



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

---

---

FACULTAD DE INGENIERIA

ABASTECIMIENTO ELECTRICO DE SISTEMAS DE BOMBEO  
DE AGUAS NEGRAS EN LA CIUDAD DE MEXICO''

**T E S I S**

PARA OBTENER EL GRADO DE:

**INGENIERO ELECTRICO ELECTRONICO**

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

**MELENDEZ REYES SANTIAGO**

**MEZA LLANOS JAVIER**

ASESOR DE TESIS: ING. ARTURO MORALES COLLANTES



MEXICO, D. F.

ABRIL DE 2005.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en forma electrónica e impresa el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Santiago Meléndez Reyes

FECHA: 27/04/05

FIRMA: 

# ÍNDICE

Introducción

CAPÍTULO 1.	Antecedentes
1.1. Localización de la cuenca del Valle de México	1
1.2. Lluvia y evaporización	4
1.3. Aspectos urbanos	6
1.4. Una salida para el agua	11
1.5. El hundimiento de la ciudad	15
1.6. Obras de drenaje	17

CAPÍTULO 2. Desagüe de la Cuenca del Valle de México

2.1. Sistema de desagüe	20
2.2. Una salida para el agua (emisores y colectores)	21
2.2.1. Emisor Central	21
2.2.2. Interceptor Centro - Centro	21
2.2.3. Interceptor Central	22
2.2.4. Interceptor Oriente	22
2.2.5. Interceptor Centro – Poniente	22
2.2.6. Interceptor Oriente – Sur	22
2.2.7. Interceptor Oriente – Oriente	23
2.2.8. Colector Semiprofundo Canal Nacional – Canal de Chalco	23
2.2.9. Colector Semiprofundo de Iztapalapa	23
2.2.10. Colector Semiprofundo Obrero Mundial	23
2.3. Lumbreras	24
2.4. Sistema de drenaje del D.F.	27
2.4.1. La Red Secundaria	27
2.4.2. La Red Primaria	27
2.4.3. Los grandes conductos	28
2.4.4. El Drenaje Profundo	29
2.5. Infraestructura actual	32
2.6. Trabajos de remodelación	36

CAPÍTULO 3. Sistema de Bombeo Típico

3.1. Paso a Desnivel Peatonal	40
3.2. Paso a Desnivel Vehicular	43
3.2.1. ¿Qué es el cárcamo?	48
3.2.2. ¿Qué es una bomba?	48
3.2.3. Motor	50
3.2.4. Sistema de control de motores eléctricos	51
3.3. Plantas de Bombeo	54
3.3.1. Subestación Eléctrica	55

3.3.2. Transformador	56
3.3.3. Tableros de Control	56
3.3.4. Equipo de Generación	58
3.3.5. Cabezal Engranado	59
3.3.6. Motor de Combustión Interna	60
3.4. Plantas de Bombeo de la Ciudad de México	60

## CAPÍTULO 4. Proyecto Eléctrico de Sistemas de Bombeo de Aguas Negras

4.1. Paso a Desnivel Peatonal	67
4.1.1. Gasto influente al cárcamo	67
4.1.2. Selección del equipo de bombeo	69
4.1.3. Instalaciones de proyecto	71
4.1.4. Cálculo de las cargas eléctricas y conductores	73
4.1.5. Sistemas de fuerza	79
4.1.6. Cálculo de la corriente de Corto Circuito	80
4.2. Paso a Desnivel Vehicular	84
4.2.1. Gasto influente al cárcamo	84
4.2.2. Selección del equipo de bombeo	85
4.2.3. Sistema de iluminación interior mediante el método lumen	86
4.2.4. Cálculo de las cargas eléctricas	88
4.2.5. Cálculo del alimentador del grupo de motores	93
4.2.6. Cálculo de la corriente de corto circuito	94
4.2.7. Sistema de tierras	97
4.3. Planta de Bombeo "Gran Canal"	98
4.3.1. Cálculo de alimentadores y protecciones para los motores	101
4.3.2. Cálculo de la protección de sobrecarga del motor	102
4.3.3. Cálculo de alimentadores y protecciones del lado del secundario de cada transformador	106
4.3.4. Cálculo de la corriente de corto circuito	109
4.3.5. Red de tierras	116

## CAPÍTULO 5. Operación y Mantenimiento de Bombas

5.1. Selección	121
5.2. Instalación	121
5.3. Operación	122
5.3.1. Procedimiento de operación para bombas tipo vertical con motor eléctrico	122
5.3.2. Procedimiento de operación para bombas tipo vertical con motor a diesel tipo Perkins	123
5.4. Mantenimiento	123
5.4.1. Mantenimiento de bombas centrífugas de eje vertical	124
5.4.2. Mantenimiento preventivo en bombas centrífugas de eje horizontal	126
5.4.3. Mantenimiento preventivo en motores eléctricos de eje vertical	127
5.4.4. Mantenimiento preventivo en motores eléctricos de eje	

horizontal	128
5.4.5. Mantenimiento preventivo en cabezal engranado	129
5.4.6. Mantenimiento preventivo en motores de combustión a diesel	129
5.4.7. Mantenimiento preventivo en subestación eléctrica	131
5.4.8. Mantenimiento preventivo en unidades de arranque	132
5.4.9. Servicio de mantenimiento correctivo	140
5.5. Solución de problemas en bombas centrífugas	141
5.5.1. Problemas de la succión	141
5.5.2. Problemas en el sistema	142
5.5.3. Problemas mecánicos	142
Conclusiones	144
Apéndice	146
Bibliografía	151

## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se analizará el problema de las inundaciones en el Valle de México, partiendo de una perspectiva histórica que, en esencia, muestra que desde la época de los aztecas ha sido un problema que ha aquejado a sus habitantes, y que desde entonces se ha buscado dar salida a los excedentes de agua y evitar encharcamientos, que a su vez no implique detener el crecimiento de la urbanización en el Valle.

Así mismo, se realza la necesidad de bombear las aguas negras fuera del Valle, ya que debido a los constantes asentamientos de terreno que ha venido sufriendo la Ciudad de México, los canales a cielo abierto destinados a desalojar sus aguas por gravedad, hace muchos años que dejaron de funcionar como tal.

Por lo anterior, la operación de los sistemas de bombeo son de vital importancia para el correcto funcionamiento de la Ciudad de México, especialmente en la época de lluvias, en la que algunas calles se han llegado a convertir en verdaderos ríos, por lo que se deben mantener en perfectas condiciones de operación (todos los componentes de un sistema de bombeo), listos para emplearse en el momento necesario que así se requiera a su capacidad máxima si es preciso.

Actualmente los niveles de explotación del acuífero para el abastecimiento de agua son mayores a su recarga normal, por cada litro que se infiltra, se extrae un litro y medio.

Tanto el abasto de agua como el drenaje en la ciudad requieren de grandes obras que muchas veces resultan insuficientes, más aún cuando se han continuado desarrollando fraccionamientos en las zonas boscosas de antaño, lo que determina necesidades de nueva infraestructura de distribución y hace insuficientes los actuales caudales de abastecimiento. Por otra parte, con el crecimiento de la plancha de concreto en las zonas altas, se impide la infiltración de aguas pluviales y en consecuencia la recarga natural del acuífero y se propicia una acelerada concentración de escurrimientos que satura en menor tiempo los conductos de desagüe, aumentando los riesgos de inundación en la ciudad.

Una de las partes más importantes en cualquier sistema de bombeo, es la eléctrica, en cada una de sus componentes: iluminación, sistema de fuerzas, protecciones, etc. En nuestro caso, no es la excepción por tratarse de un aspecto tan importante el mantener libre de inundaciones a la Ciudad de México, sin descuidar la seguridad de los operadores y del público en general. El sistema de fuerzas lo haremos de acuerdo a las especificaciones, que marcan las normas de instalaciones eléctricas, basándonos en la experiencia adquirida, y con las estadísticas existentes.

Podemos darnos cuenta que el drenaje profundo de la Ciudad de México es de vital importancia, así como el mantener los pasos a desnivel ya sean peatonales o vehiculares libres de inundaciones, requiriendo para ello un cálculo adecuado del sistema de bombeo, y sobre todo de el adecuado suministro de energía eléctrica, para garantizar la operación de los equipos instalados, logrando con ello dar un servicio continuo y seguro.

# Capítulo 1

---

## ANTECEDENTES

El Valle de México está situado en el borde sur de la meseta central con una extensión de 9600 kilómetros cuadrados, su forma es semejante a la de una elipse; su eje mayor noreste a sureste, mide 110 kilómetros y su eje menor, de este a oeste, tiene una longitud de 80 kilómetros. Completamente rodeado por montañas, las altitudes de su planicie central oscilan entre los 2,240 y 2,390 metros sobre el nivel del mar y constituye una cuenca cerrada, sin salidas para los escurrimientos que se generan dentro de la misma.

### 1.1 Localización de la cuenca del Valle de México

El pasado de la Ciudad de México tiene un sello de agua. Asentada sobre terrenos lacustres, ha desafiado la imaginación de ingenieros y urbanistas que han concebido distintas formas de resolver la construcción de un eficiente sistema de drenaje. Esta tradición se remonta a la época prehispánica, de la que se conservan datos escasos, pero asombrosos sobre las medidas adoptadas para conducir los desechos y residuos generados por sus pobladores.

La evacuación de las aguas negras es un servicio fundamental para cualquier ciudad del mundo donde se asentaron y formaron las chinampas, particularmente en la que hoy vivimos, donde se aloja el mayor conglomerado urbano del planeta.

Desde que los nómadas aztecas perfilaron el fin de su peregrinar, al contemplar el águila sobre el nopal devorando una serpiente, los habitantes de la cuenca de México se enfrentaban a las periódicas crecidas de los lagos que la bañaban. Los distintos lagos proveían de alimento a todos los pueblos ribereños, sin embargo, el hecho de haber escogido un pequeño islote para edificar Tenochtitlán obligó a los aztecas a desarrollar una mayor actividad para controlar las inundaciones al tiempo que procuraban disminuir la salinidad propia del lago de Texcoco.

Así, tuvieron que construir el albaradón de Nezahualcóyotl, para prevenir las inundaciones y evitar la mezcla de las aguas saladas del citado lago con las aguas dulces de los demás lagos.

El lago de Zumpango crecía con las corrientes de los ríos Cuautitlán y Pachuca; vertía el sobrante en la laguna de Xaltocan y ésta a su vez en la de Texcoco. Dado que éste último era de agua salada y los demás de agua dulce, las crecidas favorecían el desarrollo de las chinampas y de los cultivos aztecas.

A todo lo largo de la historia de lo que hoy es la Ciudad de México, es posible advertir cómo los esfuerzos para evitar las inundaciones van al parejo de aquellos destinados a proveer a la población de agua potable.

Se ha cuestionado, tal vez con razón, que el lago original (figura 1.1) se haya venido comprimiendo para dar lugar a una ciudad cada vez más grande, pero hasta ahora la decisión ha sido siempre tratar de resolver los problemas de inundaciones (y otros muchos), sin frenar el crecimiento de la ciudad.

En 1604, la ciudad sufrió grandes inundaciones que persistieron durante meses, dado que, en la cuenca cerrada, la única salida del agua era por evaporación. Se decidió entonces construir una salida artificial para drenar los excedentes hacia la cuenca del río Tula. Para ello se intentó construir el canal de Huehuetoca y cruzar el parteaguas mediante un túnel de cerca de 7 kilómetros de longitud, bajo el sitio conocido como Nochistongo, que descargaría al río Tula.

Las obras se iniciaron en 1607 y su desarrollo tomó casi dos siglos, debido a diversos problemas técnicos y burocráticos. En ese lapso se produjeron varias inundaciones de gran magnitud, dentro de las que destaca la de 1629-1635, en la que se estima murieron 30,000 personas y que un número similar de españoles salieron de la ciudad. La catástrofe fue tan grande que se pensó seriamente en trasladar la ciudad a otro sitio.

Las fechas en las que la capital fue afectada por las crecidas de los lagos circundantes son numerosas. Periódicamente, la ciudad se anegaba, unas veces debido a las lluvias torrenciales, otras a la falta de mantenimiento de diques y demás obras de desagüe.

Los proyectos y obras inconclusas son innumerables. Resalta, sin embargo, el breve periodo virreinal del segundo conde de Revillagigedo (1789-1794). En él, se construyó un sistema de dos canales y compuertas para el desagüe que buscaba evitar que el agua de los lagos de Zumpango y de San Cristóbal inundaran la ciudad en épocas de lluvia; este sistema de drenaje se completó con una red primaria de atarjeas y colectores que atravesaba las principales calles de la ciudad y se conectaba con el desagüe de las casas.

En la figura 1.1 se puede apreciar la distribución de los lagos en la época prehispánica así como la diferencia entre superficies de tierra firme comparadas con las del agua.

Actualmente el Valle de México contiene lagos someros, de los cuales el de Texcoco es el mayor, le sigue en importancia la laguna de Zumpango, en el noreste, mientras que el lago de Chalco, tercero en importancia, se extinguió por completo a principios del siglo pasado. Los dos primeros lagos y los canales de Xochimilco, son los últimos vestigios de otros muchos mayores y más numerosos que formaban anteriormente un sólo cuerpo de agua.



millones en 1960. A lo largo de esos años se construyeron miles de kilómetros de diversos conductos para el drenaje y se inició la construcción del sistema de presas para la regulación de las avenidas en el poniente de la ciudad.

## **1.2 Lluvia y evaporación**

El Distrito Federal se asienta en la zona meridional que es la que presenta las mayores y menores elevaciones. En esta zona las lluvias son las más copiosas, por lo que en algunas partes existe vegetación abundante. Durante la época de las lluvias, los arroyos que descienden de sierras y lomas ubicadas al este y al oeste conducen sus aguas a la planicie central y desembocan en espacios pantanosos y en lagos, pero afectan el área urbana del Distrito Federal.

Las cadenas montañosas que rodean el Valle de México la protegen de la acción directa de los huracanes. Las lluvias de verano son las de mayor intensidad, generalmente tienen su origen debido a tormentas intensas y de corta duración. En cambio las lluvias de invierno son más intensas y de mayor duración; pero generalmente no provocan inundaciones importantes debido a su baja intensidad.

La precipitación media anual aumenta en el valle del noreste hacia el sureste, y las lluvias se acentúan en las montañas del sur y del oeste, sin embargo, esta tendencia es mucho menos notable en el caso de las precipitaciones de corta duración, por ello los grandes chubascos o tormentas pueden ocurrir casi indistintamente en cualquier parte del valle y en particular en cualquier punto del Distrito Federal.

El drenaje de la Ciudad de México es del tipo combinado, ya que transporta aguas tanto de tipo pluvial como sanitaria.

El agua de lluvia cae en la calle y el primer accesorio que encuentra es la coladera pluvial en la guarnición. La coladera capta el volumen de agua y lo lleva a la primera red de tuberías, que se conocen como atarjeas o red secundaria, un tubo que mide entre 30 y 45 centímetros de diámetro. Esta atarjea también recibe los líquidos de los hogares, conocidos como descargas sanitarias.

El agua pluvial y sanitaria se conduce a otros tubos de mayor diámetro, que van de 90 a 244 centímetros de diámetro conocidos como colectores, o bien, red primaria.

Esta red puede descargar el líquido en alguna planta de bombeo, para que a su vez, el agua sea bombeada a otro conducto más grande conocido como drenaje semiprofundo, y finalmente al profundo; en algunos caso se almacena en una laguna de regulación, siendo esta una presa que nos permite almacenar el agua proveniente de las precipitaciones pluviales para evitar saturar la red de drenaje, la cual una vez terminada la lluvia y recobrado su nivel la red, es liberada a través de compuertas para que el agua se conduzca por gravedad y

descargue en el portal de salida ubicado en el río el salto del estado de Hidalgo, o en su defecto consumidas por el mismo terreno.

La distribución temporal de las lluvias en el Valle de México es muy desfavorable desde el punto de vista de su aprovechamiento o control, ya que casi la totalidad de la precipitación de un año se concentra en un número muy reducido de tormentas. Así durante una sola tormenta es posible que se precipite entre el 7 y el 10 % de la lluvia media anual; de este volumen más del 50 % se precipita en tan sólo 30 minutos, lo que provoca grandes crecientes. Comienza a explicarse la paradoja que siempre ha vivido la ciudad, pues a lo largo de la historia el exceso de lluvia ha contrastado con la falta de ella.

Por ser difícil de controlar los escurrimientos generados durante las tormentas, la ciudad enfrenta el problema de desalojar esta agua; por otra parte, lucha por calmar su sed.

El volumen de lluvias media anual, dividido entre el número de segundos en un año, arroja un caudal medio equivalente a 213 m<sup>3</sup>/s. Se estima que de este caudal se evapotranspiran 171 m<sup>3</sup>/s, que por lo tanto, no son susceptibles de aprovechamiento. De los 42 m<sup>3</sup>/s restantes, 23 m<sup>3</sup>/s recargan el acuífero y 19 m<sup>3</sup>/s escurren superficialmente, de estos últimos se regulan 3 m<sup>3</sup>/s para su aprovechamiento y se desalojan los 16 m<sup>3</sup>/s restantes a través de los drenajes del valle para evitar inundaciones muy cortos, durante los cuales se concentran grandes caudales.

Por lo que respecta al abastecimiento de agua, para satisfacer los requerimientos de 60 m<sup>3</sup>/s que demandan los usuarios de la cuenca, se importan 15 m<sup>3</sup>/s de agua superficial de acuíferos sobre explotados, se extraen 40 m<sup>3</sup>/s provienen del caudal que se renueva anualmente mediante el proceso de infiltración y 17 m<sup>3</sup>/s del volumen almacenado en el subsuelo durante los milenios en que no se explotaban los acuíferos. Para completar el abastecimiento, se emplean 2 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales así como los 3 m<sup>3</sup>/s de aguas superficiales regulados mencionados anteriormente. De los 60 m<sup>3</sup>/s se destinan al uso urbano 52 m<sup>3</sup>/s y al agrícola 8 m<sup>3</sup>/s.

Como resultado del uso de los caudales señalados, se producen 40 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales. De este volumen, los 2 m<sup>3</sup>/s mencionados antes, se tratan y reusan para el riego de parques y jardines, llenado de lagos, además se utilizan aproximadamente 8 m<sup>3</sup>/s, para regar 18,000 Ha. En el Valle de México y el resto se destina al riego de 56,000 Ha.

### **1.3 Aspectos urbanos**

Pocos son hoy los habitantes de la ciudad que ocupan su tiempo en pensar en el futuro de nuestro hábitat urbano. Para la inmensa mayoría de los que vivimos aquí, nuestras preocupaciones giran en torno a otros problemas más cercanos, como la inseguridad de todos los días, los acontecimientos de nuestro trabajo y en general los asuntos de la vida cotidiana; preocuparnos por

nuestra ciudad y su futuro parece tener poco sentido; con las molestias que tenemos que soportar cada día es suficiente; de cualquier modo, la ciudad será mañana la misma que es hoy y la que fue ayer.

Desafortunadamente las cosas no son así, las ciudades cambian de manera vertiginosa y en muchos sentidos al mismo tiempo, la nuestra no es una excepción, como no lo son tampoco la mayoría de las ciudades mexicanas; las señales están a nuestro alrededor, aunque les demos poca importancia o no las queramos ver.

No todo ha sido para mal; la ciudad ha mejorado en muchos aspectos, pero esto no asegura que en el futuro las cosas sigan así. Lo que sí es seguro es que la ciudad seguirá teniendo cambios y algunos de estos serán dramáticos. Antes de hablar de ellos, conviene recordar el pasado y hacer un poco de historia.

Alrededor de 1900, la Ciudad de México tenía medio millón de habitantes que se transportaban en tranvías, en coches tirados por caballos o a pie; ocupaba, con otros pueblos cercanos, una parte pequeña del Distrito Federal. Durante la primera mitad del siglo XX, la ciudad ya había integrado a otros pueblos cercanos en una gran mancha urbana; la urbe empezó a desbordar el Distrito Federal en algunos puntos, extendiéndose hacia el norte y luego al oriente por el Estado de México. Entre 1955 y 1980, el crecimiento alcanzó sus niveles más altos, continuando de manera moderada en los últimos dos decenios del siglo XX.

Si la evolución de la mancha urbana a lo largo del siglo XX resulta impresionante, el crecimiento de las cifras demográficas llama necesariamente a reflexión. Entre 1960 y el 2000, la población del sur del D.F., creció nueve veces, mientras que la de los municipios conurbados del Estado de México creció quince veces; algunos municipios como Ecatepec y Coacalco vieron su población incrementada 40 y 60 veces respectivamente, por no hablar de Nezahualcóyotl, que tuvo un incremento desmesurado entre 1950 y 1980.

Estos crecimientos han implicado enormes retos de urbanización, de suministro de agua y energía eléctrica, así como de construcción de vialidades y sistemas de transporte. El empleo, que constituyó en principio el motor central del crecimiento de la ciudad (más del 35 por ciento de la producción industrial se ubicaba en 1980 en la Ciudad de México, con cientos de miles de puestos de trabajo en la industria, el comercio, el sector financiero y las instituciones del Gobierno Federal que se localizaban necesariamente en la ciudad capital del país) quedó luego rebasado por la dinámica poblacional, hasta convertirse en el principal problema a partir de 1983, en que su población hubo de enfrentar una larga crisis que se mantuvo a lo largo de toda la década de los ochenta y una parte de los noventa. La Ciudad de México terminó siendo la mayor concentración de desempleados del país.

Podríamos decir que tres fueron los factores que incidieron en esta crisis originada en el centralismo político y económico de la nación:

1) La instrumentación del modelo económico neoliberal y la integración del país a los mercados globales requería mayores niveles de eficiencia y productividad que los que venían operando en nuestra economía; las empresas poco competitivas tuvieron que cerrar, mientras que el resto se vió obligado a realizar despidos considerables de personal. Si la planta productiva de la Ciudad de México representaba más de la tercera parte de la nacional, tiene sentido suponer que, al menos, la cuarta parte de los desempleados se ubicaran en la Ciudad de México.

2) De la misma manera, la enorme reducción de empleados, experimentada por el gobierno federal, tuvo también su mayor impacto en la Ciudad de México.

3) El crecimiento acelerado y descontrolado de la urbe se traducía en enormes desequilibrios internos, tanto en la ubicación de infraestructura (vial, telefónica, etcétera) como de las fuentes de trabajo y de las zonas residenciales.

Las consecuencias de todo esto fueron múltiples, no obstante que la productividad de los trabajadores del Distrito Federal es la más alta de todas las ciudades del país, al igual que el nivel de escolaridad de su población; el ingreso medio de sus trabajadores ha estado rezagado respecto al de la mayor parte de las ciudades del país, en virtud de la sobreoferta de mano de obra y, sobre todo, de capacidad intelectual.

Aunado al problema de desempleo y bajos salarios, las restricciones económicas aplicadas por el Gobierno Federal entre 1983 y 1989, en acatamiento a los programas dictados por el Fondo Monetario Internacional a los países deudores como el nuestro, significaron el estancamiento de las inversiones gubernamentales en la ciudad y el deterioro de los servicios públicos de salud, educación y gestión social.

Al principio de la década de los años noventa, la sensación dominante de los habitantes de la capital era de saturación, de apiñamiento y de ahogo; era la experiencia de embotellamientos continuos del tráfico, de la falta de agua, de los altos índices de contaminación, de la saturación en el aeropuerto, en los centros comerciales, en los parques públicos, de la falta de ambulancias y de camas de hospital.

Por otra parte, el ritmo de crecimiento de la población urbana disminuyó, en términos generales, a lo largo de la década; pero, en particular la población decreció en las delegaciones céntricas (Cuauhtémoc, Venustiano Carranza, Benito Juárez, Miguel Hidalgo e Iztacalco), generando en ellas un fenómeno de desahogo, visible para sus habitantes y para quienes acudían a ellas a realizar sus actividades laborales.

La ciudad se fue descongestionando, en la medida que sectores importantes de la población decidieron realizar sus actividades en sitios cercanos a su domicilio, aunque esto los moviese al sector informal, que ya para 1995 representaba el 59 por ciento de todos los puestos de trabajo de la

ciudad. Gracias a ello, el transporte urbano contó con capacidad para enfrentar la demanda sin realizar mayores inversiones.

El desarrollo de las ciudades medias en el centro-norte y norte del país, que han ofrecido mejores salarios y mejores condiciones de trabajo, ha generado una corriente migratoria de jóvenes bien preparados, que se han marchado de la capital hacia dichos centros urbanos, mientras que la población inmigrante que llega a la metrópoli continúa siendo rural, mayoritariamente campesina y de bajos niveles de escolaridad, con un nivel reducido de demanda en diferentes servicios públicos.

Todos estos fenómenos, en su conjunto, además de la disminución de la actividad económica, han contribuido a generar la sensación de una leve mejoría o, por lo menos, de "no deterioro", que la población capitalina experimenta actualmente, aunque las inversiones en infraestructura se hubiesen mantenido reducidas durante la última década, concentrándose sólo en rubros y lugares muy específicos (como la construcción de unos cuantos pasos a desnivel, la ampliación de alguna línea del metro o la apertura de una nueva vialidad). La pregunta que quizás deberíamos hacernos es: ¿Cuánto tiempo más pueden seguir las cosas así? Esto, de alguna manera, implica pensar en el futuro.

Una situación cuyo origen es totalmente ajeno a nuestra ciudad, pero del que no es posible sustraerse, tiene que ver con la conformación de las llamadas ciudades globales, de las cuales existen unas quince en todo el planeta, siendo la Ciudad de México una de ellas.

Así, como consecuencia del actual modelo económico mundial, sustentado en los avances tecnológicos de las comunicaciones y la computación, existe un número cada día mayor de empresas que han decidido vender sus productos y/o servicios alrededor del mundo. Para ello, las empresas requieren contar con oficinas y plantas regionales desde las cuales promover sus productos, distribuirlos y competir en los mercados locales; en muchos casos incluso fabrican o integran esos productos localmente para minimizar sus costos de transporte.

Una de estas regiones, con una población que habrá de superar pronto los 250 millones de personas, está formada por México, Centro América, el Caribe y el Norte de Sudamérica (Colombia y Venezuela). Por razones de idioma, de infraestructura, de telecomunicaciones y de transporte, los mercados de esta amplia región pueden ser controlados desde un solo centro: la Ciudad de México.

En los próximos meses y años, es altamente probable que veamos instalarse en México a bancos internacionales, empresas de transporte, farmacéuticas, fabricantes de maquinaria, industrias automotrices, empresas de telecomunicaciones, firmas de ingeniería y publicidad, etcétera, atraídas por la existencia misma de la gran ciudad con toda su infraestructura (agua, electricidad, carreteras, telecomunicaciones y mano de obra altamente calificada).

Este fenómeno, que ha empezado a darse con impactos muy localizados (Cuajimalpa, Huixquilucan y Miguel Hidalgo), tendrá impactos previsibles de diversa índole, dando lugar a la aparición y multiplicación de cuellos de botella en materia de vialidades, de transporte, de distribución de energía eléctrica y agua, así como de alcantarillado. Las razones de todo esto son claras pues las empresas internacionales, al instalarse en México, en condiciones similares a las de otros países, generarán demandas que, para ser satisfechas producirán faltantes en otras zonas de la ciudad. Por otra parte, las derramas económicas de esas empresas en materia de salarios elevados darán lugar, a su vez, a demandas domésticas de alta calidad para varios tipos de suministros que se traducirán igual, y necesariamente, en carencias en las zonas habitacionales de menores ingresos.

Si a estos desequilibrios totalmente previsibles agregamos las políticas de restricción que se han aplicado al gasto público de la ciudad durante los últimos años, primero como parte de una estrategia orientada a reducir el crecimiento de la población, y luego como forma de presión y control de gobiernos locales, la conclusión inmediata es que la Ciudad de México se encamina a una crisis sociopolítica de tales dimensiones, que terminará afectando el futuro de todo el país.

El problema puede plantearse en forma sistemática, como el enfrentamiento de dos modelos opuestos, el de la gran ciudad global, moderna y bien dotada de recursos humanos, financieros y materiales, con el otro modelo, el de la ciudad capital de un país empobrecido, con grandes carencias, graves problemas sociales y la ausencia total de un plan de desarrollo a mediano y largo plazo.

Uno de los aspectos fundamentales de esta nueva crisis que se acerca tiene que ver con la vivienda, problema que se dejó crecer irresponsablemente a lo largo del siglo XX, y que la ciudad habrá de enfrentar con costos muy altos en los próximos años. El problema tiene varias facetas, con un origen común: decisiones tomadas con criterios pragmáticos de muy corto plazo, ignorando los costos futuros que acarrearían necesariamente.

Seguramente el caso más conocido es el de las rentas congeladas. Algunos gobiernos de la ciudad, defendiendo supuestamente los derechos de los trabajadores y de los grupos sociales más débiles, cargaron los costos de la inflación a los caseros, reventando el mercado de viviendas rentadas y generando problemas tanto de viviendas como en la industria de la construcción, durante la década de los años cincuenta y sesenta, cuando aún no terminan de superarse.

Los problemas de la vivienda no terminan allí; se ramifican a la insuficiencia en la distribución del agua y la falta de servicios. Sin embargo, señalamos aquí sólo uno: el creciente desequilibrio que se define a partir de la existencia de un domicilio fijo y estable, ligado a la vivienda adquirida por el trabajador, y la variación recurrente de los sitios de trabajo. El resultado neto es que las distancias entre domicilio y centro de actividad manifiestan una tendencia clara

de crecimiento, con una consecuencia directa en la eficiencia productiva de la ciudad y con el incremento en la demanda de transporte y contaminación, con niveles muy superiores al del crecimiento mismo de la población.

Otro problema grave, gestado hace tres o cuatro décadas, y que constituye una situación acuciante es el de la inexistencia de áreas verdes. Normalmente, las ciudades del mundo cuentan con normas mínimas sobre la existencia y distribución de áreas verdes y las reservas territoriales con que deben contar, para asegurar, por una parte, el bienestar y esparcimiento de la población y, por otra, la recarga de los mantos acuíferos por la lluvia. Tales normas han sido ignoradas desde la década de los sesenta, tanto por fraccionadores y desarrolladores inmobiliarios, como por las autoridades gubernamentales; ello ha permitido que la ciudad sea cada vez más inhóspita, especialmente para los habitantes de menos recursos.

Es difícil imaginar cómo podrá ser la Ciudad de México en el futuro, digamos en veinte años o en cincuenta, pero quizá sí podamos hacernos algunas preguntas específicas y sobre todo relevantes: ¿Qué tanto seguirá expandiéndose la mancha urbana y hacia dónde? ¿Qué medidas y proyectos deberán iniciarse para enfrentar ese crecimiento? ¿Volverá la Ciudad de México a convertirse en el lugar de oportunidades y progreso que alguna vez fue? ¿Continuarán presentándose y expandiéndose zonas de envejecimiento urbano como las que hoy existen en las delegaciones Cuauhtémoc y Venustiano Carranza? ¿Será posible regresar a los niveles de seguridad pública que gozábamos hace 20 o 30 años? Para contestar estas preguntas, al menos parcialmente, tenemos que pensar en tres escenarios diferentes y probablemente en la combinación de ellos:

1. Se controla el crecimiento de la población mediante el desarrollo continuado de ciudades alternas con mejores ofertas económicas y de empleo.
2. Se continúa sin un proyecto específico, dejando que las cosas se arreglen solas, y restringiendo el gasto público en el Distrito Federal.
3. Se fortalece el rol de ciudad global, fomentando el establecimiento de nuevas empresas transnacionales.

En el primer escenario veríamos la continuación de los fenómenos de envejecimiento y deterioro de amplias zonas de la ciudad, el crecimiento demográfico sería reducido y probablemente la población de amplias zonas tendría sensaciones de mejoría. En el segundo escenario el deterioro de la ciudad se aceleraría, al igual que los procesos de migración proveniente de las zonas rurales, con los efectos consiguientes en los niveles de saturación de los servicios públicos. El crecimiento de la mancha continuaría hacia el norte y oriente de su ubicación actual, alcanzando seguramente a los estados de Hidalgo y Tlaxcala. En el tercer escenario, que podría ser el más optimista en términos económicos, nos estaríamos enfrentando también a enormes problemas sociales, en la medida que la ciudad regresaría a los niveles de crecimiento de los años setenta, pero con mucho mayores demandas de vialidad, transporte e infraestructura urbana, con graves desabastos en las zonas orientales y del norte.

La situación más difícil se enfrentaría en un escenario en el que se combinen las condiciones de ciudad global, sin que exista un proyecto específico interno.

El gran incremento de la población en el Distrito Federal se debe a la migración de los habitantes de provincia al D.F., y al alto índice de natalidad, principalmente. En efecto, en la República Mexicana, el 55% de la población ha cambiado su residencia de la entidad federativa de origen y el 0.6 % proviene de países extranjeros.

En el Valle de México habita el 14.5 % de la población total del país, concentra el 35 % de la actividad industrial y el 70 % de los servicios de todo el territorio nacional.

#### **1.4 Una salida para el agua**

Los problemas de drenaje en la cuenca del Valle de México se remontan a la época prehispánica, ya, que la ciudad carecía de un sistema para desalojar las aguas producidas por los habitantes en sus diferentes actividades. Las casas no tenían drenaje pero utilizaban varias acequias que conducían sus caudales hasta el lago de Texcoco, que en aquella época estaba a un nivel inferior al de la ciudad, lo cual facilitaba la conducción que era por gravedad.

Ya en la época prehispánica se presentaba el problema de la evacuación de las aguas fuera del Valle de México produciéndose incontables inundaciones de las que podemos citar entre otras:

- 1449 durante el gobierno de Moctezuma Ilhuicamina.
- 1498 durante el gobierno de Ahuizotl.
- 1555 durante el gobierno del Virrey Luis de Velasco.
- 1579/80 durante el gobierno del Virrey Martín Enríquez de Almanza.
- 1604 durante el gobierno del Virrey Montesclaros.
- 1629 durante el gobierno del Virrey Luis de Velasco.
- 1707-1714 durante el gobierno del Virrey José Luna.
- 1747 durante el gobierno del Virrey Revillagigedo.

