



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

*COMPARATIVA TÉCNICA, OPERATIVA Y FINANCIERA ENTRE*  
UN SISTEMA DE VELOCIDAD VARIABLE Y UN TANQUE ELEVADO  
EN EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

**JESÚS RAMÓN MATA SOTRES**

DIRECTOR DE TESIS:

M.I. LUIS CÉSAR VÁZQUEZ SEGOVIA



MÉXICO D.F.

NOVIEMBRE 2014



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA  
COMITÉ DE TITULACIÓN  
FING/DICyG/SEAC/UTIT/128/2013

Señor

**JESÚS RAMÓN MATA SOTRES**

Presente

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

**"COMPARATIVA TÉCNICA, OPERATIVA Y FINANCIERA ENTRE UN SISTEMA DE VELOCIDAD VARIABLE Y UN TANQUE ELEVADO EN EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE."**

**INTRODUCCIÓN**

**I. ANTECEDENTES**

**II. FUNDAMENTOS Y MARCO TEÓRICO**

**III. ANÁLISIS TÉCNICO-OPERATIVO**

**IV. ANÁLISIS FINANCIERO**

**V. CASO PRÁCTICO**

**VI. RECOMENDACIONES PARA ABASTECER UNA POBLACIÓN**

**VII. CONCLUSIONES**

**BIBLIOGRAFÍA**

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

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

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"

Cd. Universitaria a 13 de Noviembre de 2013

**EL PRESIDENTE DEL COMITÉ**

**M. EN I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ**

JLTS/MTH

## DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Dedico este trabajo a mis padres Antonio y Miriam, a mis hermanos Myriam, José Antonio y Gabriela, pues sin ellos, nada sería posible.

Agradezco de manera especial y sincera al M.I. Luis César Vázquez Segovia por su apoyo y confianza en mi trabajo así como su valiosa guía en la realización del mismo.

A mis sinodales, M.I. Víctor Franco, Ing. Marcos Trejo, Ing. Norma Legorreta y M.I. Luis Alberto Apartado por toda la colaboración brindada durante la elaboración de esta tesis.

Agradezco al Ing. Jorge Briones por darme la oportunidad de formar parte de su grupo de trabajo, pero sobre todo al M. I. Alberto Vázquez Cuevas y al Ing. Félix Martínez por el apoyo, participación, disponibilidad y paciencia brindada, no solamente en el desarrollo de esta tesis, sino también en mi formación como profesionalista.

Quiero expresar también mi más sentido agradecimiento a mis amigos, Gonzalo, Enrique, Rodrigo, Bernardo, Rodrigo, José Francisco, Andrea, Rodrigo y Raúl, a mi novia Yvonne y a todo aquel o aquella que influyó y tuvo un importante aporte tanto en mi vida académica como personal.

¡ Muchas gracias !

*Jesús Ramón Mata Sotres*

Objetivo: Realizar un análisis integral entre los diferentes métodos de abastecimiento de Agua Potable a una población, determinando ventajas y desventajas desde la parte técnica hasta la parte financiera, y así poder emitir una serie de recomendaciones que orienten en la elección de alguno de ellos como única fuente de abastecimiento.

## RESUMEN DE LA TESIS

---

Hoy en día, desarrollar e investigar cualquier tema relacionado al *agua potable*, es hablar de un tema de primer orden debido a los serios problemas de escasez en partes del país y del mundo, aunado a la sobredemanda y desperdicio que se tiene del agua.

Analizar los diferentes métodos de abastecimiento a una población y buscar los beneficios que uno pueda tener sobre el otro en cierto escenario, permite aclarar los factores que intervienen y las razones que los propician; y así poder elegir el que más convenga en las diferentes regiones y necesidades donde se pretenda abastecer agua potable.

A través de varios capítulos, esta tesis desglosa las variables que dan lugar a las diferencias técnicas, operativas y económicas entre un tanque elevado y un sistema de velocidad variable como métodos de abastecimiento. Buscando que la comparativa logre demostrar que uno de los métodos satisface de mejor forma las necesidades de una población y así garantizar el servicio durante un mayor periodo.

## CONTENIDO

---

Objetivo .....	1
Resumen de la tesis .....	1
Introducción .....	4
I. Antecedentes .....	5
1.1 Impacto de los servicios de agua potable en la sociedad .....	5
1.2 Calidad y control del agua .....	6
II. Fundamentos y Marco Teórico .....	7
2.1 Población de proyecto .....	7
Modelo aritmético .....	9
Modelo geométrico (Interés compuesto) .....	9
Modelo logístico o biológico .....	10
Método de incrementos diferenciales .....	10
Modelo de la parábola cúbica .....	10
2.2 Fuentes de abastecimiento .....	11
2.3 Captación .....	12
2.4 Conducción .....	13
Pérdidas por fricción .....	13
Velocidades máximas y mínimas .....	17
Topografía y piezas especiales .....	18
Diámetro económico .....	19
2.5 Almacenamiento .....	20
2.6 Gastos de Diseño .....	22
Gasto medio .....	23
Gastos máximo diarios y horarios .....	23
2.7 Red de distribución .....	25

III.	Análisis Técnico Operativo .....	27
3.1	Descripción general tanque elevado .....	27
3.2	Descripción general sistema de velocidad variable.....	30
IV.	Análisis Financiero .....	31
4.1	Inversión requerida y costos de operación para utilizar tanque elevado.	31
4.2	Inversión requerida y costos de operación para utilizar sistema de velocidad variable .....	33
V.	Caso Práctico.....	35
5.1	Abastecimiento de una población mediante un tanque elevado .....	38
Selección del equipo de bombeo de cisterna a tanque elevado .....	41	
5.2	Abastecimiento de una población mediante un sistema de velocidad variable. ....	43
Selección del equipo de bombeo de cisterna a red de distribución. ....	44	
VI.	Recomendaciones para abastecer una población .....	48
6.1	Técnicas operativas .....	48
6.2	Financieras.....	50
6.3	Ventajas y desventajas .....	52
	Conclusiones.....	55
	Bibliografía .....	56
	Anexos .....	57

---

---

## INTRODUCCIÓN

---

El servicio de agua potable es uno de los factores más importantes que impactan de manera directa a una comunidad, influye en el crecimiento y desarrollo de la sociedad, por ende, en el progreso de un país.

El avance de la humanidad está ligado a la capacidad de idear y utilizar tecnologías vinculadas al agua, desde la extracción, acumulación, distribución, tratamiento de agua residual, sistemas de riego, desalinización de agua marina o la obtención de energía eléctrica mediante medios hidráulicos.

El problema es que cada vez, los métodos para la obtención de agua son más costosos y exigen de mayor tecnología e infraestructura, debido a la sobredemanda que existe, ocasionando que el costo del servicio vaya creciendo conforme va pasando el tiempo, de tal forma que en algunos años se tendrá que pagar de cuatro a cinco veces más por el servicio que lo que se paga hoy en día. Derivado de este punto, radica la importancia de encontrar un método de abastecimiento que cubra las necesidades de una población de la manera más eficiente posible, desde lo técnico hasta lo económico.

# I. ANTECEDENTES

---

## 1.1 IMPACTO DE LOS SERVICIOS DE AGUA POTABLE EN LA SOCIEDAD

---

La calidad y condiciones de vida, así como el aumento de la población son directamente proporcionales a los recursos hídricos de un país, pues se requieren para las actividades industriales, agropecuarias, turísticas y por supuesto para el consumo humano. Debido a las propiedades y características del agua, es posible utilizarla para infinidad de tareas, más allá de ser imprescindible para la vida, se emplea para limpiar, calentar y enfriar, generar vapor, transportar sustancias o partículas disueltas, como disolvente e inclusive como parte inherente y constitutiva del mismo proceso como sucede en la industria de bebidas.

La contaminación y los fenómenos inherentes a ella juegan un papel importante, provocando un cambio en los regímenes de precipitaciones registrados en los últimos años, así como el incremento de zonas desérticas, fomentando migraciones de la población que impactan a la economía de los países. La gestión y utilización de recursos hidráulicos de manera eficiente está en todos, la educación de la sociedad, referente al cuidado del agua así como acciones normativas producirá un cambio positivo en el desarrollo de los países y tiene claros beneficios para la salud y la economía.

“El agua es el principio de todo, es el elemento básico del universo: el agua produce todas las cosas; las plantas y animales no son más que agua condensada bajo diversas formas y en agua se convierten una vez mueren”

**(Tales de Mileto, 640 a. C.)**

## 1.2 CALIDAD Y CONTROL DEL AGUA.

---

El agua es un bien natural insustituible y es el sustento de todas las formas de vida, la falta de acceso al agua limpia y al saneamiento de la misma provoca el 88% de las enfermedades en países en desarrollo.

Entre las enfermedades relacionadas con el agua por los factores de mala salud e higiene se encuentran: el cólera, salmonelosis, sigelosis, amebiasis, fiebre tifoidea y paratifoidea, hepatitis aguda A, E y F, fluorosis, arsenicosis, legionelosis, metahemoglobinemia, esquistosomiasis, sarna, dengue, malaria, encefalitis japonesa, infección por el virus del nilo, fiebre amarilla e impértigo, sólo por mencionar algunas.

La mala salud no es el único problema, el déficit de agua afecta la productividad y crecimiento económico creando un círculo vicioso pobreza-enfermedad-salud difícil de romper generando más pobreza en países vulnerables. Todo esto constituye a la vez la causa y el efecto, los que no disponen de un abastecimiento adecuado y accesible son invariablemente los más pobres de una sociedad.

En México es necesario aplicar la medicina preventiva, en ocasiones, el simple hecho de lavarse las manos con agua y jabón reduce los problemas de diarrea en la mitad de los casos. La mayoría de recursos, tienen gran capacidad de recuperación, un río es una excelente planta de tratamiento de aguas residuales, el problema es que cada vez son más vulnerables por las altas cargas orgánicas y químicas, sumadas a la gran cantidad de agua sin tratar que llega debido a la sobrepoblación e inconciencia que existe sobre el agua.

Las inundaciones y sequías, son tragedias que golpean a una población de manera significativa, la escasez de agua no sólo es un fenómeno natural, la mano del hombre también lo causa; hay suficiente agua potable en el planeta como para abastecer a los 6,000 millones de personas que lo habitamos, lo inconveniente es que está distribuida de forma irregular, está contaminada, se gestiona de forma insostenible y lo peor de todo es que se desperdicia. Se tiene que reflexionar que una ciudad no se puede considerar sostenible sino garantiza un acceso fiable al agua y un saneamiento apropiado.

Lo ideal sería lograr que todos tuvieran acceso al agua en cantidad suficiente, calidad adecuada, presión necesaria y de forma continua.

## II. FUNDAMENTOS Y MARCO TEÓRICO

---

### 2.1 POBLACIÓN DE PROYECTO

---

La Población de Proyecto es una estimación de la cantidad de personas que se espera tener en una localidad al final del periodo de diseño del sistema de agua potable. Dicha estimación debe considerar todos los factores que impactan a una comunidad y así lograr tener menor incertidumbre.

Para proyectar un sistema de abastecimiento, no sólo debemos de tomar en cuenta la población, también el periodo de diseño y la vida útil. El periodo de diseño es el número de años para el cual se diseña el sistema. Es el tiempo que se estima la obra o elemento del proyecto alcanza su máxima eficiencia, o sea el lapso que el sistema será adecuado para satisfacer las necesidades de una comunidad.

No debe confundirse la vida útil de cada uno de los elementos del sistema con el periodo de diseño, la vida útil será el tiempo que razonablemente se espera que la obra sirva a los propósitos sin tener gastos de operación y mantenimiento elevados que puedan ocasionar el abandono y desuso del sistema por ser mayores los costos que los recursos que se tenían destinados para su operación y mantenimiento. El periodo de diseño debe de ser menor que la vida útil. A continuación, se indican según sea el caso (periodo de diseño o vida útil), el número de años que deberán considerarse para cada elemento:

**TABLA 2.1 PERIODOS DE DISEÑO**

<b>ELEMENTO</b>	<b>PERIODO DE DISEÑO (AÑOS)</b>
POZO, EMBALSE (PRESA)	5 HASTA 50
LÍNEA DE CONDUCCIÓN	DE 5 A 20
PLANTA POTABILIZADORA	DE 5 A 10
ESTACIÓN DE BOMBEO	DE 5 A 10
TANQUE	DE 5 A 20
DISTRIBUCIÓN PRIMARIA	DE 5 A 20
COLECTOR Y EMISOR	DE 5 A 20
PLANTA DE TRATAMIENTO	DE 5 A 10

FUENTE: MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO, CNA, 2007

**TABLA 2.2 VIDA ÚTIL**

<b>ELEMENTO</b>	<b>PERIODO DE DISEÑO (AÑOS)</b>
POZO OBRA CIVIL EQUIPO ELECTROMECAÁNICO	DE 10 A 30 DE 8 A 20
LÍNEA DE CONDUCCIÓN	DE 20 A 40
PLANTA POTABILIZADORA OBRA CIVIL EQUIPO ELECTROMECAÁNICO	40 DE 15 A 20
ESTACIÓN DE BOMBEO OBRA CIVIL EQUIPO ELECTROMECAÁNICO	40 DE 8 A 20
TANQUE ELEVADO SUPERFICIAL	20 40
RED DISTRIBUCIÓN PRIMARIA	DE 20 A 40
RED DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA	DE 15 A 30
RED DE ATARJEAS	DE 15 A 30
COLECTOR Y EMISOR	DE 20 A 40
PLANTA DE TRATAMIENTO OBRA CIVIL EQUIPO ELECTROMECAÁNICO	40 DE 15 A 20

FUENTE: MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO, CNA, 2007

Para estimar las tendencias de la población futura, necesitamos estar conscientes que existen factores que no son constantes, como las tasas de fecundidad, natalidad y muerte, así como las condiciones socioeconómicas internas y externas que se traducen en el aumento natural y/o la migración.

Existen varios métodos para estimar la población futura, a continuación se sugieren algunos, aunque cabe mencionar, que al tratarse esta investigación de un desarrollo “cerrado” sin posibilidad de crecimiento, sólo tomaré en cuenta el censo más reciente aplicado por el INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) y se multiplicará por el número de viviendas.

Todos y cada uno de los métodos descritos a continuación son válidos y utilizados, quizá la manera más acertada de estimar una población futura es realizar más de dos métodos y promediarlos, y así disminuir la mucha o poca incertidumbre que un solo método pueda poseer.

---

## MODELO ARITMÉTICO

---

El modelo Aritmético tiene como característica un incremento de población constante para incrementos de tiempo iguales, así entonces la velocidad de crecimiento de la población es constante y proporcional al tiempo que transcurre.

Se expresa con la sig. ecuación:

$$P_f = P_i + K_a (t_f - t_i)$$

$P_f$  = Población final

$t_f$  = Tiempo final

$K_a$  = Constante (incremento de población en unidad de tiempo)

$P_i$  = población inicial en el tiempo  $t_i$

---

## MODELO GEOMÉTRICO (INTERÉS COMPUESTO)

---

El modelo geométrico, se caracteriza por tener una velocidad de crecimiento directamente proporcional al valor de la población en cada instante de tiempo, pero si se supone un crecimiento en progresión geométrica, los valores que se obtienen para la población futura son mayores que los que se obtendrían si se supone un crecimiento en progresión aritmética. Se toma en cuenta un interés periódico para ir aumentando la tasa promedio anual, lo que arroja, después de varias deducciones, la siguiente ecuación.

$$P = P_0 (1 + i)^t$$

$P$  = Población

$i$  = tasa de interés

$P_0$  = Población cuando  $t = 0$

---

## MODELO LOGÍSTICO O BIOLÓGICO

---

Se usa para planear a largo plazo una población y considera como variable principal recursos fijos en consecuencia se obtiene una población máxima limitada. La concepción del modelo corresponde al crecimiento que tienen las moscas o cualquier insecto en un espacio fijo y con alimentación limitada, en donde al inicio la velocidad de crecimiento aumenta hasta un cierto valor a partir del cual decrece teniendo al valor nulo por disminución de alimento y contaminación del medio.

Conforme pasa el tiempo, es natural que las condiciones de desarrollo de una ciudad cambien y cualquier punto de la curva puede ser el principio de otra que obedece a otros factores de crecimiento.

---

## MÉTODO DE INCREMENTOS DIFERENCIALES

---

Para aplicar este método, se considera que la segunda diferencia entre los datos de población es constante lo cual equivale a ajustar los datos a los de una parábola de segundo grado. Es necesario que los datos sean equidistantes.

---

## MODELO DE LA PARÁBOLA CÚBICA

---

Este método considera que la curva de crecimiento de una población es semejante a la de una parábola cúbica del tipo:

$$P = a + bx + cx^2 + dx^3$$

x = año

Se debe conocer cuatro datos para poder aplicar este método

Existen más métodos que tal vez sean un poco más imprecisos, como el MÉTODO DE EXTENSIÓN DE LA CURVA A OJO ó el MÉTODO DE COMPARACIÓN CON OTRAS POBLACIONES.

Por lo mismo de que todos y cada uno de los métodos tenga por lo menos un poco de incertidumbre por los factores que se mencionan con anterioridad que afectan la dinámica de la población en gran medida, la Comisión Nacional del Agua ha editado la norma técnica NT-011-CNA-2001 “Métodos de proyección de Población” que explica de manera detallada los procedimientos a seguir en diferentes situaciones dependiendo de los datos con que se cuente. Dicha norma está basada en datos del Consejo Nacional de Población (CONAPO).

## 2.2 FUENTES DE ABASTECIMIENTO

---

La superficie de la tierra aloja del orden de 1,360,000,000 km<sup>3</sup> de agua, de la cual el 97.2% es agua salada y el restante 2.8% es agua dulce, aproximadamente 40,000,000 km<sup>3</sup> y la mayoría se encuentra como hielo en los polos del planeta (1.8%); así entonces, sólo el 1% del agua es dulce, ubicada en su mayoría como agua subterránea y lo demás en lagos y ríos, así como en vapor en la atmósfera.

La rotación de la tierra, las estaciones del año, los cambios de temperatura, las corrientes marinas y de los vientos, entre otros factores, provocan el ciclo hidrológico, creando ríos, lagos, que a su vez se infiltran y dan origen a manantiales y ríos o depósitos subterráneos.

Por lo tanto hay dos grandes fuentes de abastecimiento, las aguas superficiales y las aguas subterráneas, por supuesto cada una tiene sus ventajas y desventajas.

Las aguas superficiales tienen la principal ventaja de ser visibles, de su disponibilidad así como su fácil acceso, además de que generalmente son aguas blandas, tienen altos contenidos de oxígeno, oxidando y removiendo hierro y magnesio; en la mayoría de los casos el agua superficial está libre de sulfuro de hidrógeno. El problema del agua superficial es la facilidad que existe para contaminarla con aguas residuales, generalmente tiene mucha carga orgánica y el agua superficial es variable en cantidad.

Las aguas subterráneas, son fuentes generalmente mejor protegidas de la contaminación, por lo mismo su calidad es más uniforme y es menos probable que tenga sabor y olor por su baja carga orgánica, no son corrosivas al tener poco oxígeno. Al igual que el agua superficial, tiene desventajas, siendo la principal el difícil acceso a ella, el poco oxígeno que existe provoca concentraciones de sulfuro de hidrógeno y generalmente el agua subterránea tiene una dureza alta.

## 2.3 CAPTACIÓN

---

Hablar de las obras de captación, quizá sea el subtema más complejo en el marco de referencia de este trabajo, pues captar el agua que se requiere de un lugar donde a pesar del estiaje, tamaño de la población y la intensa evaporación, sea posible abastecer agua con el gasto, continuidad y calidad necesaria se convierte en una tarea difícil.

Para esto se utilizan obras de ingeniería, que van desde la creación de un embalse o presa hasta la perforación de un pozo a más de 400 metros y estas mismas obras obedecen a estudios profundos y complejos, ya sean estudios hidrológicos y/o geohidrológicos.

Sin importar si es subterráneo o superficial, existen muchos factores a analizar y que son trascendentales en la toma de decisiones para elegir un lugar de abastecimiento, por ejemplo:

- Características geológicas.
- Nivel de manto freático.
- Naturaleza, distancia y dirección de fuentes de contaminación.
- Características constructivas de la obra.
- Características de la vegetación.
- Disposición de aguas residuales.
- Potabilización del agua.
- Costos de creación, operación y mantenimiento de la Obra.

Dependiendo de la fuente de la que se pretenda utilizar el agua para abastecer a una población será el tipo de obra a realizar.

En caso de que se trate de aguas superficiales se utilizará estaciones de bombeo flotantes o fijas, canales de derivación, diques y presas. Las aguas subterráneas se pueden captar mediante pozos, galerías filtrantes y cajas de manantial.

Cada posible solución que se encuentre para el abastecimiento de agua potable, involucra demasiados elementos y variables que aquí no se describen, pues merecen investigaciones propias y existe literatura especializada en dichos temas, tales como tipos y métodos de perforación de pozos profundos o tipos de cortinas en presas, entre otros.

## 2.4 CONDUCCIÓN

---

Para conducir el agua de la fuente de abastecimiento a una cisterna, tanque de regularización, cárcamo, etc. es necesario utilizar una obra destinada para este fin que se denomina “línea de conducción” que puede trabajar a presión, en el caso de tuberías, o a superficie libre como son los canales y también tuberías.

La línea de conducción tendrá la función de transportar agua de manera continua, ya sea que la energía necesaria para lograrlo sea suministrada por gravedad o por bombeo.

Hablar de la línea de conducción implica hablar de pérdidas de fricción, topografía, material de la línea, velocidades máximas y mínimas permisibles, entre otras cosas. A continuación desglosaré los temas derivados a la conducción sin ahondar demasiado, pues cada uno de ellos son temas de investigación profundos. Los mencionaré única y exclusivamente como marco referente a los objetivos que se buscan en este trabajo.

---

### PÉRDIDAS POR FRICCIÓN

---

Existen varios modelos y ecuaciones para poder calcular las pérdidas por fricción, el modelo Darcy-Weisbach, Hazen-Williams y Manning; todos son válidos y utilizados aunque unos se recomiendan más para un caso que para otro.

Para el diseño de conductos a presión de agua potable, se considera que el modelo Darcy-Weisbach es un poco más certero, pues tiene un fundamento teórico respecto al esfuerzo cortante entre la pared de la tubería y el líquido, así como la viscosidad del mismo, además de que su rango de aplicación no se restringe a las variables experimentales como sucede con Hazen-Williams y Manning; sin dejar de ser válidas y confiables.

