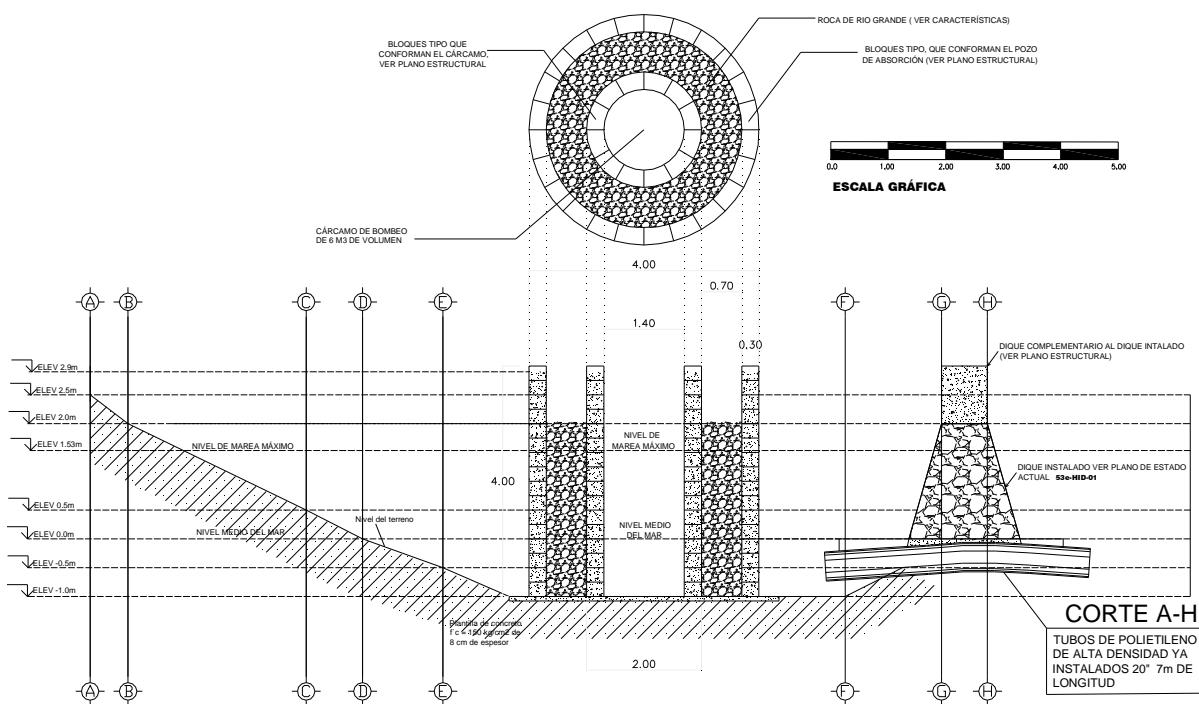
### 3.1.2. POZO DE ABSORCIÓN

Se propone hacer una captación del agua salada por medio de un sistema de pozos concéntricos de 2 y 4 metros de diámetro, con ductos de 50mm (2") de diámetro. Los pozos de absorción estarán colocados dentro del vaso actual el cual está delimitado por el lecho rocoso natural y el dique de mampostería ya con el muro complementario (Fig. 3.3).



**Fig 3.3 Propuesta de junteo de los bloques prefabricados**

El pozo de absorción estará construido a base de bloques prefabricados de concreto con características definidas a continuación, así mismo se especificará el acomodo y número de bloques por anillo, se define el número de anillos requeridos para completar la altura de 3.9 metros sobre el nivel de piso firme. El nivel sobre el cual estarán asentados los bloques del primer anillo tendrá que ser el que se obtenga de la limpieza superficial del suelo del cárcamo. Esta limpieza se limita al retiro de material suelto sobre la superficie.



**Fig 3.4. Vista en elevación del pozo de absorción y cárcamo de bombeo**

### 3.1.2.1. CÁRCAMO DE BOMBEO

El cárcamo de bombeo se encuentra inmerso en el volumen que define el pozo de absorción, definiendo un cilindro concéntrico al pozo de absorción, los detalles de vista en planta se encuentran en la Figura 3.4.

El cárcamo de bombeo cuenta con ductos en sus bloques por los cuales pasará el agua que ha sido absorbida por el pozo de absorción.

El volumen que definen la cara exterior del cilindro del cárcamo de bombeo y la cara interior del pozo de absorción será relleno con roca de río de tamaño grande de las siguientes características:

Característica	Valor
Diámetro nominal mínimo	10 cm
Diámetro nominal máximo	13 cm
Peso aproximado	800- 1000 kg/m <sup>3</sup>
Área superficial	45 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
Porosidad	60%

Esto con el fin de efectuar un filtrado del agua que llega al cárcamo de bombeo.

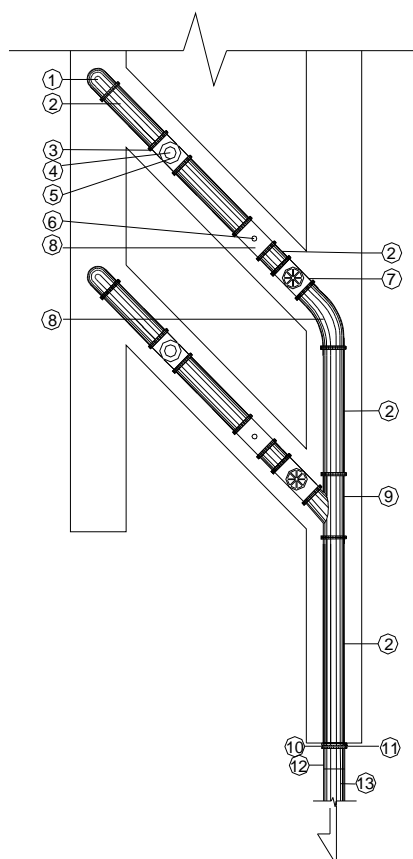
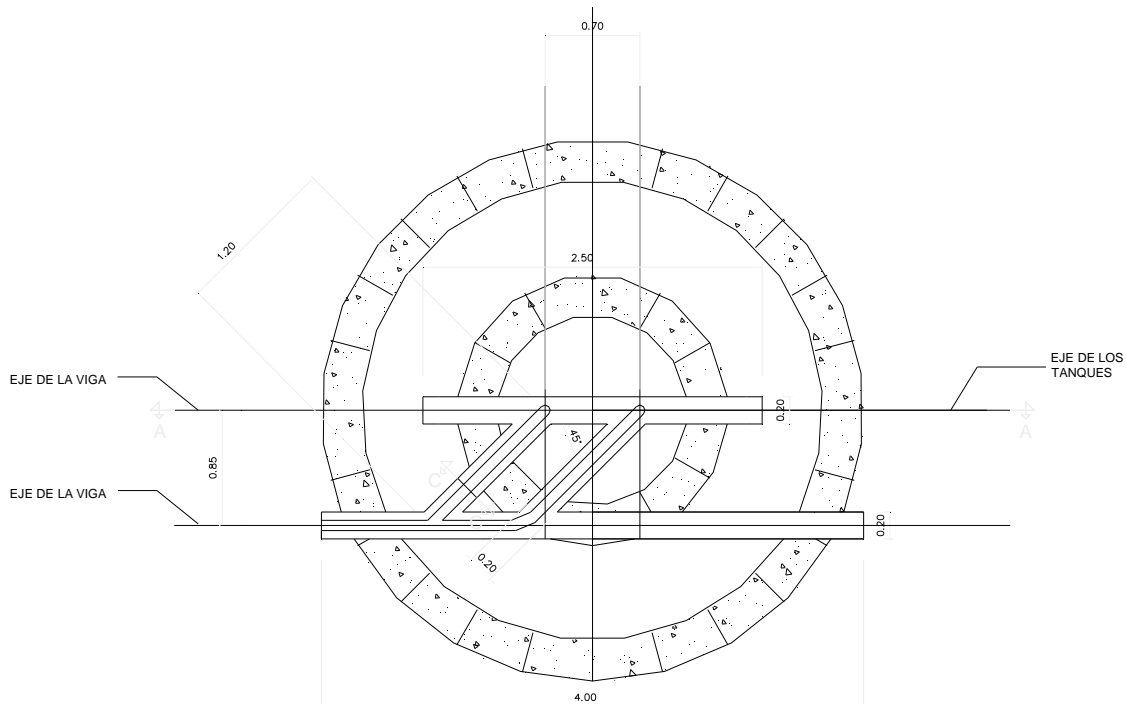
Será llenado hasta los tres metros, medidos desde el nivel del suelo donde se desplanta el sistema de pozos.

Las características geométricas del sistema de pozo de absorción y cárcamo de bombeo se encuentran especificadas en la figura 3.4.

### 3.1.2.2. ESTRUCTURA SOPORTANTE DEL MÚLTIPLE DE DESCARGA

El múltiple debe de tener soporte adecuado ante los movimientos que genera el accionamiento y cierre de los sistemas de bombeo; además, debe de soportar las condiciones climáticas y de fuerzas especiales que llegasen a actuar sobre la estructura como un oleaje alto, por ello se diseñó un sistema de vigas sobre el cual se apoyará el múltiple de las bombas. Los detalles de dimensiones y arreglos generales se especifican en la Figura 3.5.

**DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO Y RECIRCULACIÓN DE AGUA  
EN EL CENTRO MEXICANO DE LA TORTUGA, MAZUNTE OAXACA**



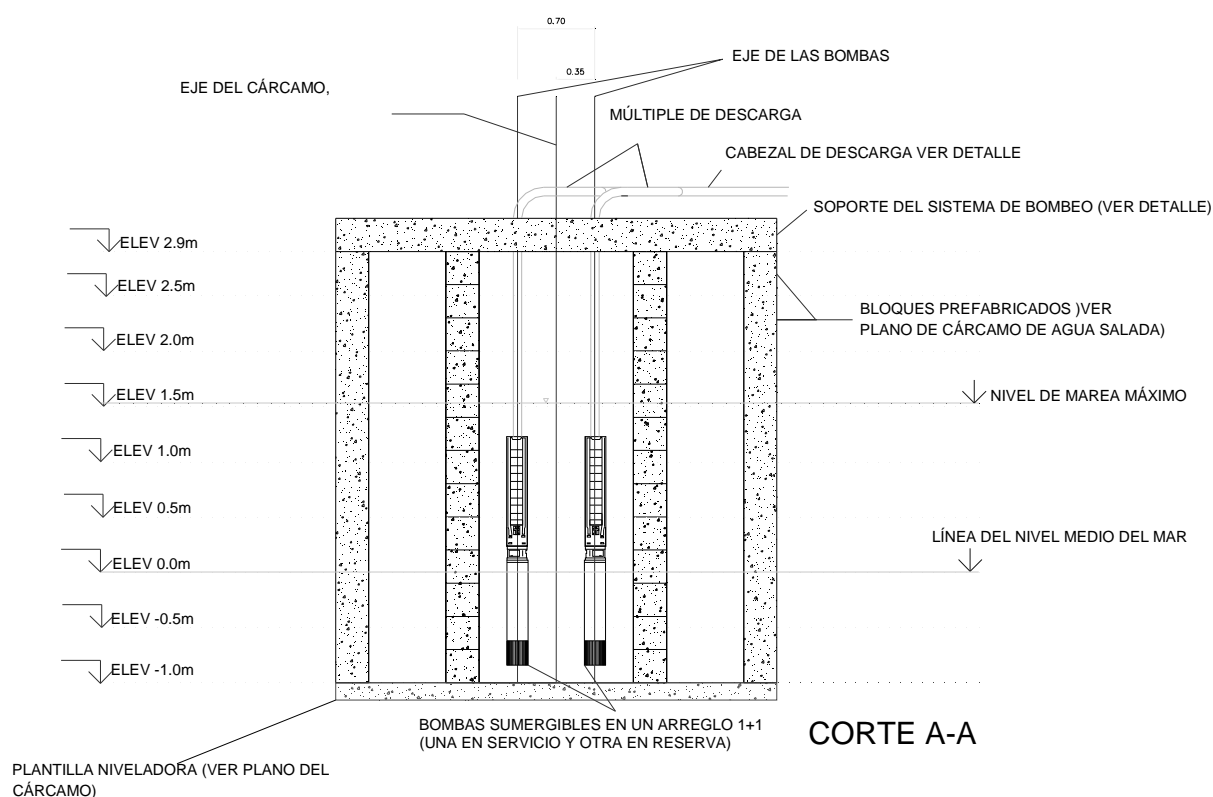
CONECTADO A LA TUBERÍA DE CONDUCCIÓN DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD DE 3" QUE SE ENCUENTRA YA INSTALADA Y QUE FORMÓ PARTE DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN ANTERIOR. (VER PLANOS DEL ESTADO ACTUAL **53e-HID-01**)

**Fig. 3.5 Vista en planta del sistema propuesto**

### 3.2. SISTEMA DE BOMBEO

El agua salada se elevará desde el cárcamo de bombeo por medio de una bomba sumergible de 7.5 Hp de potencia con un diámetro de descarga de 75mm (3”) y un gasto de 14.5 litros por segundo.

El sistema de bombeo se conforma de dos bombas, una en funcionamiento y otra en reserva, para asegurar el suministro constante de agua salada en el sistema de recirculación.



**Figura 3.6 Vista en elevación del sistema de bombeo**

El sistema de bombeo y el múltiple de descarga en su totalidad son de acero al carbón y con diámetro de 75mm (3”). Unida al cabezal de descarga se encuentra la conexión a la tubería de conducción que es de polietileno de alta densidad.

El agua suministrada por el sistema de abastecimiento de agua salada, será aquella que sea retirada del ciclo cerrado debido a su utilización durante los procesos de retrolavado de los filtros mecánicos o por alguna otra razón, estos sistemas se detallarán en el capítulo 5. Los procesos de retrolavado tienen la función de eliminar los sólidos removidos al agua que ha sido filtrada, haciendo pasar el flujo en el sentido contrario al sentido de filtración.

Las bombas instaladas serán de acero inoxidable grado marino 904, esto con el fin de garantizar el período de vida útil especificado por el fabricante, ya que las condiciones de salinidad y humedad aumentan el riesgo de corrosión en los componentes del sistema de bombeo.

El sistema de bombeo cuenta con un múltiple de descarga el cual contiene piezas especiales para la protección del sistema de bombeo y de conducción de agua salada, como lo es la válvula de expulsión de aire que se encuentra después del codo que cambia el sentido del flujo de vertical a horizontal, la válvula *check*, para evitar que la columna de agua que contiene la tubería de conducción pueda retornar al cárcamo de bombeo, la válvula de alivio de sobrepresión que evita que al cierre de válvulas la celeridad del agua provoque una sobrepresión en el sistema y pueda llegar a romper las tuberías. Por último, el múltiple de descarga cuenta con una válvula de compuerta que cierra el flujo del ramal en caso de no requerir el funcionamiento de la bomba.

### 3.2.1. MÚLTIPLE DE DESCARGA

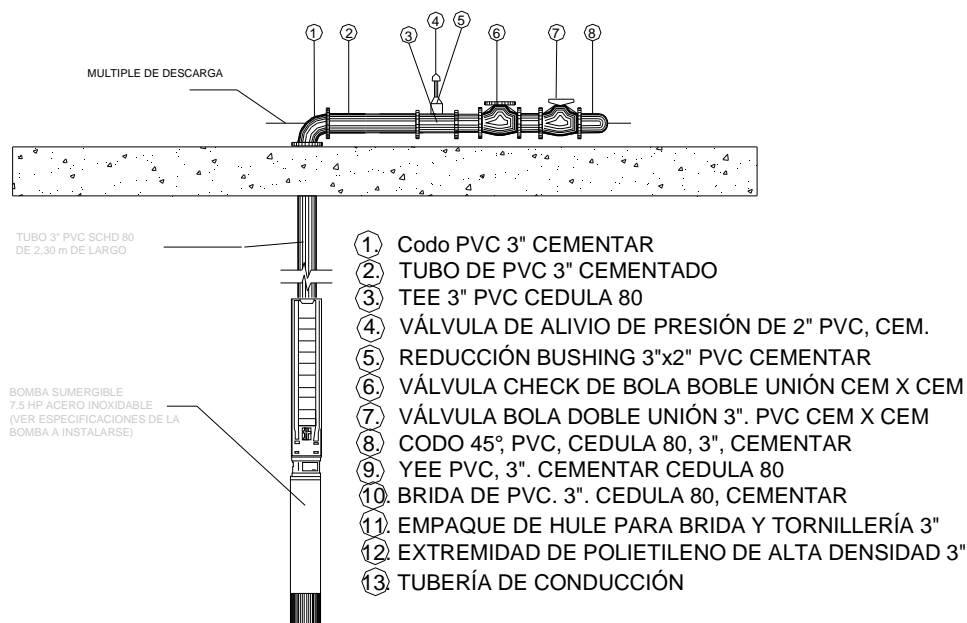



Fig. 3.7 Despiece del sistema de bombeo de agua salada

### 3.2.2. BOMBAS UTILIZADAS

ESPECIFICACIONES DE LA BOMBA A INSTALARSE		
<p>Modelo gráfico</p> 	Marca	GRUNDFOS "o similar"
	Modelo	230S75-2
	Tipo de bomba	Sumergible
	Diámetro de descarga	3"
	440 VCA DE 230 GPM PARA UNA CARGA DINÁMICA TOTAL DE 24m. ACERO INOX. GRADO MARINO 904. BOMBEEA 340 M3 EN 6 HORAS	
	Potencia nominal	7.5 HP
	Caudal	14.5 lps
	Eficiencia	65%
	Tiempo de bombeo	Depende de la duración y período entre retrolavados

**Fig. 3.9 Bomba propuesta**

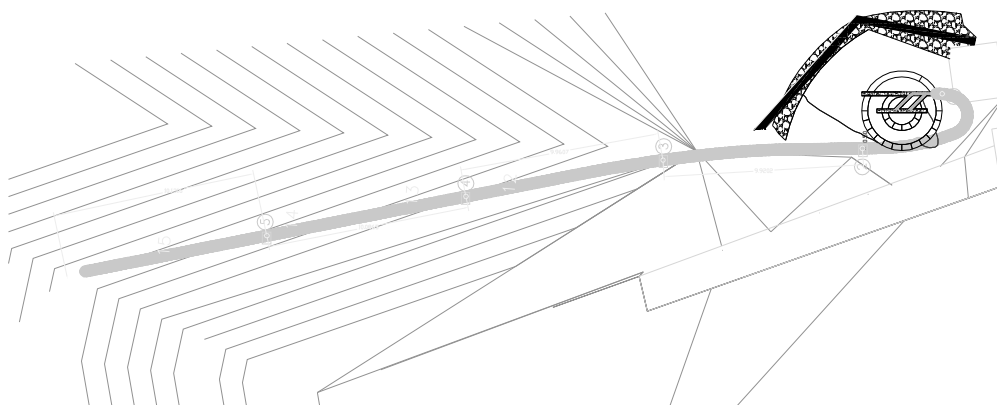
### 3.3. TUBERÍA DE CONDUCCIÓN

La tubería de conducción no será nueva, sino que se adecuará una de las que se encuentran instaladas, retirando las dos sobrantes, ya que durante el reconocimiento en sitio se observó que cuenta con las características para poder seguir cumpliendo la función de conducción.

La tubería ya instalada es de polietileno de alta densidad de un diámetro de 75mm (3") y se encuentra apoyada sobre muertos de concreto cada 10 m entre si.

La tubería de conducción estará unida al cabezal de descarga que se encuentra apoyado sobre el sistema de vigas, la unión es una ampliación (reducción) de 75mm (3") a 100mm (4") que es el diámetro de la tubería que se encuentra instalada.

Cárcamo de bombeo



**Fig. 3.9 Tubería de conducción**

La tubería de conducción tiene una longitud de 105.85m desde la conexión con el múltiple hasta la entrada al tanque de almacenamiento de agua salada, los detalles de conexión y el despiece se muestran en los planos correspondientes.

### 3.3. TANQUE DE REGULARIZACIÓN DE AGUA SALADA

El tanque de almacenamiento de agua salada que se propone tendrá una capacidad de  $30\text{m}^3$ , el motivo por el cual la capacidad es menor con respecto a la capacidad instalada, es que se contará con un sistema de recirculación de agua que disminuirá considerablemente el caudal regulado de agua salada.

El tanque de almacenamiento de agua salada estará construido en su totalidad por concreto reforzado, y la tapa de registro estará construida de PVC. En el interior del tanque se encontrará una escalera marina para facilitar el acceso para actividades de mantenimiento.

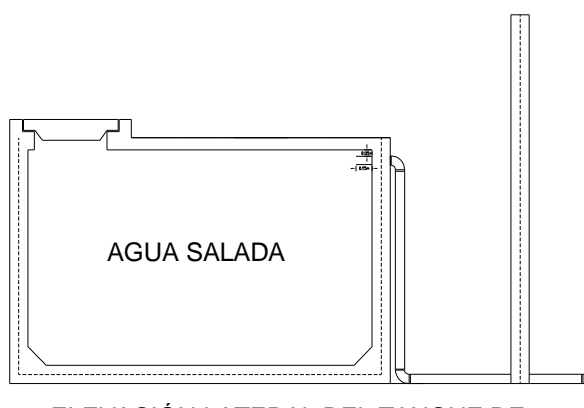


Fig 3.10 Tanque elevado de agua salada

## **CAPÍTULO 4**

### **DISEÑO DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA DULCE**

## CAPÍTULO 4

### DISEÑO DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA DULCE

Para la realización del proyecto ejecutivo referente a la reestructuración del sistema de abastecimiento de agua dulce fue necesario además del estudio de diagnóstico, conocer las condiciones del acuífero, es decir, fue necesario hacer un estudio hidrogeológico con el que se determinó el comportamiento del acuífero y la viabilidad de la reubicación de la obra de captación con el fin de mejorar la calidad del agua extraída. El estudio hidrogeológico se presenta en el siguiente apartado.