Ante el inusitado crecimiento poblacional así como la imaginación dieron origen a la creación del comercio interno, aparición de empleos absorbidos por el auge constructivo de la época, y finalmente, ante la saturación del área urbana, todo esto causa que los sistemas de drenaje resultaran insuficientes, por ello empezaron a aparecer inundaciones.

El grave deterioro y la disminución de su capacidad para desalojar las aguas del Valle de México, estaban relacionados con el hundimiento de la ciudad. Entonces la Dirección General de Obras Hidráulicas del D.F., creada en 1953, formuló un plan para resolver los problemas de hundimientos, inundaciones y abastecimiento de agua potable, consistente en:

- 1) Utilizar hasta donde sea admisible, el alcantarillado existente, aliviando su trabajo en la época de lluvias por medio de conductos interconectores que limiten las áreas tributarias de cada colector, a valores compatibles con sus dimensiones y pendientes.
- 2) Instalar una planta de bombeo con capacidad de 80 metros cúbicos por segundo y construir un túnel para el mismo caudal, que descargaría las aguas negras y de lluvia en el Gran Canal del Desagüe, a la altura de San Cristóbal Ecatepec.
- 3) Entubar el primer tramo del Gran Canal del Desagüe y la prolongación sur, ya que su existencia es un serio problema Sanitario para la población.
- 4) Ampliar la red de colectores hacia las regiones del Distrito Federal que no las poseen, mismos que ahora ya construidos se mencionarán en este trabajo más adelante.

La problemática actual del control de inundaciones en la ciudad puede agruparse en los siguientes grandes rubros:

#### 1) Problemas Locales

Los problemas de tipo local se derivan de las lluvias, que en el Valle de México se caracterizan por su gran intensidad, aunque son de corta duración y extensión. Los principales son los que ocurren en las barrancas, los que se presentan en las vialidades y los que se presentan en zonas bajas. Los principales aspectos ligados con cada uno de ellos son:

##### 1.1) *Problemas en las barrancas*

En las zonas periféricas de la ciudad se conservan todavía los ríos en forma natural (no han sido entubados), pero el crecimiento urbano ha provocado un aumento en la magnitud y la velocidad de los escurrimientos. En estos ríos, la mayoría del poniente de la ciudad, pero algunos del sur, y otros en la vertiente de la sierra de Guadalupe, la mancha urbana ha ocupado por una parte los cauces y por otra las barrancas, propiciando problemas que ponen en riesgo no sólo las propiedades, sino, lo que es peor, la vida de la población. Así, en el año 1998 tuvimos problemas muy importantes en Cuajimalpa y Milpa Alta, donde perdieron la vida 3 personas y se dañaron muchas casas, y en 1999, en el río Cuauhtépec, al menos en tres ocasiones. Adicionalmente se han presentado deslaves en varias barrancas y existe un gran número de casas en riesgo de venirse abajo por estar construidas en la orilla de las barrancas y muchas veces en zonas de rellenos.



Figura 1.2 Vista de una inundación en la Ciudad de México

Para disminuir el riesgo, deben tomarse medidas de largo plazo (reforestación, fijación de cuencas, construcción de presas, etcétera) y acciones urgentes que implican ofrecer alternativas de vivienda a quienes están en situación de riesgo.

### *1.2) Problemas en las vialidades.*

Cuando ocurren tormentas de gran intensidad, la capacidad de drenaje de la red secundaria (y en algunos casos primaria), resulta insuficiente durante algunas decenas de minutos.



Figura 1.3 Problemas viales causados por las inundaciones

Aunque es práctica y económicamente imposible resolver definitivamente estos problemas, sí pueden lograrse mejoras importantes que permitan reducir el nivel y el tiempo de los encharcamientos. Así, en los últimos años se ha trabajado con buenos resultados en los pasos a desnivel de avenida Chapultepec e Insurgentes; diagonal San Antonio y Periférico; la zona del Caracol, frente a Periférico Sur, etcétera, y se tienen estudiados 80 sitios adicionales para reducir sensiblemente los encharcamientos los próximos años.

### *1.3) Problemas en las zonas bajas.*

En muchas ocasiones se han asentado desarrollos urbanos en zonas bajas bastante amplias, en las que naturalmente el escurrimiento tiende a acumularse. De los cuales "Ejército de Oriente" es un ejemplo claro, aunque pueden clasificarse como locales, requieren de soluciones ligadas al Sistema General de Drenaje; es decir; se requiere hacer una conexión a algún punto de la red primaria con menor cota que el punto más bajo del asentamiento y, a su vez, verificar que la red primaria escogida tenga capacidad para conducir la descarga adicional hasta el Sistema Principal

Por otra parte, dado que tanto los colectores de la red primaria, como el Sistema Principal de Drenaje, trabajan frecuentemente con carga, puede ocurrir (como ya ocurrió en "Ejército de Oriente") que los niveles en estos sistemas (ya sea la red primaria o el Sistema Principal) induzcan un derrame de aguas negras que inunde la zona baja. La solución a este problema es compleja y está ligada a los problemas globales que se comentarán más adelante.

## 2) Problemas Globales

Los problemas globales de control de avenidas en la ciudad, están relacionados con lluvias más persistentes y generalizadas en la cuenca que, afortunadamente, ocurren con menor probabilidad que las de gran intensidad y corta duración. No obstante, es muy importante darles solución porque la insuficiencia del Sistema General de Drenaje puede dar lugar a inundaciones verdaderamente catastróficas.

En la actualidad ya se han presentado evidencias de que la capacidad de descarga del sistema general es insuficiente: muchos tramos del Sistema de Drenaje Profundo han trabajado con carga varias veces al año y ya se ha presentado el caso de que el agua negra suba por las lumbreras y se derrame en las calles (el caso más reciente fue el derrame por la lumbrera 3 del Interceptor Oriente-Oriente, que inundó la zona de Ejército de Oriente, por lo que se optó elevar la chimenea de la lumbrera 10 metros y colocar equipo de bombeo en la caja de regulación donde se incorpora el colector). Lo mismo ha ocurrido con el Interceptor Poniente, donde ha sido necesario tapar la parte superior de las lumbreras más bajas y en el río Churubusco, que ha derramado por sus chimeneas a la altura de la colonia Moderna, como ocurrió en el año 2001.

Las razones por las que el Sistema General está en una situación tan crítica, son diversas. A continuación se describirán las más importantes:

El balance entre la capacidad de descarga y el área incorporada al servicio, ha sido cada vez más desfavorable para la primera. Por una parte de las tres salidas del Valle (tajo de Nochistongo, el Drenaje Profundo y el Gran Canal), el Gran Canal ha venido reduciendo paulatinamente su capacidad de descarga de 90 m<sup>3</sup>/s hace 30 años a 12 m<sup>3</sup>/s actualmente, y por la otra, el Sistema de Drenaje Profundo, además de suplir la falta de capacidad del Gran Canal, ha recibido la conexión de áreas cada vez mayores para drenar las zonas Sur y Sureste de la ciudad.

La solución a este problema, para un horizonte de unos 25 años, fue planteada en el Plan Maestro de Drenaje en 1995. Está integrada por obras que incrementarán la capacidad de descarga en 40 m<sup>3</sup>/s por el oriente y 30 m<sup>3</sup>/s por el poniente, así como la capacidad de almacenamiento para regulación de avenidas en 5.5 millones de metros cúbicos las cuales implican inversiones cuantiosas y tiempos de construcción de varios años.

El problema se presenta principalmente en vialidades que se encuentran abajo del Interceptor del Poniente (donde los colectores pierden pendiente), es decir, desde el periférico hasta Insurgentes, pero ocurren también en depresiones (en los llamados columpios y los pasos a desnivel). Estos encharcamientos producen daños económicos por el retraso en las actividades de la población y efectos negativos en el Gobierno del Distrito Federal. Por lo cual, se creó la planta de bombeo "Río Hondo" en Naucalpan Estado de México, la cual capta el agua proveniente del interceptor poniente y la descarga en el río del mismo nombre.

### **1.5 El hundimiento de la ciudad**

La urgencia de lograr un mayor abastecimiento de agua había llevado a perforar numerosos pozos, lo que, a su vez, afectó seriamente los mantos acuíferos del subsuelo. Una primera consecuencia fue incrementar de manera alarmante el proceso que se conoce como "hundimiento general del Valle de México". Las redes de alcantarillado comenzaron a sufrir graves daños. Finalmente, el hundimiento fue así mismo causa de que, sobre todo la zona central de la ciudad, se convirtiera en el área de menor elevación dentro de la cuenca.

Desde el punto de vista geohidrológico, la cuenca del Valle de México es una gran olla cuyas paredes y fondos impermeables están constituidos por rocas volcánicas. Esa olla está rellena de sedimentos fluviales, lacustres y volcánicos que van desde arenas gruesas hasta arcillas con altos contenidos de agua. Dentro de este marco histórico, geológico e hidrológico funciona el sistema de drenaje del Distrito Federal. Los hundimientos de la Ciudad de México se pueden apreciar en la figura 1.4.

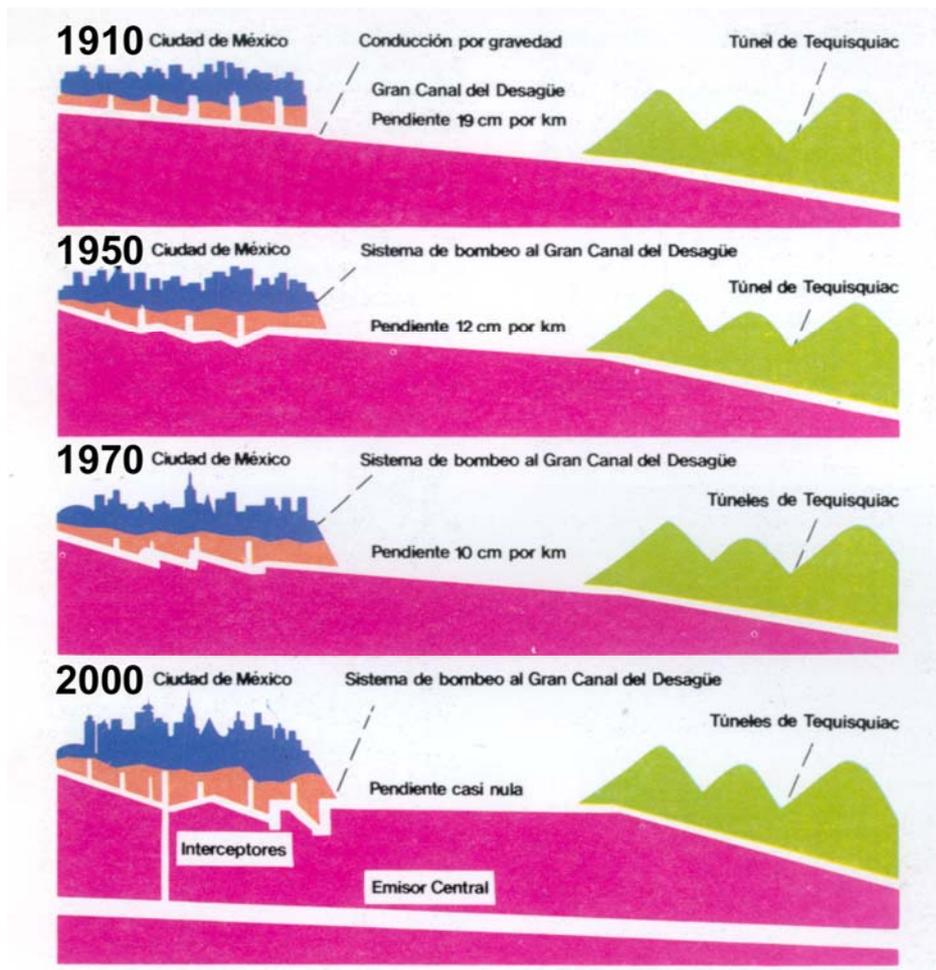


Figura 1.4 Hundimientos de la Ciudad de México en el pasado siglo.

A principios de siglo hasta 1936, los hundimientos de la ciudad de México se mantuvieron en el orden de cinco centímetros por año. Al aumentar la demanda de agua, se inició la perforación de pozos profundos, y entre 1938 y 1948, el hundimiento en el centro del Distrito Federal se incrementó a 18 cm., por año, para llegar después a 30 y 50 cm., anuales. Como consecuencia, el drenaje proyectado para trabajar por gravedad requirió de bombeo para elevar las aguas hasta el nivel de gran Canal, con un gran incremento en los costos de operación y mantenimiento. En 1960 se construyeron el Interceptor y Emisor del Poniente, con el objeto de recibir y desalojar las aguas del oeste de la cuenca, descargándolas a través del Tajo de Nochistongo.

No obstante el desmesurado crecimiento de la ciudad volvió insuficientes las capacidades de drenaje del Gran canal y del Emisor del poniente en 1970; ya el hundimiento había sido tal que el nivel del lago de Texcoco, que en 1970 se hallaba a 1.90 metros por debajo del centro de la ciudad, se encontraba más arriba. Se requería de un sistema de drenaje que no fuera afectado por los asentamientos del terreno, que no necesitara bombeo y que expulsara las aguas por una cuarta salida artificial; era necesario construir el sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México, el plan de construcción definitivo de esta gigantesca obra fue aprobado en 1967, iniciándose los trabajos en abril del mismo año.

Aunque la construcción del drenaje Profundo permitió reducir considerablemente las áreas de aportación al Gran Canal, los problemas de hundimiento han ocasionado que éste pierda pendiente, al grado de que en los primeros 20 kilómetros ya es prácticamente nula y en los próximos años se irá invirtiendo (figura 1.5).

## **1.6 Obras de drenaje**

Respuesta efectiva durante algunas décadas fue la construcción del gran canal del desagüe y del túnel de Tequisquiac mismos que se concluyeron en 1900. Fue ideado para servir a un conglomerado no mayor a un millón de habitantes y con una profundidad de 1.90 metros debajo del nivel de la Ciudad de México. Sin embargo, a partir sobretodo de los años posteriores a la consumación de la Revolución (1930) el continuo crecimiento de la metrópoli, primero en forma lenta y luego en forma explosiva, trajo la necesidad de un nuevo replanteamiento de la cuestión.

Todas las obras de drenaje incluyendo el gran Canal del Desagüe se proyectaron para funcionar por gravedad y de esta manera funcionaron originalmente, sin embargo, debido a los hundimientos de la ciudad se formaron columpios y contra pendientes en las descargas del Gran Canal que produjeron en la época de lluvias serias inundaciones lo que obligó a las autoridades a instalar 29 Plantas de Bombeo en diversas zonas de la ciudad así como a sobreelevar los bordos del Gran Canal para conservar su capacidad de conducción, construir tanques de tormenta y ampliar la red de colectores y atarjeas.

Entre las principales obras destacan el Interceptor y Emisor del Poniente, que fue la tercera salida para desalojar las aguas del Valle; colector y planta de bombeo Aculco, entubamiento del Río Consulado; prolongación sur del Gran Canal y un sistema de presas a manera de regular las aguas de los ríos del poniente del Distrito Federal.

Al entubar los canales de aguas residuales que cruzaban la ciudad, se logró el saneamiento de amplias zonas urbanas, ya que el desalojo de esas aguas mediante conductos cerrados mejoró el funcionamiento hidráulico, así mismo, se construyeron amplias avenidas en su exterior lo que forma parte de un nuevo sistema vial del Distrito Federal. Así los ríos y canales como Churubusco, Magdalena, San Ángel, La Piedad, Tacubaya, Consulado, Miramontes y San Joaquín, al quedar entubados total o parcialmente incrementaron la longitud de varias avenidas.

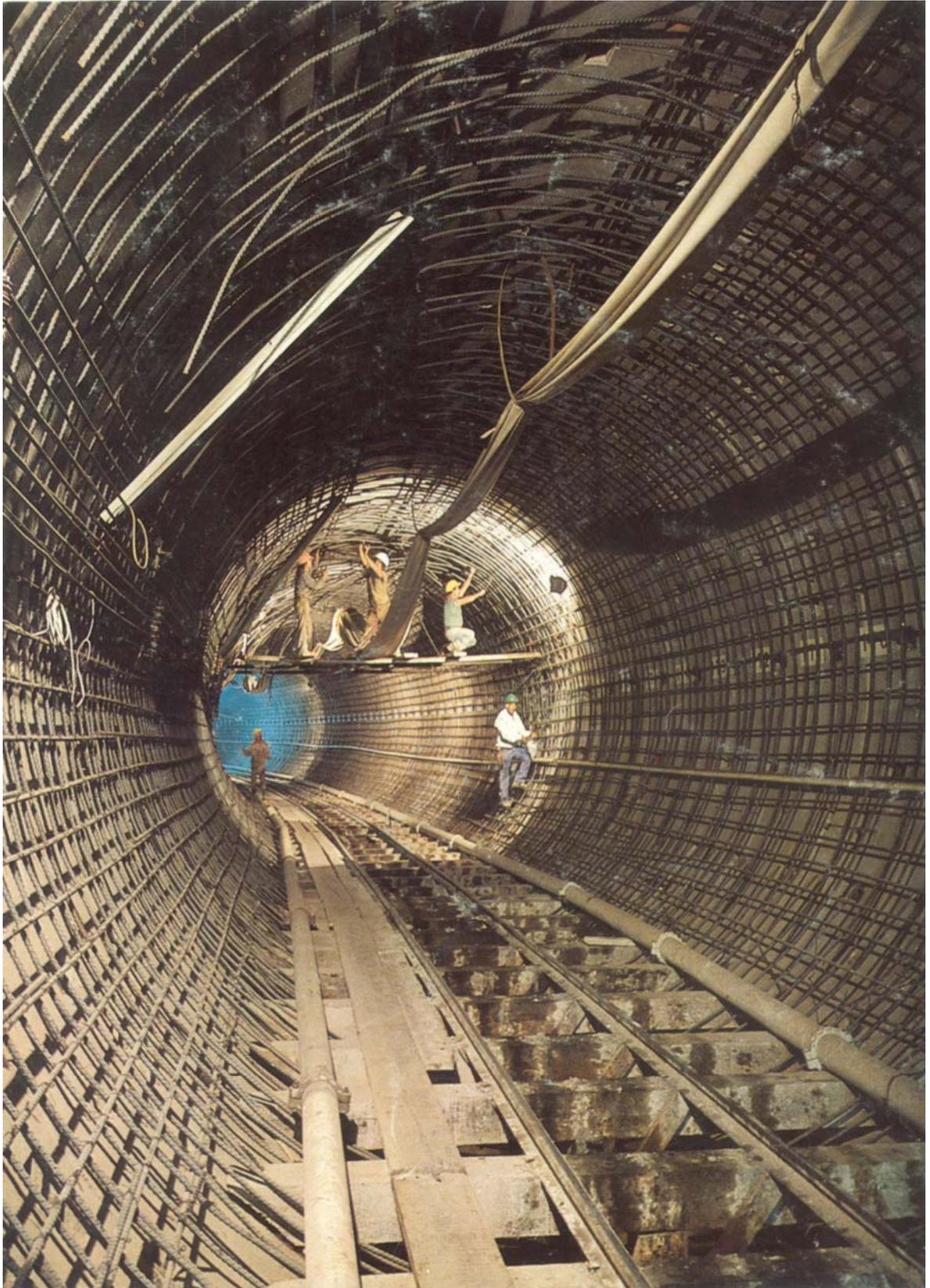


Figura 1.5 Vista del Drenaje Profundo en construcción

Entre los primeros sistemas de desagüe de la ciudad tenemos:

- El Interceptor del Poniente, construido con anterioridad, que recibe y desaloja los escurrimientos de la zona alta del poniente de la cuenca situada por encima de la elevación 2,260 metros sobre el nivel del mar, y las conduce al lago de Zumpango o al tajo de Nochistongo, después de satisfacer las demandas de riego.
- El Canal del Desagüe, que drena por bombeo actualmente la zona baja de la ciudad situada en terrenos del antiguo lago, en su origen (año de 1900), fue construido para un gasto de 5 metros cúbicos por segundo en los primeros 5 kilómetros y 17.5 metros cúbicos por segundo en los restantes; y en ocasiones trabajo peligrosamente hasta con gastos máximos de 150 metros cúbicos por segundo mediante la construcción y sobreelevación de bordos marginales. En sus bordos están instaladas las 29 plantas de bombeo con capacidad de 220 metros cúbicos por segundo.
- El Río Churubusco, que funciona como estructura auxiliar drenando por medio de una planta de bombeo en Aculco, de 40 metros cúbicos por segundo de capacidad, la parte sur de la ciudad; otras dos plantas de bombeo en la descarga del colector de Iztapalapa y en la del colector de Ejército de Oriente ambas con una capacidad de 9 metros cúbicos por segundo cada una, conduciendo los escurrimientos al lago de Texcoco, donde son regularizados y posteriormente encausados al Gran Canal, aguas abajo en el kilómetro 17.

La construcción de infraestructura para proporcionar otros servicios urbanos a la población, como es el caso del Sistema de Transporte Colectivo Metro, obligó a modificar el sistema de funcionamiento hidráulico en algunos tramos de colectores, ya que para evitar la interferencia con el cajón del recorrido del metro fue necesario construir sifones invertidos, lo cual se tradujo en una disminución de la capacidad hidráulica de conducción y de problemas de azolvamiento en las partes bajas.

Por otro lado, el crecimiento urbano que se ha extendido hacia las partes altas, principalmente en el poniente, ha provocado un cambio en el uso del suelo incrementando los escurrimientos hacia las partes bajas.

La erosión de los suelos, también en el Poniente, ha producido deterioro de los mismos, por lo que representa el acarreo de materiales hacia las partes bajas, penetrando en los elementos del sistema de drenaje provocando azolvamientos acelerados y por ende una disminución en la capacidad de conducción hidráulica.

# Capítulo 2

---

## DESAGÜE DE LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO

Ante la problemática de los grandes escurrimientos que se generan por las condiciones climatológicas y fisiográficas de la cuenca, los cuales, aumentan día con día debido al crecimiento desmedido de la mancha urbana; los habitantes de la ciudad se han preocupado por construir obras de drenaje para desalojar con eficiencia las aguas negras que la población produce, en conjunto con la de tipo pluvial.

### 2.1 Sistema de desagüe

Actualmente el desagüe de la cuenca del Valle de México, es un sistema que se caracteriza por contar con cauces de conducción superficial, a través de canales y ríos a cielo abierto o mediante atarjeas, colectores e interceptores; las estructuras hidráulicas del sistema de drenaje que desalojan el agua fuera de la cuenca son:

- Los dos túneles de Tequisquiac, que descargan en el Río Salado las aguas que conducen el Gran Canal de Desagüe, el cual drena la mayor parte del área del Distrito Federal.
- El Tajo de Nochistongo, que descarga en el Río el Salto las aguas del Emisor del Poniente, que es continuación del interceptor del mismo nombre, el cual recibe parte del agua que escurre de la zona montañosa del poniente.
- Río Churubusco, conducto que drena la zona sur y poniente del Distrito Federal, y conduce sus aguas al vaso de Texcoco, donde son reguladas para conducir las al Gran Canal de Desagüe.
- Río de la Piedad, conduce las aguas provenientes del Poniente y de la zona Centro del Distrito Federal para descargarlas en el Gran Canal de Desagüe.
- En la zona Sur existe un conjunto de conductos que drenan hacia el Río Churubusco; estos son: Canal de Miramontes, Río San Buenaventura, Canal Nacional y Canal de Chalco.
- En la zona Norte, también existen otros como son: El Río de los Remedios, San Javier y Tlalnepantla, que descargan al Gran Canal de Desagüe.
- En la zona Centro existe el Río del Consulado, que también descarga al Gran Canal de Desagüe.

- En la zona Poniente, como parte del sistema de desagüe, existe un sistema interconectado de presas, las cuales tienen como función regular los escurrimientos que se generan en las partes altas, a fin de que posteriormente ingresen al sistema de colectores.
- Parte muy importante del sistema de desagüe es el sistema de Drenaje Profundo, ya que con su construcción se puso a salvo a la Ciudad de México de una posible inundación catastrófica, en caso de que presentara una falla el Gran Canal de Desagüe.

## **2.2 Una salida para el agua (emisores y colectores)**

A partir de 1975, año en que se concluyó la primera etapa del drenaje profundo, este se convirtió en uno de los componentes más importantes del sistema de desagüe. Consta de varios interceptores que fluyen hacia un mismo conducto para evacuar las aguas. Por sus características de construcción y por la profundidad a que se encuentra, no es afectado por el hundimiento y opera por gravedad, por lo que es una obra durable y económica de largo plazo. Actualmente, el drenaje profundo está compuesto por las estructuras que se describen a continuación.

### *2.2.1 Emisor Central*

Comienza en Cuauhtepac, en la delegación Gustavo A. Madero, atraviesa la autopista México-Querétaro a la altura de Cuautitlán y continúa paralelamente a ésta hasta el puente de Jorobas, donde le vuelve a atravesar. Ahí se dividen las cuencas del Valle de México y del Río El Salto-Tlamaco y posteriormente al Río Tula y a la presa Endo, que satisface las demandas de riego de la zona. El Río Tula es influente del Moctezuma y este a su vez, del Panuco, que descarga en el Golfo de México.

La función más importante del Emisor Central es conducir fuera de la cuenca del Valle de México las aguas de los interceptores Centro-Poniente, Central y Oriente.

### *2.2.2 Interceptor Centro-Centro*

Este interceptor une los interceptores Oriente y Central. Comienza en la lumbrera 1, ubicada en la esquina de las calles Dr. Duran y Dr. J. M. Vértiz, y termina en la lumbrera 4, en Agiabampo y Francisco del Paso y Troncoso.

En el corto plazo beneficiará a algunas colonias de la zona centro del Distrito Federal. Para esto se construyó una estructura de captación para el colector 10 en la lumbrera 2. En el mediano plazo conducirá las aguas del interceptor Oriente, que a su vez aliviará al Río Churubusco y al túnel semiprofundo Canal Nacional–Canal de Chalco.

### *2.2.3 Interceptor Central*

Este conducto se encuentra construido desde la lumbrera 4, en el cruce de las avenidas Dr. Vértiz y Obrero Mundial, hasta la lumbrera 0 del Emisor central, en Cuauhtépec.

Alivia al Río de la Piedad y capta los colectores de Tabasco, 5 de Mayo, Héroes, Río Consulado, Cuitláhuac, Fortuna y Moyobampa. También cuenta con Obras de Toma de los ríos de los Remedios, Tlalnepantla, San Javier y Cuauhtépec. Beneficia a las delegaciones Gustavo A. Madero, Azcapotzalco, Cuauhtémoc y parte de la Benito Juárez.

#### *2.2.4 Interceptor Oriente*

Principia en el gran Canal de Desagüe, donde se localiza la Obra de Toma que continua con sección rectangular hasta la lumbrera 8C ubicada en la colonia Salvador Díaz Mirón y termina en la lumbrera 0 del Emisor Central, en Cuauhtépec.

La función principal de este túnel es aliviar al Gran Canal de Desagüe, del cual depende para su drenaje gran parte del centro y norte del Distrito Federal, aunque también cuenta con una captación en la lumbrera 13 para el desfogue de la laguna de regulación El Arbolillo en Cuauhtépec, con la que se beneficia una parte de la delegación Gustavo A. Madero.

#### *2.2.5 Interceptor Centro - Poniente*

Comienza en la lumbrera 14 del Interceptor Poniente, cerca del Museo Tecnológico de la Comisión Federal de Electricidad, en la segunda sección de Chapultepec, y termina en la lumbrera 1 del Emisor Central, en el cerro del Tenayo. Posee estructuras de captación en cinco lumbreras, que captan a los colectores Rubén Darío, Río San Joaquín, Refinería Trujillo, Salomón Lerdo de Tejada y al colector 15 y benefician a gran parte de las delegaciones Miguel Hidalgo y Azcapotzalco. Además alivian al interceptor del Poniente en la lumbrera 14.

#### *2.2.6 Interceptor Oriente - Sur*

Inicia en la lumbrera 1 ubicada en Exhacienda San Nicolás y Avenida de las Torres, Colonia Iztapalapa, capta agua residual y pluvial de gran parte de la delegación Iztapalapa. En un segundo tramo este interceptor se conecta con el interceptor Oriente. Cuenta con 11 estructuras de captación, que benefician, además a las delegaciones Iztacalco y Venustiano Carranza.

#### *2.2.7 Interceptor Oriente - Oriente*

Su trazo se inicia en la esquina norponiente de la laguna de regulación “El Salado”, en el cruce de las avenidas Texcoco y Kennedy, para concluir en la lumbrera 6, del interceptor Oriente-Sur, en la esquina de Canal de San Juan e Ignacio Zaragoza.

Por medio de 4 lumbreras capta los colectores que drenan la zona nororiente de la delegación Iztapalapa, la laguna de regulación “el Salado”, que a su vez reciben la aportación de los colectores Kennedy y Zaragoza Norte, y los colectores Las Torres, Santa Martha–Ejército de Oriente, entre otros.

En cuanto a la infraestructura de Colectores Semiprofundos, destacan:

#### *2.2.8 Colector Semiprofundo Canal Nacional – Canal de Chalco*

Este colector de 5.9 kilómetros de longitud y 3.10 metros de diámetro, conduce sus aguas a la Laguna de Regulación Ciénaga Grande. Su caudal es conducido hacia el Interceptor Oriente o al Río Churubusco mediante la planta de bombeo Miramontes. Con esta obra se da servicio principalmente a los habitantes de las delegaciones Coyoacán e Iztapalapa, y una parte de la delegación Xochimilco.

#### *2.2.9 Colector Semiprofundo de Iztapalapa*

Tiene una longitud de 5,500 metros, capta gran parte de la delegación Iztapalapa, conduce las aguas hasta la planta de bombeo Central de Abasto II, que las incorpora al Río Churubusco.

También recibe los desfuegos de las lagunas Mayor y Menor de Iztapalapa, que favorecen la parte noreste de esta delegación

#### *2.2.10 Colector Semiprofundo Obrero Mundial*

Tiene una longitud de 800 metros, diámetro de 3.20 metros y dos lumbreras. Su trazo es paralelo al río la Piedad, capta a este último en la lumbrera 2 por medio del colector Xochicalco, y capta, los escurrimientos de la zona poniente de la delegación Benito Juárez a través del colector pestalozzi, para descargarlos posteriormente en la lumbrera 4 del Interceptor Central.

En la figura 1 del apéndice, se muestra el plano general de drenaje de la Ciudad de México.

A continuación aparece una tabla, en la que se muestran los sistemas de drenaje y sus características:

DRENAJE PROFUNDO Y SEMIPROFUNDO  
OBRA TERMINADA

<i>OBRA</i>	<i>LONGITUD</i> ( Km )	<i>DIAMETRO</i> ( m )	<i>CAPACIDAD</i> ( m <sup>3</sup> /s )	<i>PENDIENTE</i> ( m/Km. )	<i>PROFUNDIDAD</i> ( m )	
					Mínima	Máxima
EMISOR	50	6.50	220	2	48	217
INTERCEPTOR CENTRAL	16	5	90	0.5	22	41
INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO	3.7	5	90	0.02	25	26
INTERCEPTOR ORIENTE	15	5	85	0.5	37	55
INTERCEPTOR CENTRO-PONIENTE	16.5	4	40	1.3	22	51
COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA	5.5	3.20	20	0.0	11.5	15.5
COLECTOR SEMIPROFUNDO OBRERO MUNDIAL	0.8	3.20	20	1.5	10	16
COLECTOR SEMIPROFUNDO CANAL NACIONAL- CANAL CHALCO	3.2	3.10	20	0.15	15	17

Tabla 2.1

### 2.3 Lumbreras

Durante la fase de proyecto de los túneles del drenaje profundo, en función de sus longitudes y profundidades, y con el respaldo de los estudios técnico-económicos, se diseñan accesos verticales conocidos como lumbreras, mediante los cuales se ejecutan todas las operaciones necesarias para construir los túneles, o para instalar las captaciones necesarias para drenar las aguas de la superficie hacia el drenaje profundo.

El diámetro y profundidad de las lumbreras, esta regido por el tipo de herramientas que se requieren para la excavación del túnel y por el nivel de la plantilla del mismo. Los diámetros efectivos han sido de 6, 9 y 12 m., con profundidades de 15 m., hasta 220 m. Excepcionalmente se han construido lumbreras de mayor diámetro, cuyo propósito ya no es el de ser un acceso al túnel, sino que obedece a requerimientos hidráulicos (cuando se integran algunas estaciones de bombeo).

El procedimiento para construir una lumbrera depende fundamentalmente de la naturaleza del suelo que la aloje, pero también de los avances y recursos técnicos con que se cuenta.

Las lumbreras del drenaje profundo en la Ciudad de México se han construido en roca, suelos compactos o densos y en suelos blandos.

- Lumbreras construidas en roca.

La roca, tobas y aglomerados, se encuentran en la mayoría de las lumbreras del emisor central, el cual se desarrolla desde la zona sur-poniente del área urbana de la ciudad y termina en el río el Salto en Tula Hidalgo.

Para excavar tobas y conglomerados no muy compactos se emplean martillos neumáticos, mientras que para los estratos más duros y en roca, se usan explosivos. La regaza provocada por los explosivos y rozadoras, es desalojada por métodos convencionales; para el ademado de las paredes en la excavación se utilizan marcos metálicos con retaque de madera anclados adecuadamente a la roca, o bien, con concreto lanzado y posteriormente se aplica el revestimiento definitivo.

- Lumbreras construidas en suelos

Las lumbreras construidas en suelos se dividen en dos clases: las de suelos de consistencia blanda a firme, que normalmente se encuentran en zonas de transición y las de suelos blandos.

En suelos de transición, integrados por una sucesión de estratos areno limosos, arcillo-limosos, arenas y gravas localizadas entre la zona de suelos compactos, propios de lomeríos y la denominada zona de lago formada por arcillas de consistencia blanda y muy comprensible.

- *En zonas de Transición Alta*, ya que por lo general los suelos son de consistencia firme, la falla de fondo no preocupa y las expansiones son mínimas o despreciables. En estas situaciones se emplea la lumbrera ademada o técnica "Túnel", que consiste en excavar en toda el área de la lumbrera hasta 2.0 m, de profundidad y se construye el brocal. Enseguida se efectúa la excavación con martillo neumático, con espacio suficiente para colocar un anillo de dovelas de concreto, el cual se ancla al suelo circundante.