De hecho, en el caso práctico descrito capítulos más adelante, se analizan las pérdidas por fricción con la ecuación de Manning debido a la experiencia previa en casos similares y al éxito obtenido con anterioridad aunado a la recomendación de los lineamientos técnicos para la elaboración de estudios y proyectos de agua potable y alcantarillado sanitario (CONAGUA)

La ecuación de Manning:

$$hf = K L Q^2$$

donde:

hf = Pérdida de energía por "fricción", en m

L = Longitud de la línea de conducción, en m.

Q = Gasto por conducir, en  $\frac{m^3}{s}$

$$hf = \frac{10.3 n^2}{D^{16/3}}$$

D = Diámetro de la tubería, en m.

n = Coeficiente de rugosidad.

El coeficiente de rugosidad está en función del material de la tubería, la tabla 2.3 describe los coeficientes de cada uno de los materiales.

**TABLA 2.3 COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING**

<b>TUBERÍA</b>	<b>COEFICIENTE (n)</b>
CONCRETO SIMPLE HASTA 0.45 M DE DIÁMETRO	0.011
CONCRETO REFORZADO DE 0.60 M DE DIÁMETRO O MAYOR	0.011
FIBRO-CEMENTO	0.010
ACERO GALVANIZADO	0.014
ACERO SIN REVSTIMIENTO	0.014
ACERO CON REVSTIMIENTO	0.011
POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PAD)	0.009
PVC (POLICLORURO DE VINILO)	0.009

FUENTE: ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, VOL 1, ENRIQUE CÉSAR VALDEZ, 1994.

La ecuación de Darcy-Weisbach:

$$hf = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

hf = Pérdida de energía por "fricción", en m

f = Factor de pérdidas de carga por "fricción", adimensional

L = Longitud de la tubería, en m

D = Diámetro interno del tubo, en m

V = Velocidad media; en  $\frac{m}{s}$

g = Aceleración de la gravedad; en  $\frac{m}{s^2}$

Para determinar el valor del factor de pérdida (f), se utiliza la ecuación de Colebrook-White o bien el diagrama universal de Moody.

La ecuación de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[ \frac{\epsilon}{3.71 D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right]$$

f = Factor de pérdidas de carga por "fricción" (adimensional)

ε = Rugosidad, en mm (tabla de rugosidades)

Re = Número de Reynolds, (adimensional)

D = Diámetro interior del tubo, en mm

**TABLA 2.4 RUGOSIDAD (ε) DE MATERIALES**

<b>MATERIAL</b>	<b>ε, en mm</b>
Cobre, PVC, PAD	0.0015
Hierro Fundido (nuevo-oxidado)	0.005 a 0.03
Acero	0.04 a 0.10
Asbesto Cemento	0.025 a 0.030
Concreto (liso-áspero)	0.16 a 2.0

FUENTE: MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO, CNA, 2007

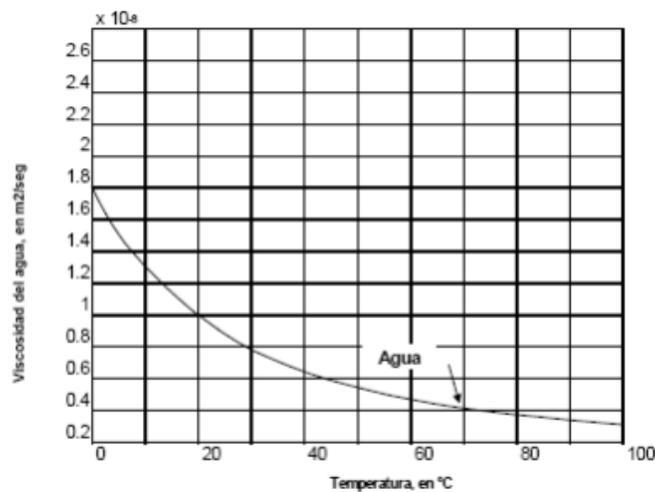
El número de Reynolds obedece a la siguiente expresión:

$$R_e = \frac{VD}{\nu}$$

V = Velocidad media en el conducto, en  $\frac{m}{s}$   
D = Diámetro interno del tubo, en m  
 $\nu$  = Viscosidad cinemática del agua en  $\frac{m^2}{s}$

La viscosidad cinemática varía con la temperatura, en la siguiente figura se observa las diferentes viscosidades según la temperatura.

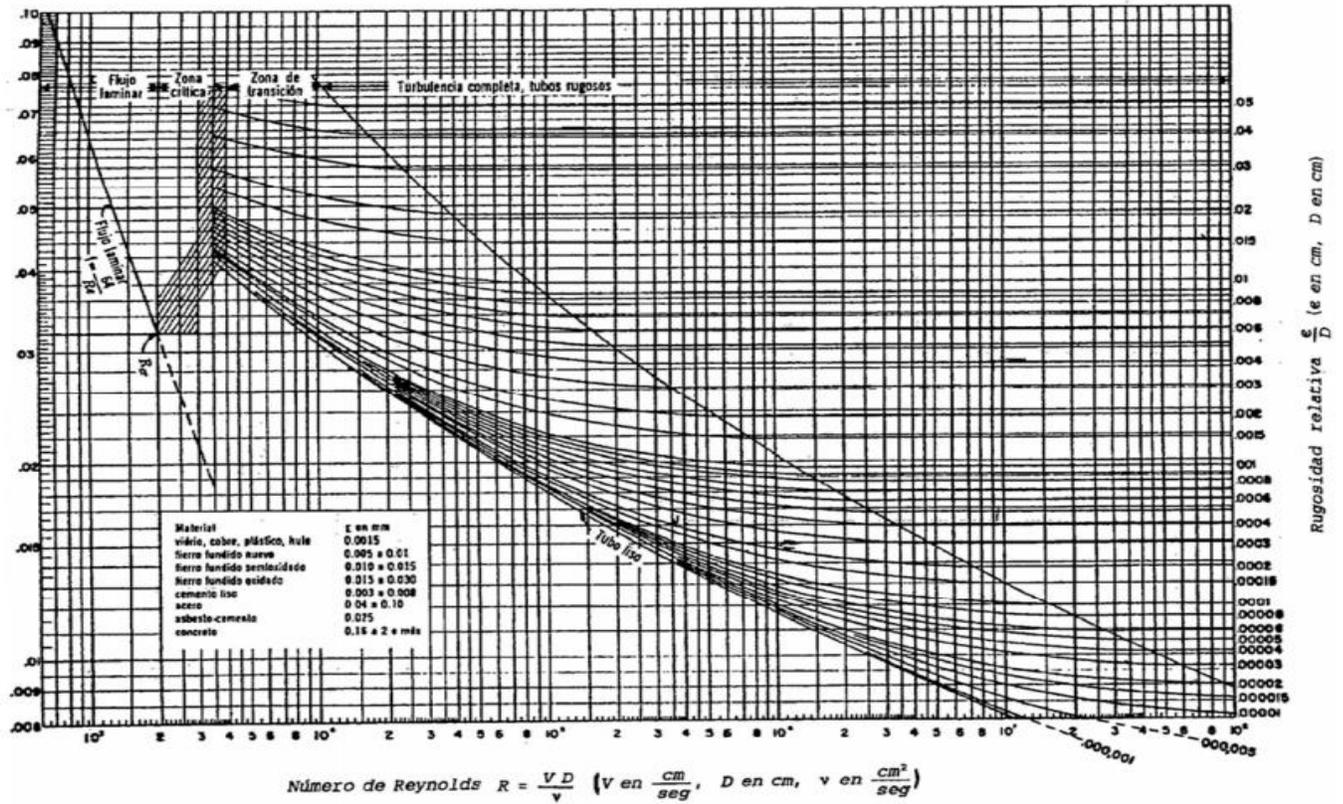
**FIGURA 2.1 VARIACIÓN DE LA VISCOSIDAD CINEMÁTICA DEL AGUA SEGÚN LA TEMPERATURA**



FUENTE: SOTELO A.G., HIDRÁULICA GENERAL (VOL 1), LIMUSA 1997

Ahora bien, si se determina el valor del factor de pérdida de manera gráfica, se utiliza el diagrama universal de Moody, el cual arroja un coeficiente de fricción para cualquier tipo y tamaño de tubo.

FIGURA 2.2 DIAGRAMA UNIVERSAL DE MOODY



FUENTE: SOTELO A.G., HIDRÁULICA GENERAL (VOL 1), LIMUSA 1997

### VELOCIDADES MÁXIMAS Y MÍNIMAS

Las velocidades permisibles estarán gobernadas por las características del material del conducto, existen límites tanto inferiores como superiores, esto es para evitar la precipitación de partículas que arrastre el agua (que sea auto limpiante), en el caso de las velocidades mínimas y para evitar que el fluido erosione las paredes de la tubería se fija la velocidad máxima.

**TABLA 2.5 VELOCIDADES MÁXIMA Y MÍNIMA PERMISIBLES**

Material	VELOCIDAD (m/s)	
	Máxima	Mínima
Concreto simple hasta 45 cm de diámetro	3.00	0.30
Concreto reforzado de 60 cm de diámetro o mayores	3.50	0.30
Concreto presforzado	3.50	0.30
Acero con revestimiento	5.00	0.30
Acero sin revestimiento	5.00	0.30
Acero galvanizado	5.00	0.30
Asbesto cemento	5.00	0.30
Fierro fundido	5.00	0.30
Hierro dúctil	5.00	0.30
Polietileno de alta densidad (PAD)	5.00	0.30
PVC (policloruro de vinilo)	5.00	0.30

FUENTE: MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO, CNA, 2007

---

## TOPOGRAFÍA Y PIEZAS ESPECIALES

---

Transportar y conducir el agua de un punto a otro implica conocer la topografía y el trayecto que recorrerá la línea de conducción, pues la carga necesaria para lograrlo aumentará por cada metro que se eleve y cada metro que avance el agua a través de la línea.

Para poder guiar la línea de conducción a través del terreno, es necesario instalarle piezas especiales, dado que la tubería al ser poco flexible (PAD) o prácticamente nada (PVC) requiere ciertas piezas para poder girar, subir o bajar por el terreno como son: tees, codos, carretes, extremidades, cruces, juntas e inclusive válvulas y atraques.

El tránsito del agua por cada uno de los codos, juntas y válvulas, sumadas a la diferencia de elevaciones existente y la fricción contra la tubería, produce pérdidas de energía que deben ser calculadas al momento de diseñar la línea, intentando obtener un perfil que permita, en la medida de lo posible, tener presiones de operación bajas.

Es importante tomar en cuenta las afectaciones que la línea pueda tener en los terrenos que cruce, ya sean ejidales o particulares, se recomienda que se utilicen los derechos de vías de cauces de agua, ferrocarriles, líneas de energía eléctrica, etc.

El tipo de terreno por el que se pretenda cruzar la línea debe ser analizado a detalle, intentando disminuir excavaciones en roca, ya que resulta más costoso y tardado.

---

## DIÁMETRO ECONÓMICO

---

Existen varios factores a considerar que impactan directamente en los costos de una línea de conducción, tales como el suministro y la instalación, basadas en las especificaciones de fabricación, pruebas de control de calidad, etc.

Diseñar una línea de conducción económica, quiere decir; que sea lo más corta, de menor diámetro y espesor posible, respetando siempre que la línea de conducción se encuentre por debajo de la línea piezométrica evitando presiones negativas y a su vez el uso de válvulas en ese punto.

Si en el perfil aparecen depresiones muy profundas, quizá sea conveniente el uso de “cajas rompedoras de presión” que rompen la línea piezométrica, lo que se traduce en tuberías de menor espesor. El espesor de la tubería, está en función de la presión a la que se encuentre sometida la línea, o sea la distancia que existe entre la línea piezométrica y la tubería.

Conociendo la topografía y altimetría de la trayectoria se determina si es necesario bombear el agua y así darle carga que le permita alcanzar el final de la línea; y con esto se conoce la presión que soportará y por tanto el espesor y el material a elegir (PVC, Acero, PAD, Concreto).

En el supuesto caso que se utilice un equipo de bombeo para suministrar energía tenemos que encontrar la solución más económica, o sea la que se encuentre en el punto medio entre el diámetro a elegir y la potencia de la bomba. Entre más pequeño sea el diámetro, presenta mayores pérdidas de carga y se necesita una bomba de mayor potencia, por ende más costosa y de mayor

consumo de energía eléctrica. Ahora bien, si se aumenta el diámetro de la tubería, la potencia de la bomba se reduce pero el costo de la tubería aumenta.

Para encontrar el punto medio entre el diámetro de la tubería y la potencia de la bomba, se recomienda utilizar una tabla que permita iterar hasta encontrar el diámetro económico.

**TABLA 2.6 TABLA DIÁMETRO ECONÓMICO**

Diámetro Nominal		Área (m <sup>2</sup> ) (A)	Gasto (m <sup>3</sup> /s) (Q)	Velocidad (m/s) (V)	Long. Línea (m) (L)	C	hf (m)	He (m)	Carga de velocidad V <sup>2</sup> /2g	% hf, otras pérdidas	Hm (m)	Iase Tuber
mm	in						$h_f = \left[ \frac{Q}{35.834 \times 10^{-7} C d^{2.63}} \right]^{1.054} L$					

BOMBA				GOLPE DE ARIETE							
η (%)	Potencia			Diámetro (d) (cm)	Espesor (e) (cm) *	Ea (kg/cm <sup>2</sup> )	Et (kg/cm <sup>2</sup> )	Sobrepresión	Sobrepresión absorbida por la tubería 0.2 <sup>h</sup>	Hmax = Hm + 0.2 h	Revisión de Tubería
	$CV = \frac{Q H_m}{75 \eta}$	$HP = \frac{Q H_m}{76 \eta}$	$kW = \frac{CV \times 0.745}{7}$					$h = \frac{145 V}{\sqrt{1 + \frac{E_a d}{E_t e}}}$			

FUENTE: ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, VOL 1, ENRIQUE CÉSAR VALDEZ, 1994.

Si se determina que la tubería esté enterrada para protegerla del paso de vehículos, maltrato, variaciones de temperatura, exposición a rayos solares, etc. (recomendado para PVC, PAD). Se debe de considerar el costo de la zanja que necesite la línea de conducción para su colocación, pues entre más grande sea el diámetro, la zanja será más grande e involucra más material a excavar, acarrear y rellenar, entre otros trabajos a realizar, lo cual se refleja en mayores costos.

## 2.5 ALMACENAMIENTO

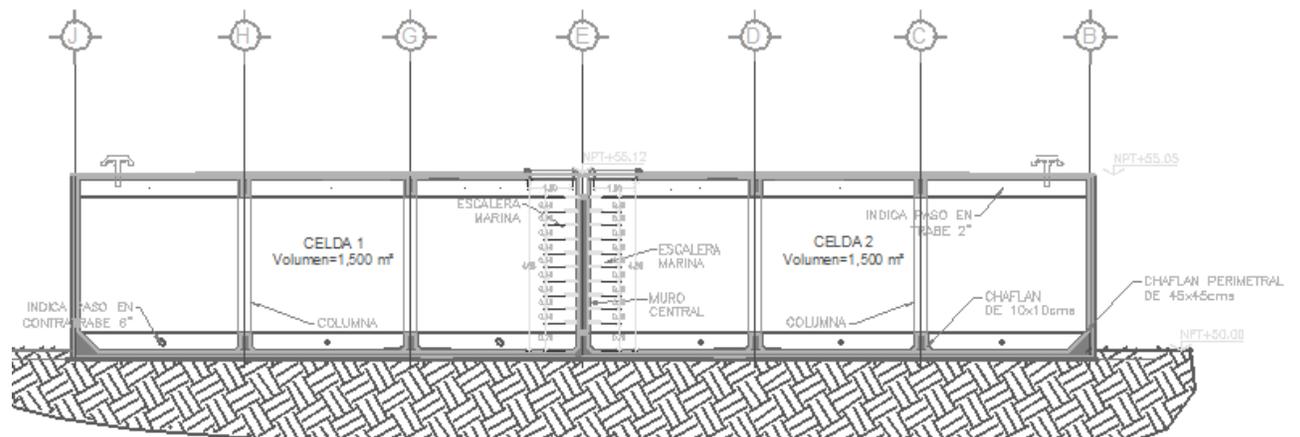
El almacenamiento de agua potable se refiere a la capacidad de reunir y acumular agua en un espacio suficiente que garantice que la población tenga del vital fluido cuando lo requiera, e inclusive sirve para la atención a contingencias como incendios o fallas en los sistemas de captación. Tiene la ventaja de igualar las demandas sobre la fuente de abastecimiento, la línea de conducción y distribución.

El almacenamiento va de la mano de la regularización, pues almacenar el agua permite transformar el régimen de alimentación de agua proveniente de la

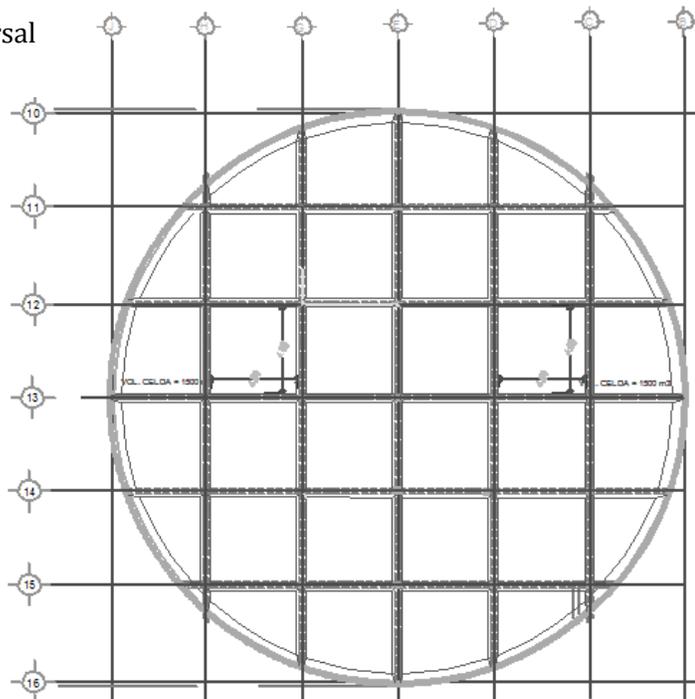
fuente que generalmente es constante en régimen de demanda que es variable como lo es el consumo.

Para almacenar agua se utilizan cisternas y se recomienda tenga la capacidad necesaria para proveer de agua a la población de uno a dos días en caso de una contingencia.

**FIGURA 2.3 PROYECCIÓN CISTERNA**



Corte transversal



Vista en planta

## 2.6 GASTOS DE DISEÑO

---

Para analizar los gastos de diseño es necesario conocer el concepto de dotación, el cual se refiere a la cantidad de agua que se asigna a cada habitante y que comprende todos los consumos de los servicios que se hacen en un día medio anual, incluyendo pérdidas. Se podría decir que es el cociente de la demanda entre la población de proyecto o el consumo diario promedio per cápita.

La Comisión Nacional del Agua ha editado la Norma Técnica NT-009-CNA-2001 “Cálculo de la Demanda de Agua Potable” que explica los procedimientos a seguir para este fin, así como documentos para la evaluación socioeconómica de proyectos.

Dichas Normas determinan la demanda de agua potable tomando en cuenta factores como: distribución de la población por estrato socioeconómico, clima y sus variaciones en el año, si el agua es para industria, comercios o viviendas, existencia de alcantarillado, entre otros.

Dadas las características de este proyecto es posible utilizar las siguientes tablas para determinar la dotación.

**TABLA 2.7 CONSUMO DOMÉSTICO PER CÁPITA**

CLIMA	CONSUMO POR CLASE SOCIOECONÓMICA (l/hab/día)		
	RESIDENCIAL	MEDIA	POPULAR
CÁLIDO	<b>400</b>	<b>230</b>	<b>185</b>
SEMICÁLIDO	<b>300</b>	<b>205</b>	<b>130</b>
TEMPLADO	<b>250</b>	<b>195</b>	<b>100</b>

*Nota: Climas semifrío y frío, considerar los mismos valores que para clima templado*  
FUENTE: MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO, CNA, 2007

**TABLA 2.8 CLASIFICACIÓN DE CLIMA SEGÚN SU TEMPERATURA**

TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	TIPO DE CLIMA
MAYOR QUE 22	CÁLIDO
DE 18 A 22	SEMICÁLIDO
DE 12 A 17.9	TEMPLADO
DE 5 A 11.9	SEMIFRÍO
MENOR QUE 5	FRÍO

FUENTE: MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO, CNA, 2007

Los requerimientos de agua para un sistema de distribución no son constantes durante el año, ni el día, sino que la demanda varía en forma diaria y horaria, así entonces hablaremos de varios gastos, los cuales son:

---

### GASTO MEDIO

---

El gasto medio es la cantidad de agua requerida para satisfacer las necesidades de una población en un día de consumo promedio y se obtiene de la con la siguiente ecuación:

$$Q_{MED} = \frac{(D) (P)}{86400}$$

donde

$Q_{MED}$  = Gasto Medio Diario, en lps.

D = Dotación, en l/hab/día.

P = Número de habitantes.

86400 = segundos / día

---

### GASTOS MÁXIMO DIARIOS Y HORARIOS

---

Las condiciones climáticas, los días de trabajo, los eventos sociales, etc. influyen e impactan ampliamente al consumo de agua. Durante la semana, el lunes se producirá el mayor consumo y el domingo será menor. Algunos meses demandarán un promedio diario de consumo mayor que el promedio anual, como lo son los meses calurosos.

Existen demandas diferentes en un mismo día, no es lo mismo el consumo que existe al medio día que el que se presenta alrededor de las cuatro de la madrugada.

En conclusión, los gastos máximo diario y máximo horario son los requeridos para satisfacer las necesidades de la población en un día de máximo consumo, y a la hora de máximo consumo en un año tipo, respectivamente.

El gasto máximo diario se obtienen de la siguiente manera:

$$Q_{Md} = (CV_d)(Q_{MED})$$

donde

$Q_{Md}$  = Gasto Máximo Diario, en l/s.

$CV_d$  = Coeficiente de Variación diaria. (1.2 a 1.5)

Y el gasto máximo horario

$$Q_{Mh} = (CV_d)(CV_h)(Q_{MED})$$

donde

$Q_{Mh}$  = Gasto Máximo Horario, en l/s.