#### 4.1. ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO

##### 4.1.1. ANTECEDENTES

El crecimiento saludable de la población es consecuencia directa de las condiciones que privan en el medio en el cual se desarrolla; la expansión de las áreas urbanas sin planeación provoca el deterioro de los recursos naturales, del ambiente. Ante ello, es necesario crear, rehabilitar y conservar el mayor número posible de zonas en las que además de proteger a la flora y fauna, la población pueda disfrutar de tales recursos naturales y, recuperar fuerzas y ánimo para seguir en el quehacer rutinario.

Una de las zonas que merece y se le está dando la atención que requiere para el aumento de los servicios que ofrece, tanto, es el denominado **Centro Mexicano de la Tortuga**, ubicado en el poblado costero de Mazunte, en el municipio de Pochutla Estado de Oaxaca.

La rehabilitación y ampliación del CMT se está realizando de manera planificada, motivo por el cual se efectuó el presente estudio que consistió en obtener información en el sitio, para determinar hasta que cantidad es posible ampliar la extracción de volúmenes de agua dulce y salada que el CMT requiere. También se efectuó una inspección de las instalaciones para su mejoramiento y ampliación, como se consigna en uno de los apartados siguientes.

##### 4.1.2. OBJETIVO Y ALCANCES

Los trabajos realizados en el lapso comprendido del lunes 26 de noviembre al domingo 3 de diciembre, constituyen la información de tipo hidrogeológico y de otros aspectos obtenida como parte de un programa elaborado por el Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, para la rehabilitación y ampliación integral del CMT.

## OBJETIVO

Obtener información básica para elaborar el Proyecto Ejecutivo del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable en el CMT.

## ALCANCES

Para lograr el anterior objetivo fue necesario, además de la recopilación y análisis de la información existente, obtener aquella propia del Centro y sus alrededores, necesaria para proponer y seleccionar alternativas de solución.

Las actividades de tipo hidrogeológico realizadas fueron las siguientes:

- Inventario de las captaciones existentes en el poblado y sus alrededores, compilando de ellas sus características constructivas, de equipamiento y de operación.
- Reconocimiento de campo para determinar las características hidrogeológicas de las rocas, apoyándose en sus atributos físicos de índole textural y estructural.
- Medición de los parámetros físico-químicos de conductividad y pH, a partir de cuyos valores, específicamente el primero, es posible definir, en orden de magnitud, la salinidad del agua.
- Realización de una prueba de productividad consistente en bombear agua del pozo hasta agotarlo o hasta que alguna incidencia lo impida. Analizando los resultados de la prueba es posible obtener el valor de la permeabilidad, en unidades de volumen contra unidad de tiempo, por ejemplo, metros cúbicos por día.
- Realización del perfil de conductividad en las norias Maz-1 y Maz-2.
- Prueba de aforo en el cárcamo de bombeo de agua salada.

Además de las anteriores actividades se efectuaron otras, consistentes en aspectos relacionados con las instalaciones del Centro, tanto las correspondientes a los criaderos de tortuga como a los visitantes y personal de servicio, incluyendo el tiradero de residuos sólidos y la planta de tratamiento, tales aspectos fueron los siguientes.

- Descripción del sistema actual; en lo concerniente a las fuentes de abastecimiento, planta de tratamiento y tiradero de residuos sólidos.
- Revisión del equipamiento; estableciendo el grado de conservación de los diferentes dispositivos.
- Observaciones sobre aspectos operativos, indicando la eficiencia de ellos.
- Conclusiones y recomendaciones del diagnóstico.

### 4.1.3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En éste capítulo se analizan los resultados obtenidos en las actividades de campo, para relacionarlos entre sí y obtener las diferentes alternativas que pueden llevar a solucionar el abastecimiento de agua para uso urbano y para las especies de tortugas que se cultivan.

#### 4.1.3.1. ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS.

##### INVENTARIOS DE LAS CAPTACIONES

Esta actividad se desarrolló mediante recorridos de campo, la información obtenida se consignó en la Tabla No. 1. De ella es posible destacar la información siguiente:

- Se identificaron 15 de las aproximadamente 40 captaciones de agua subterránea que existen. Todas las que no se inventariaron son de uso doméstico y extraen, cada una, un volumen de aproximadamente 200 litros diarios.
- Todas son tipo noria y sus profundidades varían de 6 a 16 m, estando ubicadas las más profundas hacía tierra adentro.
- El mayor espesor acuífero cortado es de 4.68 m, y pertenece a la N-1, que proporciona agua potable a la comunidad. Los restantes espesores cortados de acuífero oscilan de poco más de 2 m a algo más de 3 m, siendo 3 las norias que rebasan éste espesor, la norias N-5 (3.27 m), la N14 (3.03) Y la N-15 (3.55 m). La noria que corta el menor espesor de acuífero, de 0.98 m, es la N-6 y a pesar de ello está equipada y alcanza a extraer 1 litros por segundo, dado que se ubica en la porción alta del acuífero y en la intersección de los dos cauces de arroyos; **la noria Maz-1, que le da el agua al Centro, tiene una profundidad de 8.45 m y corta un espesor acuífero de 2.79 m**, siendo ésta y la N-10, las que se ubican mas cerca de la línea de playa.
- En lo que respecta a la conductividad, que mide la salinidad del acuífero, puesto que en la medida en que ésta aumenta también lo hace aquella, no se observa algún patrón que determine que el espesor del acuífero y la cercanía a la costa influye en el valor medido, como se deja ver en la captación Maz-1, cercana a la costa y con un espesor de acuífero atravesado menor a 3 m, la medición de éste parámetro fue de 65  $\mu$ siemens/cm y en la N-1 con un espesor de acuífero de 4.68, su valor fue de 480  $\mu$ siemens/cm, cuando lo lógico es que hubiese sido al revés.
- Las menores profundidades a las que se encuentra el nivel del agua se definen en las norias que se ubican cerca de la línea de costa, entre ellas la Maz-1 y la N-10; las profundidades mayores se detectan en las norias que se localizan hacia las partes más elevadas; como se consigna más adelante, en el apartado correspondiente a distribución de profundidades.
- Las norias más productivas aparentemente son las equipadas, siendo ellas las siguientes: Maz-1, N.1, N-2, N-6, N-11, N-14 Y N-15; todas ellas trabajan 1

hora (3600 s.), a excepción de la Maz-1 y la N-1 que operan 3 y 10 horas, respectivamente (10, 800 y 36,000 s.). Estas norias son las que se ubican hacia las porciones más altas y alejadas de la línea de playa, excepto la Maz-1. Los caudales extraídos en las norias equipadas, son de 1 L/s, y de 4 L/s en la N-1, siendo el volumen extraído por ésta última, de 144 m<sup>3</sup>; todas las otras extraen un volumen diario de 3.6 m<sup>3</sup>; en cambio las restantes norias, que no se encuentran equipadas, extraen cada una un volumen medio diario de 200 litros, el cual multiplicado por las 35 norias, da un volumen diario de aproximadamente 7 m<sup>3</sup>, volumen menor al extraído por las norias equipadas.

- Para complementar el análisis de la información tomada durante el censo, se comenta que durante la época de sequía, la noria Maz-1 no alcanza a proveer los volúmenes de agua que el Centro demanda, por lo que es necesario comprar de 20 a 25 m<sup>3</sup>; tal compra se efectúa al aumentar la demanda del recurso, durante la época de estiaje. De igual manera, el agua del acuífero tiene una cierta salinidad que es percibida por el gusto humano, de allí que la población adquiera agua purificada para beber, utilizando la extraída por las norias para uso doméstico (aseo de la casa, lavado de ropa, riego de plantas, etcétera). En el anexo fotográfico se muestran una imagen de las instalaciones superficiales de cada una de las norias, así como de otros aspectos inspeccionados en el Centro.

#### **4.1.3.2. RECONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO**

Como se mencionó, para conocer los atributos texturales y estructurales de las rocas que son las características que condicionan el comportamiento de ellas ante el agua subterránea y superficial, se realizó un recorrido en el poblado y sus alrededores, incluyendo las rocas que se encuentran constituyendo los promontorios de la línea de costa.

Entre los atributos texturales propios de las rocas no consolidadas se distinguen el tamaño de los componentes, selección, forma y grado de redondez; considerando que a mayor finura menor permeabilidad. Los rasgos estructurales característicos de las rocas consolidadas que interesan al aspecto hidrogeológico son los sistemas de fracturas, si éstas se encuentran rellenas o abiertas, su espaciamiento y su inclinación, así como el espesor de la capa de la roca que ha sido afectada por el intemperismo.

Los resultados del reconocimiento indican la ocurrencia de dos tipos de rocas, metamórficas y sedimentarias continentales, cuyas características físicas se exponen a continuación.

#### **ROCAS METAMÓRFICAS**

Son rocas sedimentarias marinas depositadas en ambiente costero (margas, lutitas, areniscas y areniscas conglomeráticas, así como rocas intrusivas ácidas e intermedias y tobas ácidas, riolíticas) que fueron sometidas a altas presiones y temperaturas, con inyección de fluidos, al ubicarse en las raíces profundas de las cadenas de montañas plegadas; cambiando su estructura, textura y composición química.

La alta compacidad que exhiben y la resistencia de la mayoría de los minerales cuarzo feldespáticos que constituyen estas rocas, a ser degradados por los agentes erosivos, tanto físico como químicos y biológicos, determina que el espesor de roca

intemperizada sea de unos cuantos metros; sin embargo, los sistemas de fracturas que las afectan, pueden constituir verdaderos drenes por donde el agua subterránea circula preferentemente, si las fracturas se encuentran limpias y son lo suficientemente amplias; aspecto que parece no ocurrir en el área. Hidrogeológicamente constituyen las fronteras verticales y el basamento del acuífero.

## **ROCAS SEDIMENTARIAS CONTINENTALES**

Están constituidas por sedimentos granulares del tamaño de limos y arenas, ocurriendo también algunos lentes de gravas, la mezcla granulométrica en diferentes proporciones, determina que su permeabilidad sea cualitativamente baja. Hidrogeológicamente constituye el acuífero del área, el cual, de acuerdo a las excavaciones para construir las norias, la granulometría de las arenas es fina y tiene un espesor máximo de unos 15 metros.

## **ACUÍFERO DEL ÁREA**

Se aloja en los sedimentos granulares principalmente del tamaño de arenas que rellenan una depresión originada en rocas metamórficas, eventualmente integran a fracciones de ésta roca, cuando se encuentra metamorfozada. Su superficie acuífera define burdamente un triángulo equilátero, con uno de sus lados paralelo a la línea de costa. Sus máximos espesores con "agua dulce" se estiman en unos 15 metros, como se acotó anteriormente.

El origen de la depresión donde ocurren las arenas que alojan al acuífero, debió de haber sido un sistema de fracturas que fue acentuado por la erosión y posteriormente relleno con sedimentos granulares.

La extendida salinidad en el acuífero evidenciada a través de las norias, tanto en las ubicadas a unos 100 m de la línea de costa como de las que se localizan a más de 700 m de ella y el fondo del acuífero que cortan ubicado a más de 6 msnm, evidencia que toda el área donde hoy se encuentra el acuífero, estuvo alguna vez cubierto por el mar, de allí la salinidad de las arenas, que aún no han sido lavadas por el agua dulce que se infiltra y escurre hacia el mar.

## **RECARGA**

La recarga que el acuífero recibe es producto de la infiltración de parte de la precipitación que se sucede tanto en la superficie acuífera, como en las rocas metamórficas que constituyen la pequeña cuenca donde se aloja el acuífero y que mide un máximo de 6 km<sup>2</sup>, área que se reduce a una tercera parte si se toma en cuenta únicamente la subcuenca en donde se ubica el poblado de Mazunte.

## **DESCARGA**

Su descarga es a través de aproximadamente 40 norias que en conjunto extraen un volumen diario de 180 m<sup>3</sup>, de los cuales el 79% (144 m<sup>3</sup>) corresponde a la extracción de la captación N-1, que abastece de agua potable a la comunidad. El volumen total equivale a un caudal de 2.1 L/s, extraído durante las 24 horas; el cual se considera pequeño, pero se tiene que tomar en cuenta la también reducida superficie de la cuenca; la descarga se complementa con un flujo subterráneo hacia el mar, a través de la línea

de costa.

## PIEZOMETRÍA

La representación piezométrica del acuífero se lleva a cabo a través de las curvas de igual profundidad a los niveles del agua y las curvas de igual elevación con respecto al nivel medio del mar (equipotenciales). Su elaboración implica la configuración, en el primer caso de la profundidad a la que se encuentra el agua en cada captación a partir de la superficie y las equipotenciales se elaboran, al realizar similar operación con la elevación calculada para cada profundidad.

## CURVAS DE IGUAL PROFUNDIDAD A LOS NIVELES DEL AGUA

La curva de menor profundidad, 3 m, es la más cercana a la línea de costa, y desde allí los niveles del agua se profundizan rápidamente hacia el poniente y oriente, hasta 10m en la primera latitud y hasta 8 m hacia el oriente, en tramos de 200 y 250 m, respectivamente; hacia el norte las curvas presentan una concavidad y aumentan su profundidad suavemente, siguiendo la hondonada que dibuja el paisaje topográfico del área, de tal manera, que la profundidad puntual de 9 m (N-S), se presenta a unos 800 m de la línea de costa.

## EQUIPOTENCIALES

Las curvas equipotenciales se definen desde 2 hasta 9 msnm, ésta última en las partes altas del acuífero. Cercana a la línea de costa el gradiente hidráulico subterráneo es de 0.03, esto es, desciende 3 m por cada 100 m; mientras que en la porción media el gradiente es hasta de 0.004, cifra que representa 0.4 m por cada 100 m, evidenciando un remanso, debido a una amplia hondonada, a causa de que el basamento es sensiblemente horizontal. Las líneas de flujo indican que éste se lleva a cabo de las partes altas a las bajas, fluyendo el agua a la línea de costa.

Los afloramientos de las rocas metamórficas se definen con cierta aproximación por la curva topográfica 20 y su influencia en la alimentación al acuífero, se manifiesta por la concavidad de las curvas equipotenciales en las cercanías de los afloramientos, específicamente en donde se ubican las captaciones N-8, N-9, Maz-1 y Maz-2.

### 4.1.3.3. PRUEBA DE PRODUCTIVIDAD EN LA CAPTACIÓN MAZUNTE-1

Para conocer en orden de magnitud la productividad del acuífero y en particular la de la captación Maz-1, se realizó una prueba de bombeo consistente en operar la bomba del pozo durante un tiempo de 150 minutos y medir a intervalos predeterminados el descenso del nivel dinámico. El bombeo cesó debido a que se llenó el tanque de almacenamiento y ya la curva descenso-abatimiento manifestaba un cambio de pendiente para adoptar una línea recta, indicativo de que el agotamiento del pozo se iniciaba, como lo manifiesta la reducción del caudal de extracción en los datos consignados en la **Tabla No.2**; representándose en la **Gráfica No 1** el cálculo de la transmisividad a partir de la curva descenso-abatimiento y aplicación de la igualdad de Jacob para acuíferos libres; consignándose en la Tabla No. 3, los datos obtenidos durante la prueba de aforo.

El valor de la transmisividad resultó de  $1.584 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ ., el cual, dividiéndolo entre el espesor remanente de acuífero de 1.40m (8.45-7.05), da una permeabilidad de  $1.13 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ , propia de arenas finas. Los resultados de la prueba pueden visualizarse de otra forma al considerar que durante el tiempo de bombeo de 150 minutos, se extrajo un volumen de  $9 \text{ m}^3$  y el volumen almacenado en la noria disminuyó únicamente  $2.54 \text{ m}^3$ , el complemento de  $6.46 \text{ m}^3$  fue proporcionado por el acuífero. En base a tal resultado se podría pensar que puede obtenerse un volumen diario de  $62 \text{ m}^3$ , situación que no puede presentarse, puesto que a mayor tiempo de bombeo el caudal disminuye al disminuir el espesor del acuífero hasta que el nivel dinámico llega al fondo, como tal sucede en esta misma captación al aumentar la demanda de agua en tiempo de sequía, por lo que deben de comprar agua para complementar la demanda.

#### 4.1.3.4. PRUEBA DE PRODUCTIVIDAD EN EL CÁRCAMO DE AGUA SALADA

Para conocer el caudal que llega al tanque en donde se almacena el agua de mar, se efectuó una prueba consistente en operar la bomba del cárcamo y medir el gasto que llega al tanque; el cual resultó de 7.28 L/s, y se llevó a cabo midiendo el tiempo en que el agua llegó a un determinado tirante en un recipiente; realizando varias veces la operación según se observa en la **Tabla No.4**. En la tabla se consigna también las características de la bomba y de los tubos de succión -y salida, los cuales son:  $\emptyset$  succión =  $3 \frac{1}{2}$ " ,  $\emptyset$  descarga =  $1 \frac{1}{2}$ " , siendo la potencia de la bomba de 6 Hp; de acuerdo a tales medidas el sistema está trabajando con una alta ineficiencia, dado que el tanque se ubica a una altura de 28 m.

Teóricamente el cálculo de la potencia del motor sería:  $\text{Hp} = Q \times \text{CDT} / 76 \times \eta$ , en donde:

- $\eta$  = eficiencia de la bomba, la cual debe de ser de un mínimo del 80%, dado que se encuentra al nivel del mar.
- CDT = Carga dinámica total, la que se estableció en 38 m, 28 m es la altura a la que se encuentra el tanque con respecto a la bomba y 10m considerados como pérdidas por fricción y cambios de dirección, que es demasiada pérdida, pero se desconoce el número y ángulo de codos y si la tubería esta semi obturada por precipitados de sales.
- 76 es el factor de conversión de kilográmetros a Hp.  
 $\text{Hp} = 8 \times 38 / 60.8 = 5$ .

#### 4.1.3.5. PRUEBA DE CONDUCTIVIDAD EN LA CAPTACIÓN MAZ-1

Para conocer el perfil de la conductividad, en todo el espesor del acuífero que corta la noria, se efectuó una medición de la conductividad, sumergiendo el conductímetro desde la superficie hasta el fondo y midiendo la conductividad a cada 10 centímetros. En las **gráficas No. 2, 3 Y 4**, se muestran los perfiles elaborados con las mediciones efectuadas; son 3 en razón a que se realizaron 3 mediciones, en general, se llevan a cabo 2 y si salen distintas se efectúa otra, en la **Tabla No. 5** se presentan los valores medidos. Se observa que las gráficas No. 1 y 3 tienen semejanza en sus perfiles, aunque las mediciones se defasan de 5 a 10  $\mu\text{siemens-cm}$ , la semejanza se da en que el aumento de la conductividad es continua desde la superficie hasta el fondo, hacía donde aumenta la

conductividad y la salinidad, teniendo 72.5  $\mu$ siemens-cm.

#### **4.1.3.6. PRUEBA DE CONDUCTIVIDAD EN LA CAPTACIÓN MARZ-2**

De igual manera, para definir el perfil de conductividad en el espesor de acuífero de la noria Maz-2, se llevaron a cabo dos series de mediciones, las cuales se consignan en la **Tabla No. 6** y en las **gráficas No. 5 y 6**, los perfiles elaborados. Se observa en ellos que los valores de resistividad varían de una a otra prueba, pero en los dos se verifica que los valores aumentan a profundidad, siendo mas acercados a la realidad los de la prueba No. 2 (gráfica No.6), los cuales varían de 265 a 395  $\mu$ siemens-cm como máximo.

#### **4.1.4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

Expuestos los trabajos realizados y sus resultados, se realiza a continuación un análisis de éstos últimos, iniciando en el orden en que fueron expuestos y se establecen las condiciones para ubicar la captación de agua dulce y rehabilitación del cárcamo de agua salada.

##### **4.1.4.1. CENSO Y UBICACIÓN DE LA NUEVA CAPTACIÓN DE AGUA DULCE**

Las captaciones se encuentran ampliamente distribuidas en la superficie acuífera, y algunas distan una de otra aproximadamente 50m, al considerar las otras 25 que faltaron de censar, por el hecho de no estar equipadas y extraer un volumen de aproximadamente 200 litros cada una; por tal motivo, de querer construirse otra captación, habría dificultad para elegir el sitio, dado que se tiene que llevar a una distancia mínima de 400 m de la línea de costa, para evitar en lo posible la interfase salina y estar cerca de una captación ya existente.

##### **4.1.4.2. SALINIDAD DEL ACUÍFERO**

El agua del acuífero tiene salinidad, la que parece no afectar a las tortugas de agua dulce; por lo que bajo ese aspecto, sí se puede construir una captación para surtir a los terrarios y para usarla en el servicio doméstico, no así para beberla y preparar los alimentos, para ello habría que comprar agua purificada, al igual que la población de Mazunte o instalar una planta purificadora a base de ósmosis inversa, si es que la demanda lo amerita.