El núcleo central de suelo se retira para nuevamente excavar en la periferia y colocar el siguiente anillo de dovelas.

Al terminar la instalación del tercer anillo, se coloca un tapón en el fondo y se realiza una inyección de lechada de cemento. La colocación de anillo e inyección se repite cuantas veces sea necesario para alcanzar la profundidad de proyecto; posteriormente, se efectúa el colocado de la losa de fondo y del muro de la lumbrera mediante cimbra deslizante. Debido a la presencia de mantos colgados en estas zonas, es necesario el bombeo de las aguas freáticas.

- *En zonas de Transición Baja* existen estratos arcillosos blandos de espesores considerables, se utiliza el procedimiento de muros colocados en sitio, conocidos como Técnica Solum y consta de las siguientes etapas:
  - Excavación de una zanja anular para desalojar el revestimiento de la lumbrera. La excavación se efectúa mediante perforaciones de 60 cm., de diámetro, en cada uno de los seis sectores en que se divide el perímetro anular. Entre una perforación y otra se mantienen franjas de suelo que son retiradas mediante almeja guiada. La estabilización de zanja se efectúa con lodo bentonítico.
  - Una vez alcanzado el nivel de desplante de los muros, se coloca el armado de refuerzos del muro en cada sector y se procede el colado continuo mediante el descenso de concreto hasta el fondo, a través de un tubo “tremie”, cuya punta debe permanecer siempre ahogada en el concreto para evitar su contaminación. Debido a que la densidad del concreto es mayor que la del lodo, este último es desplazado hacia la superficie.
  - Cuando han sido colocados todos los muros, se procede a excavar el núcleo hasta alcanzar la profundidad del proyecto. A partir de cierto nivel, de ser necesario, se deposita agua para evitar expansiones y una posible falla de fondo. Una vez alcanzado el nivel de proyecto de la excavación, se cuela un tapón o losa de concreto simple, sobre la que se coloca el acero de refuerzo de la losa estructural anclada perfectamente al revestimiento de la lumbrera.

Una variante de este método es la llamada técnica *Soletanche*, que se diferencia de la técnica *Solum*, en el método de perforación del anillo perimetral en el que se alojará el muro, y en la solución de la junta de cada sector.

En los párrafos anteriores se mencionaron brevemente los métodos de construcción de lumbreras, no se profundizó demasiado en el tema debido a que este campo es muy extenso, por lo que sería necesario profundizar con datos técnicos, que desviarían completamente el tema del que se está hablando.

## **2.4 Sistema de drenaje del D.F.**

Para lograr el desalojo de las aguas residuales y pluviales son necesarias estructuras que permitan conducir y controlar los caudales generados desde la red secundaria y primaria hasta el Drenaje Profundo por medio de cajas de captación, colectores de alivio, cajas de control, cámaras en espiral, lumbreras y vertedores.

La red de drenaje del D. F., es de tipo combinado, está formado por conductos dirigidos de Poniente a Oriente siguiendo aproximadamente las pendientes del terreno; en las partes Centro-Poniente y Sur se han superpuesto conductos que escurren de Sur a Norte y descargan en las estructuras ya antes mencionadas.

El sistema de drenaje tiene dos objetivos:

- Desalojar las aguas residuales.
- Reducir encharcamientos e inundaciones y controlarlos cuando ocurran.

Para cumplir con estos objetivos, se han construido obras e instalaciones de bombeo que en la actualidad conforman un sistema muy complejo, integrado por la Red Secundaria, la Red Primaria y los Grandes Conductos.

#### *2.4.1 La Red Secundaria*

La red secundaria, que recolecta las aguas residuales producidas por los usuarios del sistema hidráulico y las conduce a la red primaria junto con los escurrimientos producidos por la lluvia, esta formada por tubería con diámetros menores de 60 centímetros, y su longitud se estima en 12,326 Km., sus diámetros es de 0.30, 0.38 y 0.45 m., también se le conoce como atarjea, la cual, se localiza generalmente a la mitad de la calle, existiendo en ocasiones más de una, dependiendo de las necesidades de los usuarios.

Este tipo de red después de un trayecto se une en las esquinas con otras tuberías de igual o menor diámetro, aumentando el suyo, y poder captar otras descargas de menor diámetro para después finalmente descargar sus aguas a la red primaria, su profundidad depende de las características del terreno, y de los niveles en que se encuentren las descargas domiciliarias.

#### *2.4.2 La Red Primaria*

La red primaria o también conocida como colector, tiene la función de recibir las descargas de agua de la red secundaria, para encausarla a los grandes conductos. La red primaria es muy extensa y compleja, tiene una longitud aproximada de 1,212 Km., de tuberías cuyos diámetros varían dependiendo del número de aportaciones de la red secundaria, los cuales son: 0.61, 0.76, 0.91, 1.07, 1.22, 1.52, 1.83, 2.13, 2.22, 2.44, 3 y 4 metros.

Se caracteriza por cambios de pendiente; algunas calles alojan varios a la vez, o en ocasiones rodean otras interrumpiendo la ruta original para permitir el paso de obras viales; asimismo, tiene tramos en contra pendiente, conexiones múltiples y estructuras tipo sifón invertido. Esta red descarga en los grandes conductos; para ello se auxilia de 85 plantas de bombeo distribuidas en todo el D.F. También hay pequeños equipos para descargar 91 pasos a desnivel; incluye también para regulación de avenidas en la zona urbana, 12 tanques de tormenta y otras estructuras reguladoras, como el lago de Texcoco, el vaso del cristo, carretas, fresnos y las dos lagunas de regulación de Iztapalapa.

### 2.4.3 Los grandes conductos

Lo forman el Sistema General de Desagüe, normalmente conocido como el Gran Canal, que es el sistema de desagüe mas antiguo de la cuenca del Valle de México, su función es transportar las aguas residuales generadas en la cuenca fuera de ella; a continuación un poco de historia acerca de la obra de construcción.

Sería hasta el año de 1884 cuando Porfirio Díaz inició su primera reelección que se reanudaron formalmente los trabajos del desagüe-en el túnel, el tajo y el gran canal; entonces se destinaron 400, 000 pesos anuales para las obras y fue el ingeniero Luis Espinosa quien quedó al frente de una Junta Directiva. El adelanto era lento, pues se trataba de una tarea compleja, especialmente en lo referente al túnel y al canal, ya que el tajo estaba prácticamente terminado. La maquinaria con la que se contaba no era la adecuada y, por estas razones el presidente Díaz consideró que tal obra debía quedar en manos de técnicos extranjeros. En 1889, se contrataron varias empresas de capital británico y norteamericano, entre otras, la Mexican Prospecting se encargó principalmente del túnel, y la S. Pearson & Son empezó a trabajar en el canal. En el primer caso, los extranjeros cometieron errores técnicos y al cabo del tiempo advirtieron que la obra no les era redituable; por tales motivos, la coordinación pasó de nuevo a la Junta Directiva, y ésta continuó los trabajos con rapidez. Así, después de muchas vicisitudes, el túnel de 10,021.79 m., quedó oficialmente concluido en diciembre de 1894.



Figura 2.1 Trabajos en el túnel.

Las obras del Gran Canal, que debía alcanzar los 47.5 Km., continuaron su avance a cargo de las compañías extranjeras. En agosto de 1895, quedó franca la entrada del canal al túnel; Porfirio Díaz y su comitiva asistieron a la apertura de la represa en dirección al túnel de Tequisquiac. Finalmente, los trabajos concluyeron bajo la responsabilidad de la Junta Directiva; aún faltaban nueve kilómetros de canal y labores de infraestructura, tareas complicadas por la inestabilidad del terreno.

El 17 de marzo de 1900 tuvo lugar la inauguración oficial de la magna obra, a cargo del presidente Díaz, quien, junto con sus acompañantes, realizó un recorrido hasta el túnel de Tequisquiac. Pero, si bien concluía una labor en la que los conocimientos científicos y técnicos habían jugado un papel fundamental, y en la que se habían invertido muchos recursos y esfuerzos, ésta no sería la solución definitiva a la problemática, pues las inundaciones no terminaron.

Al avanzar el siglo XX se pudo advertir que las tareas de drenaje de la capital mexicana resultaban insuficientes; se trataba de una ciudad cuya población había empezado a crecer a ritmo vertiginoso, lo cual -incorporado a los problemas del hundimiento, analizados estos últimos en su relación con las inundaciones y el bombeo de los pozos, por los ingenieros Roberto Gayol y José A. Cuevas-, representaban nuevos retos que debían enfrentar tanto quienes gobernaban la capital, como aquellos dedicados a la construcción. Fue entonces que el Departamento del Distrito Federal hizo frente a las inundaciones mediante nuevas obras de ingeniería hidráulica y sanitaria: la ampliación sur del Gran Canal del Desagüe, la construcción de colectores y atarjeas, el nuevo túnel de Tequisquiac y el entubamiento de algunos ríos. Sin embargo, la población siguió sufriendo inundaciones, particularmente, en los años de 1950 Y 1951.

En ese entonces muchas zonas de la ciudad fueron afectadas por el nivel que alcanzó el agua -a veces hasta siete metros- como lo revelan las fotografías de los diarios de la época, hecho que indicó la dislocación ocurrida en la red de alcantarillados y colectores.

#### *2.4.4 El Drenaje Profundo*

Para atender esta problemática, en 1952 se creó la Comisión Hidrológica del Valle de México, dependiente de la Secretaría de Recursos Hidráulicos. Por su parte, el Departamento del Distrito Federal creó, en 1953, la Dirección General de Obras Hidráulicas; esta última dio a conocer un plan general con el propósito de hacer frente al hundimiento, a las inundaciones y al abastecimiento de agua potable. Pero no fue hasta 1959, cuando se pensó que la solución del problema sería la realización de un sistema de drenaje profundo.

Durante los años siguientes se llevaron a cabo las investigaciones encaminadas a emprender la tarea señalada: posibles trazos, estudios hidrológicos e hidráulicos y análisis geológicos de estratigrafía y de sismicidad. El proyecto comprendía la construcción de un emisor central y la de dos interceptores profundos: el central y el oriente. La profundidad de estos últimos permitiría el desagüe por gravedad a través de túneles, desde la ciudad hasta la desembocadura del sistema, en el río del Salto, cercano a la presa Requena, en Hidalgo. Así se podría mantener en servicio la red de alcantarillado y aprovechar las aguas negras para riego y usos industriales.

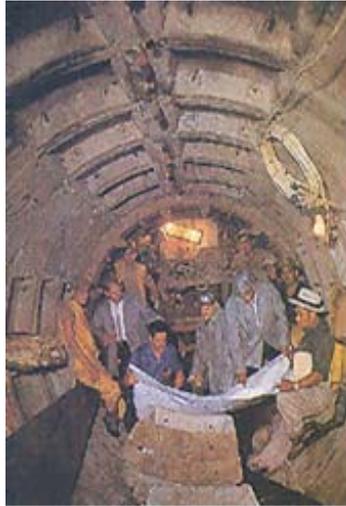


Figura 2.2 El drenaje profundo.

En el nuevo proyecto se contempló realizar estudios complementarios, y en esta tarea participó el Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. Con el objetivo de garantizar y comprobar todos los cálculos teóricos se solicitó a la institución un modelo de Emisor, para verificar el funcionamiento hidráulico y el de las descargas de los colectores a los interceptores profundos, y se atendieron también los aspectos económicos y financieros. Finalmente, en 1967 se dió inicio a esta importante obra de la ingeniería mexicana del siglo XX.

Los trabajos comenzaron en las lumbreras y posteriormente se atacaron los frentes del túnel. En 1971 se creó el consorcio Túnel, S. A., conocido como TUSA; éste agrupó a los contratistas de la obra bajo un sólo mando. Sobre la marcha tuvieron que enfrentar diversas dificultades, lo que produjo el desarrollo de distintas técnicas para lograr el éxito final. Particularmente, en la Ciudad de México, el túnel tenía que atravesar suelos de muy poca resistencia, pero también el avance fue difícil cuando se hicieron perforaciones en zonas de roca sólida. Los túneles que forman parte del Sistema de Drenaje Profundo alcanzaron 68 Km., de longitud y se revistieron de concreto armado y concreto simple. Las obras concluyeron en el año de 1975, solucionando por fin un ancestral problema de nuestra capital.

La ciudad de México tenía una pendiente natural donde el Canal conducía  $90 \text{ m}^3/\text{s}$ . Con el paso del tiempo se modificó su funcionamiento hidráulico debido a los hundimientos regionales del subsuelo y por la sobreexplotación de los mantos acuíferos del Valle de México. Mientras la capital se hundía por esta situación, el canal disminuyó su pendiente y la capacidad de desfogue se redujo a menos de 10 por ciento en los siguientes 90 años.

Es así que el Gran Canal, de  $90 \text{ m}^3/\text{s}$ ., que tenía en su capacidad original, en la actualidad se redujo a menos de  $7 \text{ m}^3/\text{s}$ .

El diagnóstico señaló además, que se rebasó la vida útil de diversos componentes del sistema de drenaje, persistían cargas de aguas residuales sin

control a cauces y barrancas y la erosión de zonas deforestadas generaron gran cantidad de azolve que es arrastrado al sistema de drenaje.

Por ello, para restituir la capacidad hidráulica de desalojo, el Gobierno de la Ciudad construyó la Planta de Bombeo Gran Canal, localizada en el kilómetro 18,500 en zona federal del municipio de Ecatepec, Estado de México y que amplía hasta 40 m<sup>3</sup>/s su capacidad hidráulica.

Esta planta esta construida en una superficie de 9 mil 874 m<sup>2</sup> de terreno - 70 por ciento lo ocupa la planta y sus edificios, el 10 por ciento de áreas verdes y el 20 por ciento de cauce -.

En el *Diario Oficial de la Federación* del 25 de enero de 1990, se publicó el Reglamento del Servicio de Agua y Drenaje para el Distrito Federal. En el ordenamiento se precisan conceptos técnicos y se establece que el G.D.F., será el organismo encargado de construir, proyectar y autorizar la construcción y supervisar las obras requeridas por la ciudad en el ámbito mencionado. El título sexto del reglamento está destinado al sistema de drenaje y alcantarillado. Cabe destacar que se prevé para los nuevos desarrollos urbanos la construcción de sistemas separados para el drenaje de aguas residuales y pluviales. Asimismo, se establecen mecanismos para el bombeo de agua freática para la ampliación del sistema de alcantarillado o para la conexión a éste y se prohíbe cualquier descarga en el drenaje que pueda obstruir los conductos. En caso de que la obstrucción se deba a imprudencia de los usuarios, el G.D.F., realizará las reparaciones con cargo a los mismos.

Además, se estipula que la descarga de residuos industriales al drenaje debe adecuarse a lo previsto por las Normas Técnicas Ecológicas. La participación ciudadana se da a partir de la figura del inspector honorario, cuya actividad no gozará de remuneración alguna, quedando a cargo de las organizaciones vecinales proponer a los ciudadanos encargados de vigilar el cumplimiento del reglamento. Por último, éste acota los mecanismos pertinentes para la inspección, las sanciones y el recurso de inconformidad ante los actos de la autoridad.

En julio de 1992, se creó la Comisión de Aguas del Distrito Federal como órgano administrativo desconcentrado del G.D.F., y encargado de prestar por cuenta propia o de terceros y en coordinación con la Secretaría General de Obras del G.D.F., el servicio público de agua potable, drenaje y el de tratamiento y reuso de aguas residuales, además de administrar y conservar la infraestructura correspondiente. La Comisión participa también en la elaboración de la política hidráulica, en el padrón de usuarios del servicio que presta y en la medición y control de la calidad del agua potable, esto último en cooperación con la Secretaría de Salud.

Finalmente, se creó la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica a cargo de la Secretaría de Obras, organismo que era el encargado de controlar la infraestructura hidráulica de la ciudad; pero a partir del primero de enero del 2003, se le conoce con el nombre de Sistema de Aguas de la Ciudad de México a cargo de la Secretaría del Medio Ambiente

## 2.5 Infraestructura actual

La infraestructura y las acciones que el Sistema de Aguas de la Ciudad de México desarrolla son muy importantes para el suministro de los servicios hidráulicos.

Entre las más importantes llevadas a cabo durante 2003 podemos citar:

### En materia de Agua Potable

<b>Obra/Acción</b>	<b>Cantidad</b>
Rehabilitación de pozos.	15 pozos.
Mantenimiento a equipos electromecánicos.	315 equipos.
Supresión de fugas visibles.	29,788 fugas.
Detección de fugas no visibles.	3,583 fugas.
Reparación de fugas no visibles en la red.	1,049.
Reparación de fugas no visibles en tomas domiciliarias.	7,759.
Sustitución de tubería de agua potable.	273 Km.
Sustitución de válvulas de seccionamiento.	1,171.
Sustitución de válvulas reductoras de presión.	122.
Construcción de plantas potabilizadoras.	5.

Tabla 2.2

### En materia de Drenaje

<b>Obra/Acción</b>	<b>Cantidad</b>
Construcción de plantas de bombeo.	2
Construcción de colectores en Drenaje Profundo.	11.4 Km.
En Drenaje Profundo.	Construcción del tramo L4 a la L4 A del Interceptor Oriente (en proceso).
Construcción de captaciones de colectores al Drenaje Profundo.	2 captaciones (en proceso).
Limpieza de redes.	7,800 Km.
Limpieza de accesorios hidráulicos.	299,500 accesorios.
Limpieza de presas, ríos, canales y barrancas.	223,981 m3.

Tabla 2.3

### Infraestructura de Agua Potable en Operación (2003)

976.64	Kilómetros de red primaria (b).
11,954	Kilómetros de red secundaria (c).
34	Kilómetros de acueducto perimetral.
514	Kilómetros de acueductos y líneas de conducción (*).
295	Tanques de almacenamiento.
254	Plantas de bombeo.
26.0	Capacidad total de bombeo.
514	Kilómetros de líneas de conducción y acueductos.
34	Plantas potabilizadoras (29 a pie de pozo).
972	Pozos en operación.
68	Manantiales.
56	Estaciones medidoras de presión.
435	Dispositivos de cloración.

Tabla 2.4

- a) La capacidad conjunta de los tanques es de 1,705,000 metros cúbicos.
- b) Se considera como red primaria aquella cuyo diámetro varía de 0.50 a 1.83 metros.
- c) Se considera como red secundaria aquella cuyo diámetro es menor a 0.50 metros.

Nota:

(\*) Son las líneas que conducen el agua potable desde la zona de captación hasta los tanques de almacenamiento y red primaria, y su diámetro oscila entre 0.50 y 1.83 metros.

### Infraestructura de Drenaje en Operación (2003)

10.257	Kilómetros de red secundaria (a).
2,078	Kilómetros de red primaria (b).
144	Metros de colectores marginales.
87	Plantas de bombeo (c).
100	Mil kilo-watts de capacidad producidos por las plantas generadoras de energía eléctrica.
91	Plantas de bombeo en pasos a desnivel (d).
78	Estaciones para la medición en tiempo real de tirantes en componentes del sistema de drenaje.
	Sistema general del desagüe: formado por presas, lagos y lagunas de regulación con capacidad conjunta de 15.4 millones de m <sup>3</sup> .
	<b>Cauces a cielo abierto:</b> Gran Canal del Desagüe (47.0 Km). Río de los Remedios (15.3 Km). Río Tlalnepantla (13.5 Km). Río San Buenaventura (17 Km).

	Río San Javier (15.6 Km). Río Cuauhtepac (6.8 Km). Canal Nacional (9.0 Km) (e). Canal de Chalco (9.09 Km).
	<b>Ríos entubados:</b> Churubusco (21.0 Km). La Piedad (11.3 Km). Consulado (10.4 Km). Gran Canal (6.6 Km).
	<b>Sistema de Drenaje Profundo: (f)</b>
5,500	Metros del Interceptor Iztapalapa.
800	Metros del Interceptor Obrero Mundial.
10,500	Metros del Interceptor Canal Nacional-Canal de Chalco.
16,000	Metros del Interceptor Centro-Poniente.
16,100	Metros del Interceptor Central.
28,000	Metros del Interceptor Oriente.
13,800	Metros del Interceptor Oriente-Sur.
50,000	Metros del Emisor Central.
3,700	Metros del Interceptor Centro-Centro.
16,200	Metros del Interceptor del Poniente.
3,400	Metros del Interceptor Oriente-Oriente.
1,000	Metros del Interceptor Gran Canal.

Tabla 2.5

- a) Se considera como red secundaria aquella cuyo diámetro es menor a los 0.60 metros.
- b) Se considera como red primaria aquella cuyo diámetro es superior o igual a los 0.60 metros.
- c) La capacidad conjunta de las plantas de bombeo es de 670 metros cúbicos por segundo.
- d) La capacidad conjunta de las plantas de bombeo en pasos a desnivel es de 16.0 metros cúbicos por segundo.
- e) Este cauce no conduce aguas residuales, por lo que el control de sus niveles se lleva a cabo con el vertido de agua tratada.
- f) A partir de 1975, año en que se concluyó la primera etapa del Sistema de Drenaje Profundo, ha sido el componente más importante del sistema de drenaje del Distrito Federal. Actualmente cuenta con 165 Km., de túneles en operación.

<b>A CARGO DE CNA</b>	
<b>Nombre</b>	<b>Capacidad de Almacenamiento (m<sup>3</sup>)</b>
Vaso de Cristo	3,344,226
Vaso Carretas	400,000
Vaso Fresnos	748,000
Lago Churubusco	1,092,000
Laguna de Reg. Horaria	1,653,740

<b>TOTAL</b>	<b>7,237,966</b>
<b>A CARGO DEL SACM</b>	
<b>Nombre</b>	<b>Capacidad de Almacenamiento (m<sup>3</sup>)</b>
Cuautepec	200,000
El Salado	540,000
Laguna Mayor	480,000
Laguna Menor	135,000
San Lorenzo	900,000
La Quebradora	67,200
Ciénega Chica	900,000
Ciénega Grande	1,621,761
<b>TOTAL</b>	<b>4,843,961</b>

Tabla 2.6

### Infraestructura de Tratamiento y Reúso en Operación (2003)

24	Plantas de tratamiento (a). 1. Chapultepec. 2. Coyoacán (c). 3. Ciudad Deportiva (c). 4. San Juan de Aragón. 5. Tlatelolco. 6. Cerro de la Estrella (b). 7. Bosque de las Lomas. 8. Acueducto de Guadalupe (c). 9. El Rosario (b). 10. Reclusorio Sur. 11. H. Colegio militar (d). 12. Iztacalco (b). 13. San Luis Tlaxialtemalco (b). 14. Abasolo. 15. Parres. 16. San Nicolás Tetelco. 17. Pemex. 18. San Miguel Xicalco. 19. La Lupita. 20. San Pedro Atocpan. 21. Campo Militar (d). 22. Santa Fé (e) (b). 23. San Lorenzo (e) (b). 24. Tetelco (e).
838	Kilómetros de red de distribución.
18	Tanques de almacenamiento con capacidad conjunta de 41,600 metros cúbicos.
15	Plantas de bombeo de agua residual con capacidad conjunta de 2,800 litros por segundo.

Tabla 2.7

- a) La capacidad de producción durante 2003 fue de 1,896 l/s.
- b) Estas plantas cuentan con tratamiento de tipo terciario, las restantes son de tipo secundario y en ambos se emplea el proceso de lodos activados y cloro para la desinfección del afluente.
- c) Concesionadas.
- d) Operadas por personal de la Secretaría de la Defensa.
- e) Fuera de operación.

## 2.6 Trabajos de remodelación

En el Centro Histórico, se rehabilitaron las redes hidráulicas y sanitarias, así como la construcción de banquetas y vialidades de concreto hidráulico, estampado, reforzado con fibras de polipropileno en las calles de Donceles, 16 de septiembre y Palma, además en Paseo de la Reforma y en la Alameda Central se colocó una red de riego por aspersión, así como la rehabilitación de 2 cárcamos de agua tratada.

Se construyó en tres etapas el **Sistema de Drenaje CTM Aragón** en la delegación Gustavo A. Madero. Esta obra permitirá reforzar el sistema de drenaje de las colonias CTM Aragón, U. H. San Juan de Aragón, Villa Aragón, U. H. Narciso Bassols, Cuchilla del Tesoro, Ciudad Lago, Ampliación Ciudad Lago, Prados de Aragón y Bosques de Aragón, beneficiando a 207 mil 600 habitantes del Distrito Federal y el Estado de México.

**La primera etapa:** consistió en la rehabilitación de un tramo de los colectores Av. 602, Av. 604 y un pozo Indio, los cuales darán alivio a los encharcamientos de la zona de Aragón.

**La segunda etapa:** comprendió la construcción total del Sistema de Drenaje CTM-Aragón:

- Planta de bombeo CTM-Aragón con capacidad de 8 m<sup>3</sup>/s.
- Colector principal CTM-Aragón (construido con el método de tubo hincado).
- Ramales CTM-Aragón (Av. 602, Av. 604, Av. 606 y Cuchilla del Tesoro).
- Colector Río Guadalupe (construido mediante métodos convencionales).

**La tercera etapa:** en esta etapa se ha previsto la incorporación de mayores caudales al Sistema de Drenaje CTM-Aragón, mediante la construcción de diversas obras menores que permitan invertir el flujo original hacia los nuevos colectores para ser enviados al brazo izquierdo del Río Churubusco a través de la Planta de bombeo CTM-Aragón.

### Datos Generales del Sistema CTM-Aragón

Objetivo	Reforzar el sistema de drenaje de la colonia CTM Aragón.
Longitud total	10,553 m.
Población total	207,600 habitantes.

beneficiada	
Población beneficiada en el Distrito Federal	150,000 habitantes.
Población beneficiada en el Estado de México	57,600 habitantes.
Colonias beneficiadas del Distrito Federal	CTM-Aragón, U. H. San Juan de Aragón, Villa Aragón, U. H. Narciso Bassols y Cuchilla del Tesoro.
Colonias beneficiadas Estado de México	Ciudad Lago, Ampliación Cd. Lago, Prados de Aragón y Bosques de Aragón.
Inversión total	235.88 millones de pesos.
Inauguración	Septiembre 20 de 2003.

Tabla 2.8

La planta Santa Catarina junto con las plantas Purísima Iztapalapa 4, Santa Cruz Meyehualco, Panteón Civil y Agrícola Oriental, generan un gasto de 1,100 lps que benefician a 633,600 habitantes de las delegaciones Oztapalapa y Tláhuac.

#### **Datos Generales de la Planta Potabilizadora Santa Catarina**

Objetivo	Mejorar la calidad del agua que se extrae de los pozos profundos y con ello garantizar la salud de los habitantes de la zona de las delegaciones Iztapalapa y Tláhuac.
Ubicación	Calle Las Bombas entre Camino Real y Antiguo Camino Tlaltenco, Col. Santiago Zapotitlán.
Colonias beneficiadas	Consejo Agrarista, San José Buenavista, Desarrollo Urbano Quetzalcóatl, Polvorilla, La Estación.
Población beneficiada	288,000 habitantes.
Monto	94 millones de pesos.
Gasto de diseño	500 litros por segundo.
Fecha de inauguración	Abril 07 de 2003.

Tabla 2.9

Planta Agrícola Oriental. Esta planta dotará de agua potable a 138 mil 240 habitantes de las colonias Leyes de Reforma, Paseos de Churubusco, U. H. Real del Moral, Dr. Alfonso Ortiz Tirado, Carlos Zapata Vela, U. H. Cuchilla del Moral y Agrícola Oriental de la delegación Iztapalapa.

Esta obra forma parte del programa para el mejoramiento de la calidad de agua potable e incremento del caudal en diversas delegaciones del Distrito Federal, especialmente en Iztapalapa. Cabe señalar que la planta Agrícola Oriental, junto con las plantas Purísima Iztapalapa 4, Santa Cruz Meyehualco, Panteón Civil y Santa Catarina, generan un gasto de mil 100 litros por segundo, beneficiando a 633 mil 600 habitantes de dicha delegación.

**Datos Generales de la Planta Potabilizadora  
Agrícola Oriental**

Objetivo	Mejorar la calidad del agua que se extrae de los pozos profundos, que aportan un caudal de 240 l/s, mediante la construcción de la planta potabilizadora, y así cumplir con la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSAI-1994 y con ello garantizar la salud de los habitantes de la zona de la delegación Iztapalapa.
Ubicación	Ferrocarril de Río Frío esquina Javier Rojo Gómez, Col. Agrícola Oriental.
Colonias beneficiadas	Leyes de Reforma, Paseos de Churubusco, U. H. Real del Moral, Dr. Alfonso Ortiz Tirado, Carlos Zapata Vela, U. H. Cuchilla del Moral y Agrícola Oriental.
Población beneficiada	138,240 habitantes.
Monto	71.4 millones de pesos.
Gasto de diseño	240 litros por segundo.
Fecha de inauguración	Abril 07 de 2003.

Tabla 2.10

Planta Santa Cruz Meyehualco. Esta planta mejorará la calidad del agua en las colonias Reforma Política, Palmitas, Infonavit Palmitas, Tenorios e Infonavit Las Minas, beneficiando a 62 mil habitantes.

Asimismo, esta obra forma parte del Programa para el mejoramiento de la calidad de agua potable e incremento del caudal, cumpliendo con los criterios establecidos por la Secretaría de Salud en la Norma Oficial Mexicana: NOM-127-SSAI-1994, y con los parámetros para satisfacer las necesidades de la población.

**Datos Generales de la Planta Potabilizadora  
Santa Cruz Meyehualco**

Objetivo	Mejorar la calidad del agua que se extrae de los pozos profundos, que aportan un caudal de 120 litros por segundo.
Ubicación	Reforma Administrativa y Reforma Social,

	Col. Reforma Política.
Colonias beneficiadas	Reforma Política, Palmitas, Infonavit palmitas, tenorios e Infonavit Las Minas.
Población beneficiada	62 mil 200 habitantes.
Monto	38 millones de pesos.
Gasto de diseño	120 litros por segundo.
Fecha de inauguración	Febrero 10 de 2003.

Tabla 2.11

# Capítulo 3

---

## SISTEMA DE BOMBEO TÍPICO

El drenaje de la Ciudad de México proveniente de descargas domésticas, industriales o pluviales, se desaloja a través de un sistema de conducción y bombeo que utiliza una cantidad importante de equipo electromecánico. Mediante la operación de 85 plantas de bombeo de aguas combinadas y 91 plantas ubicadas en los pasos a desnivel, 12,000 Km., de red secundaria, 2,000 Km., de red primaria, 17 presas de almacenamiento, 10 lagunas de regulación, 129 Km., de cauces a cielo abierto, 47 Km., de cauces entubados y 160.8 Km., de túneles con diámetros de 3.15 a 6.50 m., del drenaje profundo.

A esta condición, le agregaremos la extensión y topografía de la ciudad, por lo que es necesaria la utilización de las plantas de bombeo para elevar las aguas negras de un colector, que por causas de asentamientos diferenciales del suelo han quedado por debajo del conducto de descarga principal, motivo por el cual, al hablar del sistema de drenaje, es necesario entender el importante papel que desempeña en el desalojo de aguas negras de la Ciudad de México.

Existen tres tipos de sistemas de bombeo en la ciudad, los cuales son:

- Pasos a desnivel Peatonales.
- Pasos a desnivel Vehiculares.
- Plantas de Bombeo.

En donde cada uno desempeña un papel importante en el buen funcionamiento hidráulico, para el desalojo oportuno de las aguas negras, evitando inundaciones que pondrían en riesgo a la población de la ciudad.

### 3.1 Paso a Desnivel Peatonal

El paso de los peatones de un extremo a otro de la calle, ha sido uno de los principales problemas que se han generado en la ciudad; el cruce de avenidas importantes de alta velocidad se hace mediante de semáforos en los cruces viales, a través de puentes elevados o bien a través de los pasos a desnivel peatonales; cada uno con la misma finalidad, pero con diferentes características.

La colocación de semáforos en los cruces viales es la más utilizada, ya que su uso no sólo es para los peatones, sino también para el tránsito vehicular, lo

cual la convierte hasta cierto punto peligrosa, ya que frecuentemente se producen accidentes automovilísticos con transeúntes, consecuencia de la falta de precaución de los conductores, quienes en su mayoría, viajan a exceso de velocidad haciendo caso omiso de las señalizaciones, además de que en ocasiones los mismos peatones no respetan la luz roja o bien no cruzan en los lugares indicados.

La utilización de los puentes elevados, es una de las formas más seguras para el cruce de peatones, los cuales son utilizados en vialidades de alta velocidad, pero en ocasiones estos se encuentran distantes o demasiado altos, lo que hace que el peatón los evite y opte por cruzar evadiendo los autos, lo que frecuentemente termina en desgracias humanas.

La creación de los pasos a desnivel peatonales, no son más que túneles que al igual que los puentes elevados, son la manera más segura para el cruce de peatones a través de importantes avenidas de alta velocidad, ya que se ubican por debajo de éstas, lo cual no pone en ningún momento en riesgo la integridad física de los transeúntes, además de que estos deprimidos en su mayoría también son utilizados como centros comerciales, tal es el caso de los pasos a desnivel que se localizan sobre la calzada de Tlalpan.