$CV_d$  = Coeficiente de Variación diaria. (1.2 a 1.5)

$CV_h$  = Coeficiente de Variación horaria. (1.5 a 2.0)

Cada una de las estructuras de Agua Potable se diseñará con el gasto máximo horario o el gasto máximo diario respectivamente. La tabla 2.9 indica el gasto con el que se debe diseñar cada una de las estructuras:

**TABLA 2.9 GASTOS DE DISEÑO**

TIPO DE ESTRUCTURA	GASTO MÁXIMO DIARIO	GASTO MÁXIMO HORARIO
FUENTE Y OBRA DE CAPTACIÓN	X	
CONDUCCIÓN	X	
CONDUCCIÓN (ALIMENTACIÓN A LA RED)	X	
TANQUE DE REGULARIZACIÓN	X	
RED DE DISTRIBUCIÓN		X

FUENTE: ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, VOL 1, ENRIQUE CÉSAR VALDEZ, 1994.

Es importante recalcar que el diseño de cada una de las estructuras es un tema de estudio particular, que más allá de ser interesante es basto y complejo, por lo mismo escapan a los alcances de este trabajo que se limita a los temas que impacten de manera directa los objetivos que se buscan alcanzar.

## 2.7 RED DE DISTRIBUCIÓN

Para entregar agua a cada vivienda de la población o punto de interés dentro de ella que lo demande, se necesita una red de distribución, la cual, como su nombre lo indica, será una tubería que formará una red en las calles variando en diámetro, dirección de flujo etc. según lo indique el análisis de diseño.

Al igual que varios de los temas a los que hace referencia este trabajo de investigación, la red de distribución merece un análisis particular, profundo y detallado, pues el diseño de una red tiene variables complejas a considerar y así como los demás temas, se mencionan de manera general, porque van de la mano y son importantes para los objetivos que persigue el desarrollo de este estudio.

Para diseñar una red, se propone un trazo tentativo de la misma después de considerar factores como la topografía, longitudes, etc. y se toma el punto más lejano como referencia, se le asigna una carga de  $1.5 \frac{kg}{cm^2}$  (mínima recomendada para garantizar que el servicio sea el adecuado) y a partir de dicho punto se comienza a caminar hacia atrás, revisando pérdidas, longitudes de los circuitos, diámetros en los tramos, sentido y velocidad del flujo según la hora del día y gasto necesario.

El proceso de diseño es laborioso debido a una serie de iteraciones que se necesitan realizar variando los factores que intervienen tramo tras tramo de la red para comprobar que el diseño es correcto. La tabla 2.10 expone un ejemplo referente al diseño de una red y marcado en color rojo y amarillo los puntos más distantes y con menor carga.

**TABLA 2.10 EJEMPLO DISEÑO RED DE AGUA POTABLE**

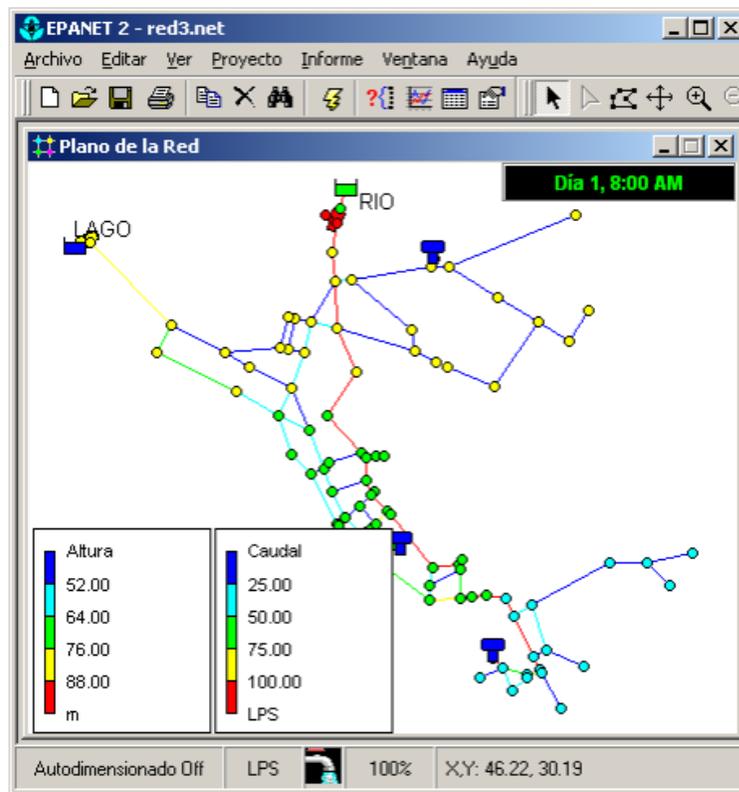
Tramo (desde hacia)	Crucero	Longitud real (m)	Longitud virtual (m)	Número de Habitantes			Gasto (l/s)
				Propios	Tributarios	Totales	
165-166	165	101.87	203.74	58	0	58	0.261
166-167	166	68.45	136.90	39	58	97	0.436
164-167	164	116.91	233.82	66	0	66	0.299
167-168	167	95.12	190.24	54	163	217	0.979
168-169	168	88.01	176.02	50	217	267	1.204

Gasto (l/s)	Diámetro (Pulgadas)		Pérdida de Carga H (m)	Cotas (m)		Carga Disponible (m)	Carga mínima de 15 m
	Teórico	Nominal		Piezométrica	Terreno		
0.261	0.6548	0.75	5.96139	30.31	17	13.31	15.00
0.436	0.8467	1	2.55591	36.27	18	18.27	19.96
0.299	0.7015	0.75	8.82883	30.00	15	15.00	16.69
0.979	1.2686	1.5	2.20382	38.83	18	20.83	22.52
1.204	1.4070	1.5	2.99258	41.03	18	23.03	24.72

Con el avance de la tecnología, se han desarrollado software que permite el análisis de una red de manera más práctica y sobretodo más rápida. Existen varios programas capaces de realizar el análisis de una red, EPANET es uno de ellos. Dicho programa es capaz de realizar simulaciones en un periodo extendido o en un instante del comportamiento hidráulico en redes de distribución a presión. Determina el caudal que circula por cada tubería, la presión en cada uno de los nudos, el nivel de agua en cada tanque durante un determinado periodo de simulación analizado en diferentes intervalos de tiempo.

**FIGURA 2.4 EJEMPLO DISEÑO RED DE DISTRIBUCIÓN UTILIZANDO EPANET**



Con el diseño de la red concluido se conoce la carga de presión necesaria al principio de la red de distribución y con este dato se diseñará el tanque elevado o el sistema de velocidad constante, respectivamente.

### III. ANÁLISIS TÉCNICO OPERATIVO

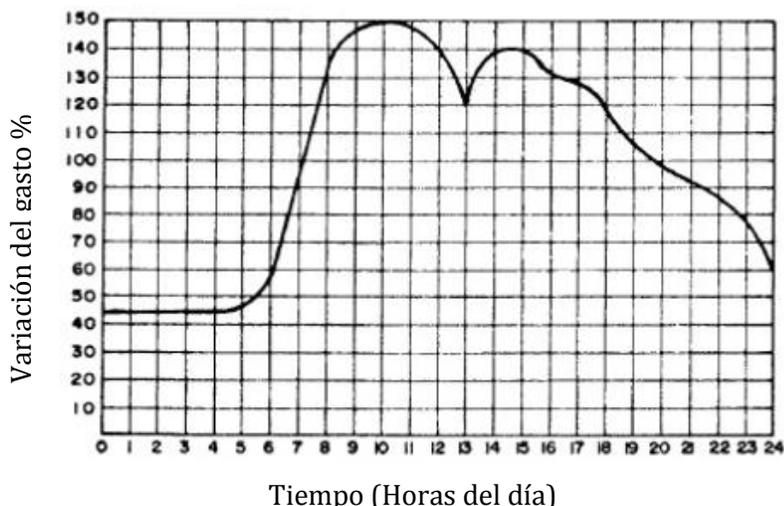
#### 3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL TANQUE ELEVADO

El tanque elevado es una estructura construida a varios metros del suelo, capaz de almacenar agua, la cual es bombeada por una o varias bombas de la cisterna. Tiene básicamente dos funciones, la primera es regular los regímenes de distribución, acumulando agua cuando la demanda es menor que el gasto de llegada y utilizándola cuando la demanda sea mayor; la segunda función es proporcionar carga gracias a su altura para que el agua sea conducida con la presión necesaria hasta el punto más lejano.

La capacidad de regulación estará en función del gasto máximo diario y la ley de demandas que presente la población que se pretende abastecer. Es importante recalcar que esta estructura debe de cumplir con normas de higiene y seguridad, debe ofrecer un servicio eficiente y el costo de inversión y mantenimiento debe de ser el menor posible.

Con base en la experiencia y estudios realizados al consumo de agua en una población, se determinó la siguiente gráfica que expone el comportamiento del consumo de un día promedio del año, referido al gasto  $m$

FIGURA 3.1 HIDROGRAMA DE DISEÑO DE UNA POBLACIÓN



FUENTE: ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, VOL 1, ENRIQUE CÉSAR VALDEZ, 1994.

El tamaño del tanque elevado estará en función del número de bombas y gasto proporcionado por ellas, así como del número de horas que operarán durante el día para proveerlo de agua. Para esto, se puede realizar una tabla que mencione las horas del día contra el consumo de agua que exige la población y la cantidad de agua que abastecen las bombas. Dando como resultado la diferencia de agua que está sobrando o bien, que falta; esto nos dará una idea del volumen que necesitamos para que en ninguna hora del día escasee el agua y tampoco se tenga un tanque demasiado grande y por lo mismo más costoso. La tabla para calcular el volumen del tanque debe de considerar:

- Horas de bombeo
- Gasto de bombeo (suministro de entrada)
- Demanda horaria (salida)
- Diferencia entre la entrada y la salida
- Diferencia acumulada

Es importante considerar que los resultados que nos arroje la tabla no serán los únicos a analizar, por ejemplo, el tanque más pequeño puede existir bombeando durante una hora y descansando las bombas la siguiente hora, y así durante todo el día; esto dañaría a las bombas por el continuo arranque y paro de ellas. Existen otros factores que impactan directamente en la elección del volumen del tanque, como son el consumo de energía eléctrica que exigirán las bombas, pues entre mayor sea el gasto que aporten, más caballos de fuerza se necesitarán y el consumo de energía eléctrica será mayor.

También se puede calcular el volumen del tanque de manera gráfica. La demanda de la población generada en una gráfica arroja una línea llamada curva masa, la cual describe el consumo de agua a través del día. El bombeo de agua de la cisterna al tanque elevado también genera una curva masa que describe, según sean los horarios de bombeo, el gasto de llegada en el día. Se empalman las dos curvas y la diferencia que exista entre ellas será el exceso de agua que tendrá el tanque o el agua faltante respectivamente, en ese instante del día.

**FIGURA 3.2 COMBINACIÓN DE CURVAS MASA DE ENTRADA Y SALIDA**

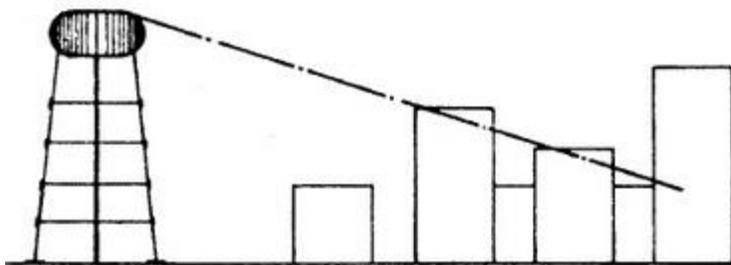


FUENTE: ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, VOL 1, ENRIQUE CÉSAR VALDEZ, 1994.

La elevación del tanque estará en función de la distancia que exista al punto más alejado, pues entre más lejos esté dicho punto, la elevación tendrá que ser mayor para garantizar la presión necesaria en la línea o bien, es posible cambiar la ubicación del tanque a un lugar más céntrico reduciendo la distancia del punto más alejado y de esta forma ya no es necesario que sea aún más alto. Las siguientes figuras ilustran los dos casos mencionados.

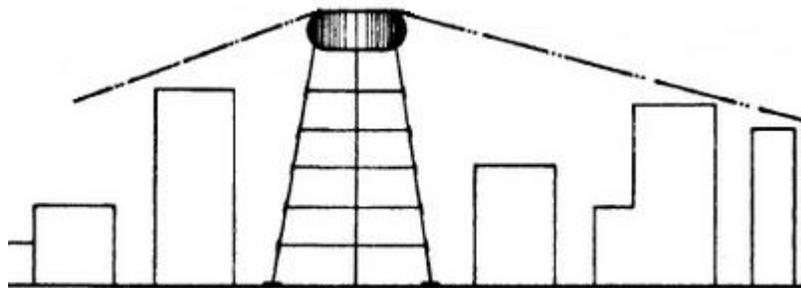
La línea punteada representa las pérdidas que se tienen de energía, esto se traduce en pérdidas de presión que la red de distribución tendrá conforme se aleje del tanque elevado.

**FIGURA 3.3 TANQUE ELEVADO AL EXTREMO DE UNA POBLACIÓN**



FUENTE: ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, VOL 1, ENRIQUE CÉSAR VALDEZ, 1994.

**FIGURA 3.4 TANQUE ELEVADO CENTRO DE UNA POBLACIÓN**



FUENTE: ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, VOL 1, ENRIQUE CÉSAR VALDEZ, 1994.

### 3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL SISTEMA DE VELOCIDAD VARIABLE

---

Abastecer agua a través de un sistema de velocidad variable es otra opción que se tiene en vez de un tanque elevado. El sistema de velocidad variable consta de un cierto número de bombas instaladas en paralelo y un variador de velocidad, que mediante un proceso electromecánico combina el uso de microprocesadores y sensores de presión, que garantiza presión uniforme en la red de distribución sin importar que la demanda sea variable.

Es importante no confundir un sistema de velocidad variable con un sistema de bombeo tradicional con hidroneumático. Un sistema de bombeo con hidroneumático proveerá a la red con un gasto y presión uniforme mediante una combinación adecuada de aire y agua con un tanque de aire a presión arrancando las bombas a carga y gasto total, sin importar si una o varias tomas de agua demandan el servicio.

En cambio, el sistema de velocidad variable mandará a la red presión constante pero el gasto variará en función del número de tomas que demande el servicio. Todo lo anterior se verá reflejado en los consumos de energía y en el mantenimiento de los equipos, ya que en un sistema de bombeo convencional, las bombas arrancan al mismo número de revoluciones por minuto cada vez que prenden y en la mayoría de los casos está sobrado el gasto, generando que los equipos se desgasten y trabajen de más cuando no es necesario.

En un sistema de bombeo con variador de velocidad, las revoluciones por minuto aumentarán o disminuirán según sea el caso y por tanto el consumo eléctrico estará en función de la actividad de los equipos y el desgaste de los mismos será menor.

**FIGURA 3.5 EQUIPO DE BOMBEO MEDIANTE UN SISTEMA DE VELOCIDAD VARIABLE**



## IV. ANÁLISIS FINANCIERO

---

### 4.1 INVERSIÓN REQUERIDA Y COSTOS DE OPERACIÓN PARA UTILIZAR TANQUE ELEVADO

---

La inversión necesaria para utilizar el tanque elevado como opción para abastecer a la población, involucra la construcción del tanque y el equipamiento electromecánico de las bombas que proveen agua de la cisterna al tanque elevado así como tableros, cables y todo lo necesario para su correcto funcionamiento.

La cotización de dichos trabajos es la siguiente:

Construcción tanque elevado:	\$ 2,800,000.00
Equipamiento Electromecánico:	<u>\$ 1,200,000.00</u>
	<b>\$ 4,000,000.00</b>

Para poder estimar el costo por operación mensual se calcula los kilowatts que consume cada bomba con base en la potencia del motor. Los motores de cada una de las bombas tiene una potencia de 30 HP; en el capítulo siguiente se justifica a detalle la potencia de dichos motores.

Se multiplican los HP por un factor (0.746) para determinar los kilowatts que consumen

$$kW = HP (0.746)$$

$$kW = 30 (0.746)$$

$$\text{Cada motor demanda } 22.38 \text{ kW}$$

La tarifa de la Comisión Federal de Electricidad por cada kilowatt hora es:

$$\text{kWh: } \$ 1.68 \text{ pesos}$$

Ahora bien, hay que estimar el tiempo que trabajará la bomba. Y se considera lo siguiente:

Multiplicando el gasto máximo diario por los segundos de un día es posible conocer el volumen que puede llegar a demandar el sistema en el día más desfavorable. Si dicho volumen se divide entre el volumen del tanque elevado, figura 5.4 (200 m<sup>3</sup>), se obtiene el número de veces que llena el tanque elevado al día.

$$\text{No. de veces que se llena el tanque al día} = \frac{(Q_{Ma})(86,400)}{\text{Vol. Tanque}}$$

$$\text{No. de veces que se llena el tanque al día} = \frac{(33.07 \text{ l/s})(86,400 \text{ s})}{200,000 \text{ l}}$$

Durante el día el tanque se llenará 14.28 veces.

Conociendo el gasto de la bomba (detallado en el siguiente capítulo), se calcula el tiempo que tardará en llenar el tanque y multiplicándolo por el número de veces que lo hará, se determinan las horas que trabaja al día y durante un mes.

$$\text{Tiempo que tarda en llenado (hrs)} = \frac{\left(\frac{200,000 \text{ l}}{50 \text{ lps}}\right)}{3600 \text{ s}}$$

$$1.11 \text{ hrs} = \frac{\left(\frac{200,000 \text{ l}}{50 \text{ lps}}\right)}{3,600 \text{ s}}$$

Ahora bien, para determinar el tiempo que trabaja:

$$\text{Tiempo trabajo}_{\text{día}} = 1.11 \times 14.28$$

$$\text{Tiempo trabajo}_{\text{día}} = 15.86 \text{ hrs}$$

$$kW = 30 \text{ HP} \times 0.746$$

$$kW = 22.38$$

$$\text{Consumo}_{\text{día}} = (22.38 \text{ kW})(15.86 \text{ hrs})$$

$$\text{Consumo}_{\text{día}} = 354.94 \text{ kWh}$$

Presenta un consumo de:

$$\text{Consumo}_{\text{día}} = (354.94 \text{ kWh})(\$ 1.68)$$

$$\text{Consumo}_{\text{día}} = \$ 596.29$$

Para un consumo mensual:

$$\text{Consumo}_{\text{mensual}} = (\$ 596.29)(30)$$

$$\text{Consumo}_{\text{mensual}} = \$ \mathbf{17,888.70}$$

## 4.2 INVERSIÓN REQUERIDA Y COSTOS DE OPERACIÓN PARA UTILIZAR SISTEMA DE VELOCIDAD VARIABLE

---

La inversión necesaria para utilizar un sistema de velocidad variable es la compra, suministro e instalación de equipos de bombeo y tren de descarga, así como tableros, cables y todo lo necesario para su correcto funcionamiento.

La cotización de dichos trabajos es la siguiente:

Equipamiento electromecánico:	\$ 1,250,000.00
Construcción Caseta de operación:	<u>\$ 50,000.00</u>
	<b>\$ 1, 300,000.00</b>

El costo por operación mensual es el siguiente:

Entre las principales bondades que ofrece el sistema de velocidad variable, es que las bombas consumen energía eléctrica en función del número de revoluciones por minuto que presente; al ser variable por el gasto que se demande, el consumo energético no será constante al trabajar las bombas.

Tal como se menciona en el párrafo anterior, las bombas presentan un arranque en “rampa” y no es sencillo estimar el consumo eléctrico por las variaciones de las revoluciones en las bombas. Así entonces, para conocer los consumos se multiplica por 0.65 la demanda de las bombas, tal como lo indica la tabla 430-23 (c) Clasificación de servicio en función de la resistencia, del diario oficial. (Tabla 4.1, arranque ligero intermitente).

**TABLA 4.1 CLASIFICACIÓN DE SERVICIO EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA**

AMPACIDAD EN PORCENTAJE A PLENA CARGA

Arranque ligero	35
Arranque pesado	45
Arranque extra-pesado	55
Arranque ligero intermitente	65
Arranque intermitente medio	75
Arranque intermitente pesado	85
Servicio Continuo	110

FUENTE: DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN

Con base en la gráfica de demandas de una población pequeña, figura 3.1 es posible estimar el número de bombas y de horas que operarán y así conocer los costos. Se determina, para fines de cálculo, que las bombas trabajan 23 horas al día, 14 horas una bomba y 9 horas ambas bombas. Esto es posible estimarlo debido a que se conoce el volumen y gasto que deben bombear apoyados en la figura 3.1, siendo prácticamente el mismo que en el caso del tanque elevado, tal como se explica más adelante.