##### **4.1.4.3. SUSTENTABILIDAD DE LA CALIDAD DEL AGUA Y DEL VOLUMEN REQUERIDO**

Para dictaminar sobre éste aspecto es necesario definir la geometría de la interfase salina y del basamento del acuífero, esto es, la ubicación a profundidad de las rocas metamórficas, para darle la longitud debida a la obra y entender si la salinidad que actualmente tiene el acuífero es congénita al mismo, es decir, adquirida cuando la bahía estuvo bajo el nivel del mar, o si es debida a la prolongación de la interfase salina; éste aspecto es importante porque si la salinidad es originada por la interfase salina actual, ésta aumentaría en pocos años y estaría acelerada por el aumento de la extracción.

## **SUSTENTABILIDAD DEL VOLUMEN REQUERIDO**

El caudal requerido de agua dulce, en función de la necesidad de recambio diario en los criaderos, es de 19.007 m<sup>3</sup>/día, a este volumen habría que sumar el de servicio tanto para los empleados del Centro como para los visitantes.

Sí existen captaciones que proporcionan este caudal, como las N-1, N-5, N-11, N-14 y N-15, todas ellas con las elevaciones de sus niveles estáticos (NE), ubicados a poco más de 7 msnm y la elevación del NE de la Maz-1 es de 2.34 msnm y aproximadamente un mes después de la época de lluvias, por lo que es de esperarse que tal elevación disminuya conforme avanza la época de estiaje; todo esto habrá de tomarse en cuenta en la elección del sitio.

Por otro lado, el reacondicionamiento del Centro va a propiciar el crecimiento del poblado de Mazunte, al igual que la demanda de agua dulce y no existe entre la población el entendimiento de la necesidad de usar el agua razonablemente, máxime si éste recurso está limitado en la cuenca, por lo que habría de interesar a la población en la actividad del Centro, dado que es el principal atractivo del área y toda la población podría participar de él, como actualmente lo hacen, dando alojamiento a los visitantes, pero siguiendo la normatividad de conservación del recurso definida por el Centro.

## **TRABAJOS ADICIONALES REQUERIDOS PARA DEFINIR EL SITIO Y DISEÑO DE LA CAPTACIÓN**

Para establecer un sitio sustentable para que la captación conserve al menos la salinidad actual y el caudal requerido, es necesario efectuar un estudio geofísico por algún método geoeléctrico para identificar a detalle el basamento constituido por las rocas metamórficas y la geometría de la interfase salina. Los sondeos se distribuirán a partir de la línea de playa hacia tierra adentro, la penetración real de investigación puede ser hasta 50 m o un poco más, si ésta se considera mínima y el número de ellos de unos 30 como máximo; dado que los primeros sondeos estarán alejados unos 100 m de la playa y los posteriores a 50 m, y de acuerdo a la profundidad de como vayan identificándose ambos elementos se podrá aumentar la distancia.

El basamento de rocas metamórficas se identifica por su alta resistividad (>100  $\Omega$ -m), la interfase salina por la baja resistividad (< a 5  $\Omega$  -m), estando el acuífero de agua dulce con un valor intermedio. La distribución de tales sondeos deberá reprogramarse en el campo, de acuerdo a los resultados que se vayan obteniendo.

### **4.1.4.4 REHABILITACIÓN DEL CÁRCAMO DE AGUA SALADA**

Se considera que a pesar de lo rústico de su construcción, el oleaje no ha deteriorado significativamente a ésta estructura, por lo que su rehabilitación estaría supeditada de manera mediata, a cambiar la bomba por una de potencia adecuada al trabajo que se requiere efectuar, así como la línea de conducción y proteger la succión con un filtro para que no incluya conchas y arenas.

#### 4.1.4.5. REQUERIMIENTOS

El volumen demandado para el recambio diario del agua en los estanques, piletas y acuarios es de 911 m<sup>3</sup>; (10.5 L/s durante 24 horas); sin embargo, recomiendan el recambio 3 a 4 veces diariamente, por lo que de acuerdo a esta última cifra, la demanda aumenta a 3644 m<sup>3</sup>, esto es, se requiere un caudal de 42 L/s durante las 24 horas para cubrir tal demanda.

#### 4.1.5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO

##### 4.1.5.1. CONCLUSIONES

- Los resultados de los estudios realizados en el Centro Mexicano de la Tortuga, permiten deducir que sí es posible obtener un caudal del orden de 1 L/s mediante una captación que opere durante un máximo de 8 horas.
- La calidad del agua que se obtendría es apta para la crianza de las tortugas de agua dulce, mismas que toleran una cierta salinidad, así como para cubrir la demanda de las actividades domésticas y recreativas del personal de servicios y visitantes del Centro.
- El sitio donde se construirá la nueva captación y su diseño (profundidad, diámetros y características del ademe) serán determinados una vez que se conozca la geometría de la interfase salina y la profundidad del basamento.
- Para lograr la sustentabilidad del Centro se debe hacer partícipe a la población de Mazunte en su operación.

##### 4.1.5.2. RECOMENDACIONES

- Es conveniente ofrecer educación ambiental a los habitantes de Mazunte mediante pláticas, en el uso razonable del agua del acuífero, servicio a los visitantes, recolección de basura, cuidado de la flora y fauna, etcétera, haciéndolos partícipes también en la proveeduría de los insumos que el Centro requiere, principalmente en temporada alta de visitantes (frutas, aves de corral y sus productos, etcétera); así se procuraría la conservación de su entorno.
- Aforar el cárcamo con la bomba actual, con lo cual se probaría la capacidad de ambos elementos, el caudal que extraiga se tirará a unos 10 m del cárcamo. Al reinstalarla y mientras se realizan los cambios definitivos, se protegerá la succión colocándola en las cajas que se encuentran en el cárcamo, arriba de una cama de filtro de grava de unos 20 centímetros de espesor y cubriéndola con el mismo filtro, el cual tendrá un tamaño de 1/8" de diámetro y ser de material

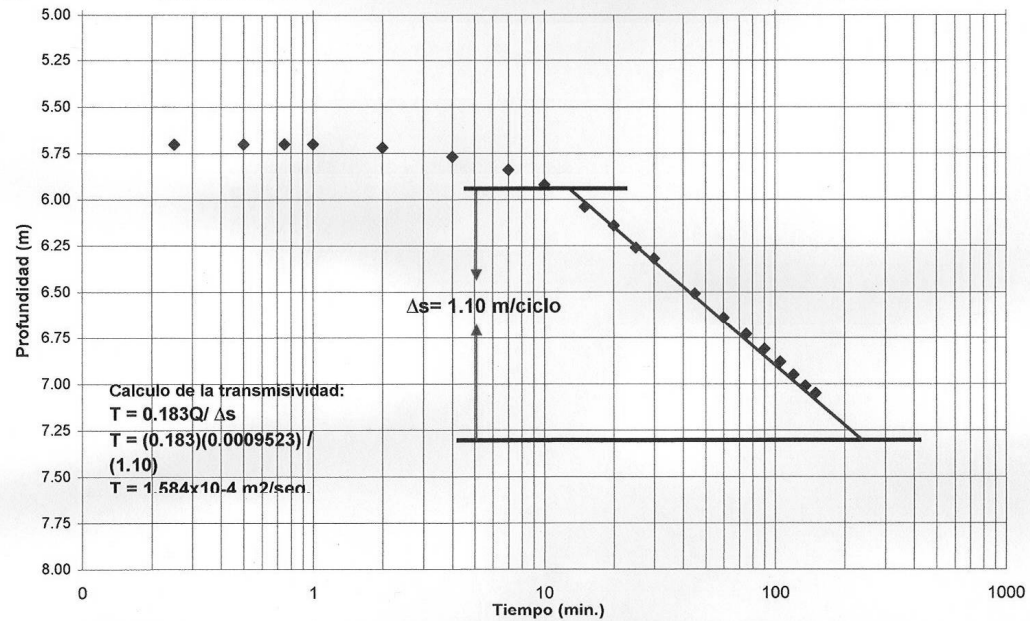
inerte (cuarzo).

- Llevar a cabo una exploración geofísica para definir la geometría del acuífero y de la interfase salina, así como las profundidades a la que se ubica la roca impermeable. El número de sondeos se considera en un máximo de 30 y la profundidad de investigación en unos 50 m; su distribución se apegará a la forma de la superficie acuífera.

**DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO Y RECIRCULACIÓN DE AGUA  
EN EL CENTRO MEXICANO DE LA TORTUGA, MAZUNTE OAXACA**



**GRAFICA No.1. CURVA DE LA ETAPA DE ABATIMIENTO DE LA PRUEBA DE BOMBEO  
REALIZADA EN LA CAPTACIÓN MAZ-1**



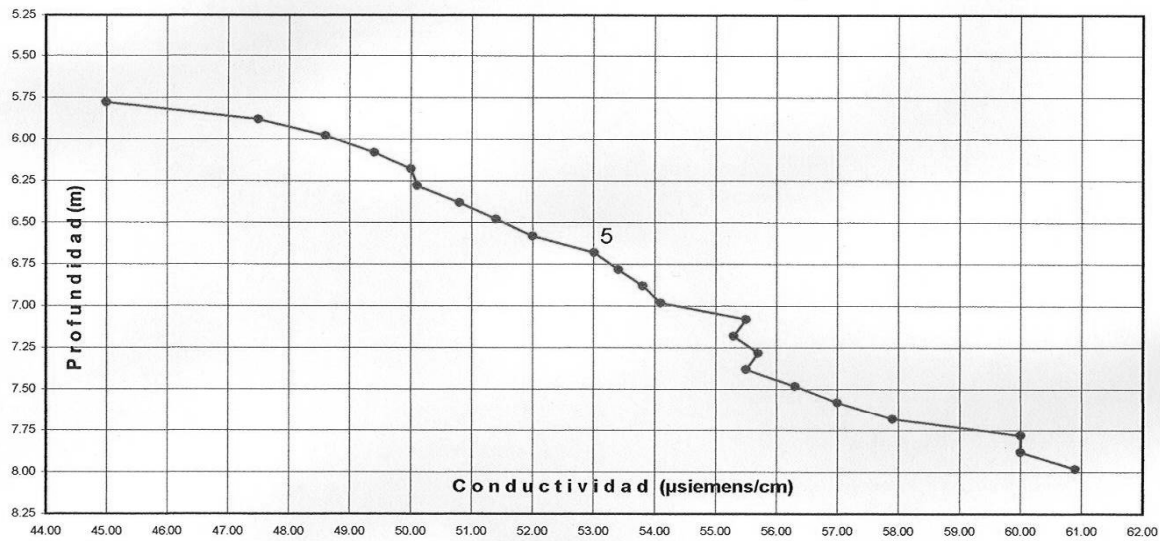
Q= 0.9523lps =  
 0.0009523 m<sup>3</sup>/seg,  
 Fecha: 29 de noviembre  
 del 2006  
 Hora de inicio: 12:30 p.m.  
 Tiempo de bombeo = 150  
 min.

Nota.- Debido a que el nivel dinámico no se alcanzó a establecer durante la prueba, por la razón de que el tanque de almacenamiento de agua dulce se llenó, la transmisividad obtenida se puede acercar al valor real del medio donde está alojado el acuífero.

Convenio de Colaboración CONANP/CC/SRO/001-2006  
 División de Ingenierías Civil y Geomática de la Facultad de Ingeniería, UNAM  
 Cd. Universitaria, Coyoacán, México, D.F. 04510 Tels. (55) 5622-8004 y 5622-8007 Fax (55) 5622-8025



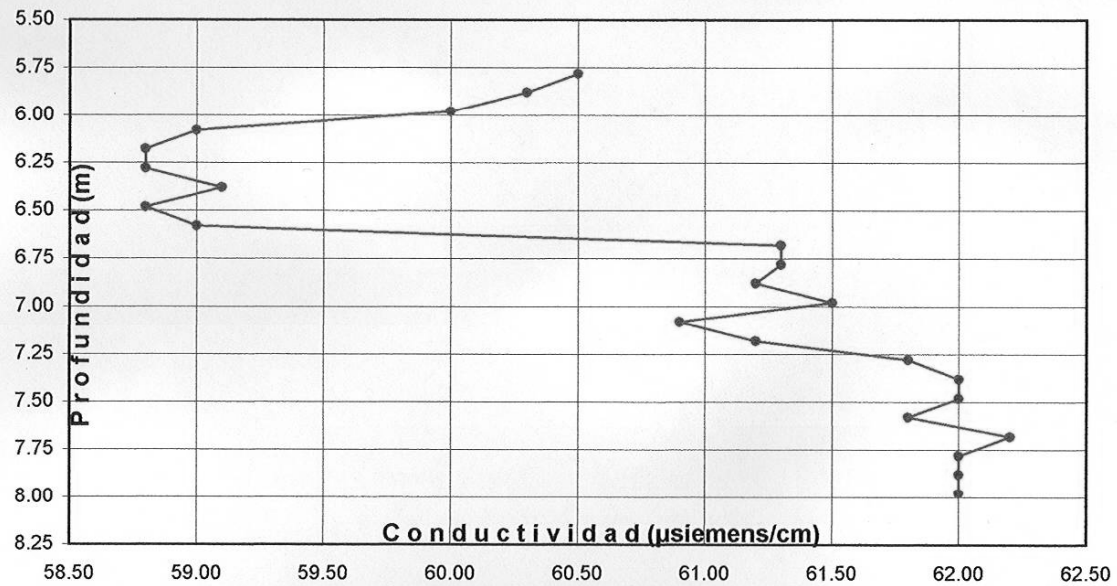
**GRÁFICA No. 2. PERFIL DE CONDUCTIVIDAD EN EL AGUA DE LA NORIA MAZ-1 (Agua Dulce)**  
PRUEBA 1 (29 de nov. De 2006)



Convenio de Colaboración CONANP/CC/SRO/001-2006  
División de Ingenierías Civil y Geomática de la Facultad de Ingeniería, UNAM  
Cd. Universitaria, Coyoacán, México, D.F. 04510 Tels. (55) 5622-8004 y 5622-8007 Fax (55) 5622-8025



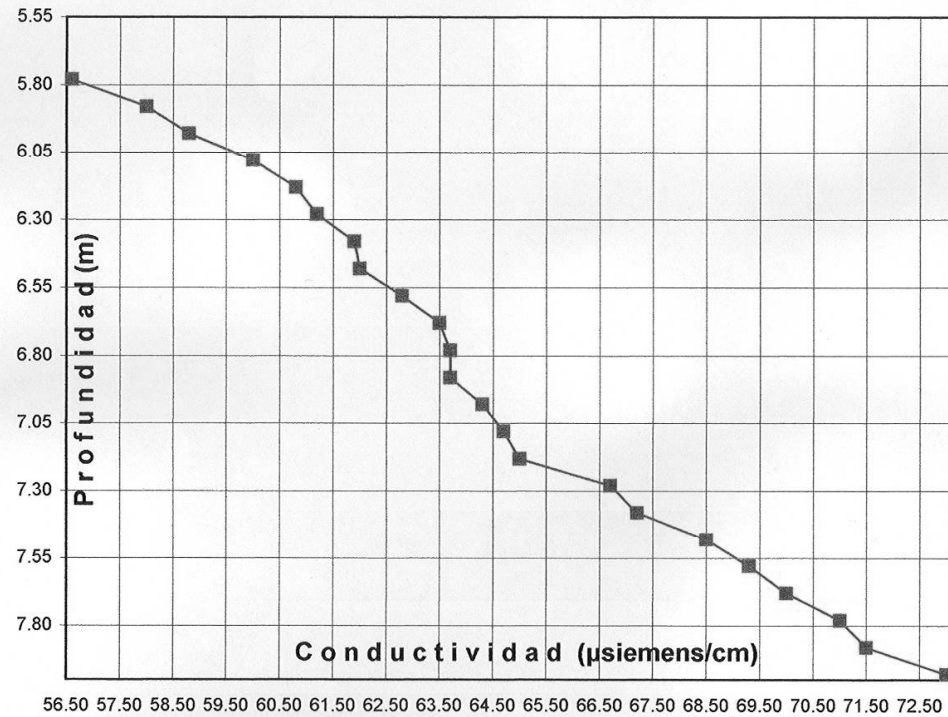
**GRÁFICA No.3. PERFIL DE CONDUCTIVIDAD EN EL AGUA DE LA NORIA MAZ-1 (Agua Dulce PRUEBA 2 (29 de nov. De 2006)**



Convenio de Colaboración CONANP/CC/SRO/001-2006  
División de Ingenierías Civil y Geomática de la Facultad de Ingeniería, UNAM  
Cd. Universitaria, Coyoacán, México, D.F. 04510 Tels. (55) 5622-8004 y 5622-8007 Fax (55) 5622-8025



GRÁFICA No. 4. PERFIL DE CONDUCTIVIDAD EN EL AGUA DE LA NORIA MAZ-1  
PRUEBA 3 (29 de nov. De 2006)



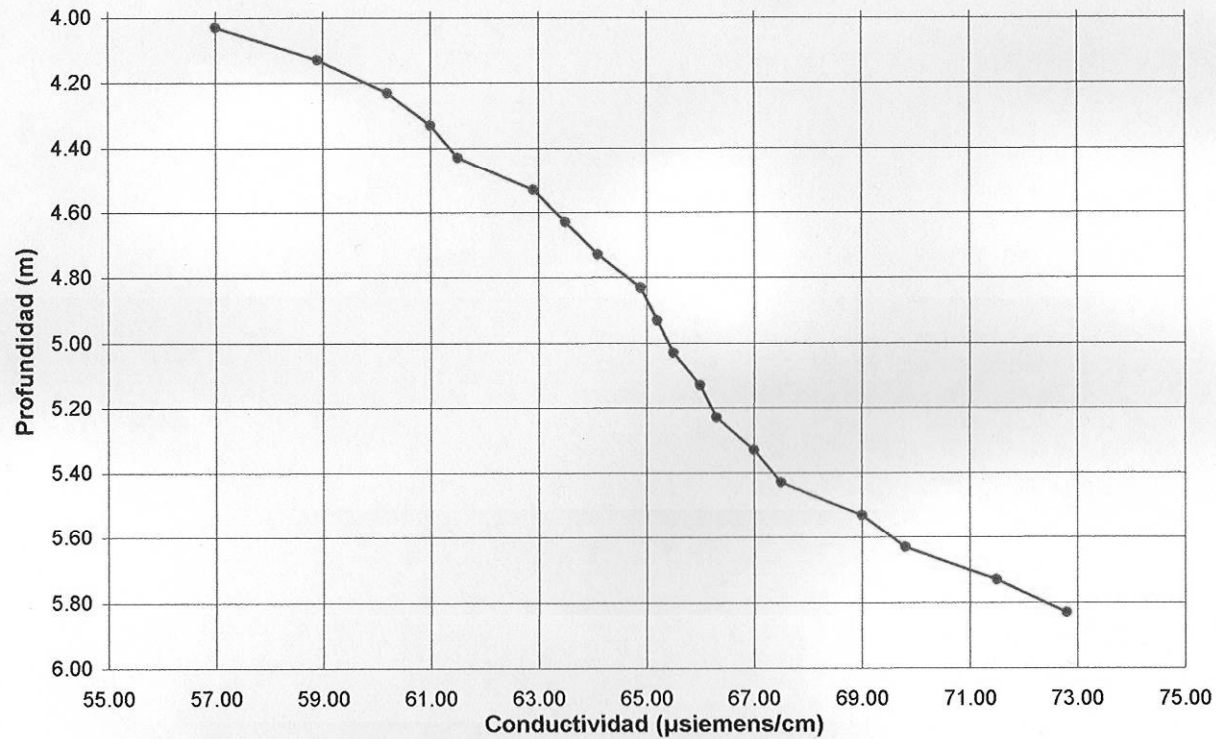
Convenio de Colaboración CONANP/CC/SRO/001-2006  
División de Ingenierías Civil y Geomática de la Facultad de Ingeniería, UNAM  
Cd. Universitaria, Coyoacán, México, D.F. 04510 Tels. (55) 5622-8004 y 5622-8007 Fax (55) 5622-8025



COMISION NACIONAL DE  
AREAS NATURALES  
PROTEGIDAS

**GRÁFICA No. 5. PERFIL DE CONDUCTIVIDAD EN EL AGUA DE LA NORIA MAZ-2 (Agua Salobre)**  
PRUEBA No.1

(28 de nov. de 2006)