Los pasos a desnivel peatonales, se localizan por debajo del nivel de piso por lo que requieren de un equipo de bombeo para desalojar el agua del manto freático, así como pluvial, acumulado en un cárcamo de bombeo anexo al túnel, como se observa en el siguiente esquema:

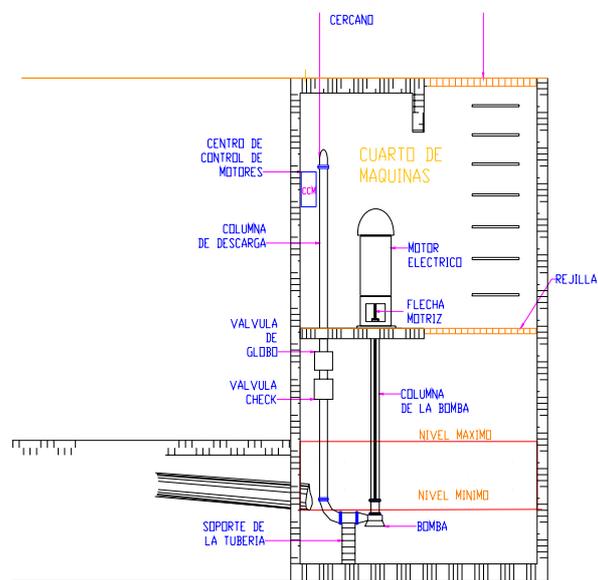


Figura 3.1

Los pasos a desnivel a desnivel peatonales están distribuidos en todo el Distrito Federal, mediante sistemas de bombeo, los cuales se listan a continuación:

### PASOS A DESNIVEL PEATONALES SISTEMA TLALPAN

<b>Instalación</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Capacidad de bombeo m<sup>3</sup>/s</b>
P.P.4	San Antonio Abad y Chimalpopoca Col. Tránsito	0.010
P.P.6	San Antonio Abad y Lorenzo Boturini Col. Tránsito	0.010
P.P.7	San Antonio Abad y Alfredo Chavero Col. Tránsito	0.010
P.P.8	San Antonio Abad y Manuel Gutiérrez Nájera Col. Tránsito	0.010
P.P.9	San Antonio Abad y Av. El taller Col. Tránsito	0.010
P.P.10	San Antonio Abad y José T. Cuellar Col. Vista alegre	0.010
P.P.11	San Antonio Abad y José Ma. Roa Bárcenas Col. Vista Alegre	0.010
P.P.12	San Antonio Abad y Juan A. Mateos Col. Vista Alegre	0.040
P.P.13	San Antonio Abad y Chabacano Col. Vista alegre	0.040
P.P.14	San Antonio Abad y Hernández Dávalos Col. Asturias	0.010
P.P.15	San Antonio Abad y Viaducto Col. Asturias	0.010
P.P.16	Calz. De Tlalpan y Viaducto Col. Viaducto	0.010
P.P.17	Calz. De Tlalpan y Coruña Col. Viaducto	0.010
P.P.18	Calz. De Tlalpan y Víctor Hugo Col. Moderna	0.010
P.P.19	Calz. De Tlalpan y Bismark Col. Moderna	0.010
P.P.20	Calz. De Tlalpan y Juana de Arco Col. Moderna	0.010
P.P.21	Calz. De Tlalpan y Napoleón Col. Moderna	0.010
P.P.22	Calz. De Tlalpan y Miguel de Cervantes Col. Iztaccíhuatl	0.010

P.P.23	Calz. De Tlalpan y Río Blanco Col. Iztaccíhuatl	0.010
P.P.24	Calz. De Tlalpan y Plaza Victoria Col. Villa de Cortés	0.010
P.P.25	Calz. De Tlalpan y calle Refugio Col. Josefa Ortiz de Domínguez	0.010
P.P.26	Calz. De Tlalpan y calle Laura Col. Nativitas	0.010
P.P.27	Calz. De Tlalpan y eje 5 sur Col. Nativitas	0.010
P.P.28	Calz. De Tlalpan y calle Don Juan Col. Nativitas	0.010
P.P.29	Calz. De Tlalpan y calle Don Luis Col. Nativitas	0.010
P.P.30	Calz. De Tlalpan y calle Iago Col. Nativitas	0.010
P.P.31	Calz. De Tlalpan y calle Zacahuitzco Col. Ma. Del Carmen	0.010
P.P.32	Calz. De Tlalpan y calle Normandia Col. Ma. Del Carmen	0.010
P.P.33	Calz. De Tlalpan y calle Bretaña Col. Ma. Del Carmen	0.010
P.P.34	Calz. De Tlalpan y calle Benito Juárez Col. Alberto	0.010
P.P.35	Calz. De Tlalpan y calle Alberto Col. Alberto	0.010
P.P.36	Calz. De Tlalpan y calle Malitzin Col. Portales	0.010
P.P.37	Calz. De Tlalpan y calle Pirineos Col. Miravelle	0.010
P.P.38	Calz. De Tlalpan y calz. Ermita Iztapalapa Col. Ermita	0.010
P.P.39	Calz. De Tlalpan y Oriente 100-a Col. Ermita	0.010
<b>Tabla 3.1</b>	<b>Total</b>	<b>0.26 m<sup>3</sup>/s</b>

En la figura 2 del apéndice, se ilustran las partes que componen una estación de bombeo peatonal.

### 3.2 Paso a Desnivel Vehicular

La ciudad de México, conocida actualmente como la más grande del mundo, ha sufrido una serie de transformaciones debido al excesivo incremento poblacional, como consecuencia de la migración del interior de la República Mexicana hacia la ciudad. Quienes vivimos en ella, demandamos servicios de agua, drenaje, luz, transporte entre otros.

En lo que se refiere al transporte, la ciudad necesita de la construcción de avenidas que agilicen el flujo vehicular, por lo que se requirió el entubamiento de los canales a cielo abierto, dando como resultado la creación de grandes avenidas para darle continuidad se crearon deprimidos conocidos como pasos a desnivel vehiculares, gracias a los cuales se eliminaron los congestionamientos que a diario se generaban en los cruces con semáforos y de esta forma se consiguió agilizar el desplazamiento de los transeúntes de un punto a otro.

Las principales avenidas que cuentan con pasos a desnivel vehiculares se listan a continuación:

<b>PASOS A DESNIVEL VEHICULARES SISTEMA VIADUCTO</b>		
<b>Instalación</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Capacidad de bombeo m<sup>3</sup>/s</b>
Km. 6 ½	Km. 6 ½ de la calz. Ignacio Zaragoza y Viaducto Col. Puebla	0.192
F. S. T. De Mier	F. S. T. De Mier y Boulevard Aeropuerto Col. Jardín Balbuena	0.360
Miramontes	Viaducto y Río Churubusco Col. Jardín Balbuena	0.448
Cd. Deportiva	Viaducto y eje 3 sur Col. Mixiuhca	0.432
Troncoso	Viaducto y Fco. Del paso y troncoso Col. Mixiuhca	0.384
Morazán	Viaducto y Congreso de la Unión Col. Santa Anita	0.432
La viga	Viaducto y calz. De la viga Col. Santa. Anita	0.352
Sur 71	Viaducto y Molina Enríquez Col. Santa. Anita	0.352
Marcos carrillo	Viaducto y Marcos Carrillo Col. Viaducto	0.352
Bolívar	Viaducto y Bolívar Col. Algarín	0.670
Monterrey	Viaducto y Monterrey Col. Roma sur	0.140
Revolución	Viaducto y av. Revolución Col. Tacubaya	0.042
Puente la morena	Viaducto y puente la morena Col. Tacubaya	0.042
Parque lira	Av. Parque lira y av. Observatorio Col. Tacubaya	0.08

**Tabla 3.2**

**Total**

**4.278 m<sup>3</sup>/s**

<b>PASOS A DESNIVEL VEHICULARES SISTEMA CHAPULTEPEC</b>		
<b>Instalación</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Capacidad de bombeo m<sup>3</sup>/s</b>
Chapultepec cárcamo norte	Av. Chapultepec y av. Veracruz Col. Condesa	0.16
Chapultepec cárcamo sur	Av. Chapultepec y av. Veracruz Col. Condesa	0.16
Las flores	Av. De los Constituyentes y av. Chapultepec Col. San Miguel Chapultepec	0.16
Chivatito	Av. Chivatito y paseo de la reforma Col. Chapultepec 1 <sup>a</sup> . sección	0.225
Paso peatonal rodano	Río Rodano y paseo de la reforma Col. Condesa	0.046
<b>Tabla 3.3</b>	<b>Total</b>	<b>0.751 m<sup>3</sup>/s</b>

<b>PASOS A DESNIVEL VEHICULARES SISTEMA CONSULADO</b>		
<b>Instalación</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Capacidad de bombeo m<sup>3</sup>/s</b>
Pantitlán	Av. Río Churubusco y av. Manuel Lebrija Col. Aviación civil	0.780
Hangares	Boulevard puerto aéreo y eje 1 norte Col. Federal	0.356
Oceanía	Río Consulado y av. Oceanía Col. Aquiles Serdán	0.376
Tlacos	Río Consulado y Tlacos Col. Fernando Casas	0.180
Molina	Río Consulado y Eduardo Molina Col. Felipe Ángeles	0.180
Inguarán	Río Consulado y av. Congreso de la Unión Col. Felipe Ángeles	0.240
Ferrocarril Hidalgo	Río Consulado y eje 1 oriente fcc. Hidalgo Col. 7 de noviembre	0.210
Guadalupe y misterios	Río Consulado y calz. De Guadalupe Col. Vallejo	0.225
Abundio Martínez	Calle Paganini y av. Abundio Martínez Col. Vallejo	0.180
Potrero	Calle Paganini y av. Abundio Martínez Col. Vallejo	0.400
<b>Tabla 3.4</b>	<b>TOTAL</b>	<b>3.127 m<sup>3</sup>/s</b>

<b>PASOS A DESNIVEL VEHICULARES SISTEMA INSURGENTES</b>		
<b>Instalación</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Capacidad de bombeo m<sup>3</sup>/s</b>
Cantera	Ticomán e Insurgentes norte Col. Santa Isabel Tola	0.330
Montevideo	Montevideo e Insurgentes Col. Lindavista	0.330
Fortuna	Fortuna e Insurgentes Col. Industrial	0.330
Poniente 112	Poniente 112 e Insurgentes Col. Industrial	0.330
Guerrero	Guerrero e Insurgentes Col. San Simón Tolnáhuac	0.225
Nonoalco	Ricardo Flores Magón y av. Insurgentes Col. Santa Ma. la Ribera	0.270
Génova	Glorieta Insurgentes y Génova Col. Juárez	0.164
Jalapa	Glorieta Insurgentes y Jalapa Col. Juárez	0.164
Central norte	Glorieta Insurgentes lado norte Col. Juárez	0.160
Central sur	Glorieta Insurgentes lado sur Col. Juárez	0.160
Lázaro Cárdenas	Eje central Lázaro Cárdenas y reforma Col. Guerrero	0.270
<b>Tabla 3.5</b>	<b>Total</b>	<b>2.733 m<sup>3</sup>/s</b>

<b>PASOS A DESNIVEL VEHICULARES SISTEMA TLALPAN</b>		
<b>Instalación</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Capacidad de bombeo m<sup>3</sup>/s</b>
Taxqueña	Calle Puerto Rico y calz. De Tlalpan Col. Parque San Andrés	0.430
Ermita iztapalapa	Calz. Ermita y calz. De Tlalpan Col. Ermita	0.370
Ermita iztapalapa	Calz. Ermita y calz. De Tlalpan Col. Ermita	0.150
Ermita iztapalapa	Calz. Ermita y calz. De Tlalpan Col. Ermita	0.150
Municipio libre	Municipio libre y calz. De Tlalpan Col. Portales	0.172
Zapata	Zapata y calz. De Tlalpan Col. Portales	0.172

Morelos	Eje 6 sur y calz. De Tlalpan Col. Nativitas	0.172
1º de mayo	Eje 5 sur y calz. De Tlalpan Col. Nativitas	0.101
sur 124	Fernández del Castillo y calz. De Tlalpan Col. Nativitas	0.081
Santiago	Santiago y calz. De Tlalpan Col. Iztaccíhuatl	0.110
Napoleón	Eje 4 sur y calz. De Tlalpan Col. Xola	0.110
av. del taller	Av. Del taller y calz. De Tlalpan Col. Tránsito	0.110
Boturini	Boturini y calz. De Tlalpan Col. Tránsito	0.120
Viaducto y Tlalpan	San Antonio Abad y Viaducto Col. Algarín	0.180
Lucas Alamán	Lucas Alamán y calz. De Tlalpan Col. Centro	0.140
Tlaxcoaque	Tlaxcoaque y calz. de Tlalpan Col. Centro	0.120
20 de noviembre	Av. 20 de noviembre y F. S. T. de Mier Col. Centro	0.170

**Tabla 3.6**

**Total**

**2.858 m³/s**

### **CAPACIDAD TOTAL DE BOMBEO DE LOS PASOS A DESNIVEL**

<b>Sistema</b>	<b>Capacidad en m³/s</b>
Peatonal Tlalpan	0.26
Vehicular Tlalpan	2.858
Vehicular Viaducto	4.278
Vehicular Chapultepec	0.751
Vehicular Consulado	3.127
Vehicular Insurgentes	2.733
<b>Tabla 3.7</b>	<b>TOTAL 14 m³/s</b>

La mayoría de los usuarios de los pasos a desnivel vehiculares desconocen su funcionamiento hidráulico, por lo que se requiere antes que nada conocer sus componentes.

Un paso a desnivel vehicular al igual que uno peatonal esta compuesto por:

- Un cárcamo.
- Una bomba.
- Un elemento motriz, ya sea un motor eléctrico ó uno de combustión interna.
- Un sistema de control para el motor.

### 3.2.1 ¿Qué es el cárcamo?

El cárcamo de bombeo, es el encargado de captar y almacenar el agua proveniente del nivel freático o pluvial, mediante una serie de tuberías (tubos de acero perforados, que permiten la introducción de agua del nivel freático) y rejillas localizadas a lo largo del deprimido. Su diseño y construcción dependerá de las condiciones de operación del mismo.

En cuanto a su construcción existen:

- Construidos mediante concreto armado (los cuales son los más utilizados en las estaciones de bombeo).
- Construidos a través de tubos hincados directamente en el terreno, también conocidos como pozo indio (se utilizan generalmente cuando no existe espacio suficiente para efectuar la construcción de éste).

Como ya se mencionó, su construcción dependerá de las condiciones de operación, tales como: ubicación, capacidad de captación, profundidad del deprimido, distribución y cantidad de las bombas.

### 3.2.2 ¿Qué es una bomba?

Una bomba en términos técnicos es un generador hidráulico, ya que transforma una energía mecánica, a una energía hidráulica. Existen infinidad de tipos de bomba, cuya aplicación dependerá del tipo de líquido que se vaya a transportar.

La bomba juega el papel más importante dentro de una estación de bombeo, ya que ésta es la encargada de desalojar el agua almacenada en el cárcamo, su diseño dependerá de las condiciones de operación de la estación de bombeo, tales como:

- Líquido a manejar.
- Carga dinámica.
- Gasto.

#### *Líquido a manejar*

Existen infinidad de aplicaciones y diseños de bombas, mediante las cuales podemos hacer circular líquidos de un punto a otro, como sucede con el cambio de combustibles, aceites, agua potable, negra o residual.

Por lo cual, es de vital importancia conocer las características de los líquidos a manejar tales como:

- a) Índice de acidez-alcalinidad (pH).

- b) Condiciones de viscosidad.
- c) Temperatura.
- d) Presión de vaporización del líquido a la temperatura de bombeo.
- e) Densidad.
- f) Materiales en suspensión, tamaño, naturaleza, etc.
- g) Condiciones de abrasión.
- h) Contenido de impurezas.

### *Carga dinámica total*

Este dato está designado con las letras “CDT” y está en función de las características de niveles de bombeo, niveles de descarga, de la acción dinámica del fluido al ser movido y conducido dentro de ductos, cambios de dirección, etc.; en conclusión, es el trabajo que debe ejercer una bomba para desalojar el líquido a transportar de un punto a otro. Para calcularlo se deben considerar los siguientes parámetros:

- a) Consideraremos la altura física entre el nivel dinámico de nuestro pozo y el nivel del piso de nuestro cabezal de descarga y lo designaremos como “Hs”.
- b) La altura física entre el nivel de piso de descarga de nuestro cabezal hasta la altura física máxima a la que habrá de llevarse el fluido, la designaremos como “Hd”.
- c) La altura equivalente creada por las pérdidas por fricción en la columna de bombeo se denominará “fs”.
- d) Como cuarta componente de la “CDT”, consideraremos la altura equivalente creada por las pérdidas por fricción en las tuberías de descarga, válvulas, codos, cambios de dirección, reducciones o ampliaciones súbitas de datos, etc., y la designaremos como “fd”.

### *Gasto*

Se entiende por gasto la cantidad de líquido desalojado por una bomba en un determinado tiempo; generalmente es expresado en  $m^3/s$ , y está designado con la letra “Q”

Las bombas que se utilizan generalmente en las diferentes plantas de bombeo son de tipo centrífugo las cuales se caracterizan por:

- Manejar gastos grandes.
- Presiones reducidas o medianas.
- Líquidos de todos tipos excepto viscosos.

Las bombas que se usaban más eran del tipo reciprocante, actualmente están siendo sustituidas por las centrífugas, al mismo que se ha efectuado el reemplazo de vapor por energía eléctrica, como fuente de energía.

Los progresos en los motores eléctricos han propiciado el desarrollo de bombas centrífugas, mucho más ligeras y baratas.

En un principio, las bombas centrífugas tenían la desventaja de su baja eficiencia; sin embargo, las mejoras obtenidas a base de investigaciones continuas, las han puesto a la cabeza en el aspecto competitivo. Tienen a su favor las condiciones de descarga constante a una presión dada, que no tienen las reciprocantes, y además no presentan problemas de válvulas, que son tan comunes en las reciprocantes.

Actualmente las bombas centrífugas también cubren el campo de las altas presiones, que se logran mediante las bombas de varios pasos accionadas a altas velocidades.

En cuanto a capacidades, las bombas centrífugas se han construido para gastos que van desde un galón por minuto a más de un millón de galones por minuto.

Las bombas necesitan de una fuerza mecánica que las impulse a girar y vencer la carga estática, esta es proporcionada ya sea por motores eléctricos, o bien por motores de combustión interna a través de un cabezal engranado.

### 3.2.3 Motor

Otro de los componentes importantes en una estación de bombeo, ya sea de tipo paso a desnivel peatonal, vehicular y/o bien en plantas de bombeo, es el motor eléctrico, ya sea de tipo vertical u horizontal. Éste es el elemento que brinda la fuerza motriz a la bomba para que esta pueda cumplir con el trabajo de elevar el agua de un punto a otro. El motor eléctrico más utilizado en las estaciones de bombeo es el de inducción tipo jaula de ardilla.

El motor de inducción es el motor de corriente alterna que más se utiliza, debido a su fortaleza y simplicidad; la ausencia de colector y el hecho de que sus características de funcionamiento se adaptan bien a una marcha de velocidad constante, que es vital en el buen funcionamiento de las bombas centrífugas, dan a este motor sus principales características.

Los valores de potencia, corriente, voltaje y velocidad, dependerán de las condiciones de diseño de las bombas instaladas en las estaciones de bombeo.

Cuando no se cuenta con energía eléctrica, debido a una interrupción en el servicio que suministra compañía de luz, se requiere de la utilización de motores de combustión interna, para brindar la fuerza motriz directamente a la bomba mediante la utilización de cabezales engranados, o bien, acoplados a

un generador para proporcionar la energía eléctrica requerida por los motores eléctricos, y de esta forma asegurar la operación de las bombas las 24 horas del día y de esta forma asegurar un 100 por ciento el bombeo en cualquier estación de bombeo.

#### 3.2.4 Sistema de control de motores eléctricos

Los motores eléctricos necesitan de un mecanismo de control mediante el cual se puedan arrancar o parar, de forma manual o automática; estos controles reciben el nombre de arrancadores, los cuales pueden ser de varios tipos:

- A tensión plena.
- A tensión reducida.
- De estado sólido

Los cuales tienen las siguientes características:

- A tensión plena

El requisito de este tipo de arranque es simplemente la conexión directa del motor a la línea de alimentación. Esto se puede conseguir sencillamente utilizando un interruptor de cuchillas, pero este método sólo permite la protección del motor mediante fusibles.

A causa de que el motor no queda desconectado de la línea en el caso de que falte en ella la energía, este tipo de control de arranque puede ser utilizado, por su economía, en el caso de dispositivos que no peligran si se ponen nuevamente en marcha al restaurarse la energía.

Con motores de hasta 7 ½ H.P., y tensión no mayor de 600 volts se puede emplear el arrancador manual de conexión del motor directamente a la línea.

El arrancador que más se emplea para motores de hasta 600 H.P., y 600 volts o menos es el que dispone de un contactor electromagnético para realizar la conexión directa del motor a la línea.

Cuando se considere la adopción del arranque a plena tensión, siempre es necesario inspeccionar los conductores de la instalación así como la capacidad del sistema de distribución. Si la sección de los conductores es inadecuada, debe ser aumentada o bien recurrir al arranque a tensión reducida.

- A tensión reducida

Siempre que el arranque de un motor a tensión plena pueda causar serios descensos de la tensión en las líneas de la compañía suministradora o en los cables de la instalación, es casi imperativo el arranque a tensión reducida.

El arranque a tensión reducida se obtiene mediante el uso de resistencias, autotransformadores o conexiones estrella-delta, con el fin de reducir la tensión de la línea hasta el valor deseado durante el arranque.

Cualquiera que sea el método empleado en el arranque a tensión reducida, hay que tener presente que el par de arranque del motor se reduce también.

- a) Arranque con autotransformadores.- Este constituye uno de los medios para arrancar un motor a tensión reducida. El autotransformador, esta constituido por tres bobinas o devanados conectados en estrella. Cuando el motor ha alcanzado cerca del 80% de su velocidad normal, las conexiones se cambian de manera que los transformadores queden desconectados y el motor quede conectado a voltaje pleno. Los cambios pueden hacerse en forma manual o en forma automática por medio de relevadores de tiempo. Se arrancan motores con más de 75 HP.
- b) Arranque en estrella delta.- Es el método más simple para arrancar a tensión reducida y consiste en conectar en estrella el arrollamiento del estator durante el arranque, y en delta durante la operación al alcanzar el motor cierta velocidad; con ello se reduce la tensión a un 50% aproximadamente. Tiene la desventaja que sólo es aplicable a motores de seis terminales y de pequeña capacidad (10 a 20 HP).
- c) Arranque con resistencia en el primario.- Este método consiste en conectar el estator del motor a través de una resistencia en serie trifásica regulable, de tal manera que conforme el motor se va acelerando, la resistencia se pone en corto circuito en una o varias etapas y el motor queda conectado a pleno voltaje. Para un determinado par de arranque, la corriente de arranque requerida es más intensa comparada con los otros métodos. Este método significa una inversión inicial baja cuando se emplea en motores de alto par, pero tiene la desventaja de que su equipo ocupa mucho espacio.

- *De estado sólido*

El arrancador de estado sólido como su nombre lo indica, es un sistema elaborado con componentes eléctricos y electrónicos de estado sólido, este equipo se coloca entre la alimentación C.A., y el motor. Se debe encargarse de controlar el proceso de arranque suministrando al motor una corriente controlada siguiendo unas curvas específicas, con unos parámetros iniciales ajustados por el usuario.

Debe llevar al motor desde la velocidad cero hasta su velocidad máxima, de una forma suave en un tiempo aproximado de 30 segundos, sin presentar cambios bruscos en su corriente y velocidad, para una carga con bajo contenido de inercia, permitiendo un ajuste en sus parámetros de tal forma que se pueda acoplar a diferentes tipos de máquinas ya que una cosa es el motor como tal y otra el conjunto motor máquina, conjunto que cambia de características dependiendo de factores mecánicos.

La selección de los arrancadores a tensión reducida de estado sólido depende de la aplicación. Para la aplicación óptima de los arrancadores a tensión reducida de estado sólido, se deben considerar factores relacionados al motor (tales como par, tensión y desempeño de corriente), en combinación con las características de la carga (tales como la inercia conectada, y los requerimientos de aceleración y funcionamiento).

Las corrientes a plena carga reales y las características de arranque varían dependiendo del fabricante del motor, de la velocidad base y del diseño.

En general, algunas de las etapas con las que cuenta este tipo de arrancador son las siguientes:

- a) Un módulo que asegure que los disparos dados a los SCRs (los cuales manejarán la corriente del motor), estén en sincronismo con la señal sinusoidal de entrada y en orden específico que deben realizarse.
- b) Etapa de muestreo de corrientes sobre el motor para generar la referencia que controle los disparos de los tiristores para que de esta forma el equipo siga en el proceso de arranque un comportamiento preestablecido por el operador. También en todo momento asegura el funcionamiento del motor dentro del rango seguro según sus características.
- c) El módulo de potencia se implementa con tiristores, los cuales deben estar en capacidad de manejar el 600% de la corriente del motor durante 30 segundos, y el 120% de la corriente del motor en forma permanente
- d) La etapa de control, la cual coordinará las diferentes señales basadas en los parámetros establecidos por el operador.

El arrancador a utilizar para el control de un motor eléctrico, dependerá de las características de diseño de este, tales como potencia y voltaje de operación, para de esta manera elegir el control más adecuado y lograr una eficiente operación del conjunto bomba motor.

En la figura 3 del apéndice, se ilustran los componentes de una estación de bombeo vehicular.

### 3.3 Plantas de bombeo

El drenaje de la ciudad de México es de tipo combinado y aunado a los severos asentamientos que ha venido sufriendo con el paso del tiempo el subsuelo, ha ocasionado que los colectores ya no trabajen por gravedad, siendo necesaria la creación de estaciones de bombeo, para lograr darle salida a las aguas negras, provenientes de las descargas domiciliarias y de tipo pluvial evitando inundaciones en las zonas bajas de la ciudad.

Las aguas negras se definen como las aguas de desperdicio de una comunidad. Aunque más del 99 % es agua pura, contiene desperdicios de casi todas las formas y descripciones. Estas contienen muchos complejos orgánicos y compuestos minerales. La porción orgánica de las aguas negras esta bioquímicamente degradada, y como tal, ocasiona las características ofensivas normalmente asociadas con las aguas negras.

Por lo general, el flujo de aguas negras esta en promedio, entre 200 y 700 litros por persona por día. En ausencia de mejor información, generalmente se usa una cifra promedio de 400 LPPD para propósitos de diseño. El flujo mínimo varía del 50 al 80 % y el flujo máximo, en clima seco, de 140 a 180 % del flujo promedio. El grado de variación disminuye a medida que el tamaño del sistema aumenta. Los flujos en tiempo húmedo pueden ser de 200 LPPD o más, debido al agua adicional que entra en las alcantarillas, proveniente de las lluvias.

El tamaño de las instalaciones de bombeo de aguas negras es generalmente tal que su capacidad primaria es igual, o se puede ampliar para dar cavidad, al volumen máximo total de afluencia de los colectores, que descargan sus aguas de tipo sanitario y pluvial. La capacidad primaria o firme, se define como la capacidad total de bombeo igual a la máxima afluencia esperada, con por lo menos una de las mayores unidades de bombeo fuera de servicio.

Las bombas convencionales para aguas negras, son el tipo más común de bombas para el manejo de aguas negras. Una bomba convencional se describe específicamente como una centrífuga, de succión al extremo, del tipo voluta, con un impulsor volado del tipo ya sea atascable, radial o de flujo mixto de acuerdo con la capacidad o con la carga. Ambos tienen dos o más alabes, de acuerdo con el tamaño de la bomba y el tamaño máximo de sólidos a manejar.

La determinación de la capacidad que se requiere en una estación particular de bombeo se debe basar en un análisis profundo del sistema propuesto. Deben considerarse factores tales como el promedio proyectado y las demandas máximas diarias, el rendimiento seguro del suministro disponible y el funcionamiento de la estación de bombeo en la operación total del sistema.

Las predicciones precisas sobre demandas futuras establecerán, con frecuencia, los criterios de diseño para una estación de bombeo capaz de surtir las demandas del área a la que sirve, por un periodo de muchos años. La

práctica común es calcular el tamaño de la estación de bombeo para demandas anticipadas de 25 años o más, con una instalación inicial con capacidad de bombeo suficiente solo para 5 o 10 años. Después se pueden agregar capacidades adicionales, según lo dicten las demandas futuras, simplemente instalando unidades adicionales de bombeo.

Su configuración es muy parecida a la de un paso a desnivel peatonal o vehicular, ya que consta de:

- Cárcamo.
- Bomba.
- Motor.
- Columna de descarga.
- Rejillas.

Para conectar el motor a la fuente de energía disponible es necesario:

- Subestación.
- Transformador.
- Tableros de control.
- Equipo de generación (emergencia).
- Cabezal de engranes (cuando se utiliza motor diesel).
- Motor Diesel (cuando no se utiliza energía eléctrica).

Los cuales se describen a continuación:

### 3.3.1 Subestación eléctrica

Es el conjunto de elementos integrados que transforman, distribuyen, controlan y miden la energía eléctrica proveniente de las plantas generadoras, líneas de transmisión o líneas de distribución en alta tensión.

Las subestaciones eléctricas se pueden clasificar:

#### 1) Por su servicio

- *Subestación tipo exterior.*- Estas subestaciones se construyen en terrenos expuestos a la intemperie y requieren de un diseño y equipo especial capaz de soportar condiciones atmosféricas adversas (lluvia, viento, nieve e inclemencias ambientales diversas).

- *Subestaciones de tipo interior.*- En este tipo de subestaciones el equipo y diseño de la subestación están adaptados para operar en lugares protegidos de los cambios climatológicos.

## 2) Por su construcción

- *Subestaciones compactas.*- También llamadas unitarias. En estas subestaciones el equipo se encuentra protegido por gabinetes y el espacio necesario es reducido. Pueden construirse para servicio interior o para servicio exterior
- *Subestaciones convencionales.*- El equipo que se instala en este tipo de subestaciones, también llamadas abiertas, se coloca en una estructura metálica, se aíslan por tan solo por una malla de alambre, es decir, no van en gabinetes. Pueden construirse para servicio interior y exterior.

### 3.3.2 Transformador

El transformador es un aparato eléctrico sin partes en movimiento que sirve para transmitir energía eléctrica de un circuito a otro sin cambio de frecuencia, elevando o bajando el voltaje, basándose en el principio de inducción electromagnética.

Sus componentes principales son:

- a) Un núcleo magnético formado por láminas de acero al silicio.
- b) Una bobina primaria (por donde recibe la energía).
- c) Una bobina secundaria (por donde entrega la energía).

En los transformadores trifásicos industriales, las terminales de alto voltaje están marcadas con H1, H2, H3. Las terminales de bajo voltaje con X1, X2, X3 y X0.

La sección de transformación de una subestación eléctrica es la más importante, porque es en ella donde se transfiere la energía eléctrica cambiando el valor de la tensión a los valores de utilización.

Las subestaciones eléctricas industriales compactas utilizan en su sección de transformación, transformadores trifásicos que pueden ser de tipo sumergido en aceite o tipo seco (transformadores en resina epóxica).

Los transformadores sumergidos en aceite tienen accesorios de control y protección además de sus componentes principales.

Por ser una máquina estática, el transformador no tiene pérdidas mecánicas (por ejemplo, fricción, ventilación, etc.); sus pérdidas son únicamente eléctricas

y en el hierro. Por tal razón su rendimiento es extremadamente alto comparado con las máquinas eléctricas rotativas.

### 3.3.3 *Tableros de control*

La finalidad de los tableros de baja tensión es el de agrupar en gabinetes compactos autosoportados, dispositivos de distribución y control de la energía eléctrica en baja tensión (hasta 600 V) así como elementos para la protección de los conductores y equipos eléctricos de las instalaciones para obtener un medio seguro y eficiente de distribución, control y medición de la energía eléctrica utilizada.

Los componentes de los tableros de control pueden ser los siguientes:

- a) Barras. En los sistemas trifásicos son tres barras rectangulares de aluminio o cobre electrolítico. El tamaño y número de barras está determinado por la capacidad máxima de conducción de corriente.
- b) Interruptores. Los interruptores son la parte principal del tablero de control. De su calidad y su correcta selección depende la seguridad y continuidad del servicio. Los interruptores pueden ser de fusibles limitadores de alta capacidad, interruptores termomagnéticos o interruptores electromagnéticos individuales y/o agrupados en interruptor general y derivados.
- c) Instrumentos de medición. Casi siempre se requiere conocer las características principales de la energía eléctrica utilizada con el fin de proporcionar el control, seguridad y mantenimiento efectivo a tiempo en las instalaciones eléctricas. Los instrumentos de medición son un medio efectivo para comprobar el buen funcionamiento del equipo eléctrico. Los instrumentos que podrían encontrarse en un tablero de control serían los siguientes: voltímetros y amperímetros; los cuales pueden ser de tipo análogo o digital.

Los arreglos y componentes de los tableros de control de baja tensión pueden ser muy sencillos o muy completos, dependiendo de la capacidad de la subestación y por este motivo los componentes pueden ser variados. Entre los tableros más comunes de distribución de energía están los Tableros Generales (Principal), Tableros Subgenerales y Tableros de Distribución.

El CCM (Centro de control de motores) es un tablero de control que provee el método más adecuado para agrupar el control de motores eléctricos, equipos de automatización y distribución en un paquete compacto y económico. El CCM consiste en una o más secciones verticales con una estructura autosoportada completamente cerrada con frente muerto. Estas secciones dan alojamiento a las unidades removibles que toman su alimentación a través de un arreglo de barras horizontales y verticales que distribuyen la energía a todas y cada una de ellas.

Las unidades de los CCM consisten de componentes tales como combinaciones arrancadoras para motores, interruptores alimentadores derivados, tableros de distribución de alumbrado, etc. Cada unidad es montada independientemente, aisladas entre sí y con puertas independientes.

El Tablero de Control de Transferencia y Paro (Tablero del Grupo Electrónico) es la unidad que se encarga de:

- Censar el voltaje de alimentación
- Dar señal de arranque a la planta cuando el voltaje falta, baja o sube (de la alimentación de la compañía suministradora) de un nivel adecuado.
- Preparar al interruptor de transferencia para que haga su cambio (transferencia).
- Dar señal al interruptor de transferencia para que haga el cambio cuando se normaliza la alimentación (retransferencia).
- Retardar la transferencia para dar tiempo a la compañía suministradora de normalizar su alimentación.
- Retardar la señal de paro al motor para lograr su enfriamiento.
- Mandar la señal de paro al motor a través del control maestro.
- Programar el arranque de la planta para ejercitarla (diario o semanalmente).
- Mantener cargado al acumulador.
- Permitir un simulacro de falla de la compañía suministradora.

#### *3.3.4 Equipo de generación*

Las plantas generadoras son dispositivos que aprovechan cierto tipo de energía para producir energía eléctrica. Dicha energía puede provenir de un motor de combustión interna, de los rayos luminosos del sol, de los gases provenientes del subsuelo, del vapor del agua, etc.

De acuerdo al tipo de energía que aprovechan las plantas, éstas se clasifican en:

- Hidroeléctricas.
- Termoeléctricas.
- Geotérmicas.
- Nucleoeléctricas.
- Maremotrices.
- Combustión interna

La planta con motor de combustión interna es aquella que utiliza la energía térmica desprendida de la combustión para producir un movimiento mecánico a una flecha que está acoplada al rotor de un generador y que por inducción electromagnética va a producir un voltaje en las terminales de este último.