Para poder estimar el costo por operación mensual se calcula los kilowatts que consume cada bomba con base en la potencia del motor. Los motores de cada una de las bombas tiene una potencia de 15 HP; en el capítulo siguiente se justifica a detalle la potencia de dichos motores.

$$kW = HP (0.746)$$

$$kW = 15 (0.746) \quad \text{Cada motor demanda } 11.19 \text{ kW}$$

La tarifa de Comisión Federal de Electricidad (CFE) por cada kilowatt hora es:

Tarifa kWh: \$ 1.68 pesos

Consumo 2 bombas (hora pico, 9 horas)

$$Consumo = (2 \times 11.19)(9)(1.68)(0.65)$$

$$Consumo = \$ 219.95$$

Consumo 1 bombas (baja demanda, 14 horas)

$$Consumo = (11.19)(14)(1.68)(0.65)$$

$$Consumo = \$ 171.07$$

Consumo mensual

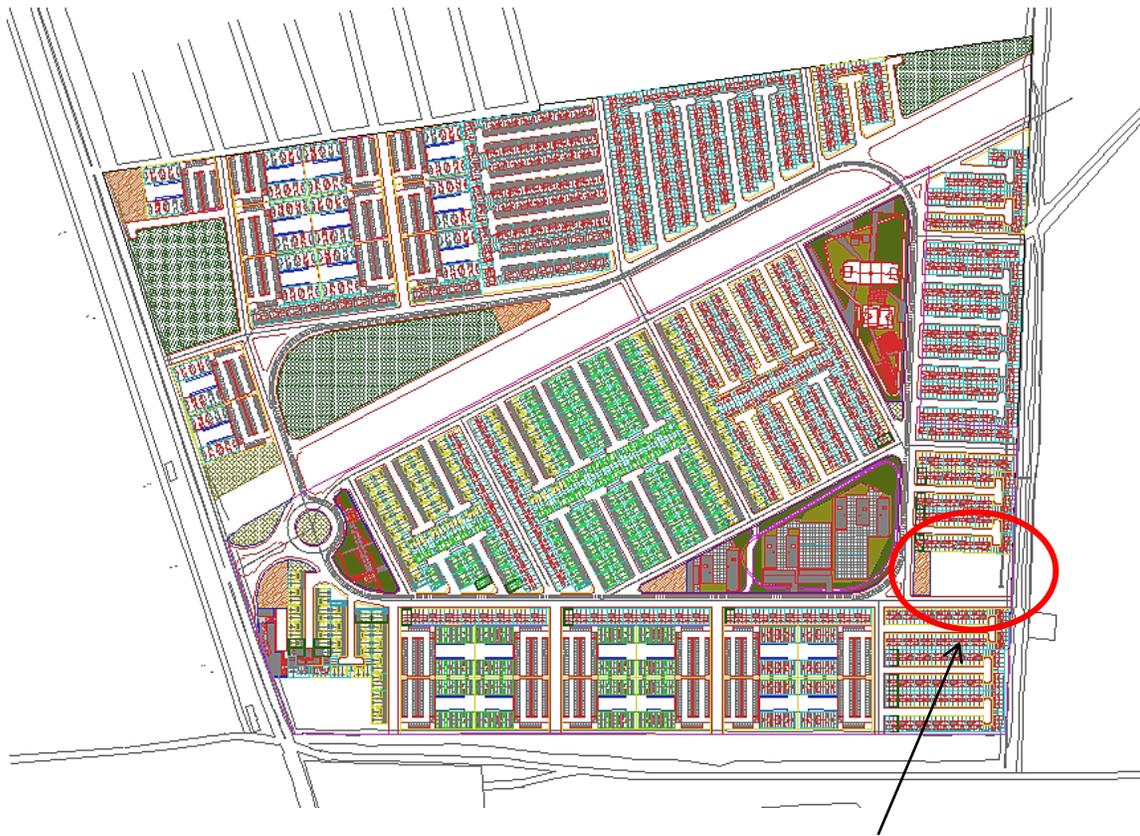
$$Consumo_{mensual} = (219.95 + 171.07)(30)$$

$$Consumo_{mensual} = \$ \mathbf{11,730.60}$$

## V .CASO PRÁCTICO

Se pretende abastecer un desarrollo habitacional denominado que tiene un total de 3,920 viviendas. La figura 5.1 muestra un sembrado general del mismo y se puede apreciar la ubicación del pozo profundo (del cual se abastecerá el desarrollo) y de la cisterna; en ese mismo sitio se ubicará el tanque elevado o el sistema de velocidad variable según sea el análisis que se esté haciendo.

**FIGURA 5.1 SEMBRADO GENERAL DEL DESARROLLO**



UBICACIÓN DE POZO PROFUNDO Y CISTERNA

Ahora bien, como primer paso se necesita conocer los gastos de diseño, los cuales se calculan de la siguiente manera:

$$Q_{MED} = \frac{D \times P}{86,400} \qquad 27.56 = \frac{150 \times 15,876}{86,400}$$

$Q_{MED}$  = Gasto medio, 27.56 lps.

D = Dotación, 150 l/hab/día.

P = No. de habitantes. (3,920 viviendas x 4.05 hab/vivienda) =15, 876 hab.

86,400 = segundos en un día

Se obtienen de la siguiente manera:

$$Q_{Md} = (Q_{MED})(CV_d) \qquad 33.07 = (27.56)(1.2)$$

$Q_{Md}$  = Gasto Máximo Diario, 33.07 lps.

$CV_d$  = Coeficiente de Variación diaria. (1.2)

$$Q_{Mh} = (CV_d)(CV_h)(Q_{MED}) \qquad 49.60 = (1.2)(1.5)(27.56)$$

$Q_{Mh}$  = Gasto Máximo Horario, 49.60 lps.

$CV_d$  = Coeficiente de Variación diaria. (1.2)

$CV_h$  = Coeficiente de Variación horaria. (1.5)

Conociendo los gastos de diseño, es posible determinar el volumen de la cisterna, tal como se menciona en la tabla 2.9, utilizando el gasto máximo diario para dar abasto durante un día a toda la población.

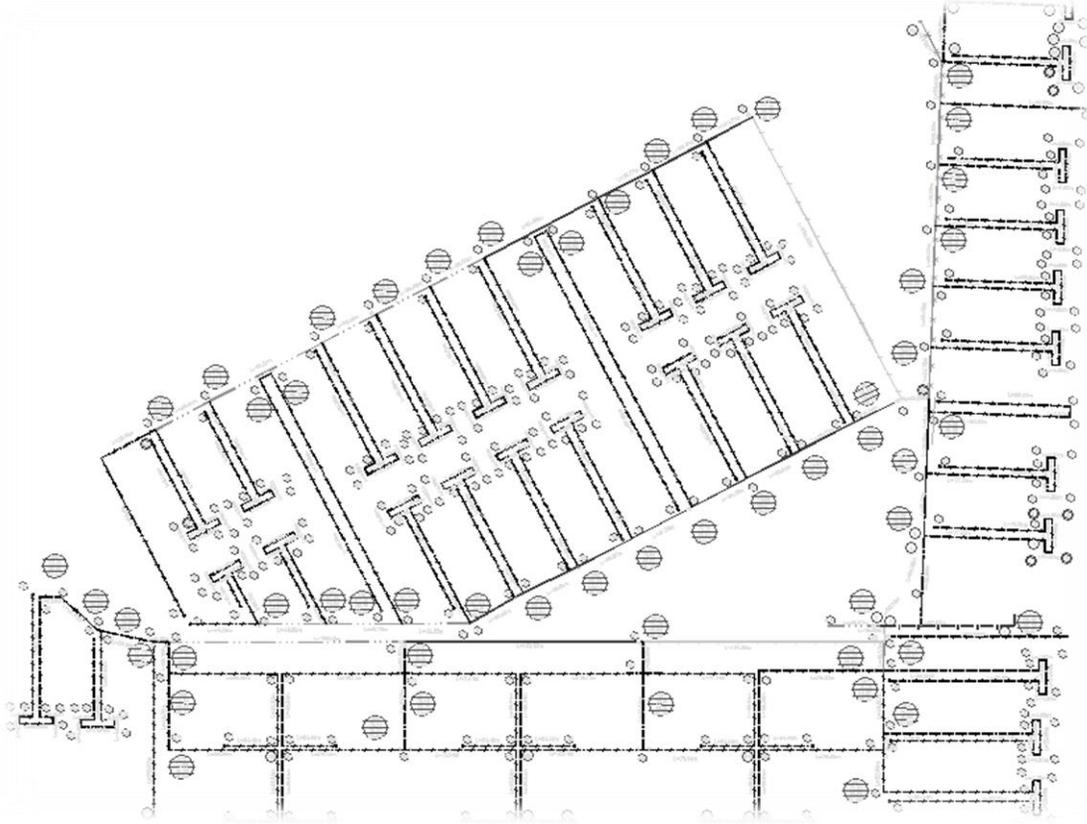
$$Vol_{.cis} = (Q_{Md})(86,400) \qquad Vol_{.cis} = (33.07)(86,400)$$

$$Vol_{.cis} = 2'857,248 \text{ litros} \quad \text{se considera} \quad Vol_{.cis} = \mathbf{3,000 m^3}$$

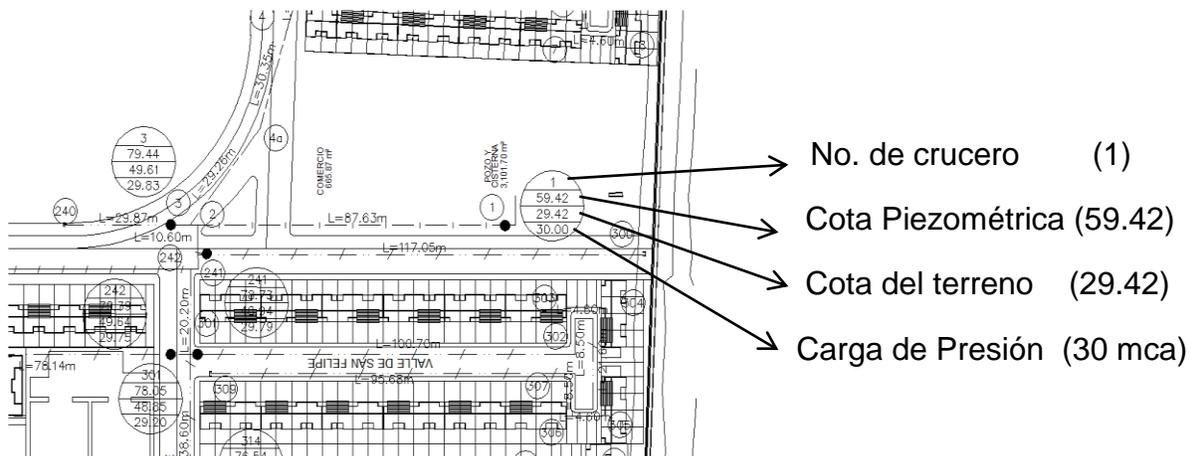
El siguiente paso para diseñar el equipo de bombeo secundario, ya sea el tanque elevado o las bombas de velocidad variable es la carga de presión que la red exige para llevar el agua hasta el punto más lejano.

El análisis de la red de distribución, realizado con los métodos mencionados con anterioridad (tabla 2.9 y figura 2.4), arrojan las siguientes cargas en cada uno de los puntos o circuitos en el desarrollo. Como se puede apreciar, conforme avanza el fluido a través de la red se va perdiendo presión.

**FIGURA 5.2 CARGA DE PRESIÓN EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN**



**FIGURA 5.3 DESCRIPCIÓN DE CRUCEROS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN**



## 5.1 ABASTECIMIENTO DE UNA POBLACIÓN MEDIANTE UN TANQUE ELEVADO

---

Para diseñar el tanque elevado se debe conocer la carga necesaria que requiere el sistema y así determinar la altura del tanque y el gasto de diseño para definir el tamaño.

Ambos datos se obtuvieron con anterioridad:

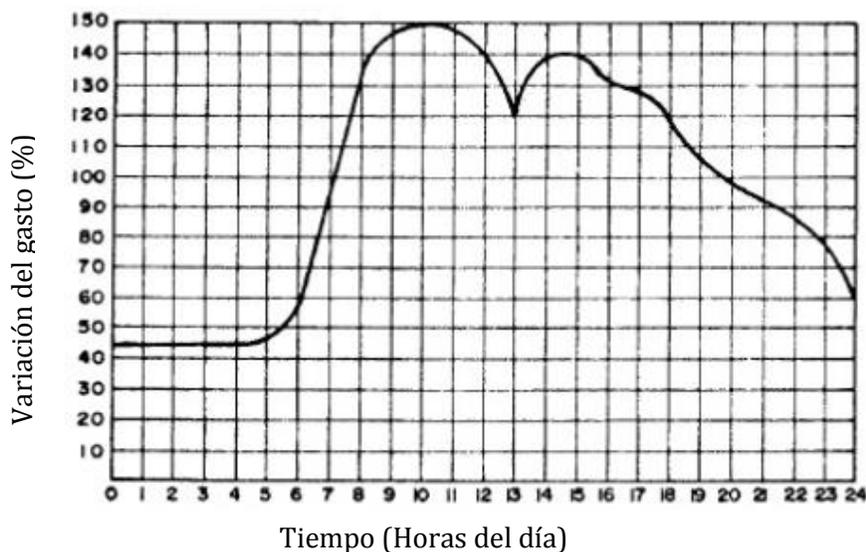
- a) Gasto de diseño (Q.M.D.) = 33.07 lps.
- b) Carga dinámica máxima de la red de distribución = 30 MCA.

El tamaño del tanque estará en función del gasto de diseño y del número de veces que se pretenda llenar durante el día, lo cual, se verá reflejado en el número de horas que estará en operación la bomba que suministre agua al tanque.

Para poder estimar la dimensión del tanque, se utilizará la figura 3.1 referente a la demanda de una población y una tabla con los siguientes datos:

- Horas de bombeo
- Gasto de bombeo (suministro de entrada)
- Demanda horaria (salida)
- Diferencia entre la entrada y la salida
- Diferencia acumulada

**FIGURA 3.1 HIDROGRAMA DE DISEÑO DE UNA POBLACIÓN**



FUENTE: ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, VOL 1, ENRIQUE CÉSAR VALDEZ, 1994.

Para fines de diseño se utilizan 2 bombas que abastezcan el tanque, trabajarán alternadamente, es decir sólo trabajará una bomba a la vez y en caso de falla o mantenimiento de una de ellas, arrancará la segunda, por ende cada una de ellas trabajará a gasto de diseño.

Se considera una bomba que sea capaz de abastecer 150% el gasto de diseño (gasto máximo diario), de esta forma, en el escenario más desfavorable y suponiendo que el consumo pico dure más de las horas estimadas sea capaz de abastecer agua directamente sin almacenarla en el tanque.

Es importante recalcar que dos bombas de menor gasto consumen más energía eléctrica que una de mayor gasto, debido a que arrancan a gasto pleno, sin variar las revoluciones.

Analizando de manera analítica el suministro contra la demanda (tabla 5.1) y considerando el tiempo de bombeo de 16 horas, calculado en el capítulo anterior (15.86 hrs). La tabla determina que el volumen del tanque.

**TABLA 5.1 DIMENSIÓN DEL TANQUE ELEVADO**

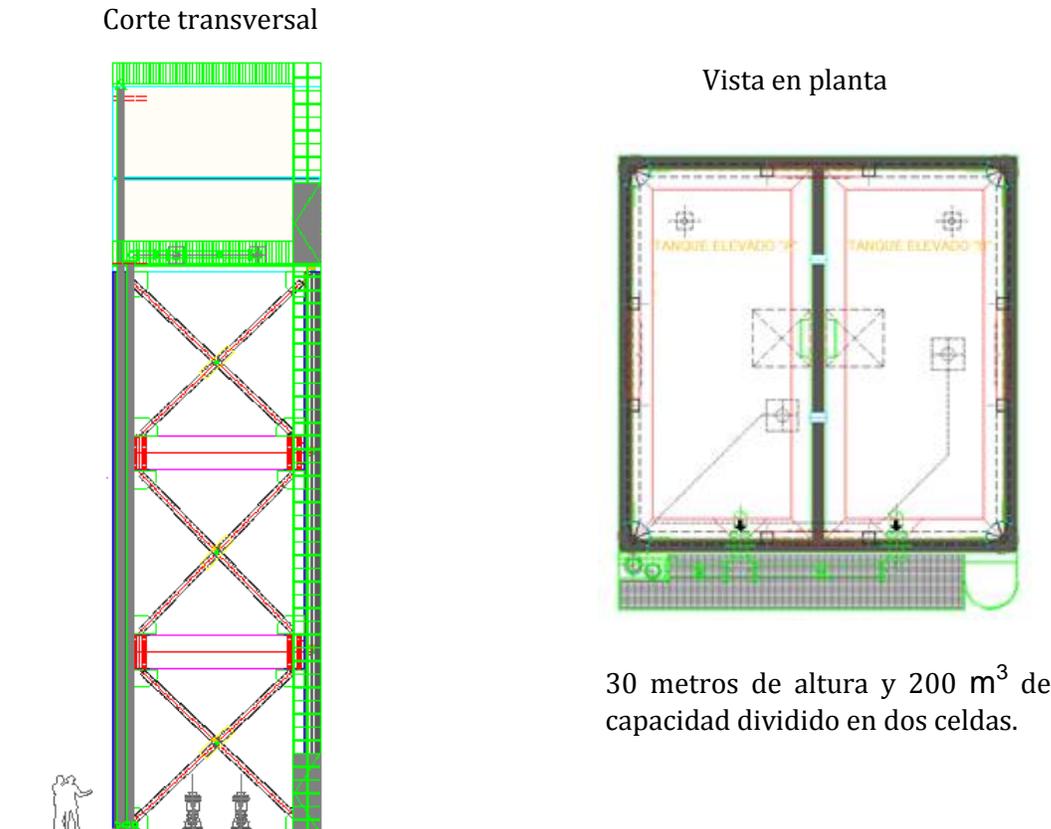
Horas	Suministro (entradas)	Demandas (salidas)		
	Q.Bombeo %	Demanda horaria %	Diferencias	Diferencias acumuladas
0 - 1	150	45	105	105.00
1 - 2	150	45	105	210.00
2 - 3	0	45	-45	165.00
3 - 4	0	45	-45	120.00
4 - 5	0	45	-45	75.00
5 - 6	150	60	90	165.00
6 - 7	150	90	60	225.00
7 - 8	150	135	15	240.00
8 - 9	150	150	0	240.00
9 - 10	150	150	0	240.00
10 - 11	150	150	0	240.00
11 - 12	150	140	10	250.00
12 - 13	0	120	-120	130.00
13 - 14	150	140	10	140.00
14 - 15	0	140	-140	0.00
15 - 16	150	130	20	20.00
16 - 17	150	130	20	40.00
17 - 18	150	120	30	70.00
18 - 19	150	100	50	120.00
19 - 20	150	100	50	170.00
20 - 21	150	90	60	230.00
21 - 22	0	90	-90	140.00
22 - 23	0	80	-80	60.00
23 - 24	0	60	-60	0.00
<b>Total</b>	<b>2400</b>	<b>2400</b>		

Gasto máximo diario = 33.07 l/s  
 $C_1 = 250.00 \%$   
 $C = 9.00 \times (QMd) = 297.63 \text{ m}^3$

Hoy en día, se utilizan electroniveles en el tanque elevado conectados al tablero de las bombas para arrancar o parar las bombas automáticamente dependiendo de la demanda que se presente. La tabla utilizada sirve para darnos una idea muy aproximada del volumen ideal con respecto a la demanda, pero como la gráfica del gasto horario a través de las horas del día está basada en métodos empíricos y los gastos de diseño probablemente pasen años para que se presenten, el volumen del tanque elevado se reducirá a  $200 \text{ m}^3$ , con la tranquilidad que si se presenta el gasto máximo, la bomba tendrá la capacidad de abastecer la demanda máxima, tal como se detalla con anterioridad.

Así entonces, el tanque poseerá un volumen de  $200 \text{ m}^3$  y 25 metros de altura a partir de la losa tapa de la cisterna, consiguiendo los 30 metros necesarios de carga (figura 5.3). Construir uno de  $300 \text{ m}^3$  como la tabla 5.1 indica, reducirá el número de veces que se tiene que llenar pero al ser mayor el volumen, la bomba tardará más en lograrlo, igualando el tiempo que trabaja la bomba con un tanque de  $200 \text{ m}^3$  llenándolo más veces pero en menor tiempo y el costo del tanque de  $300 \text{ m}^3$  es considerablemente mayor, pues la estructura del tanque elevado tendría que ser mucho más robusta debido al peso de aproximadamente 100 ton extras de agua que soportaría.

**FIGURA 5.4 PROYECCIÓN DEL TANQUE ELEVADO**



## SELECCIÓN DEL EQUIPO DE BOMBEO DE CISTERNA A TANQUE ELEVADO

Para conocer la carga dinámica total es necesario determinar las pérdidas de energía que existen en el tren de descarga de las bombas al tanque elevado. La principal será el nivel topográfico, continuando con las pérdidas por fricción y por último las pérdidas que existen por piezas especiales como son válvulas, codos y demás.

Con el apoyo de la tabla 5.2 se determinan las pérdidas por fricción para diferentes diámetros, así como la velocidad que el flujo presenta para cada uno respectivamente.

**TABLA 5.2 PÉRDIDAS POR FRICCIÓN CISTERNA-TANQUE ELEVADO**

Diámetro Interior		Area en m <sup>2</sup> . (A)	Gasto en m <sup>3</sup> /seg. (Q)	Velocidad en m/seg. (V)	Longitud lineal en m. (L)	(Q <sup>2</sup> )	Coeficiente de fricc. Manning (n)	Constante de Manning. (K)	Pérdida fricc. hf = LQ <sup>2</sup> K en m.
m.	Pulg.								
0.1016	4"	0.0081	0.05000	6.17	30.00	0.002500	0.014	399.360342	29.95
0.1524	6"	0.0182	0.05000	2.74	30.00	0.002500	0.014	45.942175	3.45
0.2032	8"	0.0324	0.05000	1.54	30.00	0.002500	0.014	9.905391	0.74

Como se aprecia la columna de 6" es la ideal, la velocidad que alcanza se encuentra de los parámetros estimados y las pérdidas por fricción son bastante bajas comparadas contra el diámetro de 4". La columna de 8" presenta velocidades bajas y el costo del suministro e instalación es mayor y la potencia de la bomba es la misma para cualquiera de los dos casos por la diferencia tan pequeña entre las pérdidas de fricción.

Conociendo el desnivel entre la cisterna y el tanque que es de 30 m y sumando las pérdidas de fricción, que son de 3.45 m, se considera la Carga Dinámica Total de 35 m; de esta forma se cubren todas las pérdidas existentes en la descarga.