Convenio de Colaboración CONANP/CC/SRO/001-2006

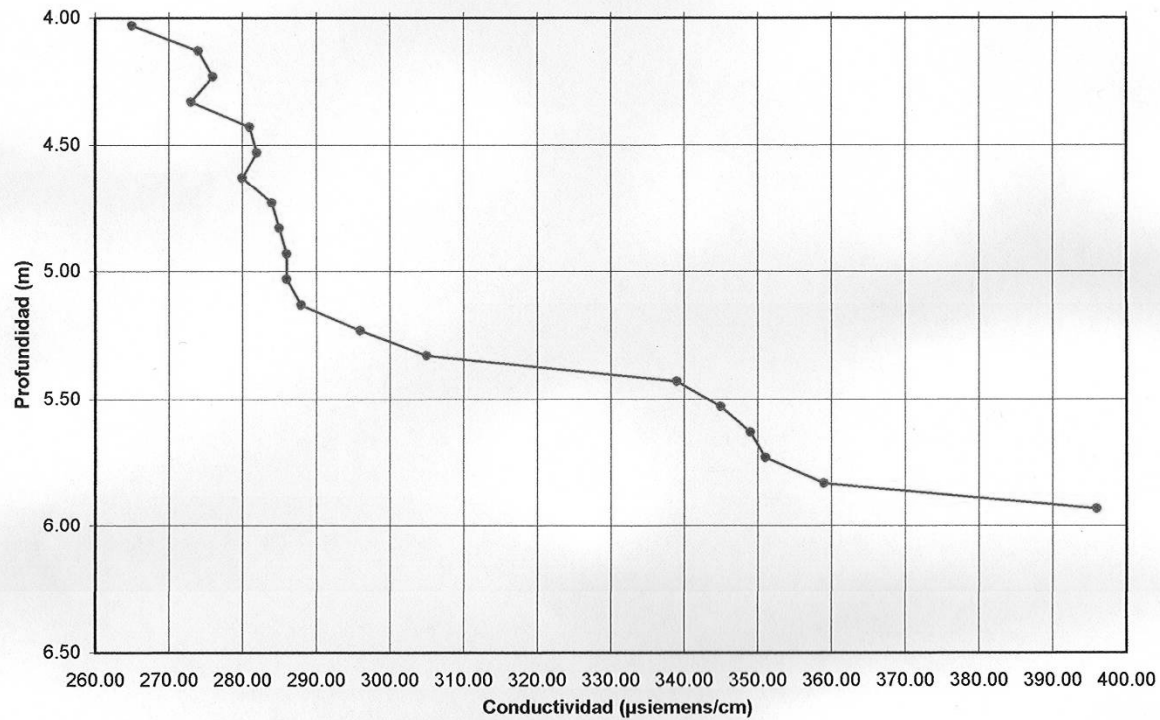
División de Ingenierías Civil y Geomática de la Facultad de Ingeniería, UNAM

Cd. Universitaria, Coyoacán, México, D.F. 04510 Tels. (55) 5622-8004 y 5622-8007 Fax (55) 5622-8025



GRÁFICA No. 6. PERFIL DE CONDUCTIVIDAD EN EL AGUA DE LA NORIA MAZ-2 (Agua Salobre)  
PRUEBA No.2

(28 de nov. de 2006)



Convenio de Colaboración CONANP/CC/SRO/001-2006  
División de Ingenierías Civil y Geomática de la Facultad de Ingeniería, UNAM  
Cd. Universitaria, Coyoacán, México, D.F. 04510 Tels. (55) 5622-8004 y 5622-8007 Fax (55) 5622-8025

**DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO Y RECIRCULACIÓN DE AGUA  
EN EL CENTRO MEXICANO DE LA TORTUGA, MAZUNTE OAXACA**



**TABLA No.1. CENSO DE APROVECHAMIENTOS EN EL CENTRO MEXICANO DE LA TORTUGA EN MAZUNTE, ESTADO DE OAXACA**



No.	Tipo	Coordenadas UTM (NAD27)		Propietario	Uso	Prof. (m)	N.E. (m)	Brocal		Prof. N.E. Desde el suelo (m)	Cota del suelo (m.s.n.m.)	Elev. N.E. (m.s.n.m.)
		Lon(este)	Lat(norte)					0(m)	Altura (m)			
Maz-1	Noria	762399	1733341	Centro Mexicano de la Tortuga	Servicios	8.45	6.00	1.53	0.34	5.66	8.00	2.34
Maz-2	Noria	762532	1733253	Centro Mexicano de la Tortuga	Fuera servicio	6.33	4.27	1.60	0.34	3.93	6.00	2.07
N-1	Noria	762277	1733472	Comunidad de Mazunte	Agua Potable	8.90	5.00	1.60	0.78	4.22	11.50	7.28
N-2	Noria	762237	1733603	Lucía Pérez Mijangos	Doméstico	7.05	5.15	1.50	0.40	4.75	12.00	7.25
N-3	Noria	762154	1733790	Marisela Pérez Carrozzino	Doméstico	16.30	14.85	1.50	0.90	13.95	22.00	8.05
N-4	Noria	762394	1733697	Mendoza Ruiz	Doméstico	9.80	8.34	1.50	0.65	7.69	15.00	7.31
N-5	Noria	762437	1733797	Maximino Canseco Hernández	Doméstico	11.35	8.78	2.20	0.70	8.08	17.00	8.92
N-6	Noria	762313	1733652	Ismael Pedro Enrique	Doméstico	6.72	6.39	0.80	0.65	5.74	13.00	7.26
N-7	Noria	762296	1733549	Adela Pérez	Doméstico	8.00	5.95	0.90	0.60	5.35	12.50	7.15
N-8	Noria	762327	1733457	Adela Wendolain	Doméstico	7.04	5.30	0.70	0.37	4.93	11.00	6.07
N-9	Noria	762407	1733397	Restaurante La Tortuguita	Inactiva	9.80	8.17	2.00	0.56	7.61	10.00	2.39
N-10	Noria	762317	1733286	Francisca Hernández	Doméstico	5.90	4.08	2.00	0.55	3.53	6.00	2.47
N-11	Noria	762165	1733489	Bertoldo Rodríguez	Doméstico	8.40	5.05	1.60	0.60	4.45	12.00	7.55
N-12	Noria	761977	1733474	Fábrica de Cosméticos	Doméstico	13.16	11.60	1.60	0.90	10.70	19.50	8.80
N-13	Noria	762035	1733506	Teresa Carmona	Doméstico	10.50	8.95	1.60	0.30	8.65	16.50	7.85
N-14	Noria	762034	1733313	Gustavo Naranjo Pérez	Doméstico	9.70	7.37	2.00	0.70	6.67	15.00	8.33
N-15	Noria	762065	1733400	Mauro Ordóñez	Doméstico	8.20	5.33	2.00	0.70	4.63	12.50	7.87

Nota: Durante el censo solamente se visitó una cuarta parte de la población de norias, por lo que al volumen diario que se extrae del acuífero se debe agregar 5000 litros, volumen extraído por las 25 norias no censadas, ya que cada una extrae un promedio de 200 litros. El tiempo de operación en la Noria Maz-1, es el promedio medio anual (lluvias/estiaje), ya que en estiaje opera periodos de 25 minutos y paran por agotarse. Durante esta época se compran diariamente de 2 a 3 pipas de 3m<sup>3</sup> c/u.



Convenio de Colaboración CONANP/CC/SRO/001-2006  
División de Ingenierías Civil y Geomática de la Facultad de Ingeniería, UNAM  
Cd. Universitaria, Coyoacán, México, D.F. 04510 Tels. (55) 5622-8004 y 5622-8007 Fax (55) 5622-8025



**DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO Y RECIRCULACIÓN DE AGUA  
EN EL CENTRO MEXICANO DE LA TORTUGA, MAZUNTE OAXACA**



COMISION NACIONAL DE AREA  
NATURALES PROTEGIDAS



**TABLA No. 1 (continúa) CENSO DE APROVECHAMIENTOS EN EL CENTRO MEXICANO DE LA TORTUGA EN MAZUNTE, ESTADO DE OAXACA**

No.	Espesor de acuífero (m)	Conductividad (µsiemens/cm)	Motor	h.p.	Bomba	Ø Succión (")	Ø Descarga (")	Ø Descarga (")	Operación diaria (horas)	Operación diaria (seg)	Q (Ips)	Vol. (Its) día
Maz.1	2.79	65.00	Eléctrico	1.0	Centrífuga	1 1/2	1 1/2		3.0	10800.0	0.9523	10,284.84
Maz.2	2.40	305.00	S/E	---	---				0.00	0.00	0.00	0.00
N-1	4.68	480.00	2 Eléctricos	2.0	Centrífuga	2	2		10.0	36000.0	4.00	144,000.00
N-2	2.30	264.00	Eléctrico	1.0	Centrífuga	1	1		1.0	3600.0	1.00	3,600.00
N-3	2.35	195.00	S/E	--	--	---	Cubeta		---		---	300.00
N-4	2.11	300.00	S/E	---	--	--	Cubeta		--		--	300.00
N-5	3.27	262.00	S/E	--	-	--	Cubeta		---		---	350.00
N-6	0.98	274.00	Eléctrico	1.0	Centrífuga	1	1		1.0	3600.0	1.00	3,600.00
N-7	2.65	340.00	S/E	-	---	---	Cubeta		---		--	200.00
N-8	2.11	404.00	S/E	--	---	--	Cubeta		--		-	200.00
N-9	2.19	1610.00	S/E	--	---	---	---		0.0		0.00	0.00
N-10	02:37	485.00	S/E	---	---	---	Cubeta		--		--	200.00
N-11	3.95	390.00	Eléctrico	1.0	Centrífuga	1	1		1.0	3600.0	1.00	3,600.00
N-12	2.46	278.00	S/E	--	--	--	Cubeta		--		---	200.00
N-13	1.85	324.00	S/E	---	--	---	Cubeta		--		--	100.00
N-14	3.03	400.00	Eléctrico	1.0	Centrífuga	1	1		1.0	3600.0	1.00	3,600.00
N-15	3.57	390.00	Eléctrico	1.0	Centrífuga	1	1		1.0	3600.0	1.00	3,600.00



Convenio de Colaboración CONANP/CC/SRO/001-2006  
División de Ingenierías Civil y Geomática de la Facultad de Ingeniería, UNAM  
Cd. Universitaria, Coyoacán, México, D.F. 04510 Tels. (55) 5622-8004 y 5622-8007 Fax (55) 5622-8025





**TABLA No. 2. AFORO DEL CAUDAL DE EXTRACCIÓN EN LA CAPTACIÓN Maz-1**

Lecturas	Tiempo de captación (seg)	$\Pi$	r (cm)	r (m)	r <sup>2</sup> (m <sup>3</sup> )	h (cm)	h (m)	Volumen captado (m <sup>3</sup> )	Volumen captado -1	Caudal de extracción (lps)	
1	5.50	31,416	14.00	0.14	0.0196	8.50	0.0850	0.0052	5.23	0.9516	
2	12.40	31,416	14.00	0.14	0.0196	21.00	0.2100	0.0129	12.93	10,428	
3	11.40	31,416	14.00	0.14	0.0196	18.50	0.1850	0.0114	11.39	0.9992	
4	8.00	31,416	14.00	0.14	0.0196	12.80	0.1280	0.0079	7.88	0.9852	
5	13.00	31,416	14.00	0.14	0.0196	20.30	0.2030	0.0125	12.50	0.9615	
6	13.80	31,416	14.00	0.14	0.0196	21.20	0.2120	0.0131	13.05	0.9459	
7	14.20	31,416	14.00	0.14	0.0196	22.00	0.2200	0.0135	13.55	0.9540	
8	17.20	31,416	14.00	0.14	0.0196	23.60	0.2360	0.0145	14.53	0.8449	
9	13.00	31,416	14.00	0.14	0.0196	18.70	0.1870	0.0115	11.51	0.8857	
<b>Notas</b>									Volumen promedio de extracción (Ips)		0.9523

Se utilizó un bote de 19 litros

Se usó esta fórmula ( $W=\pi \times r^2 \times h$ )

para calcular el volumen de agua colectado en el bote durante el tiempo indicado, puesto que había dificultad para llenarlo



Convenio de Colaboración CONANP/CC/SRO/001-2006  
División de Ingenierías Civil y Geomática de la Facultad de Ingeniería, UNAM  
Cd. Universitaria, Coyoacán, México, D.F. 04510 Tels. (55) 5622-8004 y 5622-8007 Fax (55) 5622-8025



**DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO Y RECIRCULACIÓN DE AGUA  
EN EL CENTRO MEXICANO DE LA TORTUGA, MAZUNTE OAXACA**



COMISIÓN NACIONAL DE ÁREAS  
NATURALES PROTEGIDAS



**TABLA No.3. DATOS DE LA PRUEBA DE BOMBEO EFECTUADA EN LA CAPTACIÓN MAZ-1**

CAPTACIÓN:		MAZ-1 (Agua Dulce). USUARIO: CENTRO MEXICANO DE LA TORTUGA		
UBICACIÓN:		Coordenadas UTM (NAD27)		762399 1733341
PROF.:	8.11 m	Motor:	Eléctrico 220/440	
DIAM. SUCCIÓN:	1. Spulg.		Trifásico	
DIAM. DESCARGA:	1.5 pulg.	H.P.	2.00	
DIAM. DE ADEME:	1.53 m.	Bomba:	Centrifuga	
<b>ETAPA DE ABATIMIENTO</b>				
FECHA:	29 DE NOVIEMBRE DE 2006			
HORA INICIO:	12:30 p.m.			
DURACIÓN:	2 Shn.			
HORA TERMINACIÓN:	15:00:00 p.m.			
N.E.:	5.66m.			
CAUDAL:	0.9523 lps			
N.D.:	7.05 m			
ABATIM. TOTAL:	5.21m.			
LECTURA No.	TIEMPO (min.)	PROF. AGUA (m.)	ABAT.	
N.E	0.00	5.66	0.00	
O	0.00	5.66	0.00	
1	0.25	5.70	0.04	
2	0.50	5.70	0.00	
3	0.75	5.70	0.00	
4	1.00	5.70	0.00	
5	2.00	5.72	0.02	
6	4.00	5.77	0.05	
7	7.00	5.84	0.07	
8	10.00	5.92	0.08	
9	15.00	6.04	0.12	
10	20.00	6.14	0.10	
11	25.00	6.26	0.12	
12	30.00	6.32	0.06	
13	45.00	6.51	0.19	
14	60.00	6.84	0.13	
15	75.00	6.73	0.09	
16	90.00	6.81	0.08	
17	105.00	6.88	0.07	
18	120.00	6.95	0.07	
19	135.00	7.01	0.06	
20	150.00	7.05	0.04	
Abatimiento total			1.39	



Convenio de Colaboración CONANP/CC/SRO/001-2006  
División de Ingenierías Civil y Geomática de la Facultad de Ingeniería, UNAM  
Cd. Universitaria, Coyoacán, México, D.F. 04510 Tels. (55) 5622-8004 y 5622-8007 Fax (55) 5622-8025





**TABLA No. 5. MEDICION DE LA CONDUCTIVIDAD EN LA NORIA Maz-1 (Agua Dulce)**



P.T. (m) = 8.45      **COORDENAD UTM(NAD27)      762399      173341**  
 N.E. (m) = 6.00  
 Alt. Brocal (m) = 0.34

Lecturas	Profundidad <i>lml</i>	Profundidad al T.N. <i>lml</i>	29/nov.12006	29/nov.12006	29/nov.12006
			Prueba No.1 usiemens/cm	Prueba No.2 usiemens/cm	Prueba No.3 usiemens/cm
1	6.12	5.78	45.00	60.50	56.60
2	6.22	5.88	47.50	60.30	58.00
3	6.32	5.98	48.60	60.00	58.80
4	6.42	6.08	49.40	59.00	60.00
5	6.52	6.18	50.00	58.80	60.80
6	6.62	6.28	50.10	58.80	61.20
7	6.72	6.38	50.80	59.10	61.90
8	6.82	6.48	51.40	58.80	62.00
9	6.92	6.58	52.00	59.00	62.80
10	7.02	6.68	53.00	61.30	63.50
11	7.12	6.78	53.40	61.30	63.70
12	7.22	6.88	53.80	61.20	63.70
13	7.32	6.98	54.10	61.50	64.30
14	7.42	7.08	55.50	60.90	64.70
15	7.52	7.18	55.30	61.20	65.00
16	7.62	7.28	55.70	61.80	66.70
17	7.72	7.38	55.50	62.00	67.20
18	7.82	7.48	56.30	62.00	68.50
19	7.92	7.58	57.00	61.80	69.30
20	8.02	7.68	57.90	62.20	70.00
21	8.12	7.78	60.00	62.00	71.00
22	8.22	7.88	60.00	62.00	71.50
23	8.32	7.98	60.90	62.00	73.00



Convenio de Colaboración CONANP/CC/SRO/001-2006  
 División de Ingenierías Civil y Geomática de la Facultad de Ingeniería, UNAM  
 Cd. Universitaria, Coyoacán, México, D.F. 04510 Tels. (55) 5622-8004 y 5622-8007 Fax (55) 5622-8025



**DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO Y RECIRCULACIÓN DE AGUA  
EN EL CENTRO MEXICANO DE LA TORTUGA, MAZUNTE OAXACA**



**TABLA No.6 MEDICIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD EN LA NORMA MAZ-2 (Agua Salobre)**



P.T. (m) = 6.33  
N.E. (m) = 4.27  
Alt. Brocal (m) = 0.34

Lecturas	Profundidad de medición (m)	Profundidad de medición desde el suelo (m)	Fecha:	
			28/nov./2006	28/nov./2006
			Prueba No.1 µsiemens/cm	Prueba No.2 µsiemens/cm (corregido)
1	4.37	4.03	57.00	265.00
2	4.47	4.13	58.90	274.00
3	4.57	4.23	60.20	276.00
4	4.67	4.33	61.00	273.00
5	4.77	4.43	61.50	281.00
6	4.87	4.53	62.90	282.00
7	4.97	4.63	63.50	280.00
8	5.07	4.73	64.10	284.00
9	5.17	4.83	64.90	285.00
10	5.27	4.93	65.20	286.00
11	5.37	5.03	65.50	286.00
12	5.47	5.13	66.00	288.00
13	5.57	5.23	66.30	296.00
14	5.67	5.33	67.00	305.00
15	5.77	5.43	67.50	339.00
16	5.87	5.53	69.00	345.00
17	5.97	5.63	69.80	349.00
18	6.07	5.73	71.50	351.00
19	6.17	5.83	72.80	359.00
20	6.27	5.93		396.00



Convenio de Colaboración CONANP/CC/SRO/001-2006  
División de Ingenierías Civil y Geomática de la Facultad de Ingeniería, UNAM  
Cd. Universitaria, Coyoacán, México, D.F. 04510 Tels. (55) 5622-8004 y 5622-8007 Fax (55) 5622-8025



## 4.2. LIMITACIONES DEL PROYECTO

Contando con el estudio hidrogeológico realizado por el área de Ingeniería Sanitaria y Ambiental realizó, se planteó a la Coordinación del proyecto la necesidad de cambiar la ubicación de la fuente de abastecimiento de agua dulce.

La coordinación y las autoridades de SEMARNAT evaluaron la propuesta de reubicar el pozo fuera de los límites del predio que conforma el CMT, esto con el fin de alejar la extracción lo más posible de la línea de costa y así disponer de agua de mejor calidad, sin embargo, surgió una negativa al evaluar las políticas del lugar pues se supuso que la población no aceptaría que hubiera una fuente de abastecimiento exclusiva para uso del CMT, ya que actualmente es un problema social la baja calidad y cantidad disponible en la cuenca.

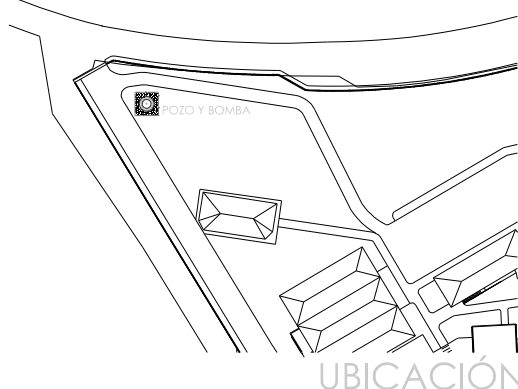
Además, el Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental propuso alejar la extracción a otra cuenca vecina, la cual no tiene problemas de intrusión salina ni de disponibilidad.

La respuesta de la evaluación por parte de las autoridades de SEMARNAT fue dirigida a que la extracción debe de hacerse dentro de los límites del predio del CMT, ya que el costo que implicaría traer el agua de otra cuenca es muy alto e innecesario, además de los problemas sociales que conlleva. Debido a las restricciones impuestas, el Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental únicamente pudo optimizar los recursos existentes dentro del predio y propuso la solución más conveniente dadas las circunstancias.

## 4.3. DISEÑO DEL POZO

Como ya se mencionó en el párrafo anterior, al no haber sido aprobada la propuesta de reubicar el pozo fuera de los límites del predio del CMT, la nueva propuesta de solución pretendió optimizar los recursos existentes.