Tomando en consideración los aspectos anteriores, clasificaremos a una planta de combustión interna de la siguiente forma:

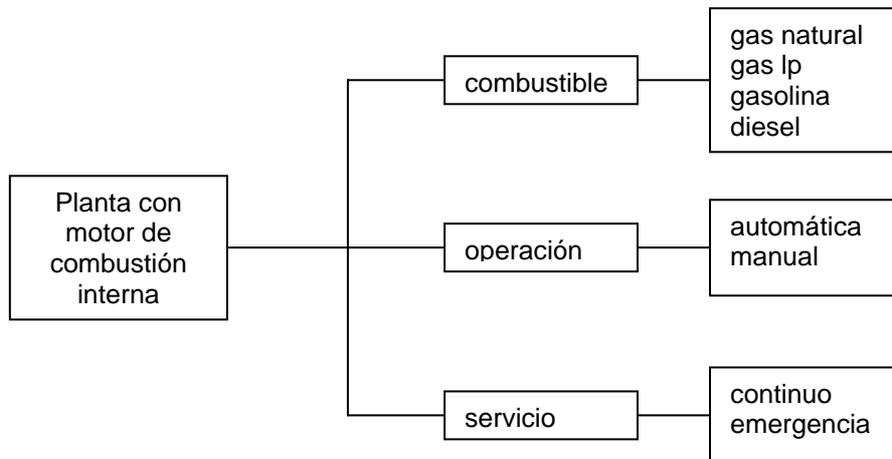


Figura 3.2

Las plantas con motor de combustión interna, generalmente utilizan diesel, por las ventajas que representa con respecto a las que utilizan gasolina o gas. Es decir, el combustible es más barato, desarrollan más potencia, tienen mayor relación de compresión, mayor eficiencia y aprovechan mejor la energía térmica desprendida del combustible.

Con respecto a las de gas natural o LP, generalmente al motor se le tienen que hacer adaptaciones que en su inversión son costosas, pero se amortizan por el precio del combustible.

### 3.3.5 Cabezal engranado

Para asegurar una continuidad en su servicio, las estaciones de bombeo requieren la operación de su elemento principal que es la bomba, ésta necesita de una fuerza motriz, que en su mayoría de los casos es proporcionada por un motor eléctrico, el cual requiere de energía eléctrica proporcionada por compañía de luz y fuerza, o mediante la operación de plantas generadoras en caso de falla en el suministro.

También el elemento motriz puede ser aplicado con la operación de motores de combustión interna, mediante una flecha cardan acoplada a un cabezal engranado, que es un mecanismo que consta de dos engranes uno superior conocido como corona y uno transversal llamado piñón, ambos lubricados por aceite mediante una bomba, la cual funciona a través del giro que el mismo mecanismo genera, además estos engranes nos pueden ofrecer un aumento o disminución de velocidad con respecto a la velocidad de entrada de acuerdo a su relación de transformación según las condiciones de operación

de la bomba, este mecanismo se ubicada entre el cabezal de la bomba y el motor eléctrico. Lo cual lo podemos observar en el esquema del paso a desnivel vehicular (ver apéndice).

### 3.3.6 *Motor de Combustión Interna*

Un motor de combustión interna diesel, es una máquina que aprovecha la energía térmica contenida en el combustible diesel para producir un movimiento giratorio a una flecha.

El principio de funcionamiento de un motor se basa en que al aire admitido a través de las válvulas, se comprime a un valor muy alto, en este momento el aire alcanza una temperatura muy elevada y en el instante preciso se inyecta combustible a muy alta presión provocando la explosión.

Las etapas o carreras que se presentan durante el funcionamiento del motor de combustión interna son cuatro:

- 1) Admisión.
- 2) Compresión.
- 3) Potencia o expansión.
- 4) Escape.

Un motor de 2 tiempos realiza las cuatro etapas en una vuelta del cigüeñal y realiza una etapa de potencia. Es decir, que en 1,800 RPM realiza 1,800 etapas de potencia.

Un motor de 4 tiempos realiza las cuatro etapas en dos vueltas del cigüeñal y realiza una etapa de potencia. Es decir, que en 1,800 RPM realiza 900 etapas de potencia.

Un motor diesel de la potencia necesaria para mover un grupo generador y el corazón del motor cuenta con cinco sistemas básicos.

- 1) Aire.
- 2) Escape.
- 3) Combustible.
- 4) Lubricación.
- 5) Enfriamiento.

En la figura 4 del apéndice, se ilustran los componentes de una planta de bombeo.

## **3.4 Plantas de Bombeo de la Ciudad de México**

Para lograr un eficiente desalojo de aguas negras las plantas de bombeo están distribuidas en todo el Distrito Federal y áreas conurbanas y se controlan a través de sistemas que a continuación se mencionan:

<b>SISTEMA CHURUBUSCO</b>		
<b>Instalación</b>	<b>Ubicación</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>
Aculco	Av. Río Churubusco 1285, col. San José Aculco Del. Iztapalapa	40
Arenal aguas negras	Av. Xocoyote, Esq. Av. Vía tapo s/n, col. 3 <sup>a</sup> . Sección del Arenal. Del. Iztacalco	3.75
Cárcamo "a"	Av. Río Churubusco, Esq. Eje 5 sur, col. Zapata Vela Del. Iztapalapa.	4.0
Cárcamo "c"	Interior de la nueva central de abastos, col. Ejidos de Iztapalapa. Del. Iztapalapa	4.0
C. De abastos i	Av. Río Churubusco Esq. Ejidos de iztapalapa, col. Zapata Vela. Del. Iztapalapa	16
C. De abastos II	Prol. Eje 5 sur Esq. Río Churubusco s/n col. Zapata Vela. Del. Iztapalapa	20
Ejército de oriente	Río Churubusco y calle 7, col. Cuchilla Pantitlán Del. Iztacalco	16
Kilómetro 6 ½	Río Churubusco, Esq. Zaragoza s/n, Col. Ampl. Aviación civil. Del. Iztacalco	9
Lago	Río Churubusco y vía Express tapo s/n, col. 3 <sup>a</sup> . Seccional del arenal. Del. Venustiano Carranza	30
López Mateos	Río Churubusco y Corona del Rosal, col. Adolfo López Mateos. Del. Venustiano Carranza	4
<b>Tabla 3.8</b>	<b>TOTAL</b>	<b>146.5</b>

<b>SISTEMA VIADUCTO</b>		
<b>Instalación</b>	<b>Ubicación</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>
Churubusco	Entre Av. Río Churubusco y Plutarco Elías Calles, col. Ermita. Del. Benito Juárez	12
Escuadrón 201	Calle 12 y Av. Río Churubusco, col. Granjas San Antonio Del. Iztapalapa	4.5
Iztaccíhuatl	Entre Ralph Roeder y Martín I. Guzmán, col. Iztaccíhuatl, Del. Benito Juárez	11
Municipio libre	Entre av. Amacuzac y Municipio libre, col. Amp. Sinatel Del. Iztapalapa	8.0
Nicolás San Juan	Viaducto Miguel Alemán esq. Nicolás San Juan, col. Piedad Narvarte. Del. Benito Juárez	3.25
Pedregal de San Fco.	Abanico y cerro del abanico, col. Pedregal de San Francisco. Del. Coyoacán	0.30
San Antonio y periférico	Anillo periférico y San Antonio, col. San Pedro de los Pinos. Del. Álvaro Obregón	2.40

Sindicalismo y progreso	Av. Progreso Esq. Sindicalismo, col. Escandón Del. Miguel Hidalgo	2.0
Tonalá	Entre Viaducto Miguel Alemán y Tonalá, col. Piedad Narvarte. Del. Benito Juárez	10
Zoquipa	Zoquipa Esq. Sur 77, col. Lorenzo Boturini. Del. Venustiano Carranza	16

**Tabla 3.9**

**TOTAL**

**74.45**

<b>SISTEMA SUR</b>		
<b>Instalación</b>	<b>Ubicación</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>
Culhuacán "a"	Manuela Medina y calz. De la Virgen, col. Residencial cafetales. Del. Coyoacán	0.02
Culhuacán "b"	Manuela Medina y calz. De las bombas, col. Residencial cafetales. Del. Coyoacán	0.024
Chalco	Canal de chalco y Canal Nacional, col. Lomas estrella Del. Iztapalapa	3.0
Garay	Canal de Garay y Canal de Chalco, col. López Portillo Del. Iztapalapa	6.8
Las bombas	Canal nacional y calz. De las bombas, col. Residencial cafetales. Del. Coyoacán	3.0
Miramontes	Av. Miramontes y Av. C. Capilla San Miguel, col. Campestre Churubusco. Del. Coyoacán	20
Riachuelo serpentino	Rafael Atlixco y riachuelo serpentino, col. El triángulo, Del. Tláhuac	7.0
San buenaventura	Av. Prolongación Div. Del norte Esq. CCO. Javier Medina, col. La cebada. Del. Xochimilco	20
San Gregorio	Díaz Ordaz s/n, col. San Gregorio Atlapulco Del. Xochimilco	2.1
San Luis	16 de septiembre y cda. 16 de septiembre, col. Pueblo San Luis Tlaxialtemalco. Del. Xochimilco	0.2
Santa cruz	Ignacio Zaragoza y cjon. Chilar, col. Pueblo Santa Cruz Acalpixtla. Del. Xochimilco	0.2
Villacoapa	Av. División del norte y canal de Miramontes, col. Narciso Mendoza, del. Tlalpan	8.30

**Tabla 3.10**

**TOTAL**

**76.64**

<b>SISTEMA ORIENTE</b>		
<b>Instalación</b>	<b>Ubicación</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>
Ermita Zaragoza	Bamba y Bordo Socia Acá, col. La Aurora Edo. De México	5.0
La colmena	Av. Texcoco y calle John F. Kennedy, col. U. H. La colmena. Del. Iztapalapa	2.0
Laguna mayor	Av. Guelatao y colector Índico, col. Álvaro Obregón Del. Iztapalapa	12
Renovación	Eje 5 sur y Av. Renovación Del. Iztapalapa	10
San Lorenzo	Canal de chalco y Guillermo prieto, col. San Lorenzo Tezonco. Del. Iztapalapa	13.7
Unidad Ejército	Batallón fijo de Veracruz, col. U. H. Ejército de oriente Del. Iztapalapa	9.72
Zaragoza	Calz. Río Churubusco y calz. Ignacio Zaragoza, col. Ampl. Aviación civil. Del. Iztacalco	20

<b>MOTOBOMBAS</b>		
<b>Instalación</b>	<b>Ubicación</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>
Cuemanco	Cuemanco, en Cuemanco, col. Villa Cuemanco Del. Tlalpan	0.25
C. San Cristóbal	Cjon. De las flores y dalia, col. Barrio San Cristóbal Del. Xochimilco	0.15
Granjas y wake	Av. De las granjas y calle wake, col. Libertad, Del. Azcapotzalco	0.03
Guillermo prieto	Guillermo Prieto y calle Revolución, col. Zapotitlán Del. Tláhuac	0.30
Huayamilpas	Cda. De Nahuatlacas y Huayamilpas, col. Huayamilpas, Del. Coyoacán.	0.24
Mirasoles	Av. periférico y canal de Garay, col. López Portillo Del. Iztapalapa	0.45
Quiahuatla	Av. Acueducto y c. Orquídea en Quiahuatla Del. Tláhuac	0.45
San Esteban	Pino Esq. Dalia, barrio San Esteban. Del. Xochimilco	0.18
San Juan Ixtayopan	Canal la lupita y Miguel Negrete, pueblo San Juan Ixtayoapan. Del. Tláhuac	0.35

San Sebastián Tulye	Francisco Villa y Victoria González, barrio San Sebastián. Del. Xochimilco	1.60
Tesorería	Niños héroes y doctor Lavista, col. Doctores Del. Cuauhtémoc	0.07
<b>Tabla 3.12</b>	<b>TOTAL</b>	<b>4.13</b>

<b>SISTEMA GRAN CANAL</b>		
<b>Instalación</b>	<b>Ubicación</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>
Planta de Bombeo n° 1	Cerrada Tomatlán, col. 10 de Mayo Del. Venustiano Carranza	30.8
Planta de Bombeo n° 1-a	Cerrada Tomatlan, col. 10 de Mayo Del. Venustiano Carranza	28.5
Planta de Bombeo n° 2	Oceanía esquina Iztaccíhuatl, col. Revolución Del. Venustiano Carranza	45.5
Planta de Bombeo n° 3	Chiclera esquina Albañiles, col. Azteca Del. Venustiano Carranza	5
Planta de Bombeo n° 4-a	Balboas y E. Zapata, col. Ampl. Simón Bolívar Del. Gustavo A. Madero	8
Planta de Bombeo n° 5	Av. Gran canal y Río Consulado, col. Malinche Del. Gustavo A. Madero	7
Planta de Bombeo n° 5-a	Entre Av. Consulado y aluminio sobre gran canal, col. 20 de noviembre. Del. Venustiano Carranza	20
Planta de Bombeo n° 6	Calle norte 94 y oriente 101, col. Gertrudis Sánchez Del. Gustavo A. Madero	16
Planta de Bombeo n° 6-a	Av. gran canal y talismán, U. H. San Juan de Aragón Del. Gustavo A. Madero	13
Planta de Bombeo n° 7	San Juan de Aragón y Av. gran canal col. Héroes de Chapultepec. Del. Gustavo A. Madero	19
Planta de Bombeo n° 8	Calle 314 y 331, col. Nva. Atzacocalco Del. Gustavo A. Madero	9
Planta de Bombeo Oceanía	Tlacos entre Av. 603 y Emiliano Zapata, col. Cerro prieto Del. Gustavo A. Madero	4.75
Planta de Bombeo pozo indio	Av. gran canal frente a la obra de toma, col. Esmeralda Del. Gustavo a. Madero	5.0
Planta generadora San Ant. Tomatlán	San Antonio Tomatlán esq. Av. Ing. Eduardo Molina, col. 7 de julio. Del. Venustiano Carranza	0.5
Planta de Bombeo 25 de julio	Otumba y gran canal, col. 25 de julio Del. Venustiano Carranza	3
Planta de Bombeo gran canal	Km. 18 ÷ 500 del Gran Canal de Desagüe, col. Prados de Ecatepec, Municipio de Ecatepec	42
<b>Tabla 3.13</b>	<b>TOTAL</b>	<b>257.05</b>

<b>SISTEMA CONSULADO</b>		
<b>Instalación</b>	<b>Ubicación</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>
Planta Rodano	Rodano y Paseo de la Reforma, col. Cuauhtémoc Del. Cuauhtémoc	0.6
Planta Templo Mayor	Lic. Verdad y Guatemala, Centro Histórico, col. Centro, Del. Cuauhtémoc	0.681
Planta Sótano	16 de Septiembre y 20 de Noviembre, col. Centro Del. Cuauhtémoc	0.165
Planta nº 8 avenida del trabajo)	Mecánicos y Av. del Trabajo, col. Morelos Del. Venustiano Carranza	9.0
Planta la Raza	Debusy s/n frente a la calle de Mendelson, col. Vallejo, Del. Gustavo A. Madero	8.0
Planta C.T.M. el Risco	Francisco J. Macin y Pedro Galván, col. u. h. C.T.M. Del. Gustavo A. Madero	8.85
Planta Patronato del Maguey	Av. Cuauhtepc y Río San Javier col. Jorge Negrete Del. Gustavo A. Madero	2.09
Planta Nva. Santa Maria	Hierbabuena y muiltle, col. Victoria de las democracias, Del. Azcapotzalco	3.06
Planta Corregidora	Av. Cong., de la unión y corregidora paso a desnivel a palacio legislativo, col. el parque. Del. V. Carranza	0.113
Planta Acueducto de Guadalupe	C., de la Ola y Pelayo Av. Acueducto de Guadalupe, col. Acueducto de Guadalupe, Del. Gustavo A. Madero	4.75
Planta Chiquihuite	Av. acueducto entre cerrada de remedios y calle 4 col. Sta. Maria Ticomán. Del. Gustavo A. Madero	4.1
Planta Marina Nacional	Melchor Ocampo y Marina Nacional col. San Rafael, Del. Cuauhtémoc.	0.6
Planta Tizoc	Tizoc y Tlálloc, col. Tlaxpana Del. Miguel Hidalgo	5.5
Planta Politécnico	Circuito interior y calz. De los Gallos, col. Attilco Del. Cuauhtémoc	4.0
Planta Distribuidor Chapultepec	Al costado de la entrada del museo de arte moderno en el bosque de Chapultepec. Del. Miguel Hidalgo	4.5
Planta Expenitenciaria	Av. Eduardo Molina y Albañiles col. Penitenciaria, delg. Venustiano Carranza	0.71
Planta Río Hondo	Av. 16 de Septiembre y Periférico col. Alce blanco, Municipio Naucalpan 2do. de México	20
<b>Tabla 3.14</b>	<b>TOTAL</b>	<b>90.719</b>

## CAPACIDAD TOTAL DE BOMBEO DE LAS PLANTAS DE BOMBEO

Sistema	m <sup>3</sup> /s
Churubusco	146.5
Viaducto	74.45
Sur	76.64
Oriente	92.42
Motobombas	4.13
Consulado	257.05
Gran Canal	90.71
<b>Tabla 3.15</b>	<b>TOTAL</b>
	<b>741.9 m<sup>3</sup>/s</b>

Capacidad de bombeo de los pasos a desnivel:

$$14 + 741.9 = 755.9 \text{ m}^3/\text{s}$$

El valor de 755.9 m<sup>3</sup>/s, es la capacidad total de bombeo con que cuenta la infraestructura hidráulica de la Ciudad de México, para desalojar sus aguas negras y así evitar encharcamientos y severos problemas de drenaje, y de esta manera salvaguardar la seguridad de su población. Cabe mencionar que esta capacidad de bombeo tiene un más menos 10 % debido a que hay que tomar en consideración que las plantas tienen por lo menos un equipo más de respaldo o en ocasiones se tiene uno o más equipos fuera de servicio por mantenimiento.

# Capítulo 4

## PROYECTO ELÉCTRICO DE SISTEMAS DE BOMBEO DE AGUAS NEGRAS

En este capítulo se efectuarán los cálculos eléctricos de un paso a desnivel peatonal, vehicular y de una planta de bombeo, para determinar los tipos de control y protección necesarios para la operación de los equipos de bombeo instalados, tomando en cuenta otros factores como son el hidráulico (del cual depende la capacidad de las bombas), el área perimetral de trabajo y las condiciones de operación.

En lo que concierne al aspecto hidráulico, con el fin de dar una mejor comprensión, éste se realizará de una forma esquemática en el paso a desnivel peatonal que servirá como base para el paso a desnivel vehicular. En la planta de bombeo, el sistema hidráulico, depende directamente de la cantidad de colectores que descarguen sus aguas a ésta, no a nivel freático y pluvial como lo manejan los cárcamos peatonal y vehicular.

Los cálculos eléctricos están hechos bajo la norma NOM-001-SEIE-1999; los datos fueron tomados de campo, los cuales se adecuaron a las normas antes mencionadas y sólo se propondrán los cambios que a nuestro punto de vista sean necesarios.

### 4.1 Paso a Desnivel Peatonal

#### 4.1.1 Gasto influente al cárcamo

El cálculo del caudal de las aguas pluviales se realizó por el método racional.

$$Q = KCiA$$

Donde:

Q	KCiA, gasto pluvial, en litros/seg
C	Coefficiente de escurrimiento = 0.95
i	Intensidad de la lluvia, en mm/hora
A	Área de la superficie considerada, en m <sup>2</sup>
K	Coefficiente de conversión de unidades = 0.000277

Calles	Coefficiente de escurrimiento
Asfalto	0.70-0.95
Concreto	0.80-0.95
Ladrillo	0.70-0.85

Andadores	0.75-0.95
Techos	0.75-0.95

Tabla 4.1

Terrenos arenosos	Coefficiente de escurrimiento
Plano 2%	0.05-0.10
Promedio 2 a 7%	0.10-0.15
Inclinado 7%	0.15-0.20

Tabla 4.2

*Tiempo de entrada (te).*- Tiempo requerido por el agua para escurrir superficialmente hasta la coladera pluvial.

En áreas densamente desarrolladas y alto por ciento de áreas pluviales,  $t_e = 5$  min. En áreas moderadamente desarrolladas y superficies planas (poca pendiente),  $t_e = 10-15$  min.

Tiempo de concentración = Tiempo de entrada + Tiempo de escurrimiento.  
al alcantarillado

Entonces  $t_e = 5$  min.

*Tiempo de escurrimiento ( $t_{esc}$ ).*- El cociente de la longitud de la tubería entre la velocidad del agua si escurriera lleno.

$$t_{esc} = \frac{51 m}{1 m/seg} = 51 seg = 0.85 min$$

Tiempo de concentración =  $5 + 0.85 = 5.85$  min.

*Relación Intensidad, Duración, Frecuencia*

Periodo de ocurrencia = 10 años

Tiempo de concentración = 5.85 min.

$$\text{Lluvias ordinarias } i = \frac{448}{t + 22} = \frac{448}{5.85 + 22} = 16.08 cm / hora$$

Área de la superficie considerada,  $A = 60 m^2$

Precipitación pluvial

$$Q = KCiA$$

$$Q = 0.000277 \times 0.95 \times 160 \times 60$$

$$Q = 2.52 \text{ litros/seg.}$$

Gasto aportado por segundo colector influyente al cárcamo

$$v = \frac{1}{n} \times r^{\frac{2}{3}} \times s^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

- n Número de Mannig = 0.15
- r Radio hidráulico.
- s Pendiente de la tubería.

$$r = \frac{D}{4} = \frac{0.15}{4} = 0.0375$$

D = Diámetro de la tubería

s = 1.0% = 0.010

$$v = \frac{1}{0.015} \times 0.0375^{\frac{2}{3}} \times 0.010^{\frac{1}{2}} = 0.75 \text{ m/seg}$$

$$Q = Av$$

$$Q = (0.15^2 \times 0.785) \times 0.75 = 0.013 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q = 13 \text{ litros/seg.}$$

Haciendo la suma del gasto influente al cárcamo

- a) Precipitación pluvial 2.52 litros/seg.
- b) Infiltraciones 1.00 litros/seg.
- c) Escurrimiento superficial en la banquetta 0.50 litros/seg (estimado).
- d) Aportación máxima del segundo colector 13 litros/seg.

Total de 17.02 litros/seg.

#### 4.1.2 Selección del equipo de bombeo

Con los datos anteriores podemos tener esta selección de nuestro equipo de bombeo.

1) Gasto de diseño = 17.02 litros

2) Carga dinámica total

a) Carga estática

Cota de descarga	-1.00 m
Nivel mínimo del cárcamo	4.00 m
$\Delta h$	3.69 m

b) Carga de velocidad

Tubería 6"Ø, área sección transversal 186 cm<sup>2</sup>

Gasto

17.02 litros/seg

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0.01702}{0.0186} = 0.92 \text{ m/seg}$$
$$\frac{v^2}{2g} = \frac{0.922^2}{2 \times 9.8} = 0.043 \text{ m.c.a}$$

c) Pérdidas por fricción línea de descarga del equipo de bombeo

Concepto	Longitud equivalente (m)
Tubería de 4"Ø	2.5
Válvula chef 4"Ø	7.93
Válvula compuesta 4"Ø	0.70
2 codos de 90 x 4"Ø	6.7
Reducción 6" x 4"Ø	2.13

Tabla 4.3

Por lo que en total, se requiere de 19.96 m de tubería de 102 mm (4")Ø

$$hf = KLQ^2$$

$$K = \frac{10.293n^2}{D^{\frac{16}{3}}} = \frac{10.293 \times (0.012)^2}{(0.10)^{5.33}} = 316.88$$

$$hf = KLQ^2 = 316.88 \times 19.96 \times (0.01702)^2 = 1.83 \text{ m.c.a.}$$

3) Pérdidas por fricción en cabezal descargada al pozo de visita

Concepto	Longitud equivalente (m)
Tubería recta de 6"Ø	3.4
4 codos 90 x 6"Ø	20.64
Tee reducida de 6" x 4"Ø	3.65
Total	58.29

Tabla 4.4

$$K = \frac{10.293n^2}{D^{\frac{16}{3}}} = \frac{10.293 \times (0.012)^2}{(0.15)^{5.33}} = 36.5$$

$$hf = KLQ^2 = 36.5 \times 58.29 \times (0.01702)^2 = 0.62 \text{ m.c.a.}$$

4) Pérdidas totales por fricción:

$$hf \text{ total} = 1.83 + 0.62 = 2.45 \text{ m.c.a.}$$

Carga dinámica total de diseño (CDT)

Carga estática	3.69 m
Carga velocidad	0.043 m
Hf tubería descarga	2.45 m
Presión descarga	1.00 m

$$CDT = 7.183 \text{ m}$$

Potencia requerida en la flecha de la bomba

Gasto diseño	17.02 litros/seg
C.D.T.	7.183 m.c.a.

$$\text{Potencia} = \frac{QH}{76 \times \eta} = \frac{17.02 \times 7.183}{76 \times 0.64} = 2.51 \text{ HP}$$

Potencia en el motor eléctrico

$$\text{Potencia} = 1.20 \times 2.51 = 3.01 \text{ HP} = 3 \text{ HP}$$

#### 4.1.3 Instalaciones de proyecto

1) Instalación hidráulica (figura 4.1).

- a) La captación de la recolección pluvial en el paso de peatones se realizará por medio de dos rejillas de 50 x 50 cm. Los volúmenes de agua recolectados en las rejillas son conducidos al cárcamo a través de una tubería de concreto de 152 mm de diámetro (6") a lo largo del paso a desnivel.
- b) El cárcamo de bombeo de 2.0 x 2.0 m, con una profundidad de 5.37 m con respecto al nivel de la banqueta y construido en concreto armado, cuenta con un piso de operación en el nivel -2.39 m, diseñado a base de estructura metálica y rejilla Irving.
- c) La instalación dispondrá de dos equipos de bombeo tipo centrífugo vertical, inatascable, instalación en cárcamo húmedo y con capacidad para manejar un gasto aproximado de 17.02 litros/seg, contra una carga dinámica de 7.18 m.c.a, accionados por motores eléctricos verticales, inducción, jaula de ardilla, 3HP, 220 volts, 60 hertz, localizados en la plataforma de operación, cabe señalar que se tendrá una reserva del 100% con objeto de garantizar la evacuación de las aguas pluviales, aún en caso de cualquiera de las bombas fallase.

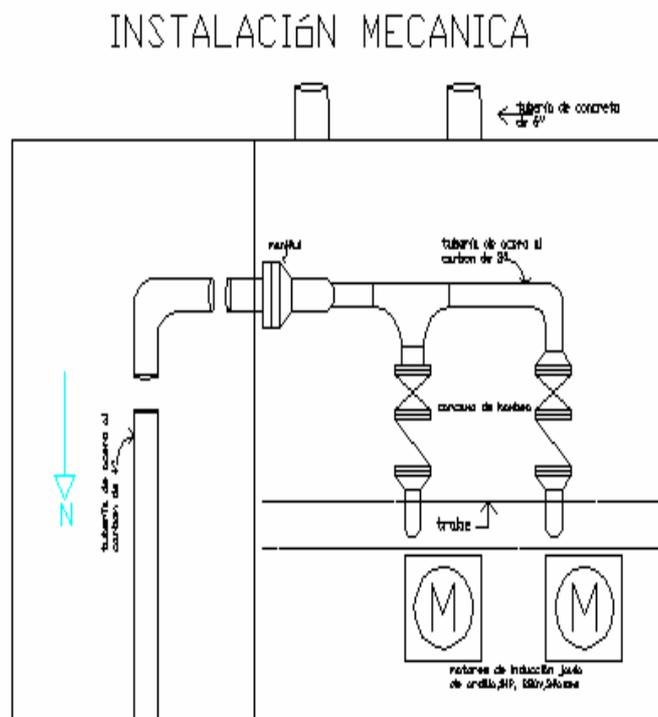
2) Instrumentación (figura 4.2).

Se dispondrá de un tablero de control que alternará la operación de los dos equipos de bombeo con objeto de uniformizar el desgaste, teniendo la capacidad para ordenar la operación simultanea de los dos equipos de acuerdo a los niveles detectados en el cárcamo como se observa a continuación:

Niveles ascendentes      -4.43 m arranque 1ª bomba  
                                      -4.48 m arranque 2ª bomba  
                                      -4.33 m alarma por alto nivel

Niveles descendentes      N -4.69 m paro 1ª y 2ª bomba  
                                      N -4.71 m desconexión y señalización por bajo nivel

Así mismo, este tablero de control ordenará la desconexión de los equipos y accionará una alarma sonora, en condiciones de bajo nivel en el cárcamo.



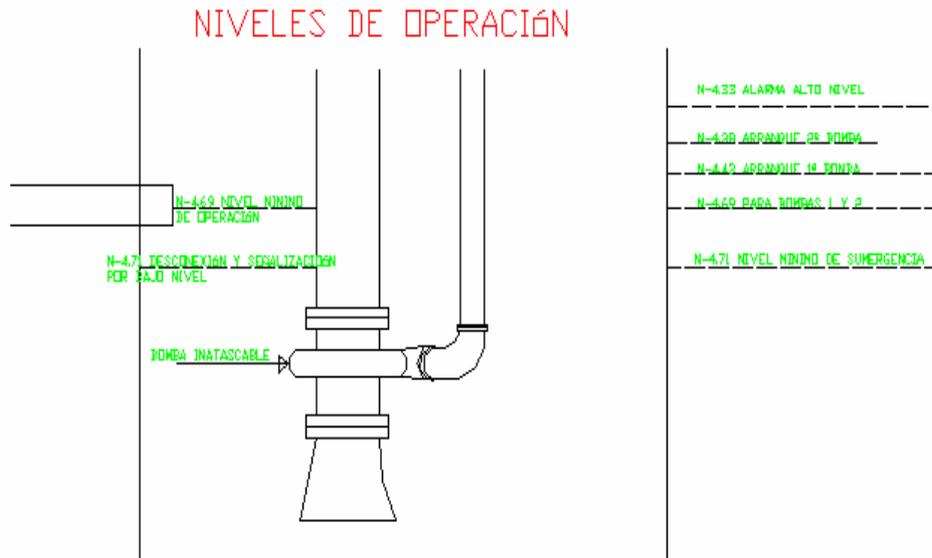


Figura 4.2

#### 4.1.4 Cálculo de las cargas eléctricas y conductores

La iluminación del paso a desnivel para peatones se diseñó en base a luminarias fluorescentes de 2 x 38 watts, 127 volts, 60 Hz; con objeto de garantizar un nivel de 300 luxes, los conductores serán del tipo y características indicadas a continuación, manteniendo una caída máxima de potencial de 3% con respecto al voltaje nominal, como lo indica el artículo 215-3 de la NOM-001-SEDE-1999.

La disposición de las luminarias se realizó en dos hileras, para lograr una adecuada uniformidad de iluminación. Este valor se considera satisfactorio cuando la magnitud del nivel mínimo es 2/3 o más del nivel lumínico máximo.

Cabe mencionar que el IES recomienda que la distancia entre las luminarias y la pared no exceda de la mitad de la distancia existente entre las luminarias. Así mismo la separación máxima entre las unidades fluorescentes no excedió una vez su altura de montaje, ajustándose a las indicaciones de los fabricantes.

#### Sistema de iluminación interior

Información General	
Tipo	Iluminación general
Luminaria	Fluorescente 2 x 38 watts
Nivel lumínico	300 luxes (promedio)
Método de cálculo	Cavidad zonal
Instalación	Sobreponer en techo
Plano de trabajo	Piso

Tabla 4.5

Relación de la cavidad del cuarto

$$RCR = 5H_{RC} \frac{Longitud+Ancho}{longitud \times Ancho}$$

$$L = 50.83m$$

$$H_{RC} = 2.43m$$

$$A = 5.90 m$$

$$RCR = 5 \times 2.43 \times \frac{50.83 + 5.90}{50.83 \times 5.90} = 2.29$$

Relación de la cavidad del techo

$$CCR = 5H_{cc} \frac{Longitud+Ancho}{longitud \times Ancho}$$

$H_{cc} = 0$  (Lámparas sobrepuestas en el techo)

$$CCR = 0$$

Relación de cavidad del piso.

$$FCR = 5H_{fc} \frac{Longitud+Ancho}{longitud \times Ancho}$$

$H_{fc} = 0$  (plano de trabajo igual al piso del paso a desnivel)

$$FCR = 0$$

Notas:

- $CCR=0$  y  $\ell_{cc} =$  Reflectancia seleccionada del techo  $\ell_{cc} = 70\%$
- $FCR= 0$  y  $\ell_{fc} =$  Reflectancia seleccionada del piso  $\ell_{fc} = 10\%$
- La reflectancia de la pared permanece constante  $\ell_w = 50\%$

*Determinación del coeficiente de utilización*

Según la tabla del fabricante y con los siguientes parámetros, se determina el coeficiente de utilización

$$RCR = 2.30$$

$$\ell_w = 50\%$$

$$\ell_{fc} = 20\%$$

$$\ell_{cc} = 70\%$$

$$CU = 0.582 \text{ (para } \ell_{fc} = 20\% \text{ )}$$

$$CU = \frac{0.582}{1.065} = 0.55 \text{ (para } \ell_{fc} = 10\% \text{ )}$$

Factor de mantenimiento = Depreciación de lumens de la lámpara x depreciación por suciedad de la lámpara

$$FM = (LLD) \times (LDD)$$

- Factor de depreciación de los lumens de la lámpara.

Según la tabla 4.6 adjunta, para una luminaria fluorescente de arranque instantáneo, 425 m.a. y periodos de encendido de 18 horas, el factor LLD es igual a 0.85.