Para determinar la potencia de la bomba, se utiliza la siguiente ecuación:

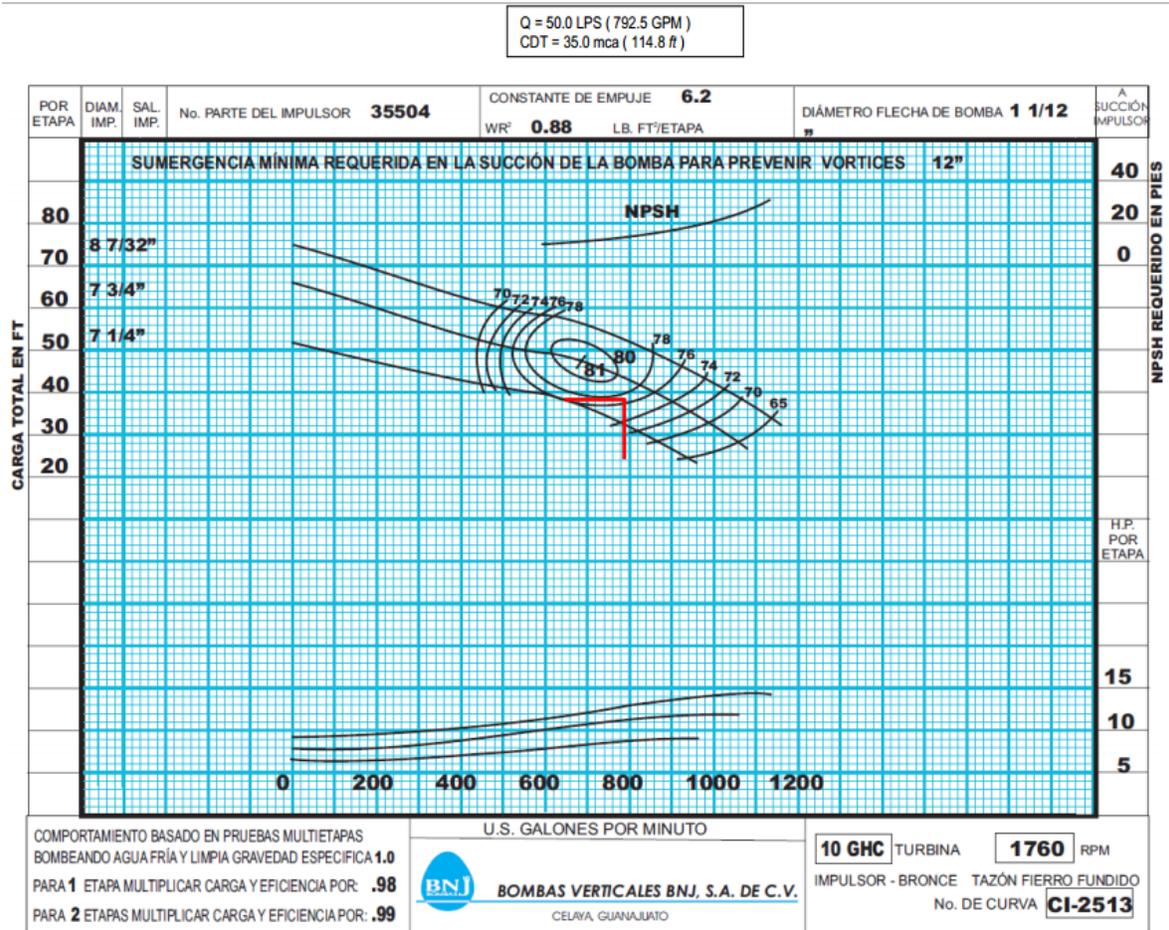
$$H.P. = \frac{Q(lps) * C.D.T}{76 (n)}$$

$$H.P. = \frac{50.00 * 35.00}{76 (0.76)}$$

H.P. = 30.29

Potencia requerida por el motor: **30 HP**

**FIGURA 5.5 CURVA DE OPERACIÓN DE EQUIPO DE BOMBEO  
CISTERNA – TANQUE ELEVADO**



**CONDICIONES DE OPERACIÓN**

GASTO POR BOMBA:	50.0 LPS	( 792 GPM )	POT. REQ :	30	( HP )
C.D.T. DISEÑO:	35.0 m.c.a.	( 114.8 ft )	NPSH <sub>R</sub> :	13	( ft )
VELOCIDAD:	1760	( R.P.M. )	SUM. MÍN.	12	( pulg )
EFICIENCIA:	77.0	( % )	LIQ A MANEJAR:	<b>AGUA LIMPIA</b>	
PROF. DEL CÁRCAMO:	4.0	( m )	TEMPERATURA:	AMBIENTE	

## 5.2 ABASTECIMIENTO DE UNA POBLACIÓN MEDIANTE UN SISTEMA DE VELOCIDAD VARIABLE.

---

La estación de Bombeo se desplantará en un lote irregular, estará conformada por diversas estructuras hidráulicas, civiles y de control, las cuales en conjunto forman un sistema de bombeo, mismas que se describen a continuación:

- a) Pozo de extracción de Agua Potable.
- b) Cisterna de concreto armado de forma circular de 3,000 m<sup>3</sup> de capacidad aproximada.
- c) Caseta de control de motores y vigilancia: Es una serie de módulos que aloja los equipos de control eléctrico que pone en funcionamiento la bomba del pozo, un espacio destinado para el sistema de cloración y un cuarto para el alojamiento del personal que opera y vigila el funcionamiento adecuado de la estación completa.
- d) Cuarto de operación de bombas, para el sistema de velocidad variable este cuarto alojará un equipo multibombeo que alimentará la red de distribución del conjunto urbano.

Ya conociendo el gasto de diseño que es del orden de 50 litros por segundo, se contemplan dos bombas que en conjunto reúnan el gasto necesario. La finalidad de utilizar más de una, se debe al poco tiempo del día en que el gasto de diseño se presente, inclusive pueden pasar días. Así entonces la mayor parte del tiempo una bomba tendrá la tarea de abastecer al desarrollo y en caso de ser necesario arrancará la segunda progresivamente para abastecer el gasto que se demande. Dividir el gasto entre tres bombas tampoco sería la mejor opción, pues por el gasto que demanda el conjunto habitacional, la mayor parte del tiempo estarían dos bombas prendidas y la tercera sólo arrancaría en el momento que se presente el gasto de diseño; debido al costo beneficio del consumo energético, dos bombas de menor gasto van a consumir más energía que una que ofrece mayor gasto

Así entonces se tendrá un equipo multibombeo compuesto por cuatro bombas centrífugas horizontales, arreglo 2+1 (2 equipos en operación +1 de reserva), con dispositivos de succión y descarga y contará con una bomba de combustión interna que será utilizada en caso que existan interrupciones en el servicio de energía eléctrica.

Este sistema de operación, consiste en el abastecimiento directo a la red de distribución a través de un equipo multibombeo que garantice la carga hidráulica adecuada para el suministro, considerando equipos de bombeo con variadores de velocidad para generar parámetros de presión constante en la red y gasto de acuerdo a la demanda que se presenta durante el día.

---

#### SELECCIÓN DEL EQUIPO DE BOMBEO DE CISTERNA A RED DE DISTRIBUCION.

---

Para la selección del equipo de bombeo se utilizan los lineamientos marcados en EL MANUAL DE DISEÑO DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO emitido por la Gerencia de Ingeniería Básica y Normas Técnicas, perteneciente a la COMISION NACIONAL DEL AGUA, así como la Norma Oficial mexicana NOM-001-SEDE-2005 Instalaciones eléctricas.

##### Datos de Proyecto

- a) Gasto de diseño (Q.M.H.) = 50.00 l.p.s.
- b) Gasto de diseño, para cada bomba. = 25.00 l.p.s.
- c) Carga dinámica máxima de la red de distribución = 30 MCA.

Por lo tanto los datos de diseño obtenidos son los siguientes:

- 1.- Equipo de bombeo: Multibombeo de Velocidad Variable.
- 2.- Tipo de agua: Potable.
- 3.- Gasto máximo horario: 50 lps, dividido entre 2 bombas
- 4.- Carga dinámica Total: 30.00 m.c.a.
- 6.- Uso de la bomba: Cisterna – Red distribución

## SELECCIÓN DEL EQUIPO DE BOMBEO POR VELOCIDAD VARIABLE.

Características del equipo seleccionado.

Marca: BARNES o similar en características y calidad.

Tipo: Centrífuga alta presión.

Modelo propuesto: IA2 ½ BJM -15-4

Velocidad: 1800 rpm

Eficiencia (n): 65%

Potencia: 15 HP

Diámetro exterior: 11.38"

Diámetro de succión: 4" (BRIDADA).

Diámetro de descarga: 2 1/2" (BRIDADA).

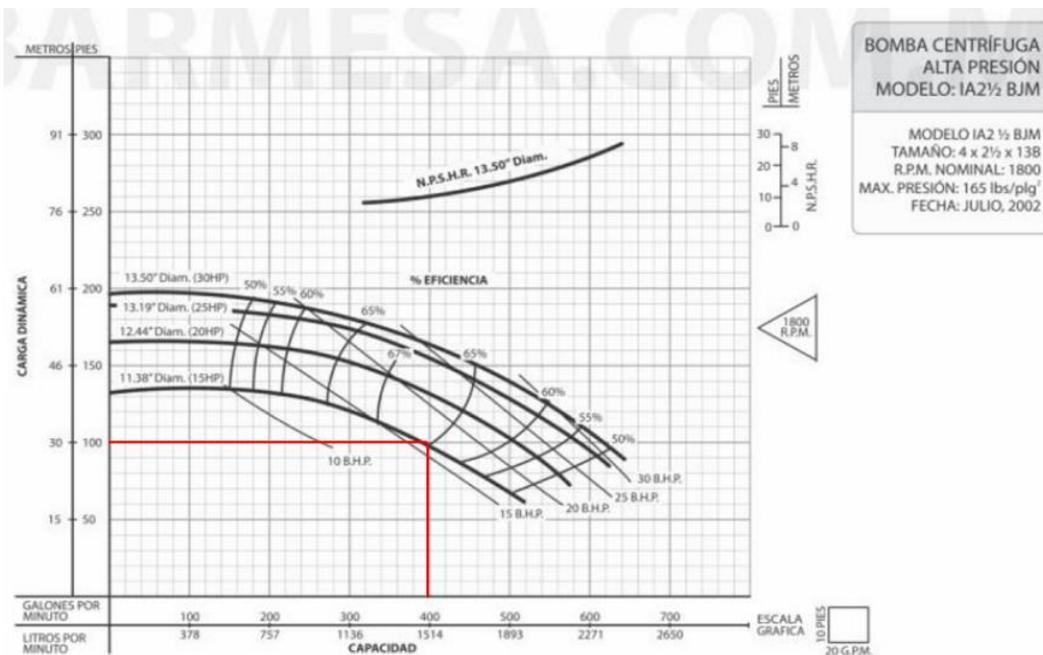
Cálculo de potencia requerida para el motor:

$$H.P. = \frac{Q(lps) * C.D.T}{76 (n)}$$

$$H.P. = \frac{25.00 * 30.00}{76 (0.65)}$$

HP = 15.18 ----- Potencia requerida por el motor: **15 HP**

**FIGURA 5.6 CURVA DE OPERACIÓN DE EQUIPO DE BOMBEO SISTEMA DE VELOCIDAD VARIABLE**



SELECCIÓN DEL EQUIPO DE BOMBEO DE COMBUSTIÓN INTERNA.

- a) Gasto de la bomba. = 30 lps
- b) Carga dinámica máxima de la red de distribución = 30 MCA.
- c) Eficiencia: 81%

$$H.P. = \frac{Q(lps) * C.D.T}{76 (n)}$$

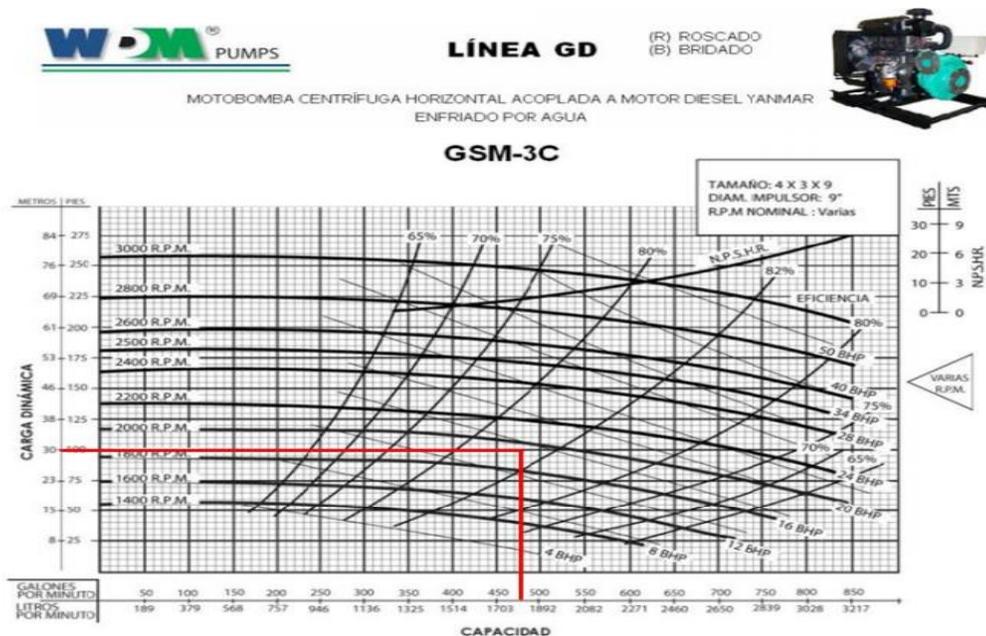
$$H.P. = \frac{30 * 30}{76 (0.81)}$$

HP = 14.61----- 20 HP, de acuerdo a curva de operación

Marca propuesta: WDM pumps o similar en características y calidad.

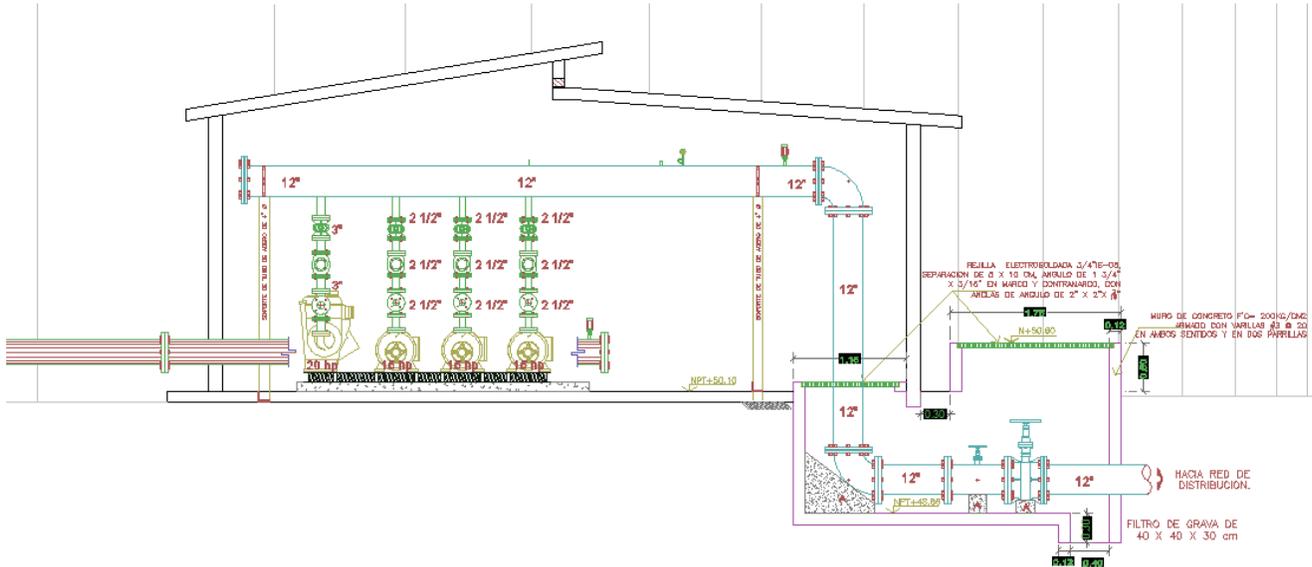
- Modelo: GSM-3C
- Velocidad: 2000 rpm
- Eficiencia (n): 81%
- Potencia: 20 HP
- Diámetro de succión: 4" (BRIDADA).
- Diámetro de descarga: 3" (BRIDADA).

FIGURA 5.7 CURVA DE OPERACIÓN DE EQUIPO DE BOMBEO COMBUSTIÓN INTERNA

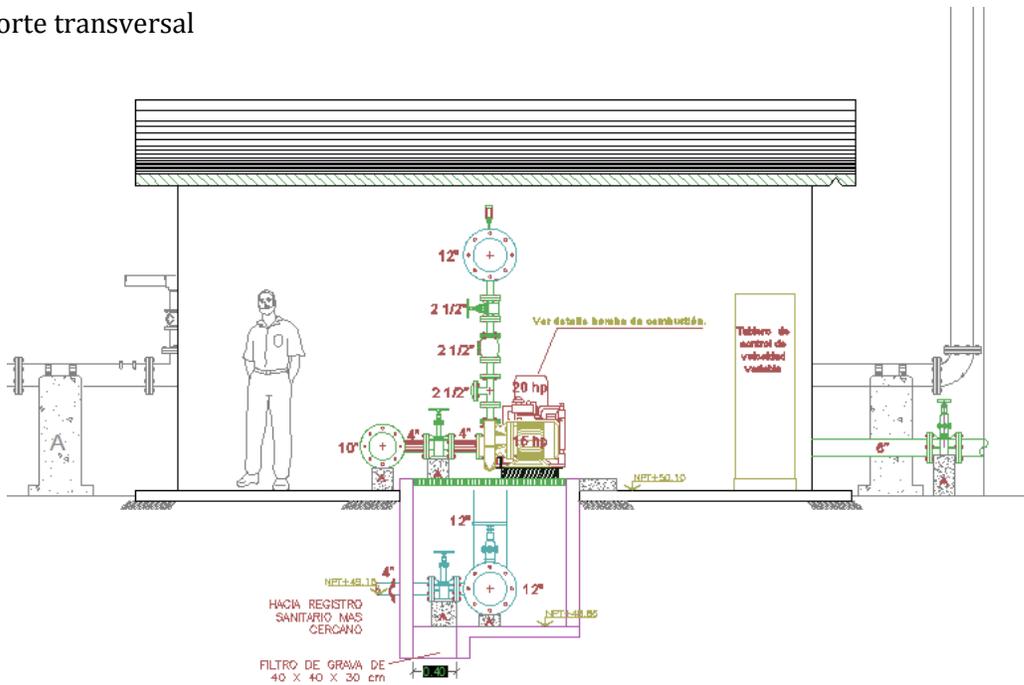


## ARREGLO DEL SISTEMA DE VELOCIDAD VARIABLE

Vista frontal



Corte transversal



## VI. RECOMENDACIONES PARA ABASTECER UNA POBLACIÓN

---

### 6.1 TÉCNICAS OPERATIVAS

---

Es importante, cuando se trate de abastecer agua potable a una población, siempre tomar en cuenta la topografía del lugar, pues uno de los principales puntos a considerar es el desnivel y diferencia de alturas que exista entre la población que se pretenda abastecer y el punto de donde se planea hacerlo.

Si la altimetría del predio es la indicada, en ocasiones no es necesaria la creación de un tanque elevado, la cisterna puede cumplir con una doble función, almacenar agua y distribuirla, gracias a la carga que provee por la altura a la que se encuentra. De igual forma, un sistema de velocidad variable en una población con diferencias de nivel considerables, la capacidad de las bombas así como el costo de las mismas es menor.

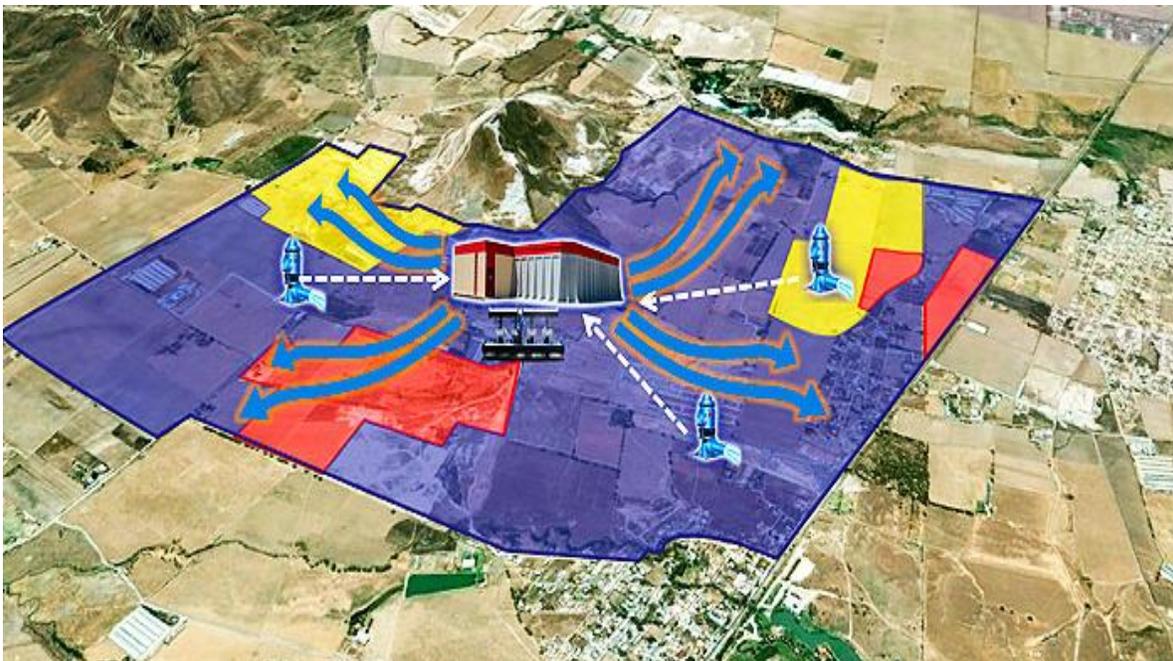
Cada caso o situación que se presente, en lo que al abastecimiento de agua se refiere, debe ser considerada y analizada individualmente. Técnicamente cada caso tendrá características particulares que influyen en la decisión del método que sea posible elegir. Aunque cada caso es diferente, existen algunas variables que siempre van a estar presentes en el análisis y comparativa técnica operativa entre un tanque elevado y un sistema de velocidad variable; los tiempos y costos de construcción de la torre y el tanque serán mayores que la caseta de operación del sistema de velocidad variable.

Como se pudo apreciar, la cisterna es la misma en cualquiera de los dos casos, siendo significativamente mejor que no se encuentre enterrada, es decir que se construya a nivel del piso terminado, pues de esta forma garantiza para ambos métodos un mejor funcionamiento. Para el caso del tanque elevado, al tener definida una altura que garantice la carga, la succión de las bombas así como la línea descarga al tanque es mayor y presenta una elevación más grande influyendo directamente en la potencia de los equipos. En el caso del sistema de velocidad variable, la cisterna a manera de tanque a piso favorece la operación de los equipos al tener carga positiva y no forzarse en succionar porque el nivel de la superficie del agua se encuentra por arriba de las bombas.

Técnicamente, los tiempos y costos del equipamiento electromecánico de un método al otro son semejantes y los dos ofrecen un servicio satisfactorio para cumplir las necesidades que el sistema de abastecimiento demande. Como cualquier máquina, las bombas, ya sean del sistema de velocidad variable o del tanque elevado, requieren mantenimiento preventivo y en algunos casos correctivo; no se hace mucho hincapié en este punto porque no existe una diferencia significativa que impacte el análisis técnico. En ambos casos puede presentarse daño o interrupción del servicio por factores ajenos y que son difíciles de estimar y que no van de la mano de la calidad de los equipos.