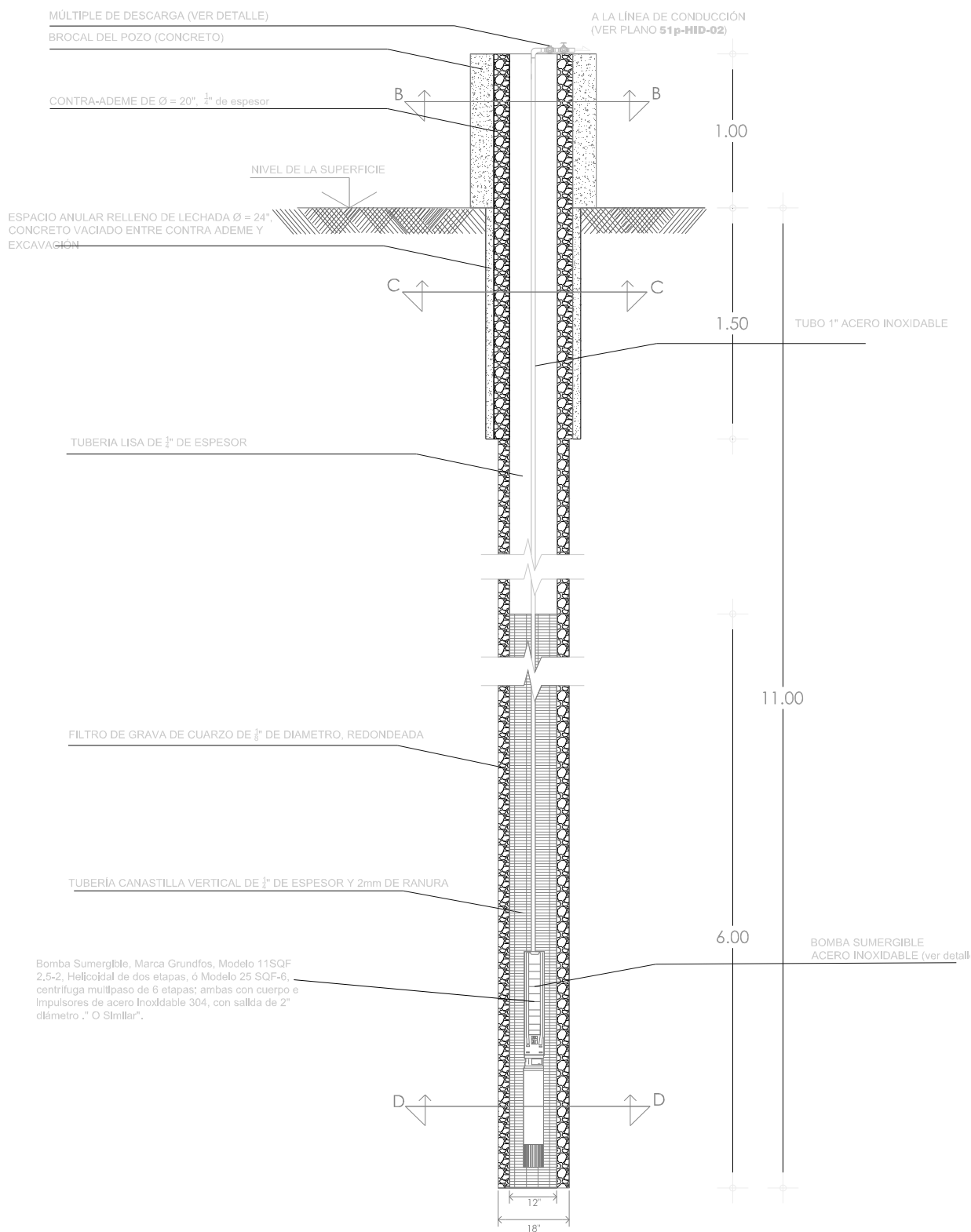
Se reubicó el pozo tomando en cuenta las posibilidades del acuífero según el estudio hidrogeológico, por ello se propuso construir el pozo dentro del predio, lo más alejado de la línea de costa y además recorrido hacia el occidente con lo que se prevé aumentará la cantidad y mejorará la calidad del agua (fig. 4.1).



**Fig. 4.1. Propuesta de construcción del pozo dentro del predio**

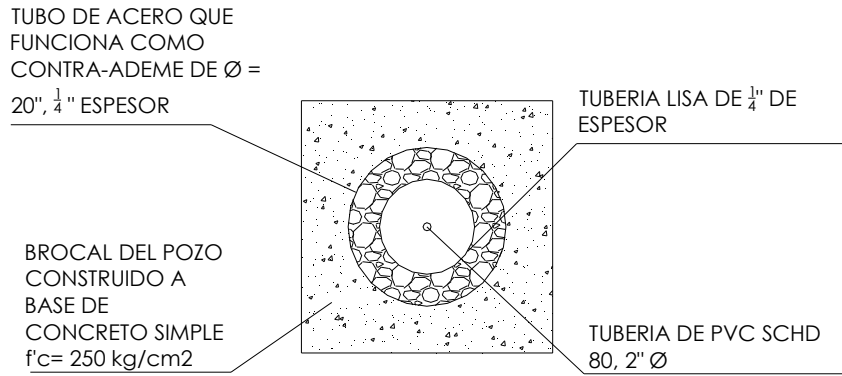
**DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO Y RECIRCULACIÓN DE AGUA  
EN EL CENTRO MEXICANO DE LA TORTUGA, MAZUNTE OAXACA**

La captación del agua subterránea dejó de ser superficial y se incrementó la profundidad, también disminuyendo el diámetro del pozo, el diseño del pozo es el que se muestra en la figura 4.2.

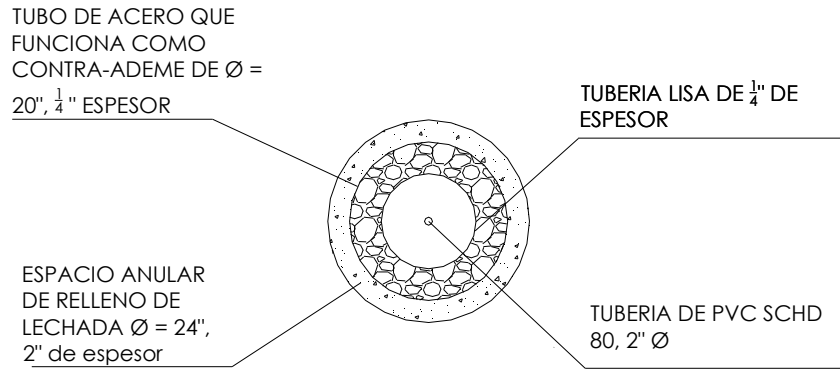


**VISTA EN ELEVACION**

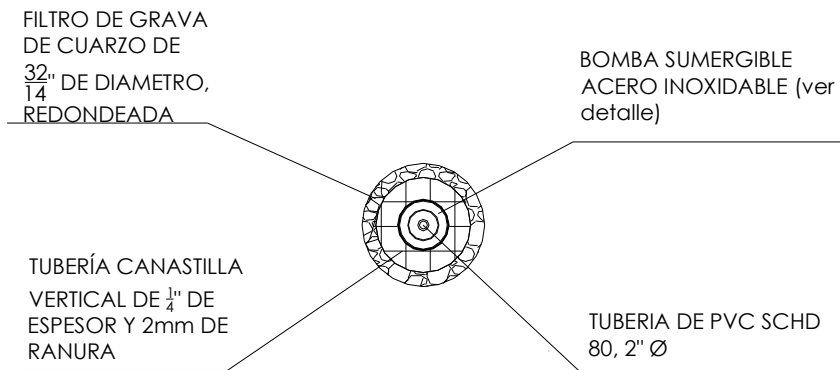
**Fig. 4.2. Diseño del pozo**



### Corte B-B



### Corte C-C




### Corte D-D

**Fig. 4.III. Cortes del diseño del pozo propuesto**

### 4.3.1. SISTEMA DE BOMBEO UTILIZADO

Siguiendo los lineamientos propuestos en el estudio elaborado por el Centro de Investigación en Energía en el cual se proponen sistemas que minimicen el consumo energético, se propuso la instalación de un sistema de bombeo alimentado eléctricamente por un subsistema de energía fotovoltaica. Por ese motivo se seleccionó el equipo adecuado que cumpliera con las necesidades tanto de carga y gasto como suministro energético. El equipo seleccionado y propuesto se muestra en la tabla 4.IV.

Tabla 4.IV.

ESPECIFICACIÓN DE LA BOMBA A INSTALAR			
<p>Modelo gráfico</p> 	<p>Bomba Sumergible, Marca Grundfos, Modelo 11SQF 2.5-2, Helicoidal de dos etapas, ó Modelo 25 SQF-6, centrífuga multipaso de 6 etapas; ambas con cuerpo e impulsores de acero inoxidable 304, con salida de 2" diámetro ." O Similar".</p>		
	<table border="1"> <tr> <td>Diámetro de en la impulsión</td> <td>2"</td> </tr> </table>	Diámetro de en la impulsión	2"
	Diámetro de en la impulsión	2"	
	<table border="1"> <tr> <td>Potencia de entrada</td> <td>0.9 KW</td> </tr> </table>	Potencia de entrada	0.9 KW
Potencia de entrada	0.9 KW		
<table border="1"> <tr> <td>Caudal</td> <td>2.3 m3/h</td> </tr> </table>	Caudal	2.3 m3/h	
Caudal	2.3 m3/h		

### 4.4. LÍNEA DE CONDUCCIÓN

El agua extraída del pozo tendrá que conducirse hasta el sistema de tanques elevados que se detallará en capítulo siguiente.

Debido a las condiciones adversas en cuanto a la corrosión y condiciones de mantenimiento que se prevén, la línea de conducción se propone de PVC de 2" de diámetros de cédula 80 juntado con cemento y con atraques en los cambios de dirección, los cruceo se muestran en el plano correspondiente a la conducción del agua dulce que se muestran al final del texto.

DIRECCION DE LOS EMPUJES Y FORMA DE COLOCAR LOS ATRAQUES

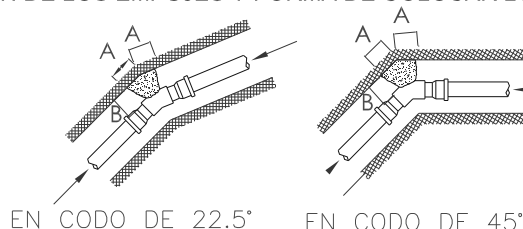
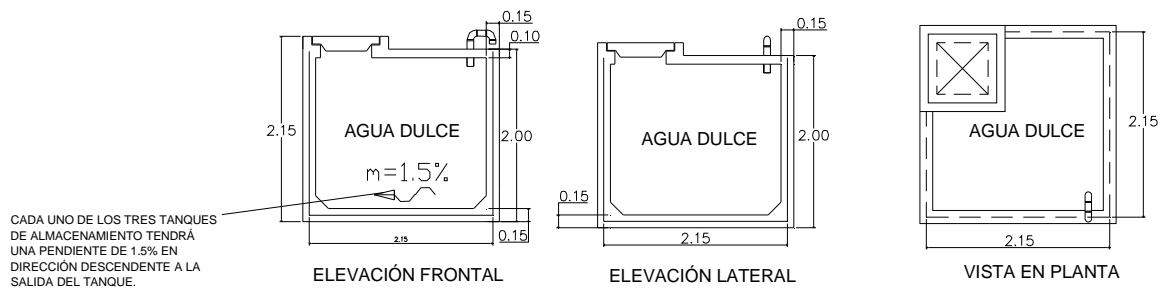


Fig. 4.V. Colocación de atraques

#### 4.5. TANQUE DE REGULARIZACIÓN

El tanque de regularización propuesto es de Concreto reforzado y se encuentra en la zona en la que se encuentra actualmente el tanque de agua salada. En este sitio se construirá una batería de tanques elevados para distintos usos por lo que se denominó sistema de tanques elevados. El motivo por el cual se decidió colocar los tanques en el lugar es simplemente porque al demoler el actual se contará con la cimentación adecuada para colocar los nuevos tanques que son de un tamaño menor, además, a esa altura se cuenta con la suficiente carga para que los muebles sanitarios ahorradores de agua funcionen de manera adecuada.

Como ya se ha mencionado, en el último capítulo se mostrará el diseño del sistema de soporte de vida el cual es un sistema cerrado de circulación de agua tanto dulce como salada, el sistema de tanques elevados es parte de ese macrosistema y en el apartado siguiente se muestra la metodología para la obtención de los volúmenes de regulación como en este caso el tanque de regulación de agua dulce que se muestra en la figura 4.VI.



**Figura 4.VI. Tanque elevado de agua dulce**

## **CAPÍTULO 5**

### **DISEÑO DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN A LA NECESIDAD DE RECIRCULACIÓN DE AGUA**

## CAPÍTULO 5

### DISEÑO DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN A LA NECESIDAD DE RECIRCULACIÓN DE AGUA

#### 5.1. JUSTIFICACIÓN

Con base en lo tratado en el Capítulo 1, en el cual se detalló la metodología para la determinación del estado físico y de servicio del CMT, junto con lo detallado en el Capítulo 2, referente a las necesidades que tiene el CMT en cuanto al abastecimiento de agua tanto dulce como salada, se ha observado que existe una problemática de carencia de recurso de agua dulce, contrario al caso del agua salada ya que el Centro se encuentra a la orilla del mar, sin embargo, como se ha visto en capítulos anteriores, el hecho de elevar el recurso hasta el tanque de regulación conlleva un gran costo energético y desgaste de los equipos electromecánicos que a larga se reflejará en altos costos y la constante necesidad de compra de equipos.

Tomando como consigna el hecho de que es posible sanear las aguas que son emitidas por los distintos usos en los terrarios, acuaterrarios, piletas y estanques, por medios físicos y/o biológicos tal como se lleva a cabo en una planta de tratamiento urbana o en una planta potabilizadora, se propone crear un sistema de ciclo cerrado en donde las aguas sean saneadas hasta tener una calidad con la cual sea factible su reutilización en los procesos internos del Centro al renovar sus características.

Haciendo un análisis de las condiciones de salida del agua de los distintos usos en infraestructura para la vida de las tortugas, se ha observado que esta agua contiene una concentración no excesiva de materia orgánica provocada por las eses fecales y los residuos de alimento, que es factible de ser removida por medios mecánicos y biológicos y reducir así la demanda bioquímica de oxígeno; además, es posible oxigenar el agua en el mismo proceso de transporte aumentando considerablemente su calidad.

Tomando en cuenta que la petición de la Coordinación de Mazunte es que existan 4 recambios diarios del volumen total instalado tanto de agua dulce como salada, se considera que el efluente de estos usos tendrá una calidad superior a la actual.

Gracias a la tecnología y al conocimiento de los sistema de tratamiento, así como de filtración es posible crear un sistema que convierta el suministro y desalojo de las aguas en un ciclo cerrado en donde no haya salida ni entrada constante, sino que únicamente se inyecte agua al sistema cuando existan procesos de retrolavado en los filtros propuestos en el sistema que se detallarán en este capítulo.

En el caso de la entrada de agua, ésta se efectuará únicamente cuando exista un déficit en el sistema, que como ya se explicó se deberá a pérdidas por evaporación o por retrolavados. Este faltante se repondrá desde el tanque elevado ya sea de agua salada o dulce según sea el caso con un sistema de conducción.

El sistema de Soporte de Vida contará con los elementos electromecánicos necesarios para automatizar los procesos de saneamiento y reposición de líquido, por medio de electroniveles en las cisternas de decantación, además de actuadores que son válvulas de apertura y cierre que se rigen por medio de impulsos eléctricos emitidos por medios mecánicos.

Para la realización de la propuesta de este sistema se contó con la colaboración del área de Automatización encabezada por el Ing. Carlos Martínez Reyes, además del área de Hidráulica interna resuelta por el Ing. Gregorio Poncelis Gasca, como complemento al sistema propuesto al solidariamente acoplar sus proyectos a la propuesta de solución integral que el Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental propuso.

El nombre de Soporte de Vida dado al sistema que se plantea en este capítulo, como su nombre lo dice será el núcleo del sistema hidráulico del CMT, en el que se conjuntarán los subsistemas periféricos de abastecimiento y tratamiento de aguas residuales.

## **5.2. DETERMINACIÓN DE GASTOS EN EL CICLO CERRADO PROPUESTO**

Se utilizará la información calculada en el capítulo 2 junto con la cantidad de recambios sugerida para evaluar la cantidad de flujo a sanear en el Soporte de Vida.

### **5.2.1. FLUJO DE AGUA SALADA**

Para la determinación del gasto de entrada al soporte de vida tendrá que tomarse en cuenta la totalidad de elementos que utilicen agua salada para su funcionamiento. En el capítulo 2 se determinaron los gastos necesarios para el funcionamiento de la infraestructura de vida de las tortugas que son los que se muestran en la tabla 5.I.

**Tabla 5.I. Volumen requerido diariamente en el acuario (1 recambio al día)**

<b>Acuario</b>	<b>Cantidad de acuaterrarios</b>	<b>Volumen por acuaterrario m<sup>3</sup></b>	<b>Volumen m<sup>3</sup></b>
<b>Acuaterrario Exterior</b>	5	64	320
<b>Acuaterrario Interior</b>	7	35	245
<b>Acuario Número 11</b>	1	7.5	7.5
<b>Volumen total por concepto del Acuario</b>			572.5

**Tabla 5.2. Volumen requerido diariamente en piletas (1 recambio al día)**

Piletas	Volumen (m <sup>3</sup> )
Piletas de cemento	28.86
Piletas d fibra de vidrio	9.24

**Tabla 5.3. Volumen requerido diariamente en estanques (1 recambio al día)**

Estanque	Volumen (m <sup>3</sup> )
Estanque Circular	184.17
Estanque para Adultos (rectangular)	122.16

Tomando en cuenta la totalidad de conceptos obtenemos que para un recambio diario se necesitan 911m<sup>3</sup>, sin embargo, al requerir cuatro recambios el gasto se cuadruplica, así que el gasto requerido es 3644m<sup>3</sup>/día

## 5.2.2. FLUJO DE AGUA DULCE

**Tabla 5.9. Volumen de la infraestructura que requiere de recambio de agua dulce diariamente**

Concepto	Volumen [m <sup>3</sup> /día]
CHARCA JICOTEAS	0.875
CHARCA JAPONESA	0.312
CHARCA JICOTEAS JUVENILES	0.5
CHARCA CASQUITO	0.4
CHARCA SABANERAS	0.4
OVALADA FIBRA DE VIDRIO	0.2
FIBRA DE VIDRIO	3.5
PILETAS DE CEMENTO	10.82
ACTIVIDADES DE LIMPIEZA	2.0
<b>TOTAL</b>	<b>19.007</b>

**Tabla 2.10. Volumen de la infraestructura que requiere de recambio de agua dulce semanalmente**

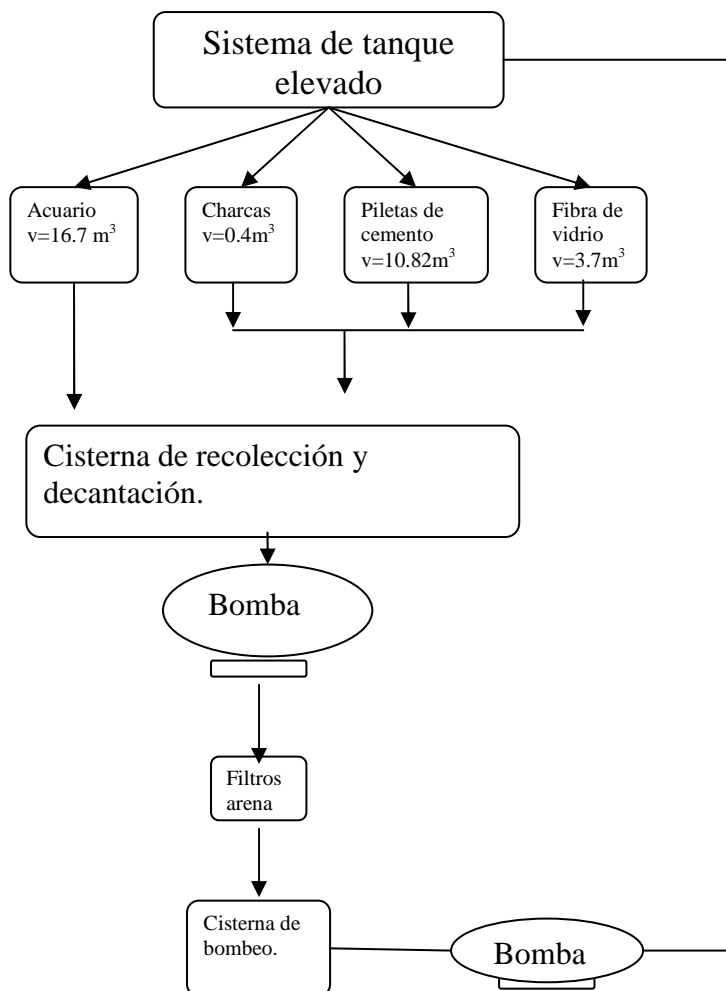
ACUATERRARIOS	Volumen [m <sup>3</sup> /semana]	Volumen [m <sup>3</sup> /día]
	16.66	2.38

Si se toman en cuenta los conceptos anteriormente citados se llega a que el gasto requerido diariamente es de 21.4 m<sup>3</sup>/día, esto tomando en cuenta un sólo recambio al día, sin embargo, el número de recambios aumentó a 4 por lo que el gasto que se presentará en el ciclo cerrado diariamente será de 85.6m<sup>3</sup> por día.

### 5.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE SOPORTE DE VIDA

Para efectuar un buen diseño de las instalaciones que harán el saneamiento de las aguas emitidas por el CMT, fue necesario solicitar la asesoría al personal que maneja el Acuario de Veracruz, esto debido a que existen similitudes en la calidad de agua requerida y saneada, el sistema responde a muchas de las necesidades que tiene el acuario.

La Figura 5.1 muestra el concepto de diseño del sistema de soporte de vida.