Lamp description	LLD factor		
<b>Incandescente</b>			
General servic to 150w	91		
250 to 500w	90		
750 to 1500w	86		
Suber-bowl 200 to 500w	75		
Reflector R40	86		
R52 and R57	81		
Projector PAR 38 to 64	84		
<b>Mercury</b>			
1139.22 KB 175W	85		
1139.22 KC/C 175W	83		
1139.22 KC/W 175W	75		
1137.5 KB 250W	85		
1137.5 KC/C 250W	83		
1137.5KC/W 250W	73		
1133.1 CD 400W	86		
1133.1GL/C 400W	83		
1133.1GL/W 400W	74		
1136.15 GV 1000W	77		
1136.1GW/C 1000W	72		
1136.15 GW/W 1000W	61		
<b>Fluorecent</b>			
	hours	per	start
	6	12	8
Instant Stara 425 ma Stara colors	88	87	85
Inproved color types	88	80	78
Rapd star 430ma Standard colors	87	86	85
Improved-color types	81	80	79
Rapid start 800ma Standart colors	81	79	77
Rapid start 1500 ma Tubular	76	74	72
Others	70	68	64

Tabla 4.6

- Factor de mantenimiento

$$FM = (LLD) \times (LDD)$$

$$FM = 0.85 \times 0.84 = 0.7140$$

- Número de luminarias

$$\text{Numero de luminarias} = \frac{\text{Nivel de iluminacion} \times \text{area}}{\text{lamps por luminaria} \times \text{lumens lámpara} \times \text{coeficiente de utilización} \times \text{factor de mantenimiento}}$$

$$= \frac{27.80 \times 50.83 \times 5.90}{2 \times 3100 \times 0.55 \times 0.71} = 3.4435$$

Por lo que el número de luminarias será 4.

En lo que se refiere al cuarto de máquinas sólo se cuenta con una luminaria por lo que la aportación será de 72 W. En este mismo cuarto sólo contamos con dos contactos dúplex lo cual nos proporciona 400 watts.

Por lo que la carga general del tablero "B" será

$$4 \times 2 = 8; 8 \times 38 = 304 \text{ W}$$

$$\text{Carga total} = 304 + 72 + 400 = 776 \text{ W}$$

$$I_N = \frac{W}{V \times \text{fp}} = \frac{776}{127 \times 0.9} = 6.789 \text{ A}$$

$$I = 6.789 \times 1.25 = 8.48 \text{ A}$$

Sólo tendremos tres conductores activos por canalización, por lo que, el factor de agrupamiento tiene un valor unitario, lo que da como resultado el mismo valor de corriente calculado. En lo que se refiere al factor de corrección por temperatura, tomando una temperatura ambiente entre los 26 y 30 °C según la tabla 310-16 de la NOM-001-SEDE-1999 nos indica un factor de corrección unitario, lo cual nos arroja el mismo valor de corriente mencionado anteriormente. Lo que resta por hacer es un análisis de caída de voltaje.

Con este valor de corriente vemos la tabla 310-16 y tomando la columna de 90°C, el calibre del conductor que es capaz de conducir satisfactoriamente esta corriente es 14 AWG. De esa misma tabla podemos conocer el valor del tamaño nominal el cual es de 2.08 mm<sup>2</sup>.

$$e = \frac{2 \times L \times I \times \sqrt{3}}{S \times E_t} = \frac{2 \times 50.83 \times 8.486 \times 1.73}{2.08 \times 220} = 3.2614$$

$$e\% = \frac{e \times 100}{E} = \frac{3.2614 \times 100}{220} = 1.48\%$$

Como la caída de voltaje es menor al 3 por ciento, podemos concluir que el calibre de cable adecuado para ese tablero es de 14 AWG. Haciendo referencia a la especificación de esa misma tabla (310-16), nuestra protección contra sobrecorriente no debe superar los 15 A.

En lo que se refiere al tablero "A" (en el cual estarán los motores) la carga será:

Dos motores de 3 HP por lo que tenemos

$$1 \text{ HP} = 746 \text{ W} \text{ esto implica } 3 \text{ HP} = 2238 \text{ W}$$

Esto implica que la corriente para ese motor es

$$I_N = \frac{W}{\sqrt{3} \times V \times \text{fp}} = \frac{2238}{\sqrt{3} \times 220 \times 0.9} = 6.53 \text{ A}$$

$$I_c = 6.53 \times 1.25 = 8.16 \text{ A}$$

Lo anterior según la NOM-001, en su artículo 220-3 (a), afectando este valor por agrupamiento y temperatura, tenemos que por tratarse de 6 conductores activos por canalización el factor de corrección es de 0.8 y el factor por temperatura según la tabla 310-16 tomando una temperatura de entre 26 y 30 °C, es unitario, esto es:

$$I_c = \frac{I_a}{F_t \times F_a}$$

$$I_c = \frac{8.16}{1 \times 0.8} = 10.2 \text{ A}$$

Donde:

- F<sub>t</sub> el factor de corrección por temperatura.
- F<sub>a</sub> factor de corrección por número de conductores.
- I<sub>c</sub> Corriente del circuito.

De la misma tabla, tomando la columna de 90°C el calibre del conductor que escogemos es del calibre 14, sin embargo, sabemos que para motores el calibre de los conductores no debe de ser menor que 12 AWG.

El calibre del conductor es de 12 AWG, para cada uno de los motores. La especificación de dicha tabla menciona que la protección no debe superar los 20 A. Para el alimentador de los dos motores la NOM-001 en su artículo 230-24, nos recomienda que los conductores que suministren energía eléctrica a varios motores y/o otras cargas, deben tener una capacidad de conducción de

corriente, cuando menos de la suma de las corrientes a plena carga nominales de todos los motores, más un 25 por ciento de la corriente nominal del motor mayor del grupo, más la corriente nominal de las otras cargas determinadas de acuerdo con lo indicado en el artículo 220 y otras secciones aplicables.

$$I = 8.16 + 6.53 = 14.69 \text{ A}$$

En un principio, el calibre del conductor que puede conducir satisfactoriamente esta corriente sería (según la tabla 310-16) el 14 AWG.

Aplicando los factores de corrección, tendremos tres conductores activos por canalización por lo que el factor de agrupamiento es uno, en lo que se refiere al factor por temperatura de la tabla 310-16, tomando una temperatura de entre 26 y 30 °C obtenemos que el factor es uno, con esto podemos decir que el valor de nuestra corriente es el mismo.

Haciendo el análisis de calidad de tensión, según la tabla antes mencionada, obtenemos que el valor del tamaño nominal del conductor es de 2.082 mm<sup>2</sup>

$$e = \frac{2xLxIx\sqrt{3}}{SxE_l} = \frac{2x1x14.69x1.73}{2.082x220} = 0.11093$$

$$e\% = \frac{e x 100}{E} = \frac{0.11093x100}{220} = 0.0504\%$$

Por lo que dicho calibre es el adecuado, sin embargo, como el valor de corriente es cercano a los 15 A, optamos por que el calibre del conductor sea del número 12 AWG, para mayor protección.

Para el alimentador del tablero general, aplicaremos el artículo 230-24, el cual nos recomienda que el alimentador deben tener una capacidad de conducción de corriente, cuando menos de la suma de las corrientes a plena carga nominales de todos los motores, más un 25 por ciento de la corriente nominal del motor mayor del grupo, más la corriente nominal de las otras cargas. Recordemos que los vectores tienen diferente ángulo, por lo que debemos proceder con álgebra de vectores.

Recordemos que,  $F_p = \cos\Phi$ , esto implica que  $\cos\Phi = 0.9$  entonces,  $\Phi = \cos^{-1}(0.9)$

$$\Phi = 25.84 \text{ grados}$$

Nos interesa la proyección de sobre el eje de las x

$$x = r \cos \Phi ; \quad x = 14.69 \times \cos 25.88 = 13.21$$

$$\text{entonces } I_c = 6.689 + 13.21 = 19.9 \text{ A}$$

La corriente que demanda el circuito es de 19.9 A, al entrar en la tabla de factores de corrección entre temperaturas de 26 a 30 °C., vemos que los factores por agrupamiento y temperatura para nuestro caso son unitarios (porque sólo hay tres conductores activos por canalización).

En la tabla 310-16 podemos ver que el conductor que puede conducir dicha corriente es del calibre 10, el cual tiene un tamaño nominal de 5.26 mm<sup>2</sup>.

Analizando la caída de tensión tenemos

$$e = \frac{2xLxIx\sqrt{3}}{SxE_t} = \frac{2x10x20.97x1.73}{5.26x220} = 0.6269$$

$$e\% = \frac{e x 100}{E} = \frac{0.6269x100}{220} = 0.2849\%$$

Como nuestra caída de voltaje es menor que el 3 por ciento, podemos concluir que el calibre escogido es el adecuado.

#### 4.1.5 Sistemas de fuerza

El sistema de fuerzas dispondrá de alimentación eléctrica a partir del servidor municipal y de la planta generadora, de 150 KVA.

**Nota:** La planta de emergencia alimentará a 15 pasos a desnivel con dos motores de 3 HP dando un total de 90 HP, es por ello de la capacidad de la planta.

- a) Acometida eléctrica: La acometida del servidor municipal se realizará mediante los siguientes elementos:
- Cable armado con forro de plomo BPA 3 x 35 para 175 A de corriente normal y 42.2 mm de diámetro exterior según la norma 2.1950.20 de L y F.
  - Mufa trifásica con cuerpo de fierro fundido, tipo terminal 1-35, norma 2.9180.20, con 35 mm<sup>2</sup> de sección transversal de cable.
  - Tres medidores de energía eléctrica (KWH), monofásico, 127 V, 15 A, tipo S-3B, 2 hilos, kh 1/3.

La alimentación eléctrica desde la planta generadora de emergencia que abastece a los pasos a desnivel para peatones del número 25 al 39, se realizará mediante tres conductores principales calibre 4/0 AWG que se interconectan al tablero de transferencia manual instalado en el cárcamo de bombeo correspondiente.

- b) Tablero de transferencia: La transferencia del sistema del servidor municipal al sistema de generación propia, o viceversa, se realizará mediante un interruptor de seguridad, tipo navaja- doble tiro, 60 A, 220 V.C.A; alojado en el gabinete NEMA-1.
- c) Combinaciones Interruptor-Arrancador: Dos combinaciones interruptor termomagnético, arrancador magnético, tensión completa, adecuado para proteger y controlar los motores eléctricos de 3 HP, 220 volts, 3 fases, 60 hertz. Estos equipos se alojarán en gabinetes metálicos NEMA-1.
- d) Tablero de Distribución y alumbrado: Tablero de alumbrado y distribución tipo NQO, 3 fases, 4 hilos, 14 polos, con interruptor termomagnético general de 3 x 30 A, capacidad interruptiva de 10,000 A, r.m.s. simétricos con gabinete servicio interior NEMA-1.
- e) Conductores: Los conductores serán de cobre suave, cableados con aislamiento de pvc, unipolar, para voltajes de operación de 600 volts, con 90°C de operación, tipo THW.
- f) Canalizaciones: El proyecto consideró el empleo de tubería conduit galvanizada, pared gruesa, roscada en los extremos, fabricada de acuerdo a DGN-j-16-1951, condulets serie ovalada, conectores, tubo flexible a prueba de líquidos y demás elementos que garanticen una instalación confiable.

Se diseño una red de fuerza con el objeto de alimentar las cargas eléctricas propias que se listan a continuación:

- 1) 2 motores eléctricos, inducción, tipo jaula de ardilla, 3 HP, 3 fases, 220 volts, 60 hertz.
- 2) 38 luminarias fluorescentes de 2 x 28 watts. 127 volts, 60 hertz.

El proyecto se realizó de acuerdo a las recomendaciones de la norma NOM-001-1999.

#### 4.1.6 Cálculo de la corriente de Corto Circuito

Método Directo

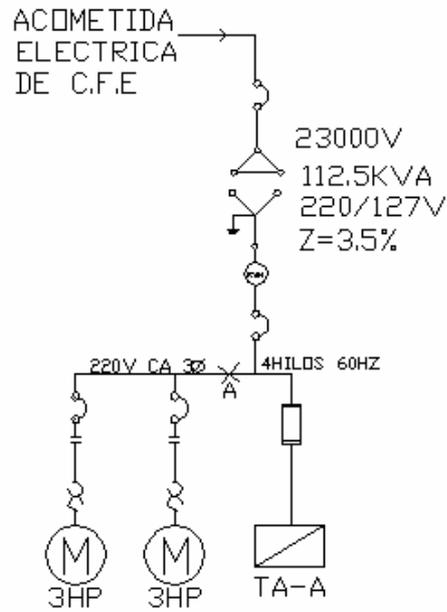
Datos (selección de valores base):

$$S_B = 112.5 \text{ KVA}$$

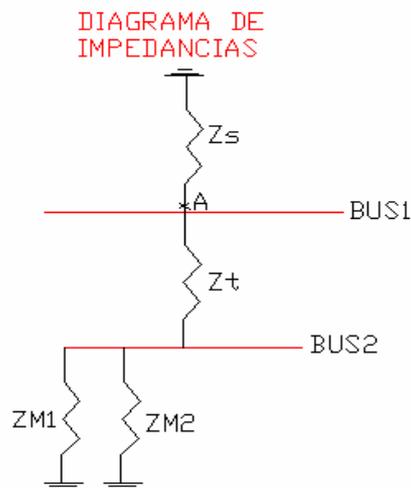
$$V_B = 220 \text{ V}$$

$$V_B = 23 \text{ KV}$$

$$I_{cc} = 300,000 \text{ KVA}$$



Cálculo de la corriente en el punto "A"



Cálculo de la impedancia de la red

$$Z_r = \frac{KVA \text{ BASE}}{KVA \text{ corto circuito}}$$

$$Z_r = \frac{112.5}{300000} = 0.000375$$

Impedancia del transformador de 112.5 KVA sobre los KVA base

$$Z_t = \text{Im pedancia } \% \times \frac{\text{KVA Base}}{\text{KVA Del Transformador}}$$

$$Z_t = .035 \times \frac{112.5}{112.5} = 0.035$$

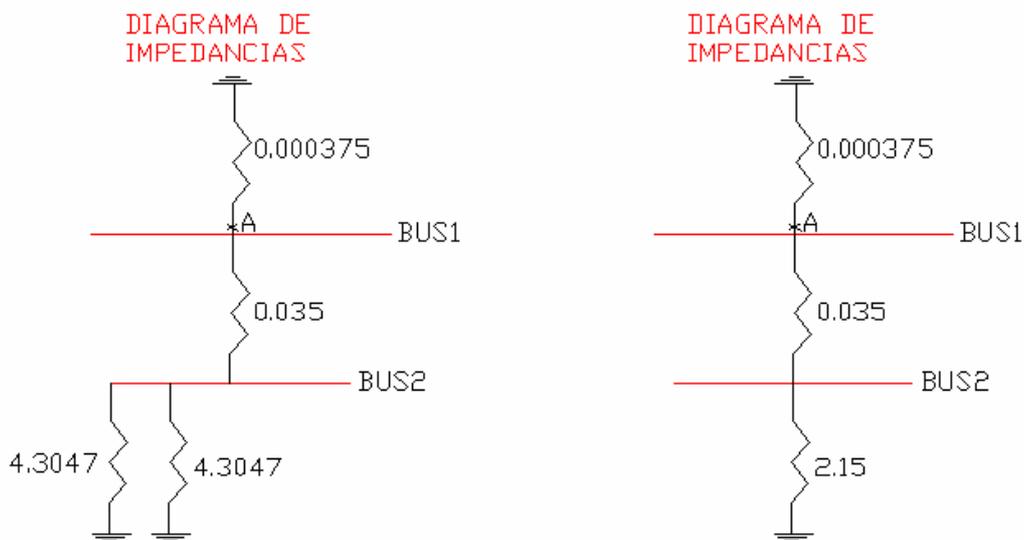
Impedancia de los motores de 3 HP con respecto a los KVA Base

$$Z_m = \text{Im pedancia } \% \times \frac{\text{KVA Base}}{\text{KVA del motor}}$$

Los KVA del motor serán,

$$\frac{3\text{HP} \times 0.746\text{KW}}{\sqrt{3} \times 0.220\text{V} \times 0.9} = 6.5335\text{ KVA}$$

$$Z_m = 0.25 \times \frac{112.5}{6.5335} = 4.3047$$

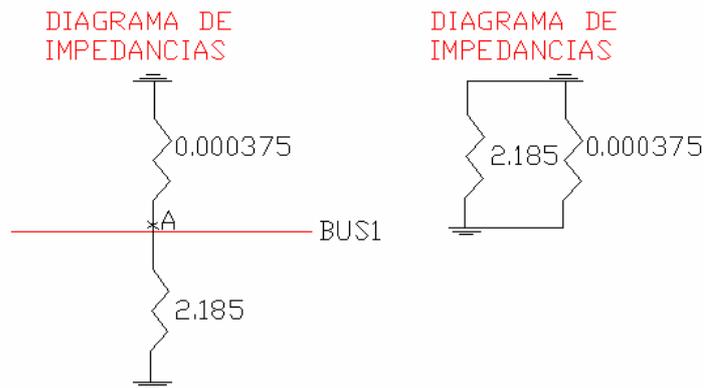


Haciendo la impedancia equivalente de los motores tenemos:

$$Z_{equiv.motores} = \frac{4.3047 \times 4.3047}{4.3047 + 4.3047} = 2.15$$

La impedancia equivalente de los motores y el transformador es

$$Z_{equiv.m,t} = 2.15 + 0.035 = 2.185$$



Haciendo la impedancia equivalente total tenemos

$$Z_{equiv.Total} = \frac{2.185 \times 0.000375}{2.185 + 0.000375} = 0.000374$$

No perdamos de vista que lo importante es conocer la corriente de corto circuito  $I_{cc}$ .

$$I_{pu} = \frac{1}{Z_{equiv. total}}$$

$$I_{pu} = \frac{1}{0.000374} = 2673.79 pu$$

$$I_{cc} = I_{pu} \times I_B$$

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} \times KVB} = \frac{112.5}{\sqrt{3} \times 0.220} = 295.2 A$$

$$I_{cc} = 2673.79 \times 295.2$$

$$I_{cc} = 789304.81 A = 789.304 KA$$

En lo que se refiere al sistema de tierras, no se tendrá un arreglo en especial, ya que todo el equipo, esta instalado sobre una estructura metálica que esta directamente aterrizada.

En el lado del transformador se cuenta con una estrella aterrizada, la cual en el caso de ser necesario, se encarga de llevar la sobre carga a tierra con rapidez.

## 4.2 Paso a Desnivel Vehicular

### 4.2.1 Gasto influente al cárcamo

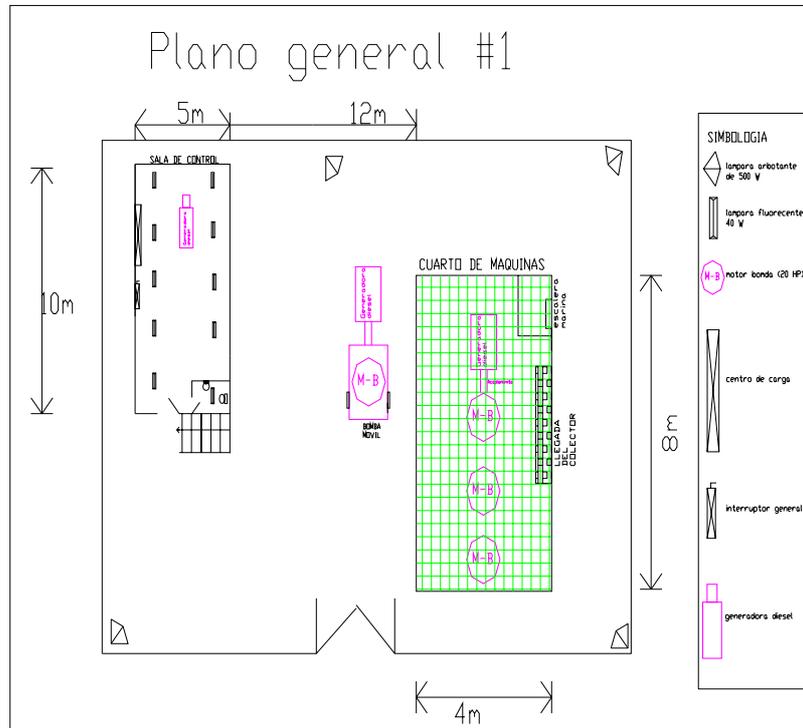


Figura 4.3

Al igual que en el paso a desnivel peatonal, el cálculo del paso vehicular lo realizaremos con el método racional, valiéndonos de la fórmula:

$$Q = KCiA$$

En lo que se refiere al coeficiente de escurrimiento sabemos que:

Calles	Coefficiente de escurrimiento
Asfalto	0.70-0.95
Concreto	0.80-0.95
Ladrillo	0.70-0.85
Andadores	0.75-0.95
Techos	0.75-0.95
<b>Terrenos arenosos:</b>	<b>Coefficiente de escurrimiento</b>
Plano 2%	0.05-0.10
Promedio 2 a 7%	0.10-0.15
Inclinado 7%	0.15-0.20

Tabla 4.7

Tomando en cuenta que la longitud de la tubería es de 80 m y la velocidad del agua sea de 1 m/seg.

$$t_e = \frac{80m}{1m/seg} = 80seg = 1.33 \text{ min}$$

tenemos

$$\begin{aligned} \text{tiempo de concentración} &= 5 + 1.33 \\ t_c &= 6.33 \text{ minutos} \end{aligned}$$

#### *Relación Intensidad, Duración, Frecuencia*

Tomando un periodo de recurrencia de 10 años y el tiempo de concentración calculado anteriormente tenemos:

$$i = \frac{448}{t + 22} = \frac{448}{6.33 + 22} = 15.81 \text{ cm / hora}$$

Considerando una superficie de 300 m<sup>2</sup>, tenemos que la precipitación pluvial es:

$$\begin{aligned} Q &= KCiA \\ Q &= 0.00277 \times 0.95 \times 15.81 \times 300 \\ Q &= 12.48 \text{ litros/seg} \end{aligned}$$

#### *4.2.2 Selección del equipo de bombeo*

a) Gasto de diseño = 100 litros/seg.

b) Carga dinámica total

1) Carga estática

$$\begin{aligned} \text{Cota de descarga} &\quad - 1.00 \\ \text{Nivel min. Cárcamo} &\quad - 5.50 \\ \Delta h &= 4.50 \text{ m} \end{aligned}$$

2) Carga de velocidad

tubería de 10" ø área de la sección transversal = 310 cm<sup>2</sup>

gasto = 100 litros/seg

$$\begin{aligned} v &= \frac{Q}{A} = \frac{0.100}{0.0310} = 3.22 \text{ m / seg.} \\ \frac{v^2}{2g} &= \frac{3.54^2}{2 \times 9.8} = 0.63 \text{ m.c.a.} \end{aligned}$$

En resumen,

Carga estática	4.50 m
Carga velocidad	0.693 m
Presión descarga	1.5 m
Pérdidas por fricción	2.30 m

Esto nos da como resultado una carga dinámica total de diseño

$$CDT = 8.993 \approx 9 \text{ m}$$

En base a lo anterior podemos decir que la potencia requerida por la flecha de la bomba es:

Gasto de diseño:	100 litros/seg
Carga dinámica total:	9 m

la potencia es:

$$Potencia = \frac{Q}{Kx\eta} = \frac{100x9}{76x0.64} = 18.50HP$$

Donde: Q = Gasto en litros/seg.

$\eta$  = Eficiencia (tabla de eficiencias).

k = Constante; 76 para sistema métrico, 3,960 para sistema inglés.

Eficiencias:

Bombas chicas  $\frac{3}{4}$  a 2" 30-50%

Bombas medianas 2  $\frac{1}{2}$  a 6" 50-78%

Bombas grandes más de 6" 70-82%

Esto implica que la potencia del motor deberá ser de 20 HP por ser un valor mayor que el calculado y por ser comercial. Cabe señalar que van a ser tres motores de 20 HP, esto debido a que tenemos un ingreso al cárcamo de 200 litros/seg (y una bomba es capaz de manejar un gasto de 100 litros/seg según el cálculo de la potencia), para casos de mantenimiento se dispondrá de una tercera bomba. En caso de ser necesario, se operarán las tres bombas al mismo tiempo, cabe señalar que, en condiciones extremas se contará con un motor bomba móvil tipo diesel.

#### 4.2.3 Sistema de iluminación interior mediante el método del lumen

##### 1) Cálculo de luminarias en el cuarto de control

Todas las dimensiones se esbozan en el plano general 1. Este método esta basado en la fórmula siguiente:

$$E_m = \frac{F_{lámp} \times CU \times F_{mt}}{L \times A} lux$$

Donde:	Em	Iluminación media en el plano de trabajo.
	N	Número de luminarias.
	Flamp	Flujo luminoso de las lámparas.
	CU	Coefficiente de utilización.
	L	Largo del recinto.
	A	Ancho del recinto.
	Fmt	Factor de mantenimiento total.

Cálculo del número de luminarias:

$$N = \frac{E \times L \times A}{N_{lámp} \times F_{lámp} \times CU \times F_{mt}}$$

Donde:	E	Nivel de iluminación requerido.
	Flamp	Flujo luminoso de las lámparas.
	CU	Coefficiente de utilización.
	L	Largo del recinto.
	A	Ancho del recinto.
	Fmt	Factor de mantenimiento total.
	Nlap	Número de lámparas en cada luminaria.

Por último, debemos conocer la relación de las dimensiones geométricas del recinto conocida como índice local K, dado por la fórmula:

$$K = \frac{axl}{h_m(a+1)}$$

Dando valores a cada una de las fórmulas anteriores tenemos:

$$K = \frac{axl}{h_m(a+1)}$$

$$K = \frac{5 \times 10}{7(5+1)} = 1.19m$$

K	Relación de las dimensiones geométricas del
recinto.	
a	Ancho del recinto.
l	Largo del recinto.
hm	Altura del recinto .

$$N = \frac{E \times L \times A}{N_{lámp} \times F_{lámp} \times CU \times F_{mt}}$$

$$N = \frac{27.80 \times 10 \times 5}{1 \times 300 \times 0.61 \times 0.71} = 10.69$$

Por lo que se requieren 11 luminarias.

$$E_m = \frac{F_{l\acute{a}mp} \times CU \times F_{mt}}{L \times A} lux$$

$$E_m = \frac{27.80 \times 0.61 \times 0.71}{50} \times 300 = 72.24 V$$

2) Cálculo de luminarias en el cuarto de máquinas

$$K = \frac{axl}{h_m(a+1)}$$

$$K = \frac{4 \times 8}{7(4+1)} = 0.914m$$

$$N = \frac{ExLxA}{N_{l\acute{a}mp} \times F_{l\acute{a}mp} \times CU \times F_{mt}}$$

$$N = \frac{27.80 \times 8 \times 4}{1 \times 300 \times 0.61 \times 0.71} = 6.84$$

Por lo que requerimos de 7 lámparas.

$$E_m = \frac{F_{l\acute{a}mp} \times CU \times F_{mt}}{L \times A} lux$$

$$E_m = \frac{27.80 \times 0.61 \times 0.71}{32} \times 300 = 112.87V$$

#### 4.2.4 Cálculo de las cargas eléctricas

Tablero A (iluminación, contactos, servicios generales).

Tenemos 18 lámparas de 38 W entonces son 684 W,

$$I = \frac{W}{V \times fp} = \frac{684}{127 \times 0.9} = 5.984A$$

Tenemos una corriente de 5.984 A, por lo que según la tabla 310-16 el calibre que nos permite una adecuada conducción de dicha corriente es del número 14 AWG con un tamaño nominal de 2.08 mm<sup>2</sup>.

Por el método de caída de voltaje

$$e = \frac{4xLxI}{SxE_n} = \frac{4x16x4.49}{2.08x127} = 1.08$$

$$e\% = \frac{ex100}{E_n} = \frac{1.08x100}{127} = 0.8565 \%$$

El valor anterior nos permite concluir que nuestro calibre es el adecuado. La protección de dicho circuito será de 15 A, según la nota a pie de página de dicha tabla.

### Contactos

Contamos con 12 contactos dúplex, esto nos indica que tenemos 2400 W.

$$I = \frac{W}{Vx\text{fp}} = \frac{2400}{127x0.9} = 20.99 \text{ A}$$

La tabla 310-16 nos da calibre del conductor que podría cumplir lo requerido, que en este caso es el calibre 14 AWG; pero haciendo caso a la NOM-001 y viendo que la regulación de voltaje no cumple con el 3 por ciento en su punto más desfavorable optamos por el calibre 10 AWG con un tamaño nominal de 5.26 mm<sup>2</sup>.

$$e = \frac{4xLxI}{SxE_n} = \frac{4x10x20.99}{5.26x127} = 1.25$$

$$e\% = \frac{ex100}{E_n} = \frac{2.51x100}{127} = 1.97 \%$$

El resultado anterior nos muestra que la elección es la adecuada. Nuestra protección será no mayor a 30 A, esto según la nota a pie de página de la tabla 310-16.

En lo que se refiere a la iluminación exterior se tienen 4 lámparas arbotantes de 500 W cada una, esto da como resultado:

$$I = \frac{W}{Vx\text{fp}} = \frac{2000}{127x0.9} = 17.49 \text{ A}$$

En un principio el calibre que transporta adecuadamente dicha corriente es del número 14 AWG, sin embargo, al analizar la caída de voltaje nos damos cuenta que en el punto más desfavorable, es mayor que el 3 por ciento establecido por la norma; por lo que se opta por el calibre 10 AWG.

$$e = \frac{4xLxI}{SxE_n} = \frac{4x35x17.49}{5.26x127} = 3.66$$

$$e\% = \frac{ex100}{E_n} = \frac{3.66x100}{127} = 2.88 \%$$

En resumen, sumando los valores de las corrientes anteriores tenemos 44.45 A, como corriente de demanda máxima.

*Cálculo de la carga eléctrica del motor (Tablero B).*

Son tres conjuntos motor-bomba, de 20 HP. En los motores, la corriente nominal o de operación es tomada como base para determinar la capacidad en amperes del conductor, para seleccionar la capacidad de los interruptores, así como para las protecciones de sobrecarga, entre otros, todo esto según el artículo 430-6 de la NOM-001-SEIE-1999. Dicha corriente se puede determinar de la siguiente manera:

$$1\text{HP} = 746 \text{ W} \text{ esto implica } 20 \text{ HP} = 14,920 \text{ W}$$

Por lo tanto, tenemos para cada motor

$$I_N = \frac{W}{\sqrt{3}xV_{x\text{fp}}} = \frac{14920}{\sqrt{3}x220x0.9} = 43.50 \text{ A}$$

El resultado nos permite seleccionar la protección adecuada para cada uno de los motores ya que en nuestro caso son de la misma potencia, ahora bien si se tienen más motores, se calcula la corriente nominal de cada uno como lo acabamos de hacer y por último, se suman todas las corrientes nominales de los motores existentes para conocer así lo que llamamos la tensión nominal del circuito.

La corriente nominal de cada motor y la corriente nominal del circuito nos sirven para especificar la sección transversal o calibre del conductor con la capacidad suficiente para alimentar el motor o motores, sin que se presente calentamiento.

Para ello la NOM-001 en su artículo 430-22, nos recomienda que los conductores del circuito derivado para suministrar energía eléctrica a un sólo motor, deben de tener capacidad de conducción de corriente no menor a 125 por ciento de la corriente eléctrica nominal, y debe ser calculada por ampacidad y por caída de tensión.

Por ampacidad  $I_c = I_n \times 1.25$

Donde:  $I_c$  corriente corregida.  
 $I_n$  corriente nominal.

$$I_c = 43.50 \times 1.25 = 54.38 \text{ A}$$

Para corrección por agrupamiento tomaremos el primer valor de la tabla que se muestra a continuación:

Factor de corrección por cantidad de conductores

Cantidad de conductores	factor
3 y menores	1
4 a 6	0.8
7 a 24	0.7
25 a 42	0.6
Sobre 42	0.5

Tabla 4.8

Factor de corrección por temperatura

Temperatura ambiente °C	Factor
Menos de 30	1
Más de 30 hasta 40	0.88
Más de 40 hasta 45	0.82
Más de 45 hasta 50	0.75
Más de 50 hasta 55	0.67
Más de 55 hasta 60	0.58
Más de 60 hasta 70	0.35

Tabla 4.9

$$I = \frac{I_a}{F_t \times F_a}$$

Donde: I Corriente admisible corregida.  
 Fa Factor de corrección por número de conductores.  
 Ft Factor de corrección por temperatura.  
 Ia Corriente admisible por sección del conductor (según tabla).

$$I = \frac{I_a}{F_t \times F_a} = \frac{54.38}{1 \times 0.8} = 67.97 \text{ A}$$

Con este valor entramos a la tabla 310-16 NOM-001 tomando la columna de 90°C, nos damos cuenta que el calibre que permite conducir esta corriente es del número 6 AWG del tipo THHW. De esa misma tabla podemos conocer el tamaño nominal de ese conductor que es igual a 13.3 mm<sup>2</sup>; para saber si este conductor es adecuado hacemos un análisis de caída de tensión.

Por Caída de Tensión.

$$e = \frac{2xLxIx\sqrt{3}}{SxE_t} = \frac{2x19x67.7x1.73}{13.3x220} = 01.52v$$

$$e\% = \frac{ex100}{E_n} = \frac{1.52x100}{220} = 0.69 \%$$

Donde:

- L Es la longitud en metros del centro de carga al punto más desfavorable del circuito.
- I Corriente nominal.
- S Área de la sección transversal del conductor en mm<sup>2</sup>.
- Et Tensión nominal.

El valor que escogimos es del calibre adecuado, ya que la caída de tensión en el punto más desfavorable de nuestro circuito es menos que el 3 por ciento como lo indica la norma.

Sistema	Calibre AWG
Alumbrado interior	14
Alumbrado exterior	10
Contactos	10
Motores	6

Tabla 4.10

En cuanto a la protección contra sobrecarga del motor y circuitos derivados, la NOM-001 en su artículo 430-31, nos recuerda que una sobrecarga de un aparato eléctrico origina una sobrecorriente que, si persiste por un tiempo prolongado, puede dañar o calentar peligrosamente el aparato (esto no incluye a los cortos circuitos ni a las fallas a tierra), para lo cual es necesario instalar dispositivos por separados de sobrecorrientes, que actúen por efectos de la corriente del motor.