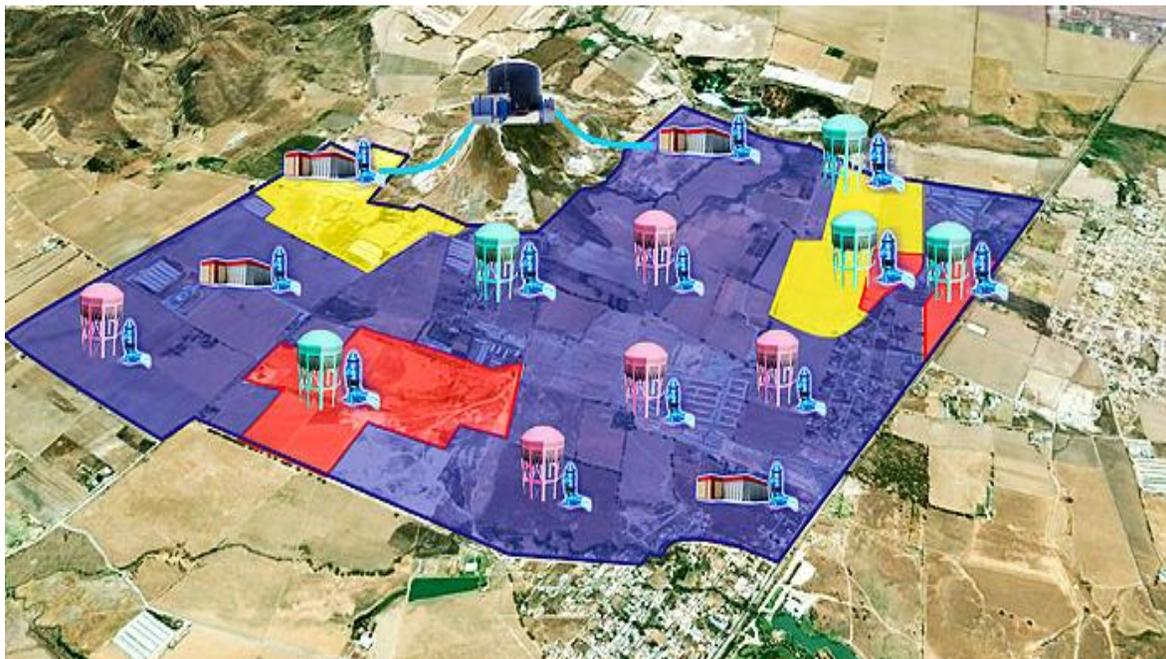
En ocasiones, en desarrollos donde existe una gran cantidad de viviendas, se construye más de un tanque elevado pues las distancias hasta las viviendas más alejadas impiden que el agua llegue con la carga de presión necesaria; en cambio con el sistema de velocidad variable, de existir grandes distancias únicamente se tiene que aumentar la potencia de las bombas, lo cual, resulta mucho más económico que construir uno o más tanques elevados. En las siguientes figuras se expone el abastecimiento con un sistema de velocidad variable y abastecimiento con varios tanques elevados.

**FIGURA 6.1 COMPARATIVA EN LA INVERSIÓN INICIAL**



Sistema de bombeo secundario en una red de distribución de agua potable. El uso de variadores de velocidad permite que la carga hidráulica en la red sea constante independientemente del consumo de agua demandado por la red.

**FIGURA 6.2 COMPARATIVA EN LA INVERSIÓN INICIAL**



Es posible observar la gran cantidad de equipos requeridos para lograr la distribución del agua a todo el sistema aunado a que se presentan algunas zonas deficientes en la presión de la red.

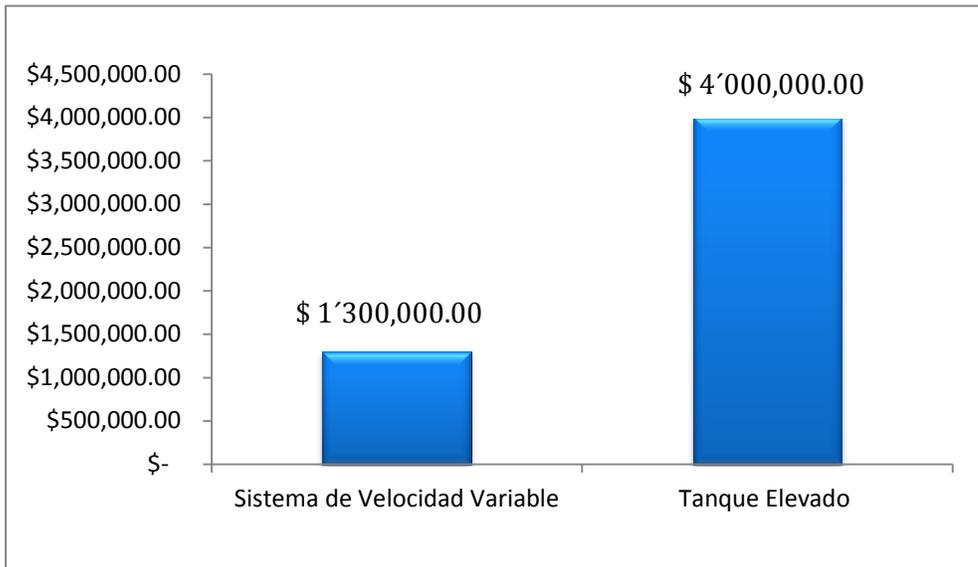
## 6.2 FINANCIERAS

---

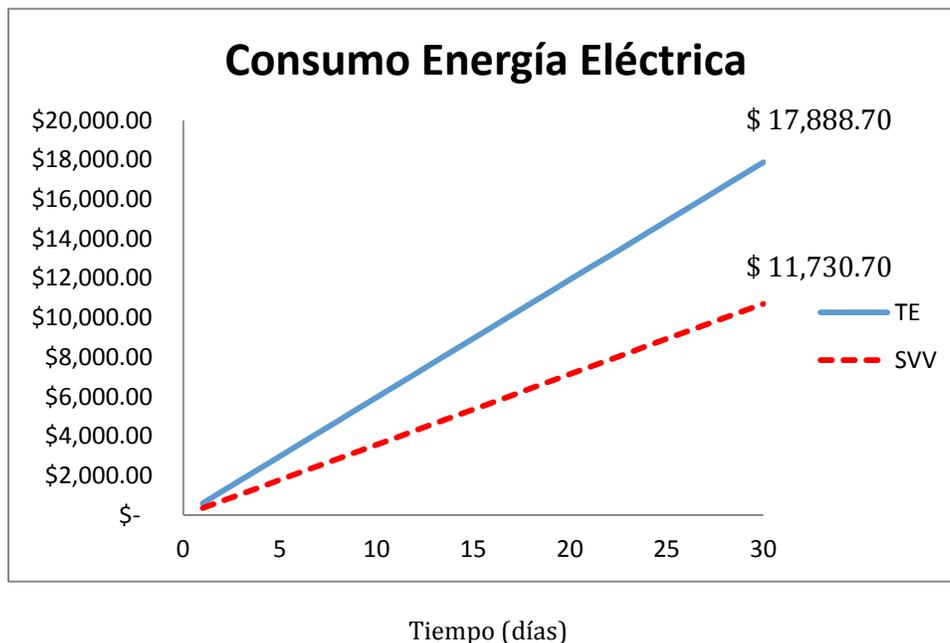
En cuanto a costos, se puede observar en el caso práctico una clara diferencia entre la utilización del tanque pluvial contra el sistema de velocidad variable. A continuación se muestran gráficas que representan la diferencia entre cada uno de los métodos.

Básicamente, el análisis económico-financiero está dirigido a dos principales puntos que engloban los aspectos importantes en la comparativa entre estos dos métodos de abastecimiento.

**FIGURA 6.3 COMPARATIVA EN LA INVERSIÓN INICIAL**



**FIGURA 6.4 COMPARATIVA EN EL CONSUMO ENERGÉTICO MENSUAL**



Claramente se puede apreciar la diferencia de costos, ya sea en la inversión inicial o en la operación de los equipos. Desde el punto de vista financiero es sencillo deliberar que método es más económico y es el más conveniente.

Si la operación mensual del método que tuviera inversión inicial más costosa, fuera menor que el método que el que la inversión fue más económico, la toma de decisión entre el mejor sería más compleja y quizá de un análisis más profundo. El hecho que el método que resulta más costoso en la operación sea el que se necesita de mayor inversión inicial, hace que el rebombeo mediante un sistema de velocidad variable sea el indicado.

### 6.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

---

El propósito de esta investigación no es buscar desacreditar o emitir una opinión tajante sobre el tanque elevado, como método de abastecimiento de agua potable o el sistema de velocidad variable. Cada método tiene ventajas y desventajas; son utilizados y capaces de proveer del servicio de manera óptima.

Aunque las ventajas y desventajas no son siempre las mismas si se hace esta comparativa técnica operativa y financiera para cualquier otro caso, mediante este trabajo pude analizar las que en la mayoría de los casos se presentan; la topografía (planimetría y altimetría) del predio donde se pretenda construir el desarrollo será uno de los factores que más impacten las ventajas y desventajas, ya sea incrementando o disminuyendo cualquiera de ellas, pues esto determina la altura del tanque elevado y por ende la capacidad de las bombas tanto las que abastezcan al tanque como las del rebombeo del sistema de velocidad variable.

El tiempo es una variable importante a considerar; el tanque elevado por la altura y complejidad de su estructura es más tardado construir que la caseta donde se instalen las bombas del sistema de velocidad variable. En lo que a tiempos de equipamiento se refiere, son muy similares y no existe una ventaja significativa de un método sobre el otro.

Es fácil pensar que el tanque elevado tiene la ventaja de poder abastecer la red de distribución sin problema alguno en caso de haber un corte eléctrico, en estricto sentido si abastecerá sin energía eléctrica, pues sólo depende de la gravedad para hacerlo; Al realizar un análisis más detallado nos damos cuenta que esa ventaja no ofrece un beneficio considerable contra el abastecimiento mediante un sistema de velocidad variable. El volumen del tanque elevado es demasiado pequeño para poder depender exclusivamente de él y en el tren de descarga de la cisterna al tanque elevado no se contempla una bomba de combustión que eleve el agua al tanque, esto debido al costo de dicha bomba por las características derivadas al gasto y carga necesarias para lograrlo así como su respectiva instalación.

Así entonces, el sistema de velocidad variable presenta una mayor ventaja sobre el tanque elevado en caso de existir una interrupción en el suministro de energía eléctrica pues cuenta con una bomba de combustión que mitiga en gran medida la distribución del agua, en vez de sólo depender del volumen del tanque para realizarlo. Además, con el sistema de velocidad variable las fugas son altamente detectables debido a que la red de distribución mantiene en todo momento presión constante y en caso de existir variación, tanto los equipos como el operador lo registran; en cambio, con el tanque elevado el agua se distribuye a la red sin poder conocer a ciencia cierta si existen fugas en la trayectoria, las cuales en ocasiones representan más del 35% del agua suministrada.

Desde el punto de vista del mantenimiento, el sistema de velocidad variable tiene una pequeña desventaja, al ser equipos más sensibles que a su vez dependen de sensores y tableros un poco más complejos que las bombas que se utilizarían en un tanque elevado, se tiene que estar al pendiente que estén calibrados y funcionando correctamente. De no ser así, estarán operando sin ofrecer la presión necesaria que demanda la red o en caso contrario estarán operando bombas de más sin que sea necesario.

Claro, como todo motor y equipo electromecánico ambas alternativas de abastecimiento requieren de mantenimientos y supervisiones de personal capacitado que garanticen su correcto funcionamiento.

En la tabla 6.1 se realiza una comparativa tomando en cuenta los principales puntos en los que impactan las ventajas y desventajas de cada uno de los métodos de abastecimiento.

**TABLA 6.1 COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE**

	SISTEMA TANQUE ELEVADO	SISTEMA DE BOMBEO SECUNDARIO (VELOCIDAD VARIABLE)	Observaciones
Equipo de bombeo	Arranque a <b>tensión plena</b> durante cada ciclo de bombeo ( <i>no importa el gasto demandado por la red de distribución</i> )	Arranque a <b>tensión reducida</b> ( <i>en función del gasto demandado en la red de distribución</i> )	El sistema tradicional requiere mayor energía eléctrica ya que funcionan a tensión plena sin importar si la demanda es en una casa o es en 1,000. El sistema de bombeo secundario hace que los equipos trabajen en función del número de viviendas que demandan el servicio.
Capacidad de los equipos de bombeo	Equipos de mayor potencia (HP)	Equipos de menor potencia (HP)	Los equipos instalados en el sistema tradicional consumen mayor energía eléctrica.
Fugas en la red	No son detectables con facilidad debido a que la red de distribución no es monitoreada al ser abastecida por fuerza de gravedad.	Se detectan de inmediato debido a que la red mantiene en todo momento una presión constante y cualquier variación es perceptible por el equipo alertando al operador	Las pérdidas por fugas pueden llegar a representar más del 30% del agua que se envía a la red de distribución
Costos de operación	Altos. Los equipos funcionan a tensión plena, independientemente del gasto demandado por la red	Moderados. Los equipos funcionan mediante variadores de velocidad que permiten el arranque a tensión reducida	Los equipos de un sistema tradicional (tanque elevado) consumen mayor energía eléctrica que en un sistema de bombeo secundario
Vida útil de los equipos	Moderada. El desgaste causado a los equipos por el funcionamiento a tensión plena, genera que la vida útil de éstos sea la "usual".	Larga. El funcionamiento de los equipos a tensión reducida permite alargar sustancialmente la vida útil generando un menor costo de operación y mantenimiento.	El costo de mantenimiento en un sistema de bombeo secundario es más económico ya que los equipos están sujetos a un menor desgaste que en un sistema de tanque elevado
Operación / Refacciones	Sencilla /comunes	Sencilla /comunes	Ambos sistemas son sencillos en su operación y no requieren personal altamente capacitado y las refacciones son fáciles de encontrar.

## CONCLUSIONES

---

Cualquier tema relacionado con el agua siempre será un tema de importancia mayor, pues el agua es indispensable para que la sociedad realice sus actividades diarias y no pasa un solo día sin que dependamos del vital líquido.

Las razones expuestas en esta investigación no buscan desacreditar o enaltecer alguno de los métodos utilizados comúnmente en el abastecimiento de agua, tal como se menciona con anterioridad. El espíritu de este trabajo fue realizar un análisis objetivo que oriente y ayude a todo aquel que realice una comparativa entre los métodos de abastecimiento comúnmente utilizados y así poder elegir el más eficaz.

Después de haber realizado la comparativa, resulta muy fácil concluir que el sistema de velocidad variable es mucho más eficiente tanto operativa como económicamente cuando se compare contra un tanque elevado. Por tanto se autorizó y se encuentra en proceso de construcción el sistema de velocidad variable como sistema de bombeo secundario para resolver el abastecimiento de agua potable en el desarrollo en cuestión. Y se puede asegurar que en la mayoría de los casos que se haga una comparativa similar, el sistema de velocidad variable presentará mayores ventajas.

En muchos casos, no sólo la evaluación técnica, operativa y económica son todas las variables y es posible determinar que método es mejor. En ocasiones existen variables sociales o sencillamente de reglamento (dependiendo el municipio y/o estado de la República) que determinarán la elección de un método sobre el otro. **Nunca se debe perder la esencia del abastecimiento de agua potable en cualquiera de los métodos, que es abastecer de agua potable a una población de manera continua, con el gasto, calidad y presión necesaria para que puedan realizar sus actividades de manera satisfactoria.**

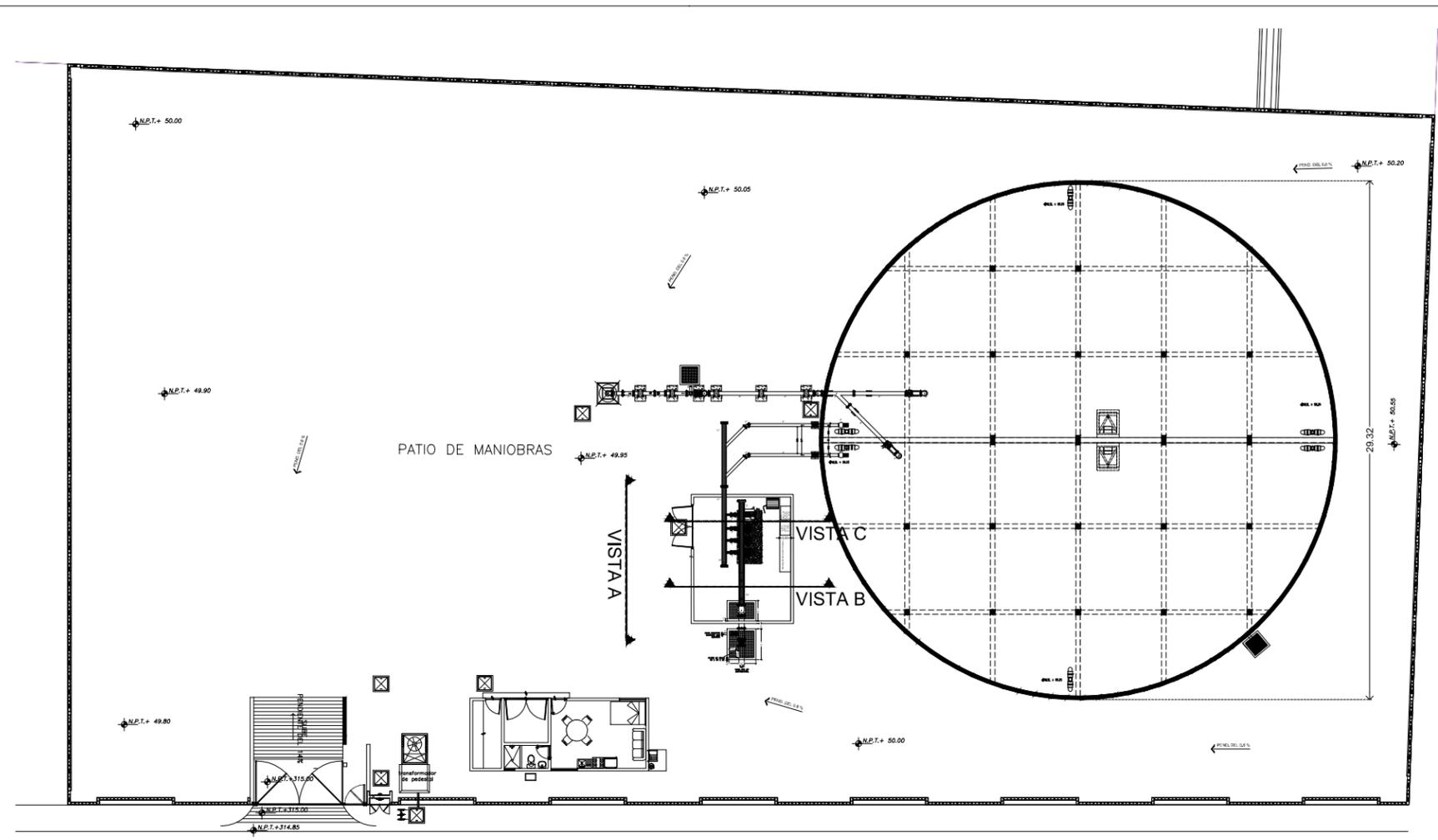
## BIBLIOGRAFÍA

---

- “Hidráulica General”, volumen 1, Sotelo Ávila Gilberto, 1997, Ed. Limusa
- “Abastecimiento de Agua Potable” , Universidad Nacional Autónoma de México, Enrique César Valdez, 1990. Facultad de Ingeniería
- Apuntes de Clase “Abastecimiento de agua potable”, Ing. Enrique Barranco Vite, 2012. Facultad de Ingeniería. UNAM
- Manual de Agua Potable y Saneamiento, Diciembre de 2007, Comisión Nacional del Agua. Consultado de marzo a agosto de 2014.  
<deftp://ftp.conagua.gob.mx/Mapas/libros%20pdf%202007/Datos%20B%E1sicos.pdf>
- Apuntes “Abastecimiento de agua potable”, Universidad Nacional de Colombia; consultados en marzo de 2014.  
<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4080004/contenido/4080004.pdf>
- Departamento de asuntos económicos y sociales de naciones unidas, página consultada en marzo-abril de 2014  
<http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>
- Consejo consultivo del agua, consultado en abril-mayo de 2014  
<http://www.aguas.org.mx/sitio/02a4.html>
- Sitio de internet “El agua potable”, consultado en abril de 2014  
[http://mimosa.pntic.mec.es/vgarci14/agua\\_potable.htm](http://mimosa.pntic.mec.es/vgarci14/agua_potable.htm)