**Figura 5.1. Concepto de diseño del Sistema de soporte de vida**

El Acuario de Veracruz cuenta con un sistema de ciclo cerrado en el cual se sanean las aguas por medio de filtración en arena, en la que se remueven gran cantidad de sólidos suspendidos, materia orgánica y algunos nutrientes. En el caso del diseño del soporte de vida del CMT se hizo un diseño similar al que se encuentra instalado en el acuario de Veracruz, sin embargo, se le hicieron algunas modificaciones a fin de optimizar algunos procesos. El diseño se muestra a continuación.

Se realizó una evaluación de la tasa de filtrado que se realiza en Veracruz para poder definir la adecuada para el Soporte de Vida.

-Veracruz

En el caso del saneamiento del agua dulce en el acuario de Veracruz se tiene un tiempo total de recambio en el agua de 2:20min, se cuenta con tres filtros que tienen un área superficial de  $20m^3$  y cuentan con un volumen instalado de  $562m^3$ .

-Tiempo de recambio total

Tiempo 2:20 horas	= 140 (min.)
Volumen de instalación.	= $562 (m^3)$
$Q = 562/140$	= $4 (m^3/min.)$
Número de filtros	= 3
Área de filtros	= $2 \times 10 \times 3 = 60m^2$

Por lo tanto con estos datos se puede obtener una tasa de filtrado en el saneamiento de Veracruz, como se muestra a continuación.

-Tasa de filtrado en Veracruz

$$4000 \text{ l/min.}/60m^2 = 66.7 \text{ (l/min./m}^2\text{)} = 4 \text{ (m/h)}$$

Comparándola con la tasa de filtrado normalizada que se encuentra en la Bibliografía:

- Del Metcalf & Eddy (396), (484),(585)
- Tasa normalizada del filtrado ( $2_{gpm/ft^2}$ )

Que equivalen en otras unidades a:

$$\bullet = 2 \left( \frac{gal}{min \cdot ft^2} \right) \left( \frac{3.785l}{1gal} \right) \left( \frac{1ft^2}{0.305m^2} \right) = 81.4 \text{ (l/min./m}^2\text{)}$$

Al ser mayor la tasa normalizada se considera que el ser más conservadores en la tasa de filtrado generará una mayor calidad de agua del efluente.

-Se elige la tasa de filtrado de Veracruz a  $70 \text{ (l/min./m}^2\text{)}$

- La cantidad de cambios requeridos por el CMT es de 4.
- Volumen instalado en el CMT =  $911 m^3$
- Volumen desplazado diariamente  $911 m^3 \times 4 = 3644 m^3$
- Caudal requerido en el sistema.  $Q = 2.53 (m^3/min.)$

-Si elegimos la tasa de filtrado biológico establecido en Veracruz el área requerida de filtrado es:

$$t = Q / A; \quad A = Q / \text{tasa}; \quad A = 2.53 (m^3/min.) / 0.070 (m^3/min. \times m^2.)$$

$$A = 36.2 m^2$$

Número de Ciclos.	Área de filtrado
4	22.7 m <sup>2</sup>
6	34 m <sup>2</sup>
8	45.4 m <sup>2</sup>

El cliente pidió una cantidad de 4 recambios al día por lo tanto se tendrá que diseñar un sistema de filtrado que tenga un área superficial mínima de 22.7 m<sup>2</sup>, sin embargo, este dato se revisará con otro método durante el diseño del sistema de filtrado que se muestra en los siguientes párrafos.

### 5.3.1. SISTEMA DE CISTERNAS

El sistema de soporte de vida cuenta con un sistema de cisternas de gran tamaño que se encuentran debajo del edificio que albergará los sistemas de filtración, en donde se llevará a cabo la sedimentación de partículas discretas además de gran parte de la materia suspendida.

El sistema fue diseñado siguiendo los lineamientos que sugiere la bibliografía consultada en el sentido del tiempo de permanencia del agua para que se efectúe correctamente la remoción de contaminantes por medio de la sedimentación.

Siempre que un líquido que contenga sólidos en suspensión se encuentre en estado de relativo reposo, los sólidos de peso específico superior al del líquido tienen tendencia a depositarse y los de menor peso específico a ascender. Estos principios se utilizan en el diseño de los tanques de decantación para el tratamiento de aguas. La finalidad del tratamiento por sedimentación es eliminar los sólidos fácilmente sedimentables y el material flotante, por lo tanto, reducir el contenido de sólidos suspendidos.

La metodología para la obtención del volumen de la cisterna de recolección de agua salada se muestra a continuación.

Cálculo de la capacidad de regulación de la cisterna de recolección (Agua salada)

$$Q_{in} = 2.532 \left( \frac{m^3}{min} \right)$$

$$Q_{out} = 2.532 \left( \frac{m^3}{min} \right)$$

El volumen de la cisterna de recolección se calculará para que funcione como un sedimentador primario.

El tiempo de retención será en este caso de entre (90-150 min.) para el caudal medio. Dato elegido considerando la bibliografía consultada.

La carga de superficie se da en estas unidades:  $\left( \frac{m^3}{día} \right) / (m^2)$

La carga se obtiene según el tipo de suspensión.

Tiempo de detención propuesto = 2 horas.

$$C.S. = \text{carga de superficie propuesta} = 28 \left( \frac{m^3}{\text{día} * m^2} \right)$$

$$\text{Si } Q = V/t \quad ; \quad V = Q t$$

$$\text{Vol.} = 2.53 \left( \frac{m^3}{\text{min}} \right) (120 \text{ min.})$$

$$\text{Vol.} = 304 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. por día} = 3644 \text{ m}^3$$

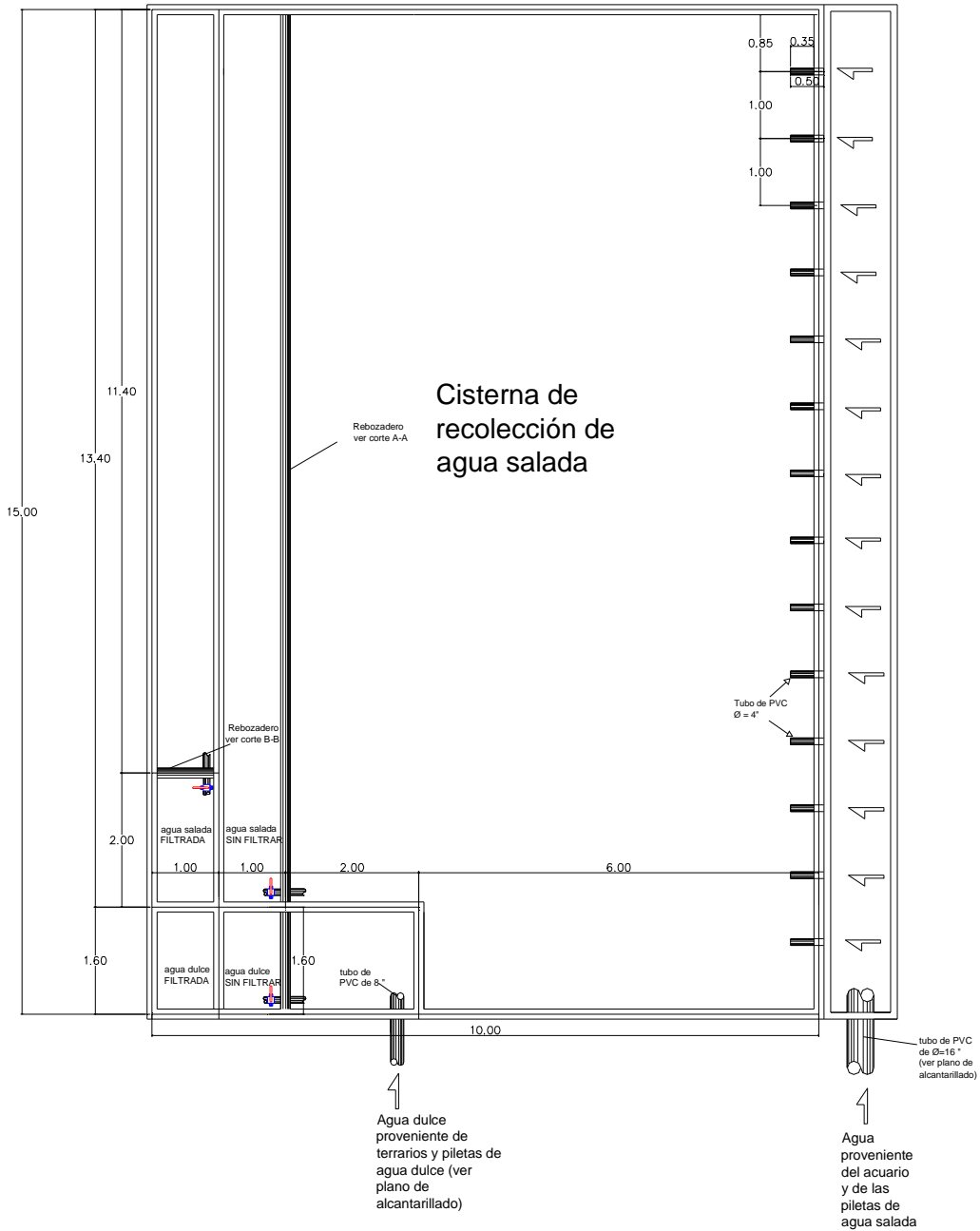
$$C.S. = \frac{\text{Vol}}{\text{Area} \cdot t(d)} \quad \text{Área} = \frac{\text{Vol}}{C.S. \cdot t(d)} \quad \text{Área} = \frac{3644 \text{ m}^3}{28(1)}$$

$$\text{Área} = 130.14 \text{ m}^2$$

Por lo tanto se tendrá que construir una cisterna que tenga un área superficial mínima de 130.14 metros cuadrados.

El diseño de la cisterna de recolección de agua dulce se obtuvo siguiendo la misma metodología utilizada en el apartado anterior. Los diseños finales se muestran en la figura 5.2.

**VISTA EN PLANTA DE LAS CISTERNAS  
QUE SE ENCUENTRAN BAJO EL  
SISTEMA DE FILTROS**



**Fig. 5.2. Vista en planta del sistema de cisternas**

Como se observa en la Figura 5.2, el agua salada que ya ha sido utilizada en las piletas, acuario, estanques y acuaterriorios llega a la cisterna de recolección de agua salada por medio de un canal distribuidor de concreto armado que tiene la función de homogeneizar la entrada de agua en la cisterna, ello con el fin de distribuir uniformemente la decantación de sólidos, además de garantizar que la totalidad del flujo tenga un tiempo de detención promedio de 2 horas.

El agua que se ha sometido al proceso unitario de decantación, llega a la parte final de la cisterna en donde se encuentra una pared en forma de cimacio en la cual se efectúa una última separación de las capas superiores de agua con menor cantidad de sólidos suspendidos con las capas de agua con mayor cantidad de sólidos suspendidos que se encuentran en el fondo. A la zona que se encuentra después de la pared cimacio se le ha llamado zona de bombeo, esto porque desde esta zona se extraerá el agua por el sistema de bombeo que eleva el agua ya decantada hacia el tanque prefiltro el cual se encuentra en la parte superior y el cual da lugar a otro subcapítulo que se encuentra más adelante en este texto.

Otro componente del sistema denominado Soporte de Vida son las cisternas de bombeo. Estas cisternas tienen la función de contener el agua que ya ha sido sometida al proceso de saneamiento completo hasta que el sistema de bombeo de retorno al CMT la inyecta al sistema nuevamente.

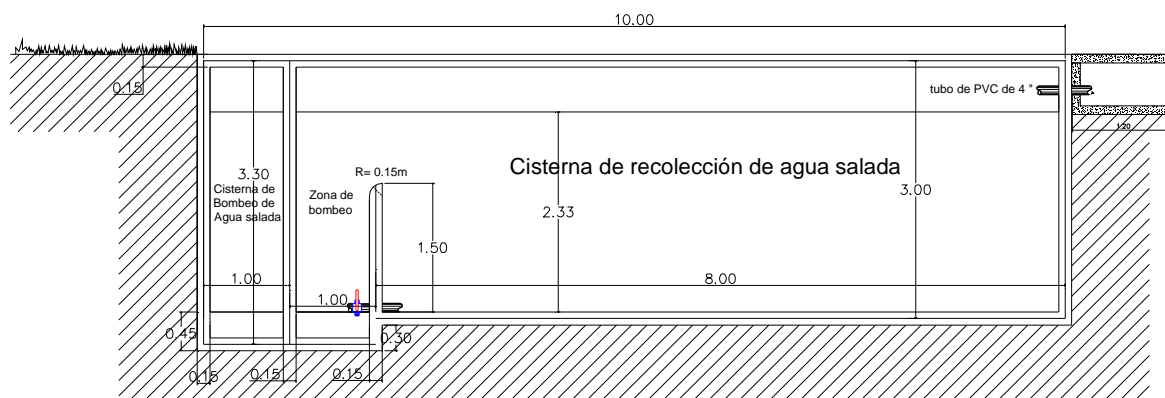


Fig. 5.3. Vista en elevación de la cisterna de recolección

Las cisternas de bombeo forman parte del sistema de cisternas, es decir, este sistema consta de 4 cisternas 2 de recolección y 2 de bombeo, una de agua salada y otra de agua dulce en cada caso. Como se ha mencionado el funcionamiento de las cisternas de bombeo da lugar al último proceso en el tren de saneamiento del agua que llega al sistema de soporte de vida.

El volumen de las cisternas de **bombeo** se calculó únicamente considerando que durante una emergencia o paro de algunos de los componentes que conforman el sistema de Soporte de Vida se tendrá un tiempo de 45 minutos para el cierre de válvulas y así evitar que los equipos electromecánicos trabajen en seco o se produzca un volumen acumulado excesivo que haga que el nivel del agua rebase el máximo permisible, esto claro, suponiendo que también dejase de funcionar por alguna razón el sistema de automatización.

### 5.3.2. SISTEMA DE TANQUES PREFILTRO

Otro de los componentes del sistema de soporte de vida son los tanques prefiltro. Tienen la finalidad de contener el agua antes de que ésta sea conducida hacia los filtros de arena.

Los tanques prefiltro serán construidos de concreto armado, contarán con una altura interior de 2m, dentro de este se elevará el nivel del agua hasta alcanzar la carga hidráulica necesaria para efectuarse el flujo a través del filtro de arena y consecuentemente se efectúe el proceso unitario de filtración. La altura dentro del tanque servirá para evaluar la resistencia que tiene el tanque al flujo, siendo esta una medida indirecta de la necesidad de procesos de retrolavado, es decir, cuando la altura del tanque prefiltro supera la admisible se tendrán que realizar procesos de retrolavado en los filtros de arena.

El tanque prefiltro de agua salada está colocado en una zona desde la cual podrá abastecer a los cuatro filtros de arena, sin embargo, únicamente funcionarán simultáneamente tres de los filtros y el cuarto quedará libre para mantenimiento y con ello poder efectuar una adecuada rotación para el mantenimiento general.

El diseño final propuesto de tanque prefiltro se muestra en las figura 5.4.

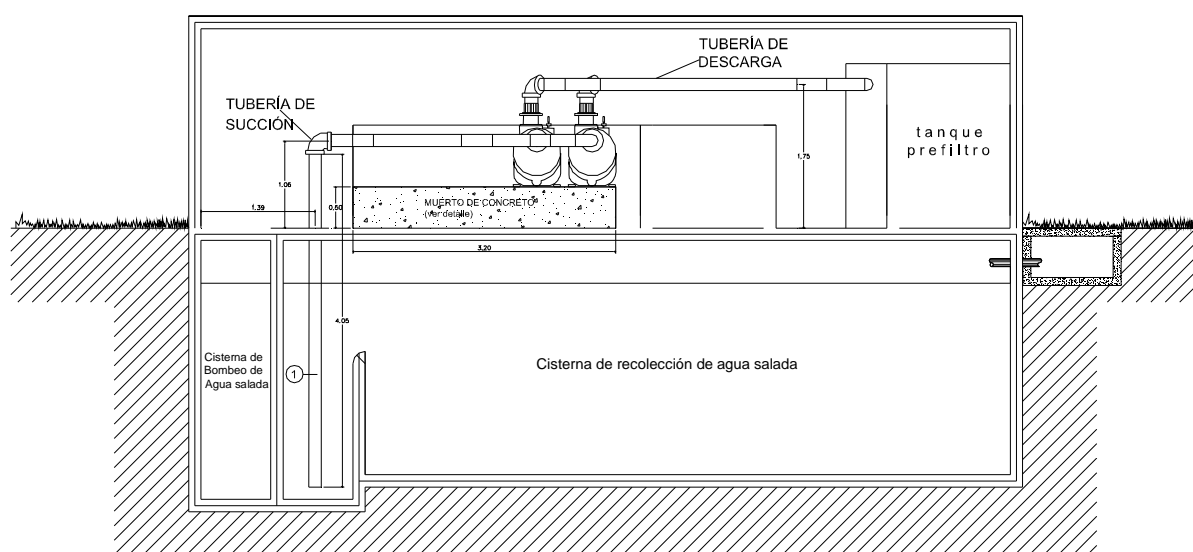


Fig. 5.4 Esquema de la tubería de succión y descarga

### 5.3.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE FILTRADO

Como ya se mencionó el proceso unitario principal es el de filtrado. En el caso del Acuario de Veracruz se sigue el mismo principio.

Si se elige la tasa de filtrado biológico establecido en el acuario de Veracruz, el área requerida en los filtros es:

$$36.2\text{m}^2$$

Las características que posee la arena que se utilizará en este sistema de filtrado son las que garantizan la mayor remoción de turbidez y bacterias coliformes.

Las variables según el SUCS son:

$$Es = d_{10}$$

$$UC = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

La tasa de retrolavado se obtiene con una velocidad cercana a  $v_{mf}$

$$v_{mf} = \frac{\mu}{\rho d_{eq}} (33.7^2 + 0.0408Ga)^{0.5} \frac{33.7\mu}{\rho d_{eq}}$$

→ SE PROPONE ARENA SÍLICA

$$\rho = 2.650 \frac{kg}{m^3}$$

$$Y = 0.7 - .8$$

$$d_{10} = 0.54mm$$

$$d_{90} = 0.87mm$$

Para la obtención de la pérdida de carga en el filtro se utiliza la siguiente ecuación.

$$\frac{h}{L} \varepsilon = \frac{k\mu}{\rho g} \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \left(\frac{a}{v}\right)^2 v$$

$$\frac{a}{v} = \frac{6}{\phi d} = \frac{6^2}{0.75^2 (d)^2} = \frac{64}{d^2}$$

$$\frac{\mu}{\rho} = v = 1.004E-6 \frac{m^2}{s}$$

$$g = 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$k = 5$$

$$v = 1.1111E-3 \frac{m}{s}$$

$$\frac{h}{L} = \frac{5(1.004 * 10^{-6}) (1-0.445)^2}{9.81} \left(\frac{64}{d^2}\right) 1.1111 * 10^{-3}$$

$$\frac{h}{L} = \frac{0.000000127}{d^2}$$

Conociendo la curva granulométrica de la arena sílica, se obtiene el promedio de h/L, con los distintos diámetros

$$\begin{array}{l}
 d_{10} \ ; \ d = 0.51 \quad \frac{h}{L} = 0.4355 \\
 d_{30} \ ; \ d = 0.66 \quad \frac{h}{L} = 0.2915 \\
 d_{50} \ ; \ d = 0.73 \quad \frac{h}{L} = 0.2383 \\
 d_{70} \ ; \ d = 0.80 \quad \frac{h}{L} = 0.1984 \\
 d_{90} \ ; \ d = 0.87 \quad \frac{h}{L} = 0.1678 \\
 \hline
 0.2663 \\
 \\
 \frac{h}{L} = 0.2663 \\
 h = 0.2663(L)
 \end{array}$$

Donde L es la altura del lecho filtrante que en este caso se hará de 0.7 metros

Por lo tanto la pérdida de carga en el filtro es de 0.186 metros, dato que se considerará para el diseño del tanque prefiltro.

El cálculo de la pérdida de carga durante el proceso de filtrado, sirve para conocer la altura que tendrá el nivel del agua en condiciones normales en el tanque prefiltro y así poder definir las dimensiones adecuadas.