Cada motor de servicio continuo, de más de 746 W (1HP) deberá protegerse contra sobrecarga por uno de los medios siguientes (de acuerdo con el artículo 430-32 que nos indica los porcentajes de la corriente de placa a plena carga del motor), como se indica a continuación:

Motores de Factor de servicio indicando no menores de 1.5

$$125 \% \rightarrow I_{pcs} = I_n \times 1.25$$

Motores con indicación de elevación de temperatura no mayor de 40°C.....125%

Todos los demás motores.....115%  $\rightarrow I_{pcs} = I_n \times 1.15$

Donde:

$I_{pcs}$	Corriente de protección contra sobrecarga.
$I_n$	Corriente nominal del motor.

Con el valor de corriente podemos decir que la protección deberá ser de 220 V, 60 ciclos, con una capacidad interruptiva de 70 A.

#### 4.2.5 Cálculo del alimentador del grupo de motores

Recordemos que se trata de tres motores de 20 HP cada uno, por lo que las corrientes nominales son las mismas calculadas anteriormente:

$$I_{\text{Circuito}} = I_{\text{c del motor mayor}} + \sum I_{\text{N todos los motores}}$$

$$I_{\text{Circuito}} = 54.38 + 2(43.50) = 141.38 \text{ A}$$

Como sólo tenemos tres conductores activos por canalización y una temperatura de entre 26-30°C, la NOM-001 en la tabla 310-17 (factores de corrección por temperatura) y en la tabla mencionada anteriormente (factores de corrección por agrupamiento), nos indica que dichos factores son de valor unitario por lo que nuestro valor de corriente es el mismo, esto es:

$$I = \frac{I_a}{F_t \times F_a} = \frac{141.38}{1 \times 1} = 141.38 \text{ A}$$

Con dicho valor podemos ver que el calibre adecuado para esta corriente en un principio según la tabla 310-16 de la NOM-001-SEDE-1999, con una temperatura de 90°C, es de 2/0 AWG, tipo THHW. El tamaño nominal de este calibre según esa misma tabla es de 67.43 mm<sup>2</sup>.

Por caída de tensión:

$$e = \frac{2 \times L \times I \times \sqrt{3}}{S \times E_t} = \frac{2 \times 10 \times 141.38 \times 1.73}{67.43 \times 220} = 0.4157 \text{ v}$$

$$e\% = \frac{e \times 100}{E_n} = \frac{0.4157 \times 100}{220} = 0.1889 \%$$

Con esto podemos decir que nuestro calibre es el adecuado.

En lo que se refiere al cálculo de los conductores que alimentan a los motores y a otras cargas, la NOM-001 en su artículo 430-22, nos manifiesta que los conductores deberán tener la capacidad de conducción de corriente, igual a la suma de las corrientes nominales de todos los motores, más el 25 por ciento de la corriente nominal del motor mayor del grupo, más la corriente nominal de las otras cargas:

$$I_c = I_{nc} + I_{nmm} \times 0.25$$

Donde:

$I_c$	Corriente corregida en amperes.
$I_{nc}$	Corriente nominal del circuito.
$I_{nmm}$	Corriente nominal del motor mayor.

Recordemos que la corriente nominal del circuito la dejamos expresada anteriormente como:

$$I_{nc} = 54.38 + 2(43.50) + I_n \text{ de otras cargas.}$$

Esas otras cargas son el alumbrado, los contactos, etc.

$$I_{nc} = 54.38 + 2(43.50) + 44.464(\cos 25.84)$$

$$I_{nc} = 181.4 \text{ A}$$

Esto implica que el calibre de nuestro alimentador deberá ser del calibre 3/0, según la tabla 310-18 NOM-001-SEDE-1999, con un tamaño nominal de 85.01 mm<sup>2</sup>; con este valor procedemos a calcular la regulación de voltaje.

Por caída de tensión

$$e = \frac{2 \times L \times I \times \sqrt{3}}{S \times E_l} = \frac{2 \times 2 \times 181.4 \times 1.73}{85.01 \times 220} = 0.0672V$$

$$e\% = \frac{e \times 100}{E_n} \quad \%$$

$$e\% = \frac{0.0672 \times 100}{220} = 0.0305\%$$

#### 4.2.6 Cálculo de corriente de corto circuito

### MÉTODO DIRECTO

Datos:

Contribución de la red 350MVA  
 Impedancia del transformador 3.5%  
 Impedancia equivalente de los motores 25%  
 $S_B = 112.5 \text{ KVA}$   
 $V_B = 23000V$   
 $V_B = 220 \text{ V}$   
 Cálculo de la impedancia de la red

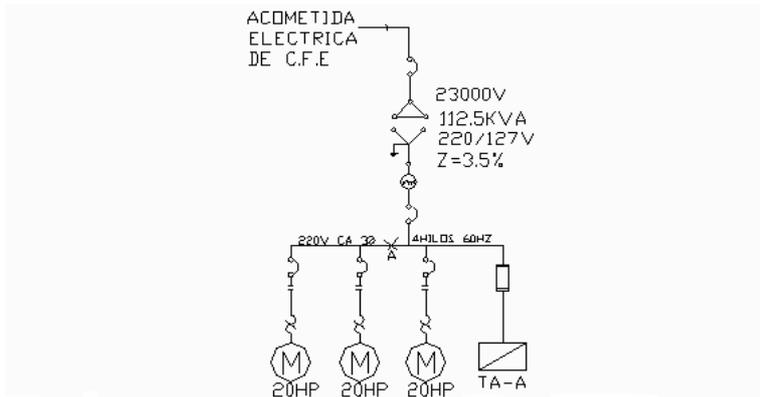


DIAGRAMA DE IMPEDANCIAS

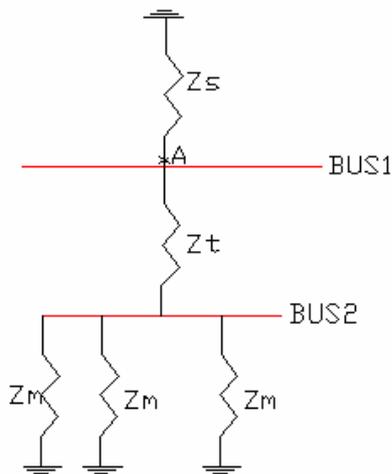
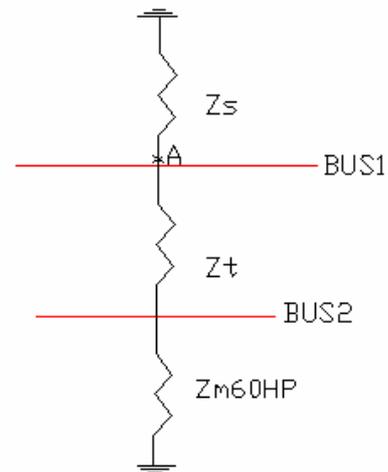


DIAGRAMA DE IMPEDANCIAS



$$Z = \frac{KVBASE}{KVA_{cortocircuito}} = \frac{112.5}{350000} = 0.0003214$$

Impedancia del transformador de 112.5 KVA sobre los KVA base

$$Z_t = \text{Impedancia } \% \times \frac{KVAbase}{KVA_{transf.}} = 0.035 \times \frac{112.5}{112.5} = 0.035$$

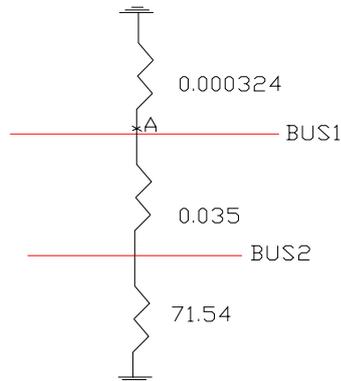
Impedancia de los motores de 20 HP con respecto a los KVA base

Como los motores son menores de 50 HP los podemos agrupar y trabajaremos como si tuviéramos un solo motor de 60 HP.

$$Z_m = 0.083 \times \frac{112.5 \times 10^3}{60 \times 746} = 71.54$$

$$\frac{1}{\sqrt{3} \times 220 \times 0.9}$$

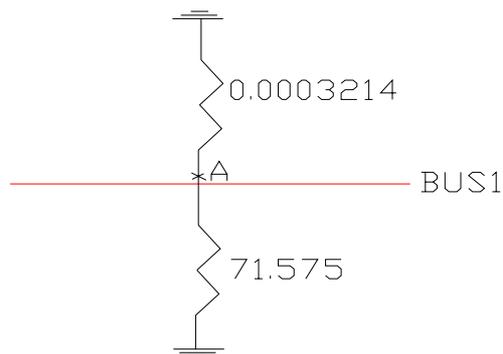
DIAGRAMA DE IMPEDANCIAS



Haciendo la impedancia equivalente de los motores y el transformador

$$Z_{eq\ del\ t\ y\ m} = 71.5 + 0.035 = 71.575$$

DIAGRAMA DE IMPEDANCIAS



Por último, haciendo la impedancia equivalente

$$Z_{equivalente\ total} = \frac{71.575 \times 0.0003214}{71.575 + 0.0003214} = 0.0003213$$

Sabemos que uno de los valores importantes que debemos de conocer es la corriente de corto circuito  $I_{cc}$ .

$$I_{pu} = \frac{1}{Z_{eq}} = \frac{1}{0.0003213} = 3112.35\ pu$$

$$I_{cc} = I_{pu} \times I_B$$

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} \times KVB} = \frac{112.5}{\sqrt{3} \times 0.220} = 295.235\ A$$

$$I_{cc} = 3112.35 \times 295.235 = 918874.652 \text{ A} = 918.874 \text{ KA}$$

#### 4.2.7 Sistema de tierras

El calibre de la red principal se determina por la magnitud de la corriente y el tiempo de flujo, contemplando la elevación de la temperatura máxima posible, la cual será de 250 °C, ya que se consideran conexiones mecánicas.

Los requisitos que se deben de cumplir para el cálculo de la puesta a tierra es:

Tensión de seguridad (Vs).- La tensión que alcanza una carcasa energizada producto de una falla de aislamiento, no debe superar los niveles de tensión que resultan no ser peligrosos para la vida de las personas; a estos niveles de tensión se les denomina tensión de seguridad.

Vs = 65 V; en ambientes secos o de bajo riesgo eléctrico  
Vs = 24 V; en ambientes húmedos o de alto riesgo eléctrico.

Para que una puesta a tierra controle estos potenciales eléctricos de seguridad, es decir, que la tensión que aparece entre una carcasa energizada y la tierra, no supere los niveles de peligro para la vida de las personas, la puesta a tierra debe tener el óptimo valor de resistencia a tierra. La expresión que nos ayudará a lograr eso es:

$$RTP = \frac{Vs}{2.5 \times In}$$

Donde: Vs tensión de seguridad.  
RTP resistencia de la puesta a tierra.  
In Corriente nominal de al protección del circuito.

Para nuestro caso consideraremos un ambiente seco y de bajo riesgo eléctrico.

$$RTP = \frac{65}{2.5 \times 274.42} = 0.09474 \Omega$$

El tiempo de flujo de la corriente de falla a tierra se consideró de 0.5 segundos (aún cuando algunos autores recomienden un valor conservador de 10 segundos), para sistemas de fuerza con dispositivos de protección adecuados.

En nuestro caso nos conformaremos sólo con conocer el valor requerido de la resistencia de la puesta a tierra, puesto que el transformador se encuentra en el poste.

El sistema de tierras constará de tres varillas cooperwel (esto para tener mayor seguridad), ya que al igual que en el caso del paso a desnivel peatonal, todo el equipo de bombeo está sobre una estructura metálica directamente conectada a tierra.

### 4.3 Planta de Bombeo “Gran Canal”

Para los 14 motores de 400 HP, se cuenta con un arreglo de 3 módulos de motores. El primer módulo cuenta con 4 motores, el segundo y tercer módulo con 5 motores cada uno, como se muestra en la siguiente figura:

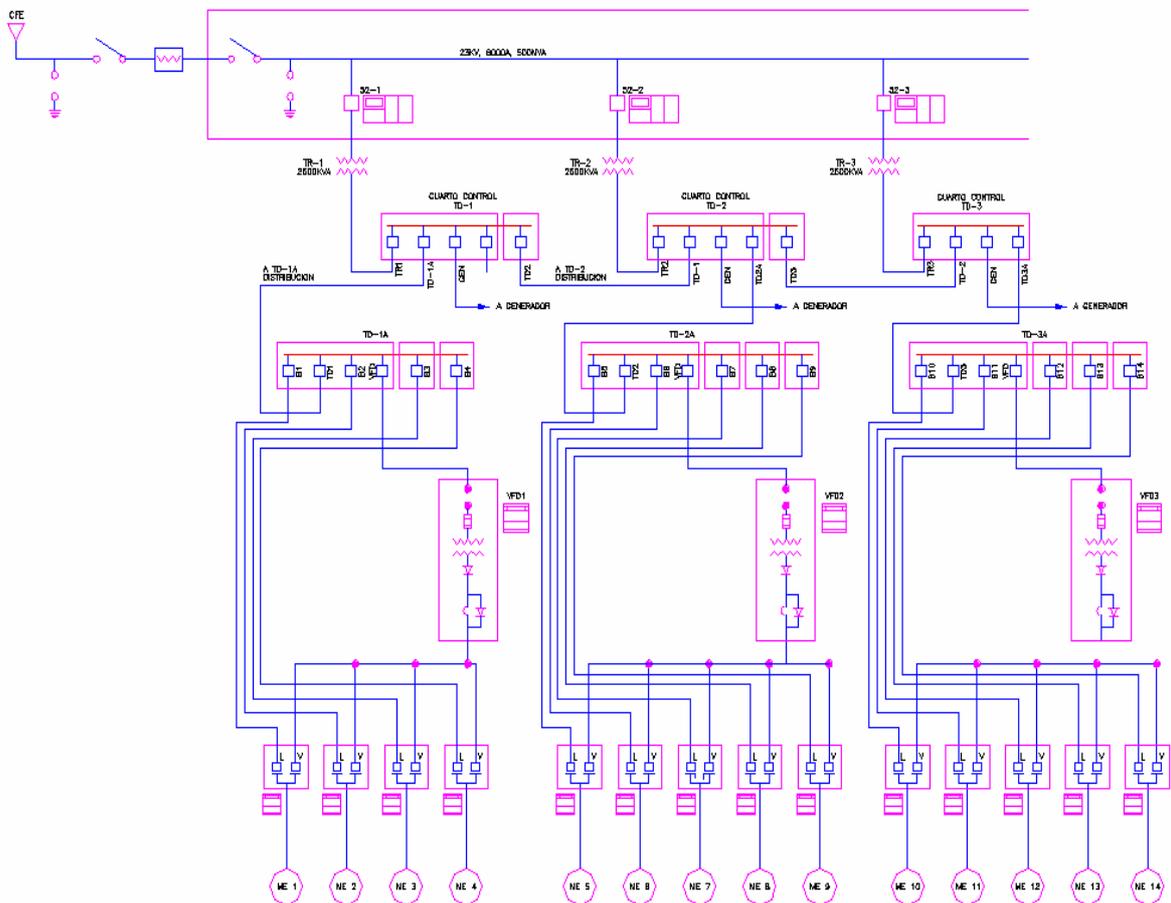


Figura 4.4



Figura 4.5

Calculando el valor de cada motor de 400 HP en KW

$$KW = (0.746) \times (HP)$$

$$KW = (0.746) \times (400) = 298.4$$

Calculando el valor de cada motor de 400 HP en KVA

$$KVA = \frac{KW}{f.p.}$$

$$KVA = \frac{298.4}{0.9} = 331.555$$

El valor de 331.555 KVA corresponde a la potencia de un sólo motor de 400 HP; tomando en cuenta los 14 motores, tenemos:

$$KVA_{Totales} = (14) \times (331.555 KVA) = 4641.77 KVA$$

Cada módulo de motores se alimentará por un transformador. Si llegase el momento en que alguno de ellos quede fuera, ya sea por mantenimiento, falla o contingencia, los dos transformadores restantes tendrán la capacidad de alimentar los 14 motores. Tomando esta consideración, la capacidad en

conjunto de dos transformadores debe ser capaz de soportar la carga de todos los motores.

Por lo tanto, la capacidad de todos los motores es de 4641.77 KVA, por lo que necesitamos una capacidad de 5000 KVA en equipo.

Como se puede observar en el diagrama unifilar de la estación de bombeo, cada módulo de motores se alimenta con un transformador de 2500 KVA y la suma de la capacidad de dos transformadores es suficiente para soportar toda la carga en la situación planteada anteriormente.

De igual manera, la potencia de emergencia necesaria en KW debe ser la suficiente para alimentar a todos los motores.

Cada motor equivale a una potencia de 298.4 KW, por lo tanto,

$$KW_{Totales} = (14) \times (298.4KW) = 4177.6KW$$

Se eligieron dos equipos de generación de emergencia comercial de 2500 KW cada uno para que en conjunto haya 5000 KW.



Figura 4.6

#### 4.3.1 Cálculo de alimentadores y protecciones para los motores

Para calcular el alimentador y protección de los motores se tomaron los siguientes datos:

Primero veremos el funcionamiento simultáneo de los 14 motores para calcular la corriente total necesarias en este caso.

$$I = \frac{HP * 746}{\sqrt{3} * E * N * f.p.}$$

Donde:

I	Corriente en ampers.
HP	Potencia del motor.
746	Factor para convertir HP a watts.
E	Voltaje entre fases.
N	Eficiencia expresada en decimales.
f.p.	Factor de potencia.

Datos del motor

HP	= 400
E	= 4160 V
N	= 94%
f.p.	= 0.75

Al aplicar los valores de N y f.p. se tomaron los valores más bajos, debido a que en la expresión antes mencionada, estos factores son inversamente proporcionales a la corriente, por lo tanto, así obtendremos el valor más alto de corriente en esta situación.

$$I = \frac{(400)(746)}{(1.732)(4160)(0.94)(0.75)} = 58.81A$$

Ahora según el artículo 430-124 de la NOM-001-SEDE-1999

$$I_c = 58.81 \times 1.25 = 73.51 A$$

Como sólo tenemos tres conductores activos por canalización, el factor de corrección por agrupamiento es uno y la temperatura la consideramos de entre 26 y 30 °C; el factor de temperatura es de igual forma unitario, por lo cual nuestro valor de corriente es el mismo. Con dicho valor entramos a la tabla 310-69 NOM-001-SEDE-1999, tomando la columna de 90 °C nos indica un alimentador del calibre 8 AWG tipo mv-90 el cual tiene un tamaño nominal del conductor de 8.367 mm<sup>2</sup>; pero por cuestiones de seguridad escogeremos una calibre 4 AWG tipo mv-90 con una sección nominal de 21.15 mm<sup>2</sup>  
Haciendo un análisis de caída de voltaje tenemos

$$e = \frac{2(1.732)(30)(73.51)}{(21.15)(4160)} = 0.06938$$

$$e\% = \frac{0.06938 \times 100}{4160} = 0.001667\%$$

Como podemos ver, la caída del voltaje en el punto más alejado del circuito es menor que el 3 por ciento, por lo que concluimos que el calibre determinado anteriormente es el adecuado.

#### 4.3.2 Cálculo de la protección de sobrecarga del motor

Según el artículo 430-32 de la NOM-001-SEDE 1999, la corriente eléctrica nominal o de disparo de este dispositivo, no debe ser mayor que los por cientos de la corriente de placa a plena carga del motor.

5	Motores con factor de servicio indicado no-menor a 1.15	125%
6	Motores con indicación de elevación de temperatura no-mayor a 40°C	125%
	• Todos los demás motores	115%

Dado que el factor de servicio en el caso de los motores de 400 HP es de 1.10, el porcentaje que tomaremos será de 115 por ciento.

La capacidad de interrupción de la protección del motor será:

$$I_{proteccion} = 73.51 * 1.15 = 84.53A$$

Se puede escoger un interruptor con una capacidad comercial de 100 A para cada motor, el cual se ubicará en el tablero TD-1A.

Según el artículo 430-24 de la NOM-001-SEDE 1999, la capacidad de conducción de corriente de varios motores debe ser cuando menos la suma de las corrientes a plena carga nominales de todos los motores, más un 25% de la corriente nominal del motor mayor del grupo. Considerando la carga de 5 motores que forman un módulo, tenemos una carga total.

$$I_{total\_motores} = 1.25I_{pc}(motor\_mayor) + \sum I_{pc}(otros\_motores)$$

$$I_{total\_motores} = 73.51 + 4(58.81) = 308.75A$$

Una vez más, se trata de tres conductores activos por canalización y una temperatura de entre 26-30 °C, por lo que ambos factores son de valor unitario y el valor de corriente calculado anteriormente es el mismo.

Para los bancos restantes, por tratarse del mismo número de motores. los cálculos serán los mismos. Esto implica que tanto los calibres de los conductores como de sus protecciones serán los mismos.



Figura 4.7

El cableado de la trayectoria de TD-1A al CCM tendrá la capacidad de conducción no menor a 308.75 A. Según la tabla 310-69 de la NOM-001-SEDE 1999, elegiremos en la columna de 90°C, tipo MV el calibre 3/0 AWG con una capacidad de conducción 320 A.

Se elegirá el conductor de este calibre, dado que el conjunto de cables que parten de TD-1A hacia el CCM son 15 conductores (considerando el módulo de 5 motores y 3 conductores por cada motor), que irán en una sola canalización. Según el artículo 310-15 (nota 8 de la NOM-001-SEDE 1999), cuando el número de conductores activos en una canalización sea de 10 a 20, la capacidad de conducción de corriente se reduce al 50 %.

Considerando la capacidad de corriente del conductor de 3/0 AWG y el factor de agrupamiento, este conductor tendrá la capacidad de 160 A. De igual manera la distancia de esta trayectoria es de aproximadamente de 30 metros.

Calculando la caída de tensión para este conductor,

$$e\% = \frac{2\sqrt{3}LI}{sE_f}$$

Donde:

e%	Caída de voltaje en por ciento.
L	Longitud del conductor en metros.
I	Corriente en amperes, por conductor.
S	Sección del conductor.
Ef	Voltaje entre fases.

$$e = \frac{2(1.732)(30)(73.51)}{(21.15)(4160)} = 0.06938$$

$$e\% = \frac{0.06938 \times 100}{4160} = 0.00166\%$$

Según el artículo 430-124, el cual hace referencia al tamaño nominal de los conductores nos recomienda que, los conductores para alimentar motores deben tener una capacidad de conducción de corriente no-menor al valor para el cual su dispositivo de protección contra sobrecarga es seleccionado para dispararse.

Así mismo, en lo que se refiere a la protección la NOM-001-SEDE 1999 en su artículo, 240-100, nos recomienda que, los alimentadores deben tener un dispositivo de protección contra cortocircuito en cada conductor de fase o cumplir el Artículo 710, Parte C.

El equipo utilizado para proteger los conductores de suministro debe cumplir los requisitos indicados en 710-20 y 710-21. El dispositivo o dispositivos de protección deben ser capaces de detectar e interrumpir corrientes eléctricas de todos los valores que se puedan producir en la instalación por encima de su ajuste de disparo o punto de fusión. En ningún caso la capacidad de corriente eléctrica nominal continua del fusible debe ser mayor que tres veces la capacidad de conducción de corriente del conductor. El ajuste del elemento de disparo con retardo de tiempo de un interruptor o el mínimo ajuste de disparo de un fusible accionado electrónicamente, no debe ser mayor a seis veces la capacidad de conducción de corriente del conductor.

La alimentación del CCM hacia los motores se realizará, con el siguiente cableado (es el que recomienda los cálculos):

El cable flexible tipo tensión media, clase 6 KV, dispondrá cubierta exterior resistente al medio de alojamiento, baja absorción de agua y sello hermético a 20 m de profundidad de inmersión, el conductor de fuerza con sección transversal de 25 mm<sup>2</sup>, tendrá capacidad conductiva de 131 A con

temperatura operación de 70 °C, estando constituido por un conductor de cobre trenzado, aislamiento EPR y cubierta exterior de hule policlorofeno (cr).

Analizando ahora por el método de caída de tensión y tomando en cuenta la distancia más alejada entre el motor y el CCM -que es de 125 metros correspondiente al motor 14-,

$$e\% = \frac{2\sqrt{3}LI}{sE_f}$$

Donde:

e%	Caída de voltaje en por ciento.
L	Longitud del conductor en metros.
I	Corriente en ampers, por conductor.
S	Sección del conductor.
Ef	Voltaje entre fases.

$$e = \frac{2(1.732)(125)(121.38)}{(25)(4160)} = 0.51$$

$$e\% = \frac{0.06938 \times 100}{4160} = 0.00166\%$$

Según el artículo 430-25, la capacidad de conducción de corriente de los conductores que alimenten varios motores en combinación con otras cargas, no debe ser menor que la capacidad de corriente mínima marcada en el equipo de acuerdo con lo indicado en 430-7 (d). Cuando el equipo no viene cableado de fábrica y las placas de sus diferentes partes están a la vista de acuerdo con lo indicado en 430-7(d)(2), el conductor seleccionado debe tener una capacidad de conducción de corriente como se establece en 430-24.

Se puede concluir en esta parte, que el conductor seleccionado cumple tanto en capacidad de conducción de corriente como en la caída de tensión eléctrica.

Según la tabla 310-69 de la NOM-001-SEDE 1999, el conductor que satisface la capacidad de conducción de corriente es el calibre 2 AWG tipo MV-90 con una sección transversal de 33.62 mm<sup>2</sup> y una capacidad de conducción de corriente de 190 A.

Los anteriores cálculos para los cableados de las trayectorias descritas así como para sus protecciones correspondientes, son aplicables para los tres módulos de bombas, puesto que en los tres módulos tenemos motores de la misma capacidad.

En el diagrama unifilar (comienzo del capítulo) se puede ver claramente como funciona el sistema.

Cada módulo de motores se alimentará por un transformador de 2500 KVA. Dado el momento en que alguno de ellos quede fuera ya sea por mantenimiento, falla o contingencia, los dos transformadores restantes tendrán la capacidad de alimentar los 14 motores. Tomando esta consideración, la capacidad en conjunto de dos transformadores debe ser capaz de soportar la carga de todos los motores.

Como se puede observar en el diagrama unifilar de la Estación de Bombeo, cada módulo de motores se alimenta con un transformador de 2500 KVA y la suma de la capacidad de dos transformadores es suficiente para soportar toda la carga en la situación planteada anteriormente.

De igual manera, la potencia de emergencia necesaria en KW debe ser la suficiente para alimentar a todos los motores.

El primer nivel de tableros de distribución (TD-1, TD-2 y TD-3), son alimentados por un transformador de 2500 KVA (TR-1, TR-2 y TR-3) respectivamente.

Los tableros de distribución TD-1, TD-2 y TD-3 están enlazados entre si; TD-1 con TD-2 y TD-2 con TD-3 por medio de las barras generales de cada tablero de tal forma, que al no estar energizado uno de los transformadores, su tablero correspondiente se enlaza y alimenta del tablero contiguo y así la carga total recae en los dos transformadores restantes.

El segundo nivel de tableros de distribución (TD-1A, TD-2A y TD-3A), es alimentado por su correspondiente tablero del primer nivel. El segundo nivel de tableros de encarga de energizar los contactores de los motores de cada modelo y de igual manera energiza el variador de velocidad que controla a los motores de cada módulo.

#### *4.3.3 Cálculo de alimentadores y protecciones del lado secundario de cada transformador*

Para los siguientes cálculos tomaremos en cuenta que el lado secundario de la subestación eléctrica tiene un voltaje de operación de 4160 V, por lo cual los cálculos de todos los alimentadores estarán cubiertos en general por el artículo 236-1 de la NOM-001-SEDE 1999, en la cual se define los cables de media tensión tipo MV monoconductor o multiconductor con aislamiento sólido para tensión eléctrica nominal de 2,001 a 35,000 V.

Para calcular el valor de los alimentadores e interruptor del lado secundario de cada transformador, el cual se alojara en el tablero TD-1, TD-2 y TD-3 respectivamente, tenemos los siguientes datos:

$$I = \frac{VA}{\sqrt{3} * E}$$

$$VA = 2,500,000$$

$$E = 4160V$$

$$L = 20mts$$

$$I_{TR} = \frac{2500000}{1.732 * 4160} = 346.97A$$

Según el artículo 430-24 en el cual se especifica que, los conductores que suministren energía eléctrica a varios motores o a motores y otras cargas, deben tener una capacidad de conducción de corriente, cuando menos de la suma de las corrientes a plena carga nominales de todos los motores, más un 25% de la corriente nominal del motor mayor del grupo, más la corriente nominal de las otras cargas determinadas de acuerdo con lo indicado en el artículo 220 y otras secciones aplicables, así como del artículo 430-25.

$$I_{circuito} = 1.25I_{TR}$$

$$I_{circuito} = 1.25 * (346.97A)$$

$$I_{circuito} = 433.71A$$

El factor de agrupamiento es de 1, cuando el número de conductores activos en un cable o canalización es de hasta tres conductores, según el artículo 310-15 de la NOM-001-SEDE 1999, factor que tomaremos para nuestros cálculos.

Por lo anterior, nuestra corriente es de 433.71 y elegiremos nuestro conductor en base a esta corriente.

Según la tabla 310-67 de la NOM-001-SEDE 1999, tomando la columna de conductores de cobre a 90° tipo MV 90 el conductor que satisface a capacidad de conducción de corriente, es el calibre 350 MCM por fase que tiene la capacidad de 465 A. Por fines prácticos y de seguridad tomaremos dos conductores por fase del calibre 2/0 con 67.43 mm<sup>2</sup> de diámetro, ya que recordemos que estos conductores estarán en tubos y esto hace que la disipación de temperatura sea dificultosa.

Calculando la caída de tensión para este conductor,

$$e\% = \frac{2\sqrt{3}LI}{sE_f}$$

Donde:

e%	Caída de voltaje en por ciento.
L	Longitud del conductor en metros.
I	Corriente en amperes, por conductor.

S Sección del conductor.  
Ef Voltaje entre fases.

$$e = \frac{2(1.732)(20)(250)}{2(67.43)(4160)} = 0.0308$$

$$e\% = \frac{0.06938 \times 100}{4160} = 0.00166\%$$

Según el artículo 430-22 NOM-001-sede 1999, los conductores de alimentadores con un tamaño nominal que evite una caída de tensión eléctrica superior de 3 por ciento en la toma de corriente eléctrica más lejana para fuerza, ofrece una eficacia de funcionamiento razonable.

Además el artículo 430-25, nos indica que la capacidad de conducción de corriente de los conductores que alimenten varios motores en combinación con otras cargas, no debe ser menor que la capacidad de corriente mínima marcada en el equipo de acuerdo con lo indicado en 430-7 (d). Cuando el equipo no viene cableado de fábrica y las placas de sus diferentes partes están a la vista de acuerdo con lo indicado en 430-7(d) (2), el conductor seleccionado debe tener una capacidad de conducción de corriente como se establece en 430-24.

$$I_{protección} = 1.25I_{TR}$$

$$I_{circuito} = 1.25 * (346.97 A)$$

$$I_{circuito} = 433.71 A$$

Comercialmente podemos escoger un interruptor de 500 A, fijos o un interruptor de 630 A ajustándolo al 70 por ciento.

El interruptor colocado en TD-1 que alimenta al tablero TD-1A, el interruptor hacia el generador y el interruptor de enlace entre TD-1 a TD-2 es de la misma capacidad de 500 A.

La alimentación entre TD-1 a TD-1A debe ser de 1 conductores por fase de 350 MCM. Dado que la distancia entre estos tableros es de 10 metros como máximo, la caída de tensión es aún menor que la calculada.