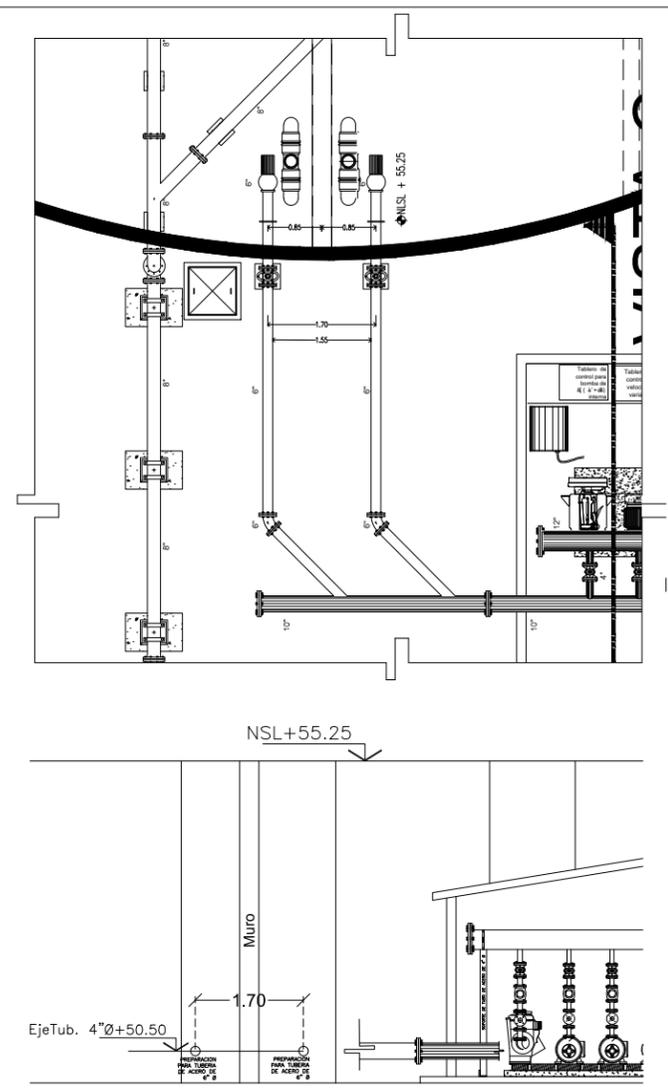
**ANEXO 1**

**PROYECTO ELECTROMECÁNICO SISTEMA DE  
VELOCIDAD VARIABLE**

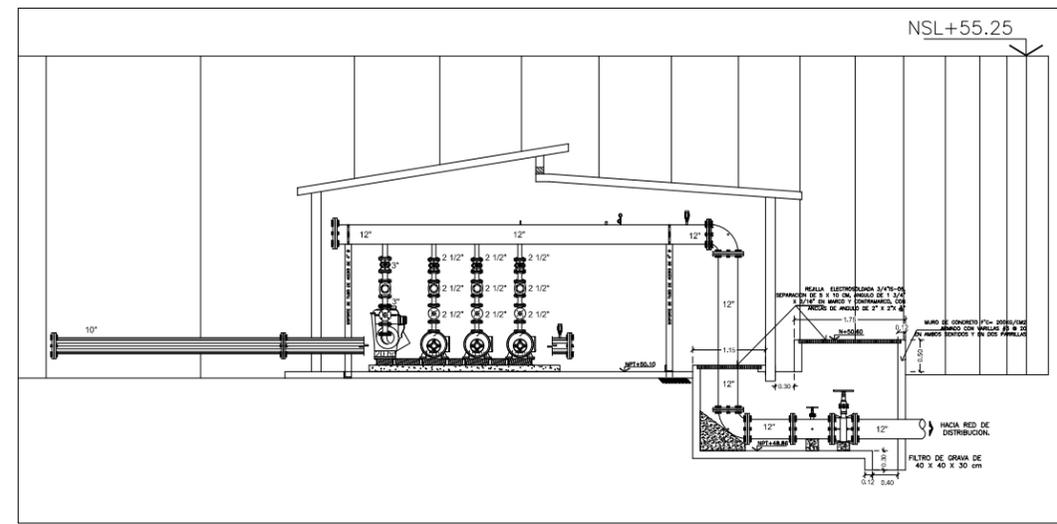


PROL. AV. PASEOS DEL VALLE

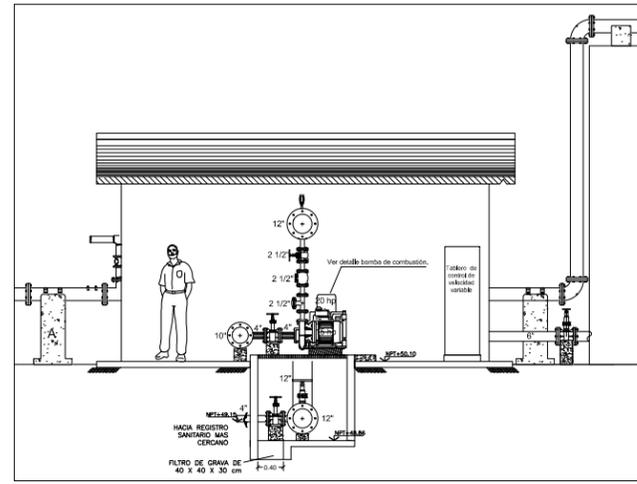
01 PLANTA GENERAL DE ARREGLO MECANICO.  
ESC 1:150 CISTERNA



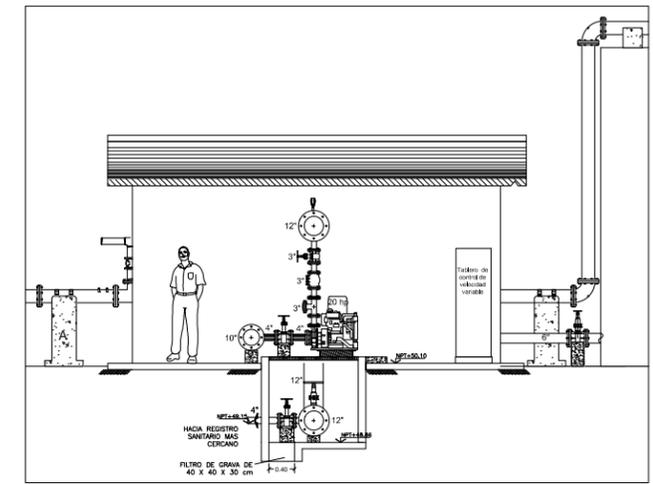
02 DETALLE PREPARACION LINEA DE SUCCION.  
ESC 1:50 CISTERNA



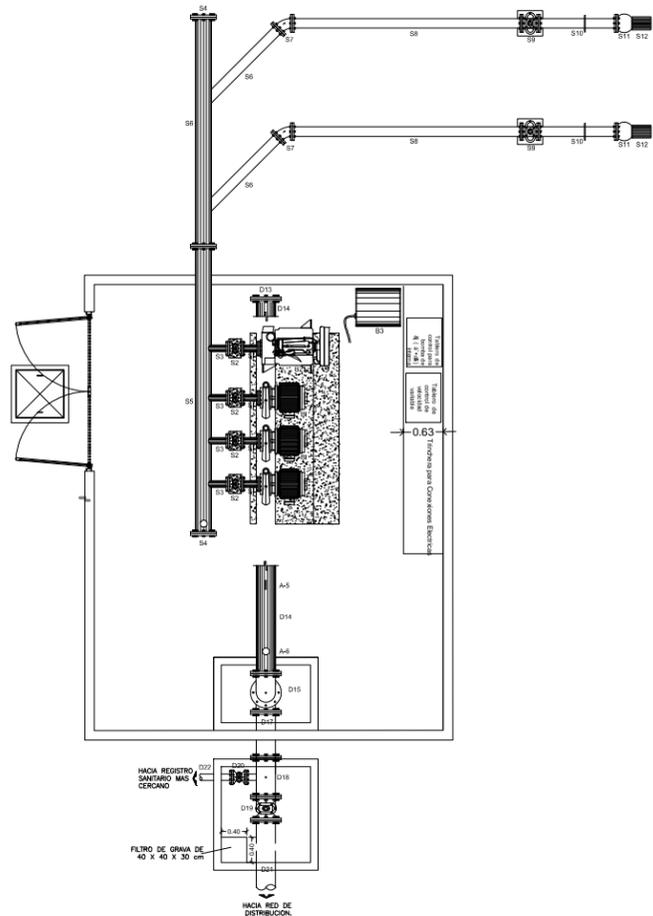
03 VISTA "A"  
ESC 1:50 CISTERNA



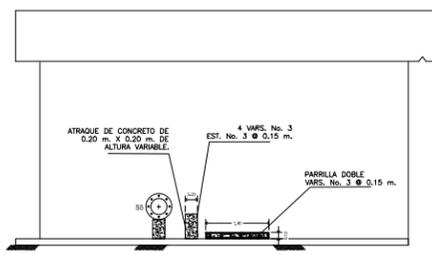
04 VISTA "B"  
ESC 1:50 CISTERNA



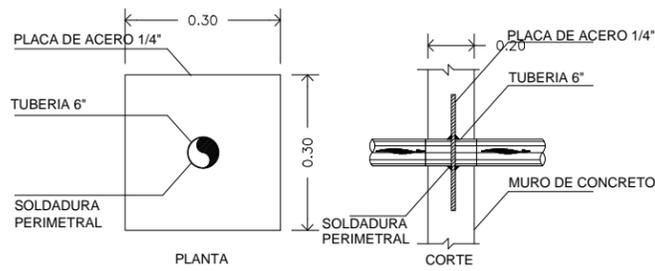
05 VISTA "C"  
ESC 1:50 CISTERNA



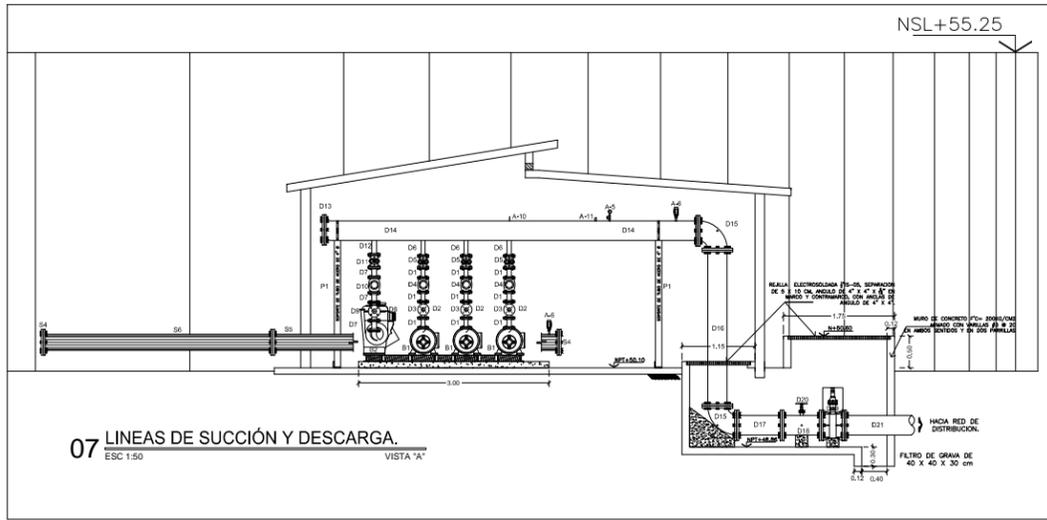
**06 CASETA SISTEMA DE VELOCIDAD VARIABLE.**  
ESC 1:50 CISTERNA



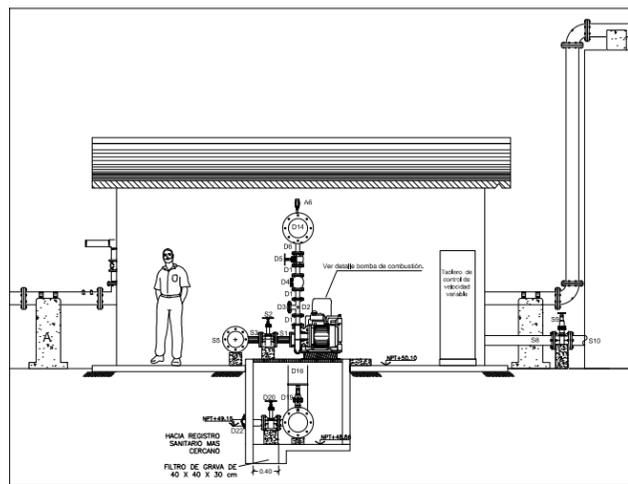
**10 DETALLE DE BASES DE BOMBA Y ATRAQUES.**  
ESC 1:50 CISTERNA



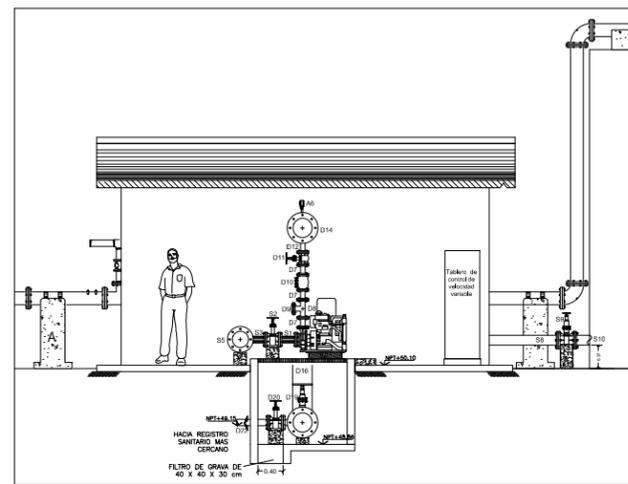
**11 DETALLE DE PASOS DE TUBERÍA.**  
ESC 5/8 CISTERNA



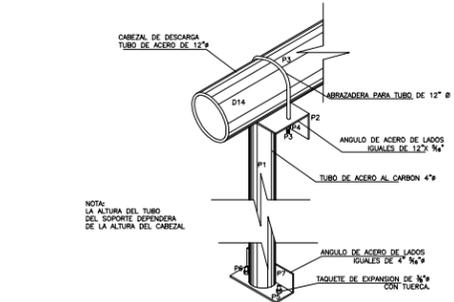
**07 LÍNEAS DE SUCCIÓN Y DESCARGA.**  
ESC 1:50 VISTA 'A'



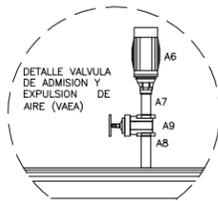
**08 BOMBA ELÉCTRICA Y LÍNEAS SUCCIÓN DESCARGA.**  
ESC 1:50 VISTA 'B'



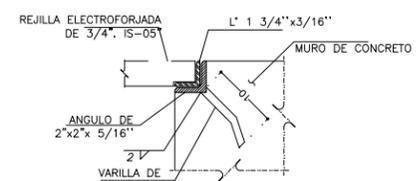
**09 BOMBA DE COMBUSTIÓN LÍNEAS DE SUCCIÓN Y DESCARGA.**  
ESC 1:50 VISTA 'C'



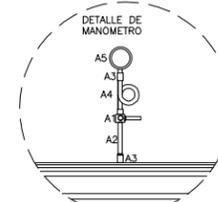
**12 DETALLE DE SOPORTE DE LÍNEA DE DESCARGA.**  
ESC 5/8 CISTERNA



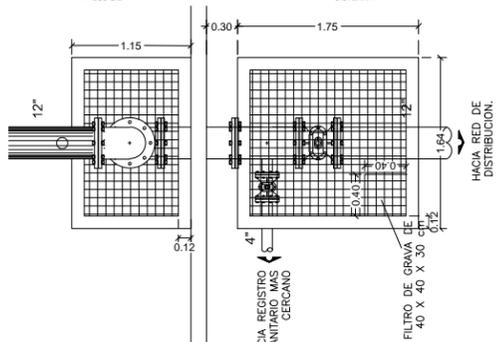
**14 DETALLE V.A.E.A.**  
ESC 5/8 CISTERNA



**16 DETALLE DE REJILLA**  
CISTERNA



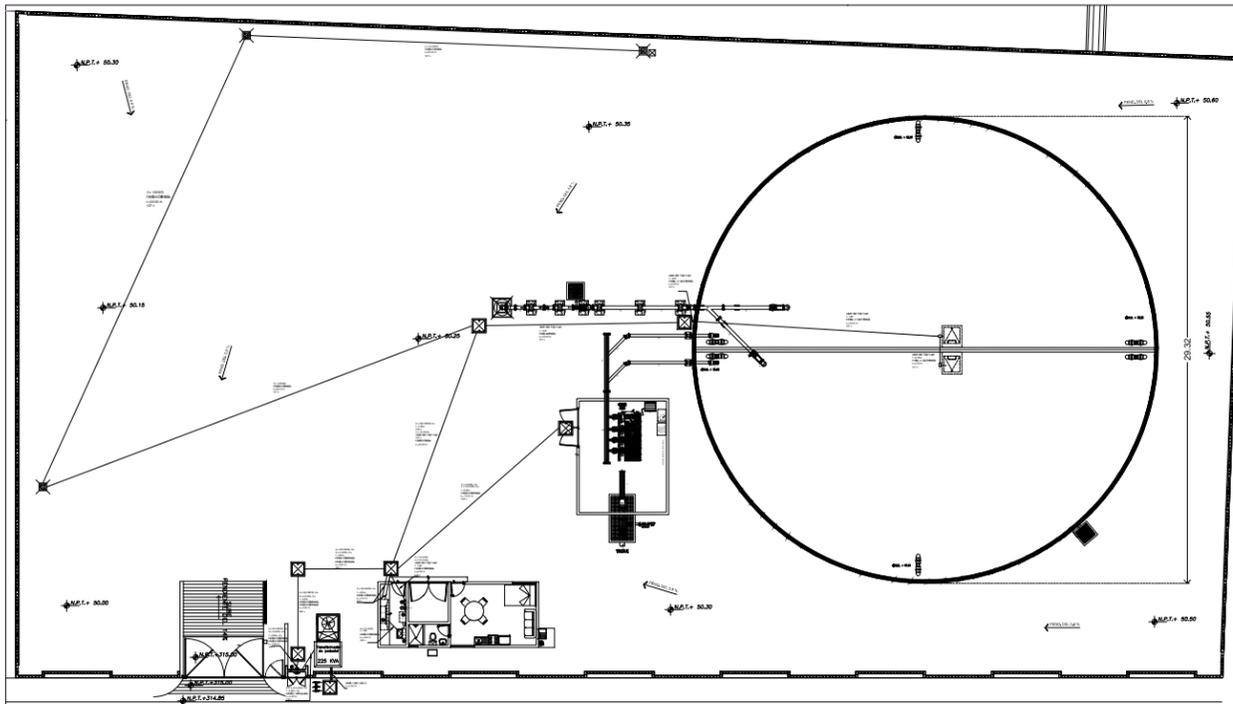
**15 DETALLE DE MANÓMETRO**  
ESC 5/8 CISTERNA



**13 DETALLE DE CAJA DE VÁLVULAS.**  
ESC 5/8 CISTERNA

LISTA DE MATERIAL		
SISTEMA DE BOMBEO DE VELOCIDAD VARIABLE		
No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD CANT.
<b>EQUIPOS DE BOMBEO.</b>		
B1	EQUIPO DE BOMBEO CONTINUA HORIZONTAL DE ALTA PRESIÓN PARA UN CAUDAL DE 200 G.P.M. Y UNA C.A. DE 40 P.S.I. (S7) 8" DE DIAMETRO EN SU EXTREMIDAD DE LA DESCARGA DE 1 1/2" A BARRILADO, MODELO 40 1/2 B&P-14, BARRIL 5" S&W EN CARACTERÍSTICAS Y CALIDAD.	pie. 3.00
B2	EQUIPO DE BOMBEO ACOPADO A MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE DIESEL PARA UN CAUDAL DE 200 G.P.M. Y UNA DESCARGA DE 1 1/2" A BARRILADO, MODELO 40 1/2 B&P-14, BARRIL 5" S&W EN CARACTERÍSTICAS Y CALIDAD.	pie. 1.00
B3	DISPOSITIVO DE COMBUSTIBLE DE 200 L. DE CAPACIDAD.	pie. 1.00
<b>SUCCION (EQUIPOS DE 15 HP Y 20 HP).</b>		
S1	CARRETE DE ACERO AL CARBON ARMADO EN SITO DE 4" X 0.25 M.	pie. 4.00
S2	VALVULA DE SECCIONAMIENTO BARRILADO, VASTAGO FLUJO DE 4" X 0.25 M.	pie. 4.00
S3	EXTREMIDAD DE ACERO AL CARBON ARMADO EN SITO DE 4" X 0.25 M.	pie. 4.00
<b>TREN DE SUCCION.</b>		
S4	TAPA CESA BARRILADO DE 10" B.	pie. 2.00
S5	CARRETE DE ACERO AL CARBON DE 10" B. ARMADA EN SITO, CON UNA LONG. APROXIMADA DE 4.50 M.	pie. 1.00
S6	TEE DOBLE DE ACERO AL CARBON DE 10" B. ARMADA EN SITO, CON UNA LONG. APROXIMADA DE 3.60 M. Y DOS DERIVACIONES DE 4" X 1.50 M. DE LONG.	pie. 1.00
S7	CODO DE FO. FO. DE 40" X 4" B.	pie. 3.00
S8	CARRETE DE ACERO AL CARBON DE 4" B. ARMADO EN SITO, CON UNA LONG. APROX. DE 3.60 M.	pie. 3.00
S9	VALVULA DE SECCIONAMIENTO TIPO COMPUERTA DE 4" B. VASTAGO FLUJO CON VOLANTE.	pie. 2.00
S10	CARRETE DE ACERO AL CARBON DE 4" B. ARMADO EN SITO, CON UNA LONG. APROX. DE 1.20 M.	pie. 2.00
S11	VALVULA BARRILADO DE PE DE 4" B.	pie. 2.00
S12	COLADOR TIPO CONCHO DE 4" B.	pie. 2.00
S13	EMPaque DE NEOPRENO DE 10" B.	pie. 3.00
S14	EMPaque DE NEOPRENO DE 4" B.	pie. 10.00
S15	EMPaque DE NEOPRENO DE 4" B.	pie. 12.00
S16	TORNILLOS CON CABEZA Y TUERCA HEXAGONAL DE 7/8" X 3 1/2" B.	pie. 24.00
S17	TORNILLOS CON CABEZA Y TUERCA HEXAGONAL DE 3/4" X 3 1/2" B.	pie. 80.00
S18	TORNILLOS CON CABEZA Y TUERCA HEXAGONAL DE 5/8" X 3 1/2" B.	pie. 86.00
<b>DESCARGA.</b>		
D1	CARRETE DE ACERO AL CARBON DE 2 1/2" B. ARMADO EN SITO, CON UNA LONG. APROX. DE 0.75 M.	pie. 8.00
D2	TEE DE FO. FO. DE 2" X 2" B.	pie. 3.00
D3	TAPA CESA BARRILADO DE 2 1/2" B.	pie. 3.00
D4	VALVULA CHECK DE 2 1/2" B.	pie. 3.00
D5	VALVULA DE SECCIONAMIENTO BARRILADO, VASTAGO FLUJO DE 2 1/2" B.	pie. 3.00
D6	EXTREMIDAD DE ACERO AL CARBON ARMADO EN SITO DE 2 1/2" X 0.20 M.	pie. 3.00
D7	CARRETE DE ACERO AL CARBON DE 3" B. ARMADO EN SITO, CON UNA LONG. APROX. DE 0.75 M.	pie. 3.00
D8	TEE DE FO. FO. DE 3" X 3" B.	pie. 1.00
D9	TAPA CESA BARRILADO DE 3" B.	pie. 1.00
D10	VALVULA CHECK DE 3" B.	pie. 1.00
D11	VALVULA DE SECCIONAMIENTO BARRILADO, VASTAGO FLUJO DE 3" B.	pie. 1.00
D12	EXTREMIDAD DE ACERO AL CARBON ARMADO EN SITO DE 3" X 0.20 M.	pie. 1.00
D13	TAPA CESA BARRILADO DE 12" B.	pie. 1.00
D14	CARRETE DE ACERO AL CARBON DE 12" B. ARMADO EN SITO, CON UNA LONG. APROX. DE 5.80 M.	pie. 1.00
D15	CODO DE FO. FO. DE 8" X 12" B.	pie. 2.00
D16	CARRETE DE ACERO AL CARBON DE 12" B. ARMADO EN SITO, CON UNA LONG. APROX. DE 5.35 M.	pie. 1.00
D17	CARRETE DE ACERO AL CARBON DE 12" B. ARMADO EN SITO, CON UNA LONG. APROX. DE 5.75 M.	pie. 1.00
D18	TEE DE FO. FO. DE 12" X 4" B.	pie. 1.00
D19	VALVULA DE SECCIONAMIENTO TIPO COMPUERTA DE 12" B. VASTAGO FLUJO CON VOLANTE.	pie. 1.00
D20	VALVULA DE SECCIONAMIENTO TIPO COMPUERTA DE 4" B. VASTAGO FLUJO CON VOLANTE.	pie. 1.00
D21	EXTREMIDAD DE ACERO AL CARBON DE 12" B. ARMADA EN SITO, CON UNA LONG. APROXIMADA DE 1.00 M.	pie. 1.00
D22	EXTREMIDAD DE ACERO AL CARBON DE 4" B. ARMADA EN SITO, CON UNA LONG. APROXIMADA DE 0.50 M.	pie. 1.00
D23	EMPaque DE NEOPRENO DE 12" B.	pie. 8.00
D24	EMPaque DE NEOPRENO DE 4" B.	pie. 2.00
D25	EMPaque DE NEOPRENO DE 3" B.	pie. 8.00
D26	EMPaque DE NEOPRENO DE 3 1/2" B.	pie. 24.00
D27	TORNILLOS CON CABEZA Y TUERCA HEXAGONAL DE 7/8" X 4 1/2" B.	pie. 86.00
D28	TORNILLOS CON CABEZA Y TUERCA HEXAGONAL DE 7" X 5" B.	pie. 18.00
D29	TORNILLOS CON CABEZA Y TUERCA HEXAGONAL DE 7" X 2 1/2" B.	pie. 128.00
<b>ACCESORIOS.</b>		
A1	VALVULA DE GLOBO DE BRONCE ROSCADA DE 2" B.	pie. 1.00
A2	NIPLÉ DE ACERO AL CARBON DE 2" X 0.10 M. DE LONG. ROSCADA EN AMBOS EXTREMOS.	pie. 1.00
A3	COPLÉ DE ACERO AL CARBON DE 2" ROSCADA.	pie. 2.00
A4	NIPLÉ COLA DE COCHINO DE 18" DE 2" B.	pie. 1.00
A5	MANÓMETRO TIPO BOURDON DE 0 A 7.10/CM. CON CARÁTULA DE 2" B. Y OÍMETRO DE 2" B.	pie. 1.00
A6	VALVULA DE ADMISION Y EXPULSION DE AIRE DE 1" B.	pie. 2.00
A7	NIPLÉ DE ACERO AL CARBON DE 1" X 0.10 M. DE LONG. ROSCADA EN AMBOS EXTREMOS.	pie. 2.00
A8	NIPLÉ DE ACERO AL CARBON DE 1" X 0.10 M. DE LONG. ROSCADA EN UN EXTREMO.	pie. 2.00
A9	VALVULA DE COMPUERTA DE BRONCE ROSCADA DE 1" B.	pie. 2.00
A10	CONECTORES DE BRONCE PARA MANGUERA DE 2" B.	pie. 1.00
A11	MANGUERA DE 2" POLIUREA.	m. 5.00
<b>SOPORTERIA PARA TUBO DE DESCARGA.</b>		
P1	TUBO DE ACERO AL CARBON DE 4" X 2.10 M. DE LONG. ANODIZADA.	pie. 2.00
P2	ANGULO DE ACERO DE 12" X 12" X 8" DE ESP.	pie. 2.00
P3	VARRILLA ROSCADA (SPARRING) DE 2" B. X 1.00 M.	pie. 2.00
P4	TUERCA HEXAGONAL DE 2" B.	pie. 8.00
P5	RONDANA DE ACERO GALVANIZADA DE 2" B.	pie. 8.00
P6	TAQUETE DE EXPANSION DE 2" B. CON TUERCA.	pie. 4.00
P7	ANGULO DE ACERO DE 4" X 4" X 8" B.	pie. 2.00
<b>SOPORTERIA PARA EQUIPOS DE BOMBEO.</b>		
B1	CONJ. ESTRUCTURAL 12" X 4" B. DE PERALTE. ACERO DE PLATA DE 40 MPa DE PESO MEDIANO. INCLUYE TAQUETES DE EXPANSION Y TUERCA PARA FIJACION.	m. 8.00
B2	TAQUETE DE EXPANSION DE 2" CON TUERCA PARA FIJACION DE PLATAS.	pie. 24.00