#### CÁLCULO DE ÁREA DE FILTRO DE AGUA SALADA

Se elige una tasa de filtrado de  $5 \frac{m^3}{hora * m^2}$

El caudal por hora es

$$Q_{total} = 1.51 \frac{m^3}{hora}$$

$$T.F = \frac{Q_{total}}{Área}; \text{Área} = \frac{151}{5} = 30.36$$

Por seguridad se elige tener 3 filtros en un arreglo (3+1) en donde 3 funcionarán siempre y uno para el mantenimiento y retrolavado.

$$\frac{30.00m^2}{3 \text{ filtros}} = 10.00 \frac{m^2}{filtro}$$

Con arena sílica Es=5

$$\begin{array}{l}
 d_{10} = 0.54 \text{ mm} \\
 d_{90} = 0.86 \text{ mm}
 \end{array}$$

$$UC \approx 1.4$$

Los muros serán de ladrillo juntado con mortero, con acabado liso

### CÁLCULO DEL ÁREA DEL FILTRO DEL AGUA DULCE

$$\text{Tasa de filtrado} = 5 \frac{\frac{m^3}{m^2}}{\text{hora}}$$

$$Q_{ad} = 3.3242 \frac{m^3}{\text{hora}}$$

$$T.F = \frac{Q}{A(\text{hora})} ; A = \frac{Q}{T.F} = \frac{3.33242}{5} = 0.665m^2$$

Altura recomendada  
0.70 m

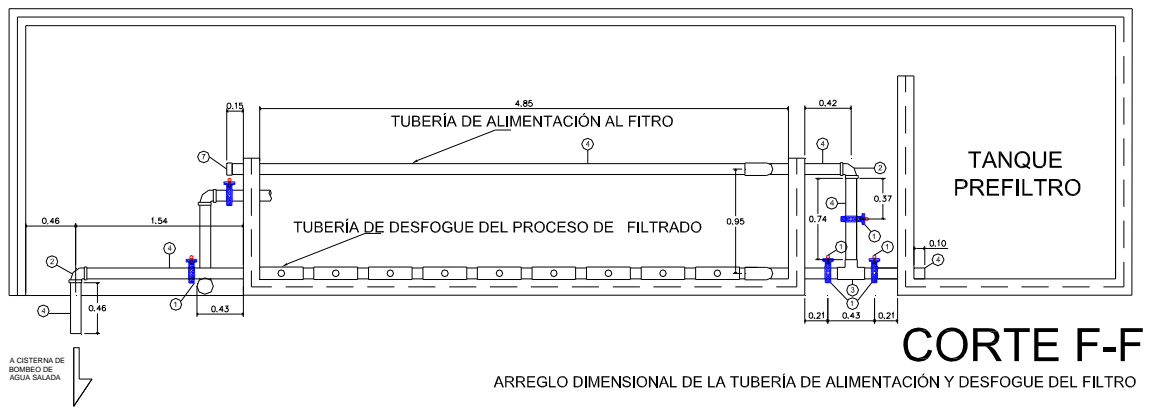
Filtro de agua para agua dulce  $\left\{ \begin{array}{l} a = 1.5m \\ b = 0.65m \\ h = 0.70m \end{array} \right\}$  medidas entre los ejes de los muros  
del contenedor

Muros de mampostería y acabado liso 0.15 m

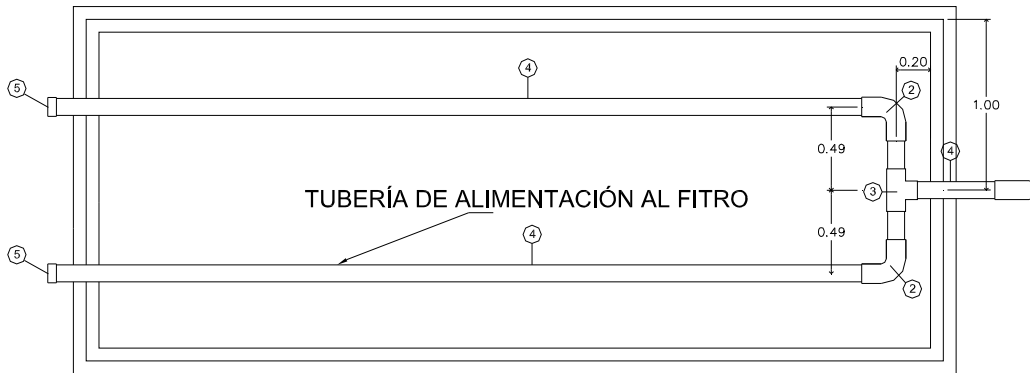
#### 5.3.3.1. RAMIFICACIÓN DE ENTRADA

Para el suministro de agua al lecho filtrante se diseñó una tubería ramificada de PVC cédula 40 para cementar que tiene la función de distribuir uniformemente el agua sobre el lecho de arena, además de homogeneizar la colocación de sólidos y así optimizar el filtro reduciendo el tiempo entre retrolavados.

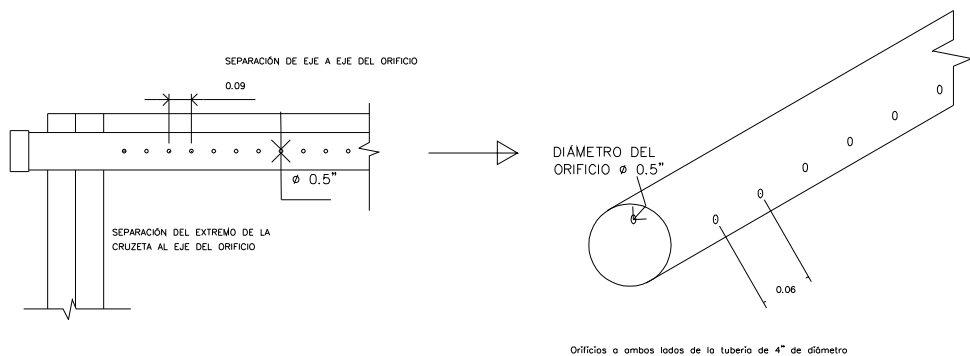
La forma de colocación y dimensiones de la ramificación de entrada se encuentran esquematizados en la Figura 5.4.



**Fig. 5.5 Tuberías de alimentación y desfogue del filtro**



**Fig. 5.6. Vista en planta de la tubería de alimentación al filtro**



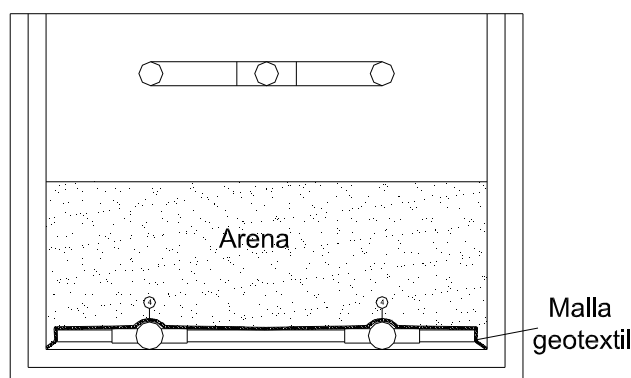
**Fig 5.7 Detalle de perforación de la tubería de alimentación al filtro**

### 5.3.3.2. GEOTEXTIL DE PROTECCIÓN

Para evitar la migración del lecho de filtrado hacia las cisternas o hacia el sistema de soporte de vida en general se ha propuesto la utilización de una malla geotextil. Esta se eligió tomando en cuenta el tamaño de los poros, esto para que los granos de arena no pasaran a través de él, además tomando en cuenta el flujo en el geotextil y la permeabilidad. Los datos técnicos del geotextil elegido son los siguientes:

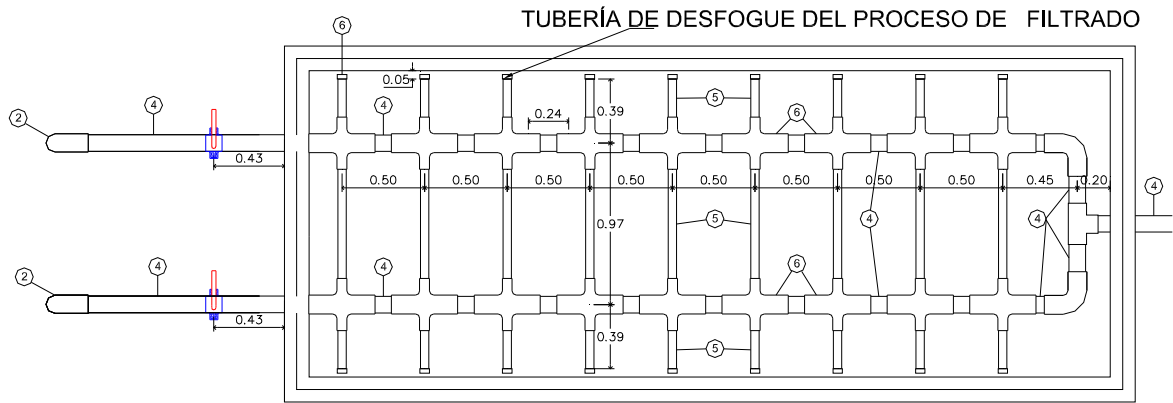
- Se colocará una malla geotextil sobre la tubería de PVC del fondo del filtro de arena
- Opción marca EVI modelo GEO 200 o similar
  - Flujo en geotextil = 4903 l/min/m<sup>2</sup>
  - Tamaño de poros = 0.21 mm (malla 70)
  - Permeabilidad = 0.22 cm/s

### Detalle colocación de geotextil

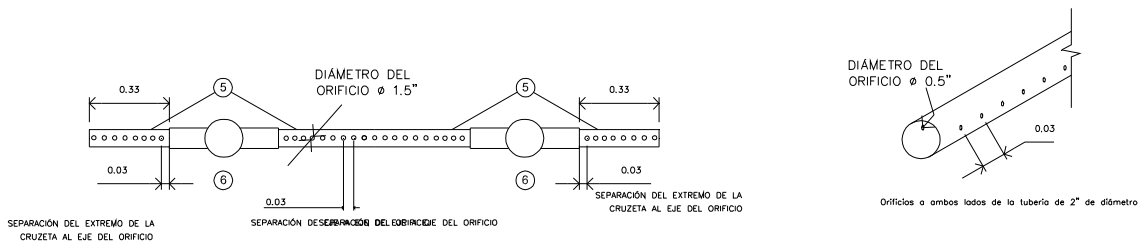


### 5.3.3.3. TUBERÍA DE DESCARGA

Cuando el proceso de filtrado se ha llevado a cabo a través de todo el lecho filtrante, el agua se dirige al fondo en donde se encuentra la malla geotextil, inmediatamente después de cruzar la malla el agua llega a un sistema de tubería ramificada llamada tubería de desfogue, la cual tiene la función de coleccionar el agua y dirigirla a la cisterna de bombeo para su posterior retorno al acuario, piletas o estanques.



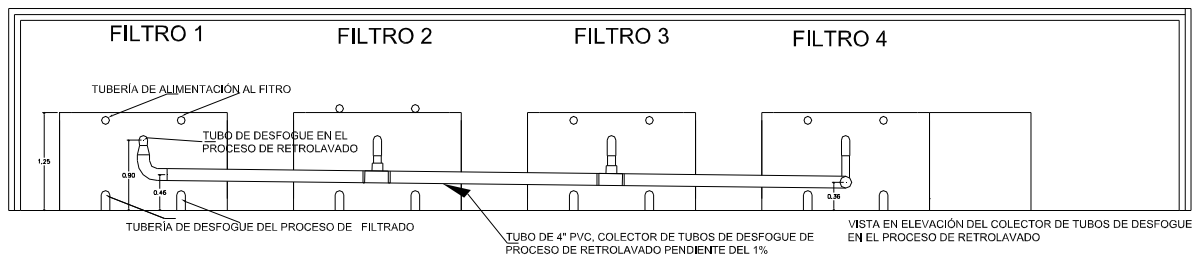
**Fig. 5.8 Vista en planta de la tubería de desfogue del filtro**



**Fig. 5.9. Detalle de la perforación de la tubería de desfogue del filtro**

### 5.3.3.4. SISTEMA DE RETROLAVADO

El sistema de filtrado fue diseñado para remover los sólidos suspendidos del agua, por lo que es necesario después de cierto tiempo en que ha estado funcionando el filtro, remover los contaminantes retenidos. Una de las formas más comunes de eliminar los desechos es con un proceso de retrolavado, en este caso es posible efectuarlo con la apertura y cierre de distintas válvulas que se encuentran entre el tanque prefiltrado y el filtro de arena. El sentido del flujo normal para efectuar el filtrado es de arriba abajo, en el caso del retrolavado el flujo del agua es ascendente y el lodo resultante del proceso se desfoga a los sistemas de tratamiento tanto de agua dulce como de agua salada.



**Fig. 5.10. Vista en elevación del tubo de desfogue del sistema de filtrado**

### 5.3.3.4.1. TASA DE RETROLAVADO

#### CÁLCULO DE LA TASA DE RETROLAVADO

Para la obtención de la tasa de retrolavado para la adecuada remoción de los sólidos retenidos se tiene que tener un gasto igual o mayor al gasto de fluidización, por lo que es necesario encontrar la tasa de fluidización para este tipo de filtros. El cálculo de la tasa de fluidización se presenta a continuación.

$$v_{mf} = \frac{\mu}{\rho d} (33.7^2 + 0.0408Ga)^{0.5} - \frac{33.7\mu}{\rho d}$$

$$Ga = \frac{(0.87 * 10^{-3})^3 998(2.650 - 998)9.81}{(1.002 - 10^{-3})^2} = 10607.9608$$

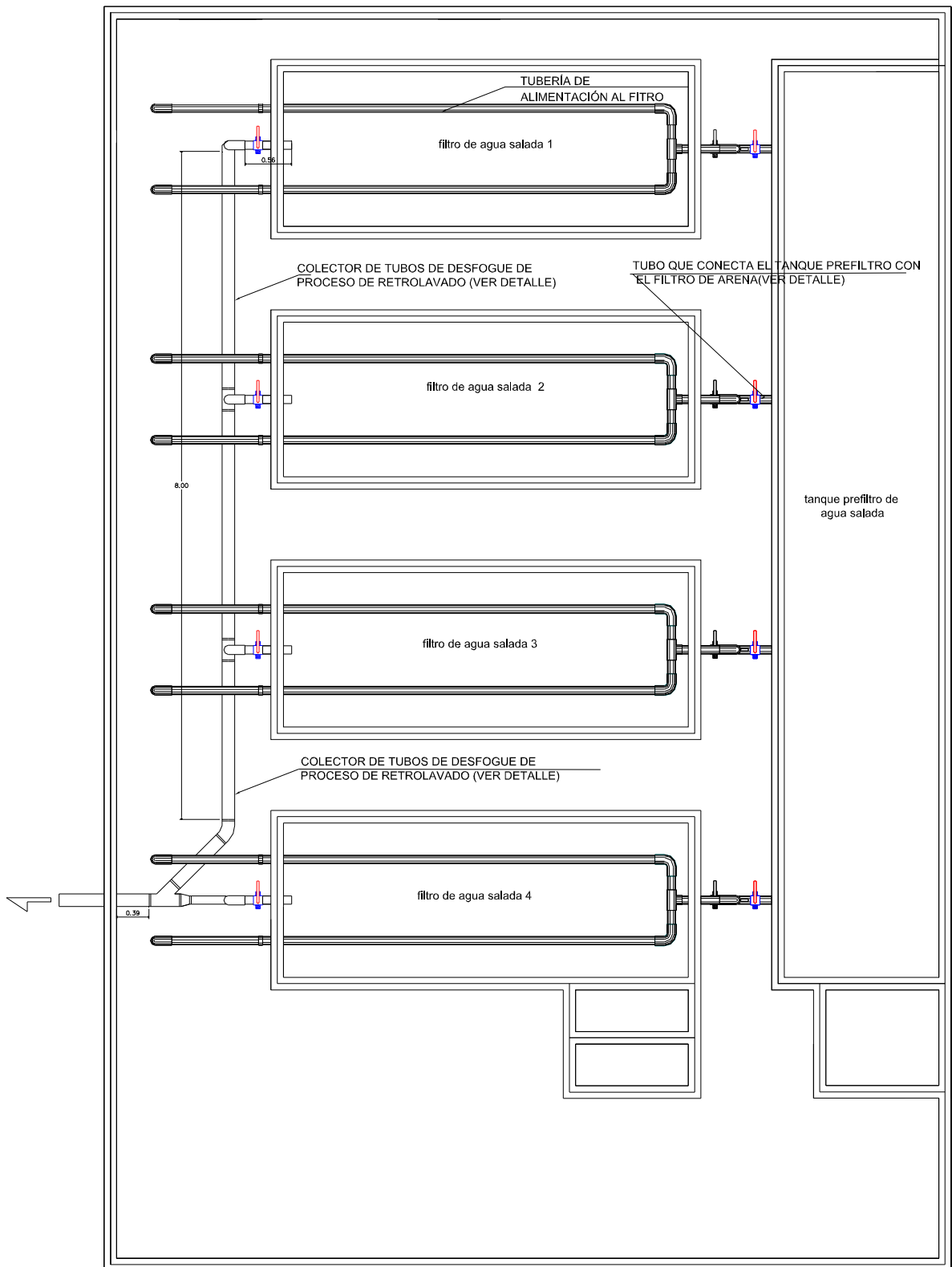
$$v_{mf} = \frac{1.002E-3}{998(0.87 * 10^{-3})^2} (33.7 + 0.0408(10607.9608))^{0.5} - \frac{33.7(1.02 * 10^{-3})}{998(0.87 * 10^{-3})}$$

$$v_{mf} = 0.006814 \frac{m}{s}$$

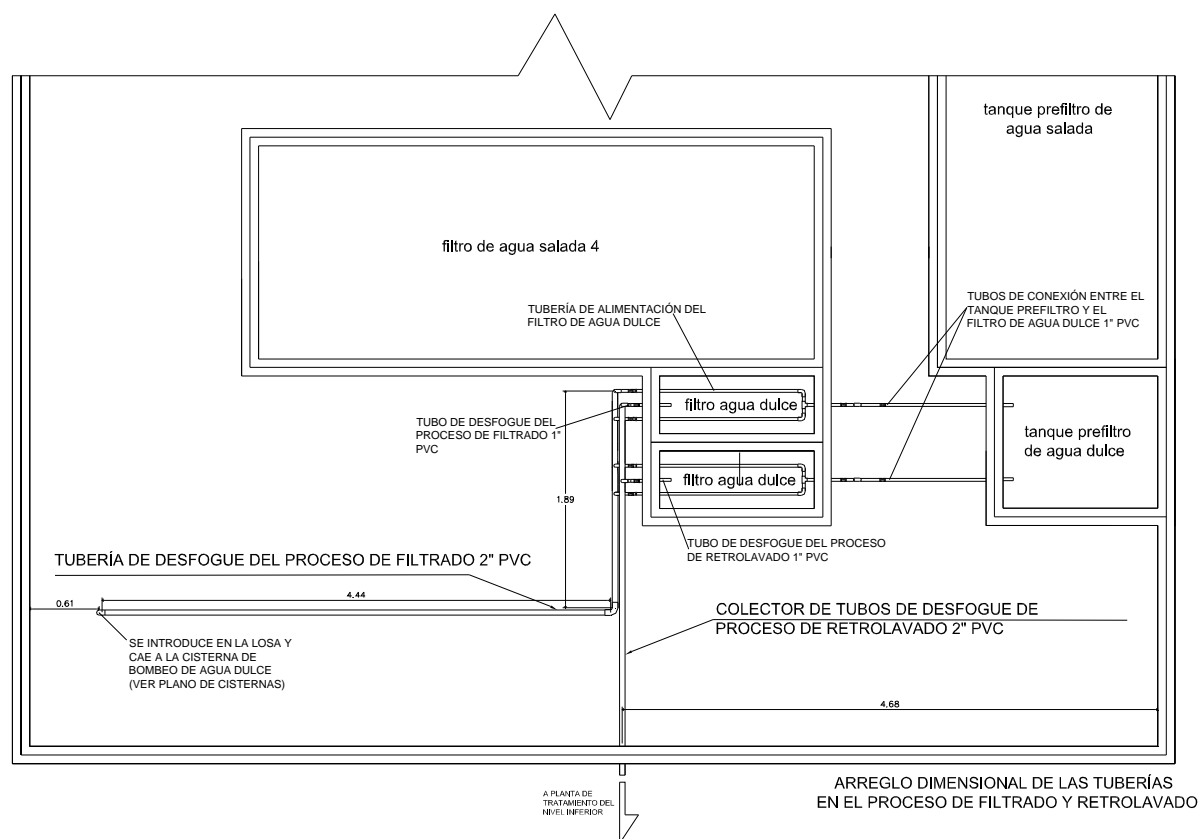
Sí elegimos el 30% mayor a la tasa de fluidización como parámetro para obtener la tasa de retrolavado

$$T_{ret} = 1.3(0.006814) = 0.000886 \frac{m}{s} = 31 \frac{m^3}{m^2(hora)}$$

### 5.3.4. ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA DE SOPORTE DE VIDA (AGUA SALADA)



### 5.3.5. ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA DE SOPORTE DE VIDA (AGUA DULCE)



### 5.3.6. ELECCIÓN DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO

Como ya se indicó en capítulos pasados, en el sistema de soporte de vida se requieren de sistemas de bombeo tanto para elevar el agua decantada en la cisterna de recolección hacia el tanque prefiltro, como para reinyectar el agua saneada al acuario, piletas y estanques, por ello se han propuesto equipos de bombeo para tal efecto, los cálculos para la elección del equipo de bombeo adecuado se muestran a continuación.

#### SELECCIÓN DE EQUIPAMIENTO DE BOMBEO DE AGUA SALADA.

Carga de diseño.

$$CDT = DE + h_T + h_{pe} + h_{suc}$$

Selección preliminar del equipo de bombeo.

Datos básicos.

- Diámetro de la descarga de la bomba. 200<sub>mm</sub> (8")
- Diámetro del múltiple de la descarga. 200<sub>mm</sub> (8")
- Material.

- Gasto de bombeo  $42 \left( \frac{l}{s} \right)$
- Gasto de una bomba  $42 \left( \frac{l}{s} \right)$
- Aceleración de la gravedad  $9.81 \left( \frac{m}{s^2} \right)$
- Coeficiente de rugosidad del acero plástico.

Cálculo del diámetro de la descarga de las bombas.

$$Q = V A \quad ; \quad A = Q / V \quad D = \sqrt[2]{\frac{4A}{\pi}}$$

Consideraciones;

- Velocidad recomendada en un régimen a presión  $1.20 < 2.50 \left( \frac{m}{s} \right)$

$$Q = 42 \left( \frac{l}{s} \right) \quad V = 1.5 \left( \frac{m}{s} \right) \quad A = \frac{0.042^2}{1.5} = 0.028 m^2$$

$$D = \sqrt[2]{\frac{4 * 0.028}{3.1416}} = 0.1888 m \quad = \quad 7.43''$$

- Diámetro comercial 6''

$$A_c = \frac{3.1416 * 0.1524^2}{4} = 0.01824 m^2 \quad A_B = \frac{3.1416 * 0.203^2}{4} = 0.0324 m^2$$

$$V_{c_6} = \frac{0.042}{0.01824} = 2.30 \left( \frac{m}{s} \right) \quad V_c = \frac{0.042}{0.0324} = 1.29 \left( \frac{m}{s} \right)$$

- Línea de conducción

$$L = 9 \text{ m.} \quad \varnothing = 6'' \quad K = \frac{10.293 - .009^2}{(0.15)^{16/3}} = 20.66$$

$$h_f = 20.66 * 9 m * (0.042)^2 = 0.33 m.$$

- Carga estática = 2.42
- Carga dinámica total de diseño (CDT)

$$CDT = 0.03 + 0.33 + 2.42 = 2.78 \text{ m.c.a.}$$

Por lo tanto para las condiciones de operación, se preseleccionó una bomba.

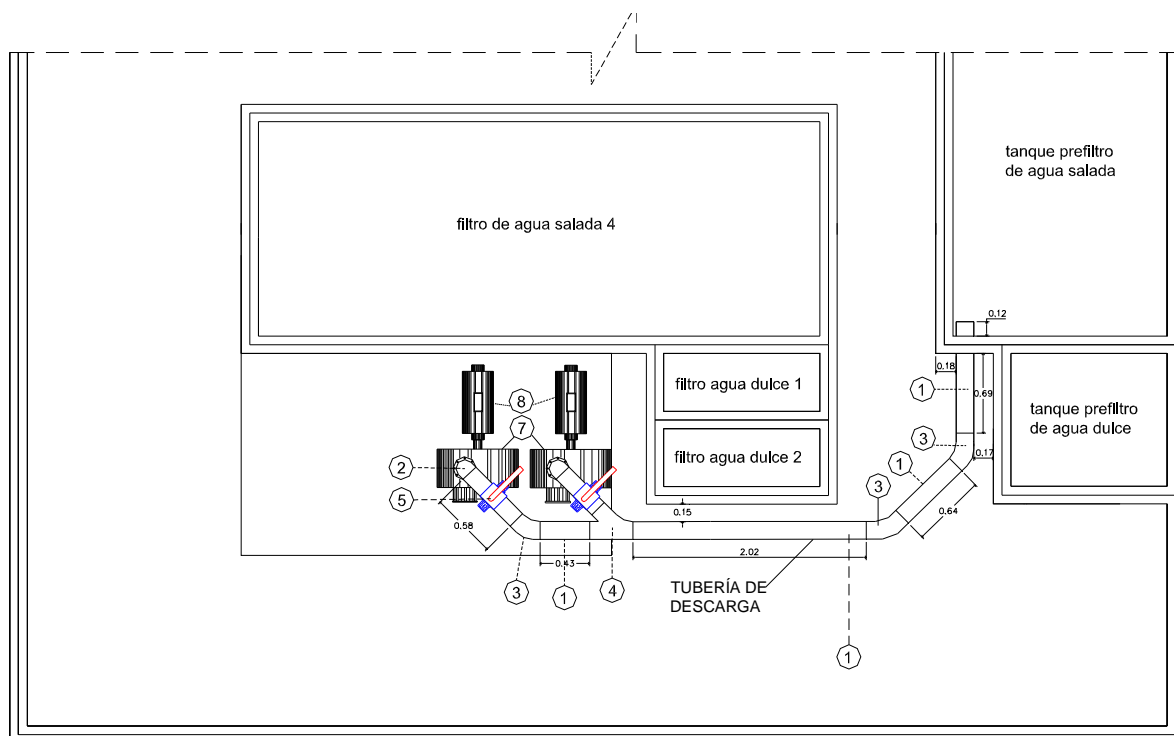


Fig. 5.12. Tubería de descarga

- Cálculo de la potencia de una bomba

$$Q = 42 \left( \frac{l}{s} \right)$$

$$CDT = 2.78 \text{ m}$$

$$Pot = \frac{42 * 2.78}{7.6 * 0.6} = 2.56hp$$

## 2- SELECCIÓN DE EQUIPO DE BOMBEO DE AGUA DULCE.

Calculo del diámetro de la descarga de las bombas.

$$Q = V A \quad ; \quad A = Q / V \quad D = \sqrt[2]{\frac{4A}{\pi}}$$

$$Q = 1 \left( \frac{l}{s} \right) \quad V = 4.5 \left( \frac{m}{s} \right) \quad A = \frac{0.001}{1.5} = .0007m^2$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * 0.0007}{3.1416}} = 0.029m = 1.14'' \quad A_{1''} = \frac{3.1416 * 0.0254^2}{4} = 0.00051m^2$$

- Línea de conducción

$$L = 6m \quad \varnothing = 1'' \quad K = \frac{10.293 - .009^2}{(0.0254)^{5.33}} = 267946.93$$

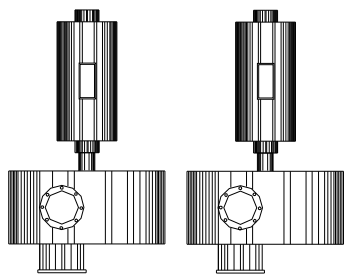
$$h_f = 267946.93 * 6m * (0.001)^2 = 1.61m$$

- Carga estática = 2.42 m
- Carga dinámica total de diseño (CDT)

$$CDT = 2.42 + 1.61 + 0.16 = 4.19 \text{ m.c.a.}$$

$$Q = 1 \left( \frac{l}{s} \right) \quad CDT = 4.19 \text{ m.c.a.}$$

Con estos datos se elige el equipo que se muestra en la Figura 5.13.

 <p>Unidad de bombeo Marca <b>Gorman-Rupp</b>, Modelo <b>T6A3S-B/FV</b>, incorporando bomba serie Súper T Gorman-Rupp modelo <b>T6A3S-B/F</b> de construcción en hierro gris no. 30, de acuerdo a las especificaciones de la página. 2200, "O SIMILAR"</p>	EQUIPO DE BOMBEO INTERNO; DE LA CISTERNA DE RECOLECCIÓN DE AGUA SALADA AL TANQUE PREFILTRO	
	CANTIDAD DE BOMBAS	2
	ARREGLO	(1+1) UNA EN OPERACIÓN Y UNA EN RESERVA
	MARCA	<b>Gorman-Rupp "O SIMILAR"</b>
	MODELO	<b>T6A3S-B/FV</b>
	POTENCIA EN EL MOTOR	<b>5 HP</b>
	CAUDAL	<b>42 LPS</b>
	CDT	<b>4mca</b>

**Fig. 5.14. Equipo elegido**

3.- SELECCIÓN DE EQUIPO DE BOMBEO PARA EL RETORNO AL ACUARIO

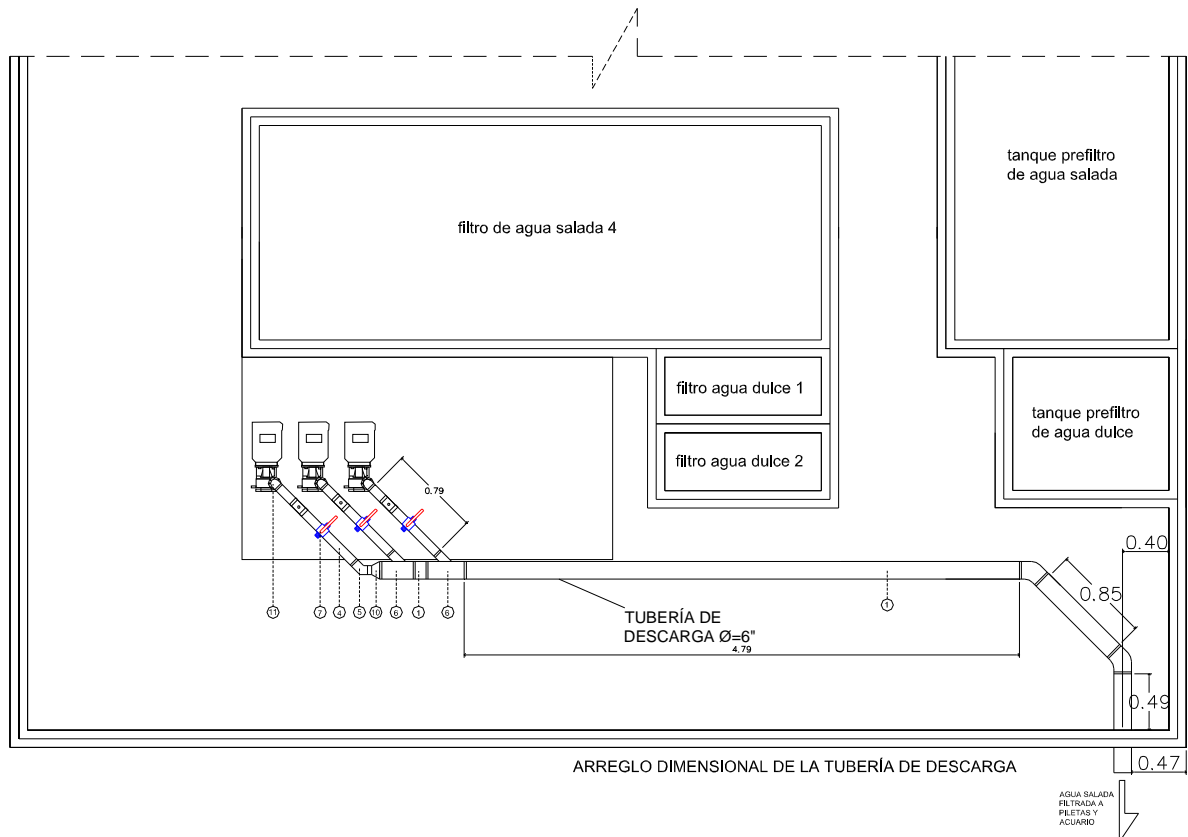


Fig. 5.14. Equipo de bombeo de agua salada de retorno al acuario

$$Q = 42 \left( \frac{l}{s} \right) \quad CE = 21.7 \quad L = 150m$$

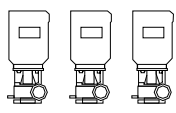
- Línea de conducción

$$h_f = 20.66 * 150m * (0.042)^2 = 5.47m$$

$$CDT = 0.55 + 5.47 + 21.7 = 27.72mca$$

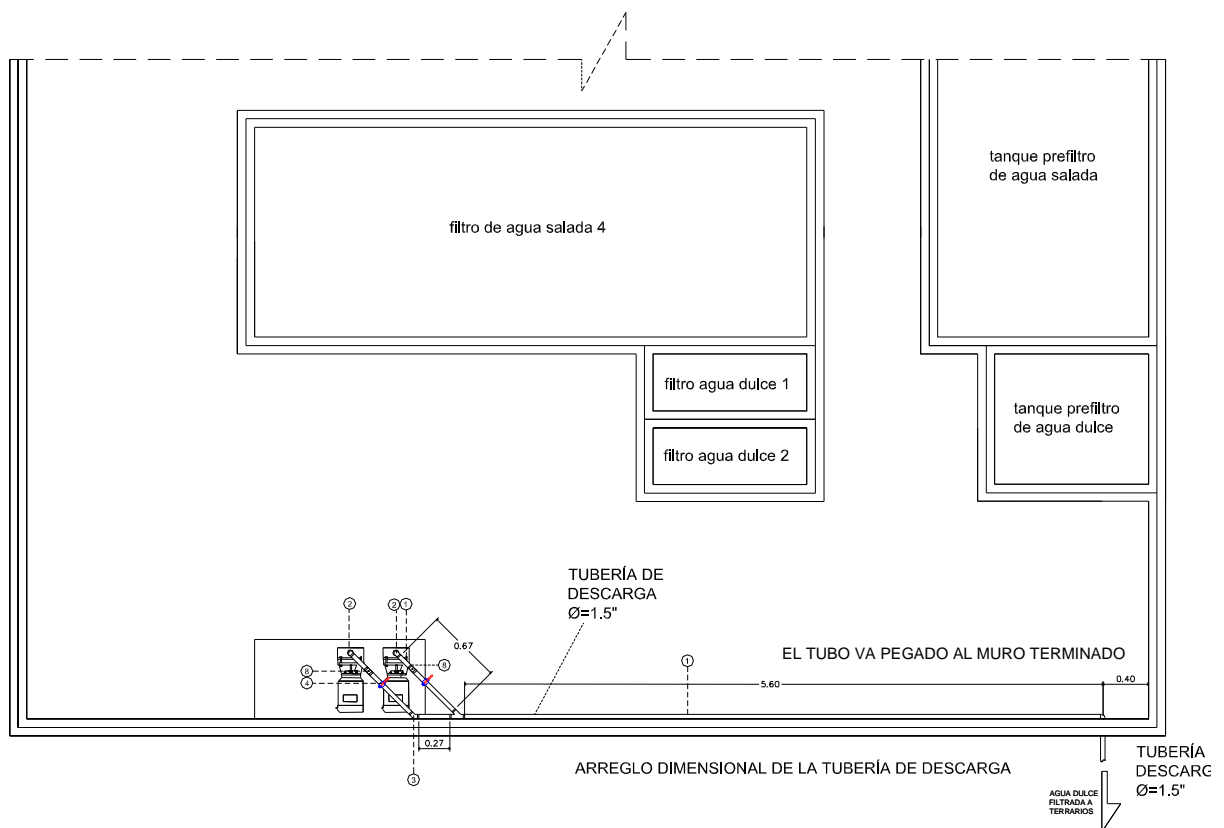
$$Q_B = 21.0 \left( \frac{l}{s} \right) \quad CDT = 26.92mca$$

Con estos datos se elige el equipo que se muestra en la Figura 5.15.

VISTA EN PLANO	EQUIPO DE BOMBEO PROPUESTO	
	DE LA CISTERNA DE BOMBEO DE AGUA SALADA AL ACUARIO Y PILETAS	
  Unidad de bombeo, marca <b>AMT</b> ( <i>Subsidiaria de Gorman-Rupp</i> ), modelo <b>2878-95</b> , de construcción <b>centrifuga horizontal Autocebante</b> en Hierro Fundido con impulsor de Bronce, de acuerdo a las páginas 59/60 del catálogo OTS "O SIMILAR"	CANTIDAD DE BOMBAS	3
	ARREGLO	(2+1) DOS EN OPERACIÓN Y UNA EN RESERVA
	MARCA	<b>AMT</b> ( <i>Subsidiaria de Gorman-Rupp</i> ) "O SIMILAR"
	MODELO	<b>2878-95</b>
	POTENCIA EN EL MOTOR	<b>7.5 HP</b>
	CAUDAL	21 LPS
	CDT	9 mca

**Fig. 5.15. Equipo de bombeo**

#### 4.- SELECCIÓN DE EQUIPO DE BOMBEO DEL RETORNO DE AGUA DULCE A ACUATERRARIOS



**Fig. 5.16. Tubería de descarga de agua dulce al acuario**

Datos:

$$Q = 1 \left( \frac{l}{s} \right) \quad CE = 20.9m. \quad L = 150m$$

$$h_{f1} = 267946.93 * 150m * (0.001)^2 = 40.19m.$$

$$A = \frac{3.1416 * 0.0381^2}{4} = 0.00114m^2$$

$$CDT = 40.19 + 4.02 + 20.9 = 65.11mca$$

$$V = \frac{0.001}{0.00114} = 0.877 \left( \frac{m}{s} \right)$$

$$h_{f1/4} = 81513 * 150m * (0.001)^2 = 12.23m.$$

$$A = \frac{3.1416 * 0.03175^2}{4} = 0.0008m^2$$

$$CDT = 12.23 + 1.22 + 20.9 = 34.35mca$$

$$V = \frac{0.001}{0.0008} = 1.26 \left( \frac{m}{s} \right)$$

$$K = \frac{10.293 - .009^2}{(0.03175)^{5.33}} = 81513.15$$

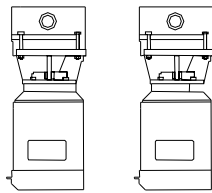
Datos;

$$Q = 1 \left( \frac{l}{s} \right) \quad CDT = 34.35$$

Con estos datos se elige el equipo que se muestra en la figura 5.16:

EQUIPO DE BOMBEO	
DE LA CISTERNA DE BOMBEO DE AGUA DULCE A PILETAS	
CANTIDAD DE BOMBAS	2
ARREGLO	(1+1) UNA EN OPERACIÓN Y UNA EN RESERVA
MARCA	AMT (Subsidiaria de Gorman-Rupp) "O SIMILAR"
MODELO	368A-95
POTENCIA EN EL MOTOR	1/3 HP
CAUDAL	1 LPS
CDT	9 mca

VISTA EN PLANO



Unidad de bombeo, marca **AMT (Subsidiaria de Gorman Rupp)**, modelo **368A-95**, de construcción en Fundición de Hierro de acuerdo a las especificaciones de las hojas 83 y 84 del catalogo OTS: "O SIMILAR"

**Fig. 5.16 Equipo propuesto**

## CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

Se ha diseñado un sistema eficiente de abastecimiento de agua al CMT, además de ello se diseñó el sistema de recirculación tomando en cuenta la necesidad global de ahorro de recursos naturales, además del ahorro de energía para el propio beneficio de CMT.

Se ha desarrollado un sistema de abastecimiento de agua salada optimizando los recursos existentes, es decir, se aprovechó la infraestructura ya instalada como en el caso del dique que sirvió de cimentación para el dique complementario, además, éste servirá de protección en el proceso constructivo del pozo de absorción que se propone. Se han utilizado además la tubería de conducción ya instalada.

Los elementos nuevos en el sistema de abastecimiento de agua salada son el pozo de absorción y el cilindro interno llamado cárcamo de bombeo, entre la cara interior del pozo de absorción y la cara exterior del cárcamo de bombeo se planteó un lecho filtrante de piedra redondeada, esto con el fin de disminuir la cantidad de arena que pudiera llegar al cilindro interior, además de bajar la velocidad de entrada y así disminuir la turbulencia que conlleva la resuspensión de sólidos sedimentados. Con ello se obtendrá la calidad óptima de agua para los distintos usos en el CMT.

No obstante las limitaciones que presenta el acuífero tanto en cantidad como en calidad se desarrolló un sistema de abastecimiento de agua dulce.

Se reubicó la fuente abastecimiento de agua dulce con base en un estudio hidrogeológico, colocando la fuente en el lugar adecuado dentro del predio del CMT.

Se realizó una proyección de necesidades para el CMT, considerando la mejora en la calidad de las instalaciones, además suponiendo un incremento en la difusión de las instalaciones.

Con base en la necesidad de mejora en la calidad del agua en la infraestructura del CMT, se propone la implantación de un sistema de recirculación que optimice la calidad del agua y disminuya drásticamente la extracción de agua a las fuentes de abastecimiento, además de también disminuir eficazmente la contaminación tanto en la playa como el acuífero, ya que como se expresó en el capítulo 1, la disposición de las aguas residuales del CMT, no era la adecuada tanto en el agua salada como en el agua dulce.

## **BIBLIOGRAFÍA**

## BIBLIOGRAFÍA

- Metcalf-Eddy, Ingeniería Sanitaria, **“Tratamiento, Evacuación y Reutilización de Aguas Residuales”**. Editorial Labor, S.A. 1985.
- Comisión Federal de Electricidad, **“Manual de Diseño de Obras Civiles”**. CFE, Instituto de Investigaciones de la Industria Eléctrica, México 1969.
- Walter J, Weber, Jr. **“Control de la Calidad del Agua Procesos Fisicoquímicos”**, Editorial Reverte, S.A. 1979.
- Comisión Nacional del Agua. **“Diseño de Instalaciones Mecánicas y Selección de Equipo Electromecánico, Libro V 4.1, Tomo II”**, Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, CNA, Septiembre, 1994.
- Comisión Nacional del Agua. **“Diseño de Instalaciones Mecánicas y Selección de Equipo Electromecánico, Libro V 4.1, Tomo I”**, Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, CNA, Septiembre, 1994.}
- Facultad de Ingeniería. **“Manual de Normas de Proyecto para Obras de Aprovechamiento de Agua Potable en Localidades Urbanas de la República Mexicana”**, UNAM Facultad de Ingeniería, México 1978.
- SAHR, **“Proyectos de Plantas de Bombeo”**, Plan Nacional de Obras Hidráulicas y de Ingeniería Agrícola para el Desarrollo Rural, México 1980.
- Sotelo Ávila, Gilberto. **“Hidráulica General, Vol. 1, Fundamentos”**, Editorial Limusa, México 2002.