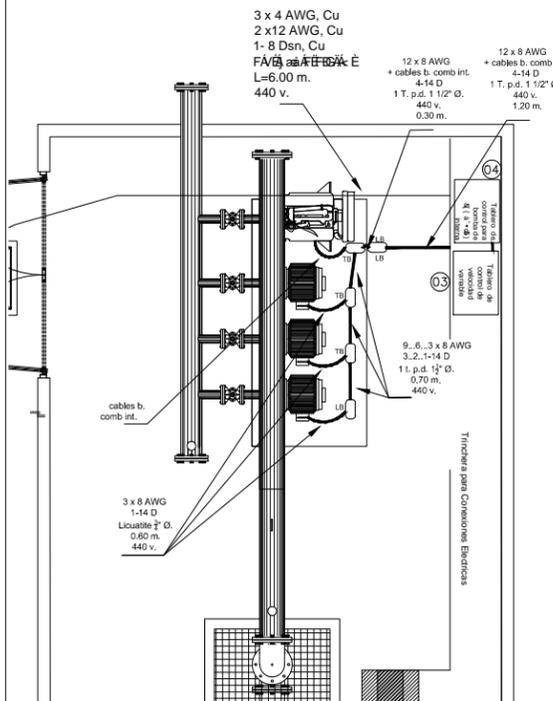
**17 NOTAS.**  
CISTERNA



PROL. AV. PASEOS DEL VALLE

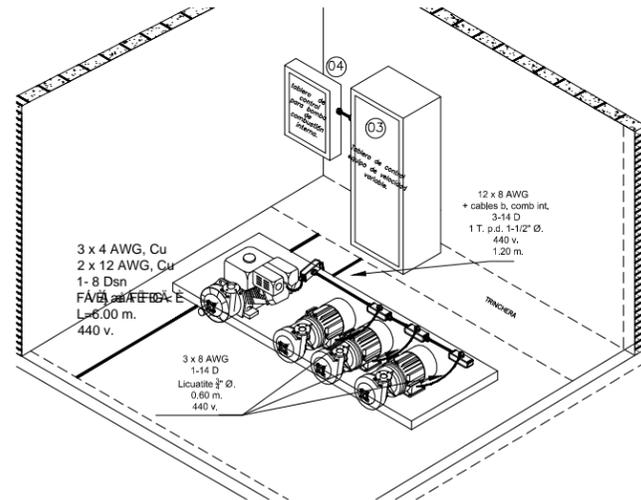
01 PLANTA GENERAL  
ESC 1:200

FUERZA Y ALUMBRADO



02 PLANTA CUARTO DE VELOCIDAD VARIABLE.  
ESC 1:50

FUERZA Y ALUMBRADO



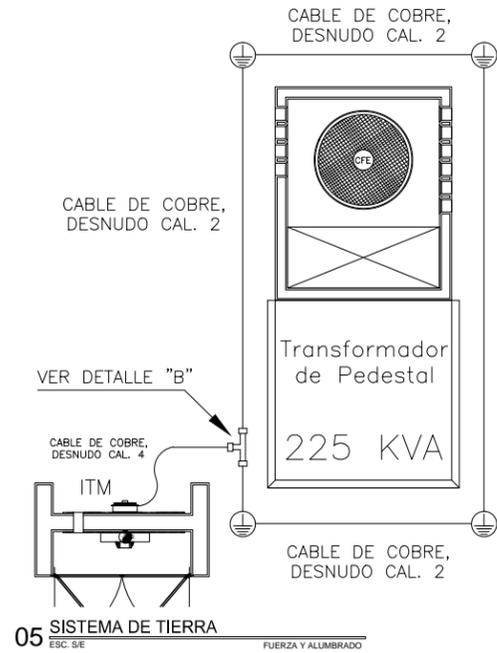
03 ISOMETRICOS SISTEMA DE VELOCIDAD VARIABLE  
ESC. S/E

FUERZA Y ALUMBRADO

CLAVE	EQUIPO	POTENCIA (KW)	WATTS TOTALES	A	B	C	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO DERIVADO	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO DE COM.
M1	BOMBA CENTRIFUGA, ES SISTEMA DE VELOCIDAD VARIABLE	15,00	11,190	3,730	3,730	3,730	3 X 30A	
M2	BOMBA CENTRIFUGA, ES SISTEMA DE VELOCIDAD VARIABLE	15,00	11,190	3,730	3,730	3,730	3 X 30A	3 X 100A
M3	BOMBA CENTRIFUGA, ES SISTEMA DE VELOCIDAD VARIABLE	15,00	11,190	3,730	3,730	3,730	3 X 30A	
M4	BOMBA SUMERGIBLE DE POZO A CISTERNA.	185,00	111,900	37,300,00	37,300,00	37,300,00		3 X 300A
		195,00	145,470	48,490,00	48,490,00	48,490,00	3 X 400A	

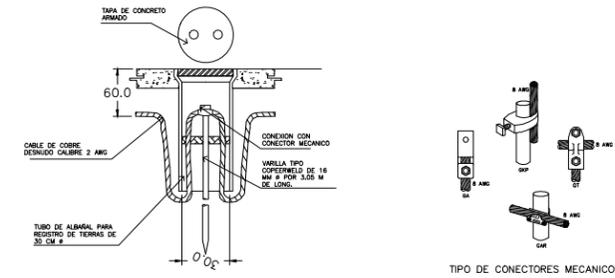
04 CUADRO DE MOTORES  
ESC. S/E

FUERZA Y ALUMBRADO



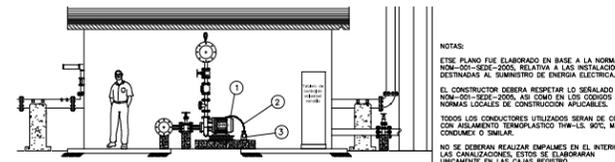
05 SISTEMA DE TIERRA  
ESC. S/E

FUERZA Y ALUMBRADO



06 DETALLE DE ELECTRODO A TIERRA  
ESC. S/E

FUERZA Y ALUMBRADO

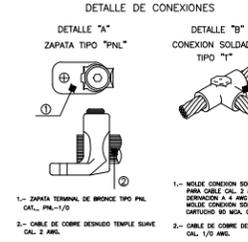


07 DETALLES DE CONEXION DE MOTOBOMBA 20 H.P.  
ESC. S/E

FUERZA Y ALUMBRADO

SIMBOLOGIA

SIMBOLO	DESCRIPCION
	ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA, VARILLA ALMA DE ACERO CON RECUBRIMIENTO DE COBRE, DIAMETRO NOMINAL 5/8", LONGITUD 3,05 mL, ESPECIFICACION CFE-56100-16.
	CABLE TRENZADO PARA SISTEMA DE TIERRAS, TEMPLE SUAVE DESNUDO DE COBRE



LISTA DE MATERIAL		
SISTEMA DE FUERZA Y ALUMBRADO.		
No.	DESCRIPCION.	UNIDAD CANT.
<b>EQUIPOS DE BOMBEO.</b>		
1.-	INTERRUPTOR GENERAL TERMOMAGNETICO DE 3P/400 AMP. DISPARO AUTOMATICO Y CIERRE MANUAL. 3 POLOS EN CABINETE NEMA 1. PARA USOS GENERALES. PARA OPERAR UNA TENSION DE 440 V. 60 C.P.S. CON CAPACIDAD INTERRUPTIVA UL. DE 25,000 AMP. SIMETRICOS, SIEMENS O SIMILAR.	pcs. 1,00
2.-	COMBINACION INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO DE 3P/300 AMP. DE CAPACIDAD CONDUCTIVA NORMAL E INTERRUPTIVA DE 35,000 AMP. R.M.S. SIMETRICOS Y ARRANCADOR MAGNETICO A TENSION REDUCIDA TIPO AUTOTRANSFORMADOR TAMAÑO NEMA 5 PARA CONTROLAR MOTOR DE 150 HP. 3P. 440 V. 60 C.P.S. CON ELEMENTOS TERMICOS SOBRE CABINETE PARA USOS GENERALES NEMA 1. SERVICIO INTERIOR TIPO BOMBA. COMPLETO CON ESTACION DE SERVICIOS (CONTROL) CON LEYENDAS "ARRANCAR-PARAR" CON LUCES FLUIDO COLOR ROJO Y "CERRAR VOLTIMETRO AMPERIMETRO SELECTOR DE TRES POSICIONES MANUAL-AUTO-FUERZA PARA OPERAR EL EQUIPO MANUAL O AUTOMATICAMENTE SIEMENS O SIMILAR.	pcs. 1,00
3.-	TABLERO DE CONTROL PARA EQUIPO DE MULTIBOMBEO DE VELOCIDAD VARIABLE, CON INVERSOR DE FRECUENCIA POR EQUIPO PARA 3 BOMBAS DE 15 HP. El cual incluye lo siguiente: + Inversor de frecuencia para la potencia requerida. + Interruptor termomagnético. + Selector de tres posiciones para control M/R/A. + Gabinete metálico NEMA 12. + PLC para controlar la operación en el modo AUTOMÁTICO DEL SISTEMA. + Terminal gráfico touch screen monocrómica para supervisión y ajuste. + Sensor de flujo. + Sensor de presión. + Prensa de nivel para el sentido de estado de la cisterna. + Tablas de conexiones externas para la recepción de las señales externas. + Diagramas de control y fuerza, así como juego de manuales de operación.	pcs. 1,00
4.-	TABLERO DE CONTROL, MARCA MOC, PARA BOMBA DE 20 HP. CON PANTALLA EPOXA CON APLICACION ELECTROSTATICA Y HOMERADO. CONTROL LOGICO PROGRAMABLE PLUS SELECTOR MANUAL-FUERZA-AUTOMATICO, CINCO INTENTOS DE ARRANQUE, SEÑAL DE MOTOR FUNCIONANDO PROPIAMENTE DE MOTOR MAGNETICO, TACOMETRO DIGITAL, LIMITADOR DE VELOCIDAD, RETARDADOR DE PARRA PARA TIEMPO MINIMO DE OPERACION, PROGRAMADOR DE PRESION, OPERACION AUTOMATICA, HORIMETRO (TITULADOR DE TIEMPO ACUMULADO DE TRABAJO POR EL MOTOR), ALARMA AUDITIVA CON LARGOS DE OPERACION DEFERIDOS (FALLA DE ARRANQUE, SELECTOR FUERA DE POSICION, NODO DE PRESION PERDIDA AUTOMATICA PARA PRESION DE AGUA DE LUBRICACION, NIVEL INSUFICIENTE DE AGUA EN LA CISTERNA), PANTALLA DISTAL DE CRISTAL LIQUIDO, SEÑALIZADOR CON TINTO EN LA PANTALLA, SEÑALIZADOR CON LUCES, CARGADOR DE BATERIA CONTROLADO POR MICROPROCESADOR.	pcs. 1,00
5.-	INTERRUPTOR DE 3P X 15 AMP., 600 VOLTS, MARCA SIEMENS O SIMILAR.	pcs. 1,00
6.-	TRANSFORMADOR TIPO SECO 5 KVA, 3F., 4H. CON RELACION DE TRANSFORMACION DE 440-220/127 V. CON INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO DE 3 X 20 AMP. CERRADO AUTOMATICO Y CIERRE MANUAL, 3 POLOS EN CABINETE NEMA 1 PARA USOS GENERALES. PARA OPERAR UNA TENSION DE 220 V. 60 C.P.S. CON CAPACIDAD INTERRUPTIVA DE 25,000 AMP.	pcs. 1,00
7.-	CONTROL Y PROTECCION PARA UNA BOMBA EN SU SUCCION Y DESCARGA, CONFORME A LA ALTA PRESION EN LOS ELECTRODOS, COMPLETO CON ELECTRODOS PARA AGUA POTABLE Y CABLE DE COBRE DEL CALIBRE 14 AWG. O SIMILAR AL MODELO NO DE CONTROLES AUTOMATICOS, S.A.	pcs. 1,00
8.-	TABLERO PARA ALUMBRADO TIPO CAT. (1836) 31500L, SIEMENS, 3F., 4H. 120-240 V.C.A. EN CABINETE PARA USOS GENERALES COMPLETO CON INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS PARA CIRCUITOS SERVIDORES DE 1 X 20 AMP. (1 PIEZA), 1 X 15 A (2 PIEZAS) Y 2 X 15 A (1 PIEZA) SIEMENS O SIMILAR.	pcs. 1,00
<b>CABLES.</b>		
9.-	CABLE DE COBRE CON AISLAMIENTO WANNEL 900 (90°), PARA 600 V. MARCA CONUMEX O SIMILAR.	
9.1.-	CALEBRE 300 MCM	m. 136,00
9.2.-	CALEBRE 3/0 AWG	m. 20,00
9.3.-	CALEBRE 4 AWG	m. 114,00
9.4.-	CALEBRE 8 AWG	m. 56,00
9.5.-	CALEBRE 10 AWG	m. 260,00
9.6.-	CALEBRE 12 AWG	m. 40,00
9.7.-	CALEBRE 14 AWG	m. 200,00
9.8.-	USO RUDO DE 2 X 12 AWG.	m. 20,00
10.-	CABLE DE COBRE DESNUDO MARCA CONUMEX O SIMILAR.	
10.1.-	CALEBRE 2 AWG.	m. 16,00
10.2.-	CALEBRE 4 AWG.	m. 48,00
10.3.-	CALEBRE 8 AWG.	m. 70,00
10.4.-	CALEBRE 14 AWG.	m. 74,00
11.-	CONEXION BOMBA POZO	
11.1.-	MANGUERA POLIURETANO HIDRAULICO REFORZADO COLOR NEGRO 1"	m. 200,00
11.2.-	CABLE TRIFASICO SUMERGIBLE 3X300 MCM	m. 210,00
<b>DUCTOS.</b>		
12.- TUBO CONDUIT DE P.V.C. SERVIDO PESADO.		
12.1.-	76 MM. (3") Ø.	m. 40,00
12.2.-	63.5 MM. (2-1/2") Ø.	m. 30,00
12.3.-	38 MM. (1 1/2") Ø.	m. 60,00
12.4.-	13 MM. (1/2") Ø.	m. 106,00
12.5.-	CURVA PVC SERVIDO PESADO, 76MM (3") Ø.	pcs. 1,00
12.6.-	CURVA PVC SERVIDO PESADO, 63.5MM (2-1/2") Ø.	pcs. 1,00
12.7.-	CURVA PVC SERVIDO PESADO, 51MM (2") Ø.	pcs. 2,00
12.8.-	CURVA PVC SERVIDO PESADO 38MM (1-1/2") Ø.	pcs. 1,00
13.-	TUBO CONDUIT DE FD. GO. PARED GRUESA.	
13.1.-	51 MM. (2") Ø.	pcs. 1,00
13.2.-	13 MM. (1/2") Ø.	pcs. 9,00
14.-	TUBO CONDUIT DE FD. GO. PARED DELGADA.	
14.1.-	63.5 MM. (2-1/2") Ø.	pcs. 3,00
14.2.-	38 MM. (1 1/2") Ø.	pcs. 5,00
15.-	TUBO FLEXIBLE LIQUATITE.	
15.1.-	38 MM. (1 1/2") Ø.	m. 3,50
15.2.-	19 MM. (3/4") Ø.	m. 7,00
<b>CONEXIONES.</b>		
16.- CONDULET SERIE OVALADA CON TAPA Y EMPAQUE DE NEOPRENO.		
16.1.-	38 MM. (1 1/2") Ø. TIPO TB.	pcs. 3,00
16.2.-	13 MM. (1/2") Ø. TIPO TB.	pcs. 1,00
16.3.-	38 MM. (1 1/2") Ø. TIPO LB.	pcs. 3,00
16.4.-	13 MM. (1/2") Ø. TIPO LB.	pcs. 1,00
17.-	CONECTOR RECTO GALVANIZADO PARA TUBO FLEXIBLE LIQUATITE.	
17.1.-	13 MM. (1/2") Ø.	pcs. 4,00
18.-	REDUCCION CONDUIT.	
18.1.-	1 1/2" A 1/2"Ø.	pcs. 4,00
19.-	CODO CONDUIT DE FOGO. PARED GRUESA.	
19.1.-	90° X 2" Ø.	pcs. 2,00
20.-	JUEGO DE CONTRA Y MONITOR PARA TUBERIA CONDUIT.	
20.1.-	38 MM. (1 1/2") Ø.	pcs. 11,00
<b>ALUMBRADO EXTERIOR.</b>		
21.-	LUMINARIA TIPO COLONIAL MEXICANO DE "S.A.P." DE 100 WATTS, INCLuye POSTE METALICO RECTO CIRCULAR DE 6.00 M. DE ALTURA.	pcs. 3,00
<b>SISTEMA DE TIERRAS.</b>		
22.-	VARILLA COPPERWELD DE 3/8" MM. DE DIAMETRO X 3,05 M. DE LONGITUD.	pcs. 4,00
23.-	TUBO DE ALBAÑAL PARA REGISTRO DE 30 CM. Ø. POR 0,60 M. DE LONG. CON TAPA DE CONCRETO.	pcs. 4,00
24.-	CONECTOR MECANICO TIPO BURNDY TIPO GAR PARA CONECTAR CABLE CAL. 4 AWG A VARILLA.	pcs. 3,00
25.-	CONECTOR MECANICO TIPO BURNDY TIPO GA PARA CONECTAR CABLE CAL. 2 Y 4 AWG A VARILLA.	pcs. 3,00
<b>MATERIAL DIVERSO.</b>		
26.-	MATERIAL MISCELANEO, TAL COMO CINTAS DE AISLAR, PUNAS, ABRICAZADAS Y TORNILLOS.	Lote 1,00



## **ANEXO 2**

### **FOTOGRAFÍAS**





FOTO 1. Vista general de la cisterna (3, 000 m<sup>3</sup>) y pozo (Q= 35 lps)



FOTO 2. Vista general de patio



FOTO 3. Caseta de pocero y Cuarto de control de máquinas



FOTO 4. Bombas del Sistema de velocidad variable



FOTO 5. Acceso al predio del pozo y cisterna



FOTO 6. Conexión del Sistema de velocidad Variable a la red de distribución.

---