Figura 4.8

#### 4.3.4 Cálculo de la corriente de corto circuito

##### 1) Primer caso (tres transformadores en servicio)



Figura 4.9

Diagrama de impedancias

Datos: 23KV  
 500MVA  
 Transformadores de 2500 KVA  
 Motores de 400HP

Sabemos que la corriente base es

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} * v} = \frac{2.500}{1.73 * 23} = 62.81 A$$

Impedancia del sistema

$$Z_s = \frac{KVBase}{KVAdcortocircuito} = \frac{2500}{500000} = 0.0005$$

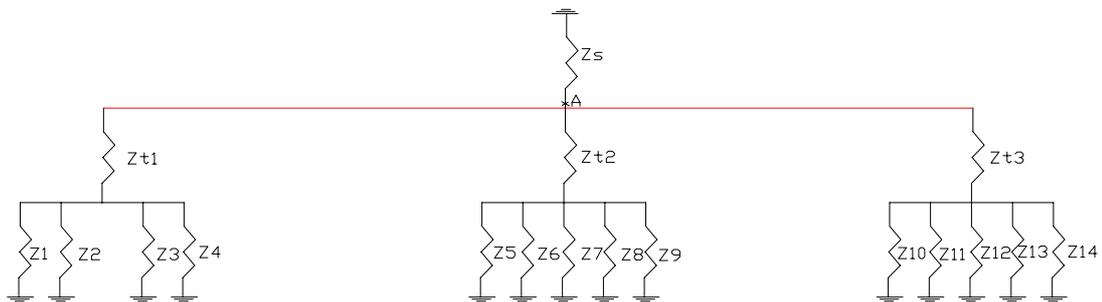
Impedancia del transformador de 2500 KVA sobre los KVA base

$$Z_t = \text{Impedancia}\% \times \frac{KVAbase}{KVAttransf.} = 0.07 \times \frac{2500}{2500} = 0.07$$

Impedancia de los motores de 400 HP con respecto a los KVA base

$$Z_m = \text{Impedancia}\% \times \frac{KVAbase}{KVAmotor.} = 0.24 \times \frac{2500}{331.555} = 1.80$$

Cabe señalar que el transformador T1 = T2 = T3 y que los 14 motores son iguales

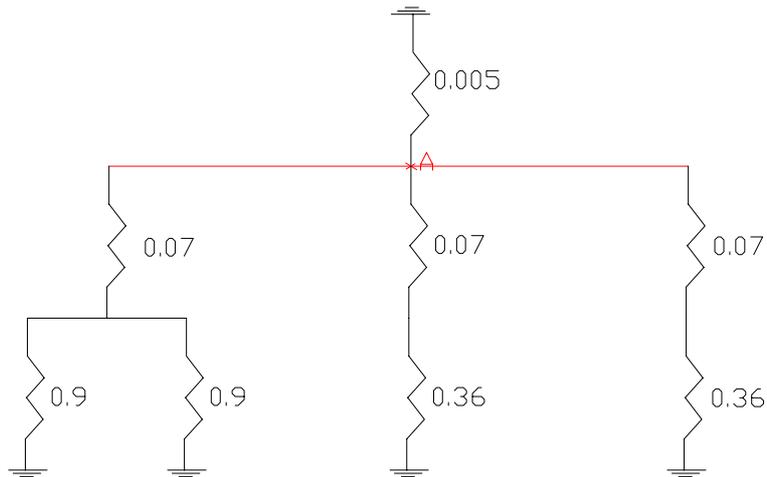


Haciendo las impedancias equivalentes tenemos

$$Z_{eq1} = Z1 \parallel Z2; Z_{eq1} = \frac{Z_1 \times Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{1.8 \times 1.8}{1.8 + 1.8} = 0.9$$

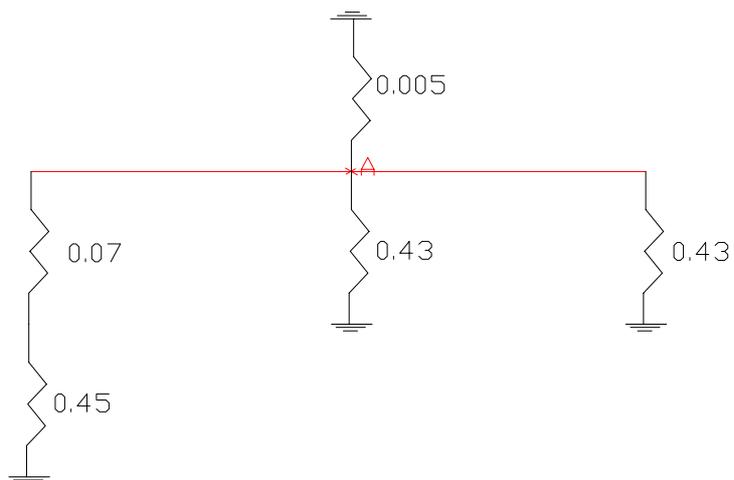
$$Z_{eq} = \frac{0.9 \times 1.8}{0.9 + 1.8} = 0.6$$

$$Z_{eq} = \frac{0.9 \times 0.6}{0.9 + 0.6} = 0.36$$



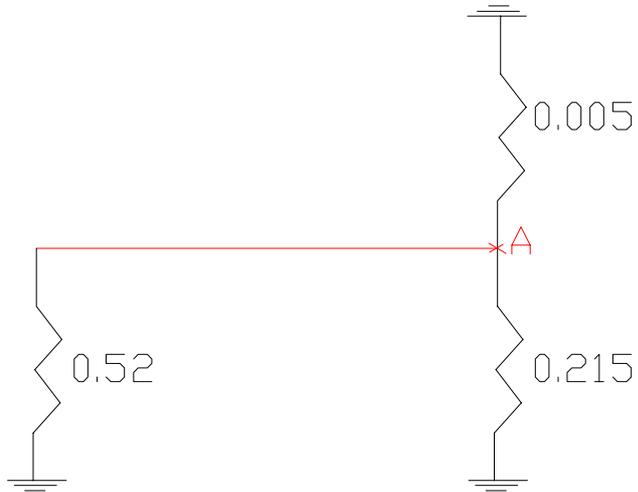
$$Z_{eq} = \frac{0.9 \times 0.9}{0.9 + 0.9} = 0.45$$

$$Z_{eq} = 0.36 + 0.07 = 0.43$$

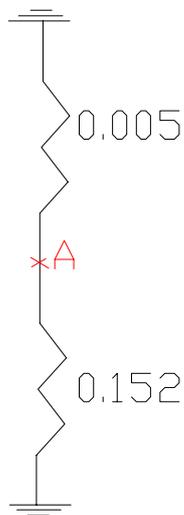


Entonces  $Z_{eq} = 0.07 + 0.45 = 0.52$

$$Z_{eq} = \frac{0.43 \times 0.43}{0.43 + 0.43} = 0.215$$



$$Z_{eq} = \frac{0.215 \times 0.52}{0.215 + 0.52} = 0.152$$



$$Z_{eqt} = \frac{0.005 \times 0.152}{0.005 + 0.152} = 0.00484$$

La corriente de corto circuito  $I_{cc}$  es:

$$I_{cc} = I_{pu} * I_B$$

$$I_{pu} = \frac{1}{Z_{eqt}}$$

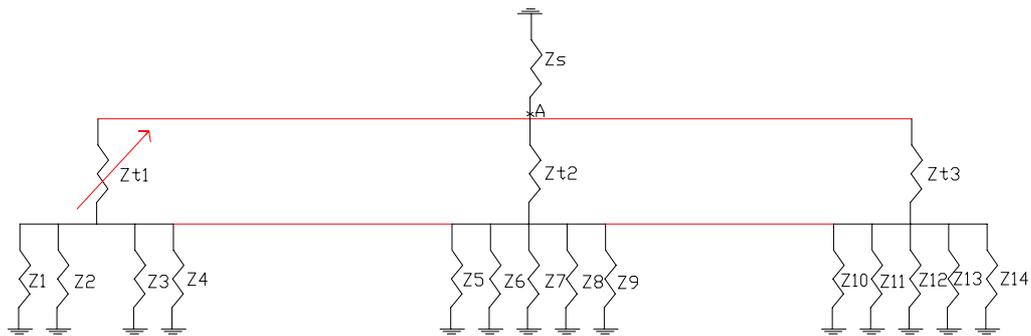
$$I_{pu} = \frac{1}{0.00484} = 206.57$$

$$I_{cc} = 206.57 * 62.81 = 12.97 \text{ KA}$$



Figura 4.10

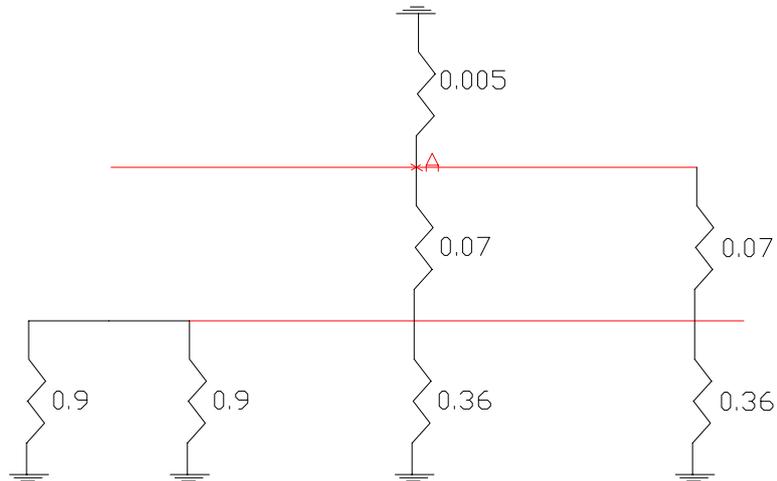
2) Segundo caso (un transformador fuera)



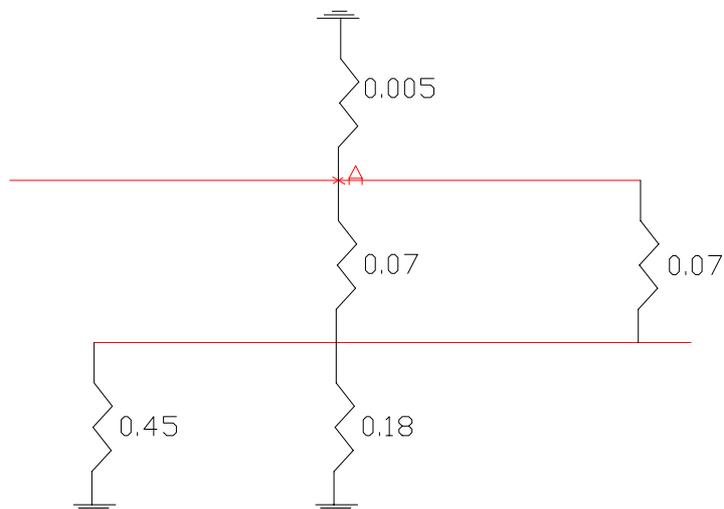
$$Z_{eq1} = Z1 \parallel Z2; \quad Z_{eq1} = \frac{Z_1 \times Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{1.8 \times 1.8}{1.8 + 1.8} = 0.9$$

$$Z_{eq} = \frac{0.9 \times 1.8}{0.9 + 1.8} = 0.6$$

$$Z_{eq} = \frac{0.9 \times 0.6}{0.9 + 0.6} = 0.36$$

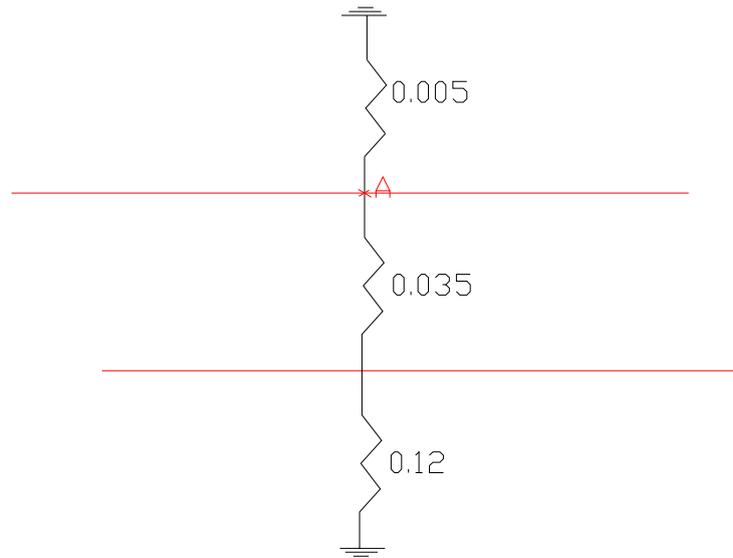


$$Z_{eq} = \frac{0.36 \times 0.36}{0.36 + 0.36} = 0.18$$

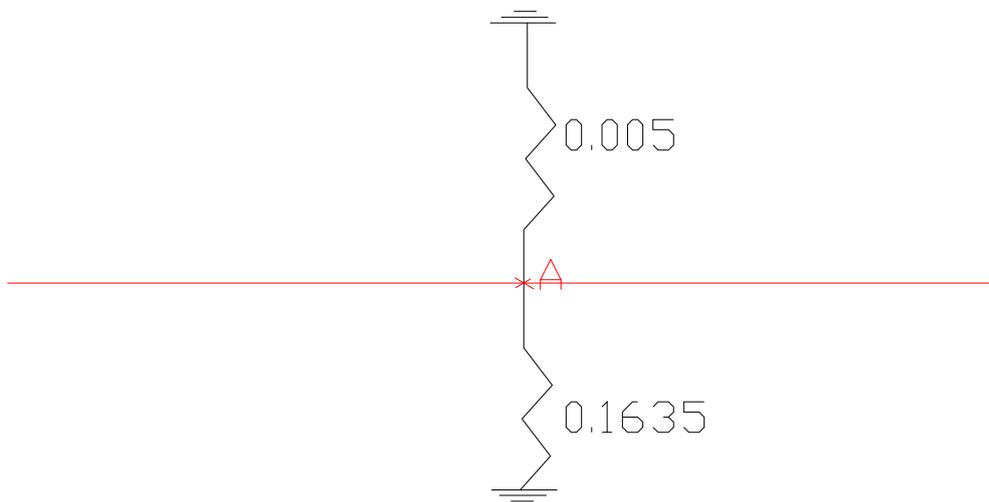


$$Z_{eq} = \frac{0.07 \times 0.07}{0.07 + 0.007} = 0.35$$

$$Z_{eq} = \frac{0.45 \times 0.18}{0.45 + 0.18} = 0.1285$$



$$Z_{eq} = 0.035 + 0.12 = 0.1635$$



$$Z_{eq} = \frac{0.005 \times 0.1635}{0.005 + 0.1635} = 0.00485$$

La corriente de corto circuito  $I_{cc}$  será:

$$I_{cc} = I_{pu} * I_B$$

$$I_{pu} = \frac{1}{Z_{eqt}}$$

$$I_{pu} = \frac{1}{0.00485} = 206.18$$

$$I_{cc} = 206.18 * 62.81 = 12.960 \text{ KA}$$

#### 4.3.5 Red de Tierras

El calibre de la red principal se determinará por la magnitud de la corriente y el tiempo de flujo, contemplando la elevación de temperatura máxima permisible, la cual será 250°C, ya que se considerarán conexiones mecánicas.

El tiempo de flujo de la corriente de falla a tierra se considera de 0.5 segundos.

Es conveniente señalar que pese a las consideraciones teóricas, existen límites prácticos los cuales pueden determinar el tamaño del conductor de la red principal.

Debido a consideraciones de resistencia mecánica, el tamaño de estos conductores no será menor de 2/0 AWG, según el artículo 250-150 y la tabla 250-95.

La verificación de los resultados anteriores se realizó de acuerdo a la expresión siguiente:

$$A = \frac{I}{\sqrt{\frac{\log\left(\frac{tm - ta}{234 + ta} + 1\right)}{33xs}}}$$

I	Corriente en amperes.
A	Sección del cobre, en circular mils.
S	Tiempo en segundos, durante el cual circula la corriente.
tm	Temperatura máxima permisible.
ta	Temperatura ambiente.

$$A = \frac{12.97 \times 10^3}{\sqrt{\frac{\log\left(\frac{250 - 26}{234 + 26} + 1\right)}{33 \times 0.5}}} = 16926.9887 \text{ CM}$$

Por lo tanto, pese a los resultados anteriores, se selecciona un conductor de cobre desnudo calibre 2/0 AWG con sección transversal igual a 133 100 C.M. para satisfacer los requerimientos mecánicos señalados anteriormente.

Resistividad del terreno

Tipo de terreno	Resistividad	
	OHM-cm <sup>3</sup>	OHM-metro
Relleno, escorias, salmuera, desechos.	2300	23
Arcilla, arcilla esquitosa, tierra negra.	4060	40
Grava, arena, piedra	94000	940

Tabla 4.11

### Potencial tolerable entre 2 puntos

Para determinar la longitud de los conductores que forman la malla, se hace uso de la ecuación que limita la tensión de contacto, ya que las tensiones de paso que se obtienen en instalaciones apropiadas son generalmente menores, y además la resistencia en serie con los pies limita la corriente a través de las extremidades inferiores.

### Valores prácticos de potencial

En instalaciones con tamaño de conductores, profundidad de enterramiento y espaciado dentro del rango usual, los valores locales son del siguiente orden de magnitud.

$$E \text{ paso} = 0.15 \ell i$$

$$E \text{ contacto} = 0.8 \ell i$$

$$E \text{ malla} = \ell i$$

- E paso      Tensión de un paso de una distancia horizontal de 1 m, en volts.
- E contacto      Tensión de contacto a una distancia horizontal de 1 m, del conductor de la malla de tierras, en volts.
- E malla      Diferencia de potencial, en volts, del conductor de la malla y la superficie del terreno al centro del rectángulo de la malla.
- $\ell$       Resistividad eléctrica en ohm-metro.
- $i$       Corriente que fluye a tierra por cada conductor enterrado.

### Valores de potencial máximo permisible

$$E \text{ paso} = \frac{165 + \ell_s}{\sqrt{t}}$$

$$E \text{ contacto} = \frac{165 + 0.25\ell_s}{\sqrt{t}}$$

- $\ell_s$       Resistencia del terreno inmediato bajo los pies, en ohm-metro = 23
- $t$       1.2 seg (de acuerdo a la recomendación de C.F.E.)

$$E \text{ paso} = \frac{165 + 23}{\sqrt{1.2}} = 171 \text{ volts (máximo permisible)}$$

- E contacto 154 volts (máximo permisible)
- E paso Diferencia de potencial tolerable, entre dos puntos cuales quiera sobre la superficie de la tierra, los cuales pueden ser tocados simultáneamente por los pies de una persona.
- E contacto Diferencia de potencial tolerable entre dos puntos que una persona puede tocar simultáneamente con una mano.

Prácticamente se estima el valor máximo de 150 volts para ambos casos, como el voltaje tolerable durante un tiempo de 1.3 segundos máximo.

#### *Cálculo de la resistencia del sistema de tierras*

Según Laurent y Nieman el valor de la resistencia de tierra se calcula mediante la expresión:

$$R = \frac{\ell}{4r} + \frac{\ell}{L}$$

- $\ell$  Resistividad del terreno, ohm-metro.
- r Radio en metros de un área circular, conteniendo la misma área ocupada por la red.
- L Longitud total del sistema, incluyendo varillas.

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{6.76}{3.1416}} = 1.47\text{m}$$

$$L = 10.4 + 6.0 = 16.40$$

$$R = \frac{23}{4 \times 1.47} + \frac{23}{16.4} = 3.91 + 1.40 = 5.31\text{ohms}$$

#### *Determinación del número de varillas*

Las varillas deben de instalarse donde los potenciales son mayores, como en las esquinas de la red, para complementar la longitud mínima y para reducir la resistividad del terreno en puntos clave.

El número de varillas se determina en función del área para asegurar una resistencia de la red de 25 ohms máximo. En la práctica en las instalaciones industriales este valor se limita al rango de 1 a 5 ohms.

### Conductividad de una varilla

La conductividad de una varilla se calcula mediante la expresión siguiente, en base a la resistividad del terreno y a las características del electrodo.

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \log e \frac{4L}{a} - 1 \right]$$

$\rho$	Resistividad del terreno
L	Longitud del electrodo = 305 cm
a	Radio del electrodo = 0.80 cm
$\rho$	2300 ohms/ cm <sup>3</sup> = 23ohms-m

$$R = \frac{2300}{2 \times 3.14 \times 305} \left[ \log e \frac{4 \times 305}{.8} - 1 \right] = 7.6 \Omega$$

Por lo que, la conductancia nos resulta =  $\frac{1}{R} = \frac{1}{7.6} = 0.132 \text{ mohs}$

### Conductancia del grupo de varillas

La conductancia del grupo de varillas queda fijada por el valor de resistencia a tierra de la red principal que se desea obtener.

Para este caso se tiene un valor de  $5 \Omega$

$$\text{Conductancia} = \frac{1}{5} = 0.2 \text{ mohs}$$

Por lo tanto, la relación de conductancia =  $\frac{0.20}{0.132} = 1.52$

Área cubierta por todas las varillas = 80 pies<sup>2</sup>

Entrando a la gráfica siguiente con los valores de relación de conductancia y área cubierta, se obtiene que el número de varillas requeridas = 2 (16 mmØ x 3.05 m/long)

Cálculo de la longitud mínima requerida por la red principal.

$$L = \frac{Km \times Kf \times \sqrt{t \times \rho}}{165 + 0.25 \rho_s}$$

L	Longitud del conductor enterrado, en m.
I	Corriente (r.m.s) en amperes que fluye entre la red y la tierra = 11.68 amperes.

t	Duración máxima del shock, en seg. = 0.5 seg.
Kf	Factor para corregir la irregularidad de la corriente que fluye a tierra, desde varias partes de la red.
Km	Coefficiente que toma en cuenta el efecto del número n, espaciamento D, diámetro d y profundidad h de los conductores.
Km x Kf	1.83
ℓ	23ohms-m

$$L = \frac{1.83 \times 11.68 \times \sqrt{0.5 \times 23}}{165 + 0.25 \times 23} = 2.04m \text{ (valor mínimo permisible)}$$

La red de tierra se diseño de acuerdo a lo dispuesto por la NOM-OO1-SEDE-1999, artículo 250.

Se seleccionaron conductores de cobre desnudo, semiduro, trenzado clase "B" ASTM, de calibre adecuado para soportar con seguridad la máxima corriente de falla durante un intervalo de 0.5 seg.

# Capítulo 5

---

## OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE BOMBAS

El principal elemento de una estación de bombeo es la bomba, por lo tanto, al igual que los demás componentes de este equipo, es necesario realizar un estudio bien detallado para de esta forma asegurar su vida útil, y sobre todo el buen funcionamiento del sistema en general. Para lograr esto es necesario seguir los siguientes procedimientos:

- Selección de la bomba.
- Instalación.
- Operación.
- Mantenimiento.

### 5.1 Selección

Para obtener mejores resultados en la selección de una bomba es necesario conocer los siguientes datos:

- Informar al fabricante la naturaleza exacta del líquido que se vaya a manejar, incluyendo el rango de temperatura.
- Revisar las capacidades requeridas.
- Analizar condiciones de succión.
- Analizar condiciones de descarga.
- Informar al fabricante si el servicio es continuo o intermitente.
- Determinar que tipo de potencia es la más adecuada para la unidad motriz si la velocidad debe ser constante o variable.
- Avisar si hay limitantes de espacio.
- Asegurarse de tener un equipo de repuesto.
- Mantener suficientes partes de repuesto en existencia.

### 5.2 Instalación

La instalación del equipo, es el procedimiento más importante, ya que de ésta dependerá su buen funcionamiento, y para lograr esto es necesario seguir los siguientes pasos:

- Instalar el equipo en un lugar seco, limpio y bien iluminado cuando sea posible.
- Los cimientos deben ser rígidos.
- La base debe ser fraguada con lechada de cemento u otro tipo.
- El equipo y la unidad motriz deben alinearse a las condiciones de operación.
- La tubería no debe causar ningún esfuerzo en el equipo.
- Usar la tubería lo más recta posible, especialmente en la entrada.
- Poner válvulas de venteo en los puntos altos de las bombas.
- Instalar manómetros, termómetros, vacuómetros y medidores de flujo adecuados.

### 5.3 Operación

Además de los puntos anteriormente mencionados, es necesario, que el equipo sea operado correctamente de acuerdo a las especificaciones del fabricante, para asegurar de esta forma su máxima eficiencia, por lo tanto, debemos seguir los siguientes pasos:

- Consultar los manuales del fabricante para arrancar y para el equipo.
- Operar el equipo dentro de los rangos de flujo, presiones y temperaturas especificadas por el fabricante.
- No estrangular la succión para reducir la capacidad de la bomba.
- No usar excesivo lubricante.
- Hacer observaciones frecuentes de la operación.
- Parar el equipo si tiene ruidos o vibraciones excesivas.
- Poner a funcionar el equipo de repuesto ocasionalmente para revisar su disponibilidad.
- Establecer programas de inspección semestral o anual.

#### 5.3.1 Procedimiento de operación para bombas tipo vertical con motor eléctrico.

- a) Revisar nivel de aceite en el depósito.
- b) Abrir la esprea de lubricación del gotero.
- c) Accionar el botón de arranque.
- d) Bombear hasta el nivel mínimo de sumergencia.
- e) Accionar el botón de paro.
- f) Cerrar la esprea de lubricación del gotero.
- g) Mantener el nivel de agua bajo, especialmente en la temporada de lluvias.
- h) Alternar el bombeo con el motor Perkins acoplado a la bomba, tanto en temporada de estiaje como de lluvias (cuando se cuente con este equipo).
- i) Para temporada de lluvia mantener el resto del equipo preparado. (motobombas, motores Perkins y generadora).

- j) En caso de falla, apagar el motor y cerciorarse del motivo de ésta; en caso de no encontrar solución, reportarlo al área de mantenimiento.

### 5.3.2 *Procedimiento de operación para bombas tipo vertical con motor a diesel tipo Perkins*

- a) Revisar el nivel de aceite, combustible y agua del radiador antes de arrancar el motor.
- b) Verificar que la palanca de embrague del clutch este desacoplada antes de arrancar el motor.
- c) Pulsar la llave de arranque y al mismo tiempo presionar el botón de paso de combustible localizado a un lado del botón de paro de emergencia en el tablero.
- d) Al arrancar el motor, soltar la llave de arranque, manteniendo el botón de paso de combustible oprimido por unos 15 segundos.
- e) Dejar funcionando el motor durante unos 5 minutos (calentamiento) en bajas revoluciones (500 r.p.m.).
- f) Para bombear, meter la palanca del embrague del clutch uniformemente a bajas revoluciones (500 r.p.m.), y posteriormente ir acelerando el motor hasta llegar a la velocidad de operación (1800 r.p.m.).
- g) Abrir la espera de lubricación de la bomba.
- h) Revisar en el tablero los indicadores de presión de aceite, temperatura de agua y amperímetro.
- i) Al llegar al nivel bajo de bombeo, disminuir (desacelerar) las revoluciones del motor hasta 500 r.p.m. y desacoplar el embrague uniformemente.
- j) Dejar trabajando el motor durante unos 3 minutos y posteriormente apagarlo ya sea con la llave de encendido, la palanca del ahogador o si se requiere, con el botón de paro de emergencia.
- k) Cerciorarse que la llave de encendido queda en la posición de apagado, el foco piloto queda encendido en la posición de encendido, por lo que este deberá estar apagado.
- l) El punto anterior es muy importante ya que de lo contrario se provocará que los acumuladores se descarguen.
- m) En caso de falla, apagar el motor y cerciorarse del motivo de ésta; en caso de no encontrar solución, reportarlo área de mantenimiento.

En temporada de lluvias se deberá de mantener el nivel bajo dentro de los cárcamos, no importando las veces que sea necesario bombear y tener el equipo preparado para evitar perder el control del nivel de agua.

## **5.4 Mantenimiento**

El mantenimiento es la serie de trabajos que deben aplicarse a las instalaciones y equipos existentes, con el fin de conservarlos en condiciones óptimas de servicio, ya sea manteniendo ésta en las condiciones de trabajo especificadas por los

fabricantes de los componentes o reemplazando componentes que hayan rebasado su vida útil, evitando de esta manera afectar a otros elementos por un funcionamiento defectuoso.

Para asegurar la vida útil del equipo es necesario realizar programas de inspección del equipo, y determinar el tipo de mantenimiento necesario, cuando esto suceda se recomienda seguir los siguientes pasos:

- No habrá el equipo para inspección general a menos que el diagnóstico indique que es necesario.
- Tener cuidado al desinstalar el equipo, seguir las instrucciones del manual de operación.
- Cuidar los ajustes de partes metálicas al reacondicionar los equipos.
- Limpiar las superficies internas perfectamente y repintar donde se requiera.
- Usar juntas nuevas en una reparación completa.
- Examinar las partes corroídas o erosionadas.
- Reparar o cambiar las partes sujetas a desgaste a las condiciones adecuadas de servicio.
- Poner especial cuidado al montar baleros anti-fricción o al restaurar las superficies de trabajo de chumaceras.
- Llevar un registro completo de inspección y reparación.

#### 5.4.1 *Mantenimiento preventivo en bombas centrífugas de eje vertical*

Este se efectúa en periodos establecidos de tiempo para prevenir la falla de algún equipo incluyendo:

- Inspección periódica de los equipos para describir las condiciones que conducen a paros imprevistos del servicio.
- Conservar las instalaciones, adaptarlas o repararlas.

<b>Periodo de Mantenimiento</b>	<b>Trabajo a Realizar</b>	<b>Materiales, repuestos y lubricantes indispensables</b>
Diario.	Chequeo de sellos (prensa-estopas) y ajuste.	Formularios. Aceite.
Diario.	Reporte de vibraciones aparentes o estabilidad en el funcionamiento del equipo, y de las condiciones generales de trabajo, así como ruidos anormales.	Depósito de agua. Bandas. Agua destilada.
Diario.	Verificar el voltímetro, operando el selector de fases, la existencia de voltaje entre las fases (220 ó 440	

	Volts). Este instrumento se encuentra generalmente instalado en el gabinete del arrancador.	
Diario.	Verificar el nivel de aceite en el motor y añadir en caso necesario. Si el motor es lubricado con grasa, reengrasar cada semana, expulsando la grasa usada con la inyección de grasa nueva.	
Diario.	Revisar visualmente las conexiones, alambrado y aislamiento en el arrancador. Inspección visual del estado de los cables de fuerza.	
Diario.	Medir el nivel del agua (nivel estático).	
Diario.	Anotar la lectura indicada en el medidor de gasto en el totalizador.	
Diario.	Mantener limpio el motor, el cabezal de descarga, los controles y el área circundante de los equipos.	
Cada 15,000 horas.	Desmontaje integral de la columna y la bomba así como limpieza de todas las partes.	Tuberías de descarga con uniones.
Cada 15,000 horas.	Inspección de todos los elementos de fricción con el eje de la columna y la bomba realizando también el cambio de las partes defectuosas.	Chumaceras. Bushings de hule y bronce. Ejes. Sellos de aceite.
Cada 15,000 horas.	Revisión de los impulsores, anillos de fricción de los mismos y cambio de las partes dañadas.	Anillos de desgaste. Impulsores. Tazones. Prensa-Estopa.
Cada 15,000 horas.	Revisión de los tazones y cambio de estos en caso de ser necesario.	Empaques de válvulas. Pernos y tuercas.
Cada 15,000 horas.	Limpieza de rejillas de succión.	Compuertas de válvulas.
Cada 15,000 horas.	Control de válvulas de entrada, salida y check; reparándolas si fuera necesario.	Pasadores y compuertas para válvulas de check. Vástagos.

Cada 15,000 horas.	Chequeo de las condiciones técnicas de trabajo de los equipos en relación con su diseño y características.	
--------------------	--	--

Tabla 5.1

*5.4.2 Mantenimiento preventivo en bombas centrífugas de eje horizontal*

<b>Periodo de Mantenimiento</b>	<b>Trabajo a Realizar</b>	<b>Materiales, repuestos y lubricantes indispensables</b>
Diario.	Reporte de presiones de descarga y niveles.	Aceite.
Diario.	Control externo y lubricación de cojinetes y baleros por grasa.  Control de sellos.	Formularios. Grasa.
Diario.	Reporte de vibraciones o estabilidad en el funcionamiento del equipo y de las condiciones generales de trabajo.	
Semestral.	Cambio de grasa a los baleros, sin desmontaje, expulsando toda la grasa antigua por presión de un engrasador tipo pistola.	Aceite. Grasa. Empaques. Láminas para alineamiento.
Semestral.	Alineamiento de la unidad bombamotor y reajuste de los pernos de anclaje.	Pernos y tuercas
Semestral.	Verificación de sellos y cambio de empaque, si fuera necesario.	
Cada 3 años.	Desmontaje completo de la bomba.	Ejes. Impulsores.
Cada 3 años.	Lavado y limpieza completa de todas las partes.	Difusores. Bushings. Baleros.
Cada 3 años.	Chequeo del alineamiento y desgastes del eje, (reparación o cambio si fuera necesario).	
Cada 3 años.	Chequeo de impulsores, difusores, bushings, baleros y demás elementos sujetos a desgaste. Reparación o cambio de las partes dañadas.	

Cada 3 años.	Montaje, alineamiento y prueba completa de la unidad.	Aceite Grasa Empaques
Cada 3 años.	Control de válvulas de entrada, salida y check, (reparación o cambio si fuera necesario).	Láminas para nivelación. Pernos de repuesto y tuercas.
Cada 3 años.	Chequeo de las condiciones técnicas de trabajo del equipo en relación con su diseño y características.	Empaques de válvulas. Compuertas de válvulas. Pasadores y compuertas para válvulas.

Tabla 5.2

#### 5.4.3 Mantenimiento preventivo en motores eléctricos de eje vertical

<b>Periodo de Mantenimiento</b>	<b>Trabajo a Realizar</b>	<b>Materiales, repuestos y lubricantes indispensables</b>
Diario.	Verificación de voltajes, amperajes y potencia.	Aceite. Formularios.
Diario.	Comprobación visual de los niveles de aceite en los baleros.	
Diario.	Reporte de vibraciones o estabilidad en el funcionamiento del equipo y de las condiciones generales de trabajo.	
Anual.	Desmontaje completo del motor sacando los baleros y el rotor. Lavado de los baleros, inspección de los mismos, cambio de aceite y/o grasa, (cambio de baleros si fuera necesario).	Baleros. Aceite. Grasa. Solvente industrial. Barniz dieléctrico. Cinta aislante eléctrica.
Anual.	Comprobación eléctrica de las bobinas, limpieza exterior con aire comprimido y solvente industrial, recubriendo con barniz dieléctrico si fuese necesario.	Cables y terminales eléctricas.
Anual.	Montaje, realineamiento y pruebas completas	

Tabla 5.3

5.4.4 Mantenimiento preventivo en motores eléctricos de eje horizontal

Periodo de Mantenimiento	Trabajo a Realizar	Materiales, repuestos y lubricantes indispensables
Diario.	Verificación de voltajes, amperajes y potencia.	Grasa. Formularios.
Diario.	Revisión del calentamiento en los baleros.	
Diario.	Reporte de vibraciones o estabilidad en el funcionamiento del equipo y de las condiciones generales de trabajo.	
Semestral.	Cambio de grasa a los baleros, sin desmontaje, expulsando toda la grasa antigua por presión de un engrasador tipo pistola.	Grasa.
Semestral.	Arranque del equipo para control de sobrecalentamiento de baleros por posible exceso de grasa y control de condiciones eléctricas en general.	
Semestral.	Comprobación de las condiciones generales de trabajo.	
Anual.	Desmontaje completo del motor sacando los baleros y el rotor.	Baleros. Aceite. Grasa.
Anual.	Lavado de los baleros, inspección de los mismos, cambio de aceite y/o grasa, (cambio de baleros si fuera necesario).	Solvente industrial. Barniz dieléctrico. Cinta aislante eléctrica.
Anual.	Comprobación eléctrica de las bobinas, limpieza exterior con aire comprimido y solvente industrial, recubriendo con barniz dieléctrico si fuese necesario.	Cables y terminales eléctricas.
Anual.	Montaje, realineamiento y pruebas completas	

Tabla 5.4

#### 5.4.5 Mantenimiento preventivo en cabezal engranado

Periodo de Mantenimiento	Trabajo a Realizar	Materiales, repuestos y lubricantes indispensables
Diario.	Inspección visual del nivel de aceite y cebado de aceite si fuera necesario.	Aceite.
Diario.	Mantener limpia el área circundante del equipo	
Anual.	Drenaje del aceite y llenado con aceite nuevo sin desmontaje del equipo.	Aceite. Pernos y tuercas.
Anual.	Reajuste general.	

Tabla 5.5

#### 5.4.6 Mantenimiento preventivo en motores de combustión a diesel

Periodo de Mantenimiento.	Trabajo a Realizar	Materiales, repuestos y lubricantes indispensables.
Diario.	Verificación de niveles de agua, aceite y combustible antes de arrancar el equipo.	Aceite. Grasa. Filtros de aceite. Formularios.
Diario.	Lubricación de los puntos desengrase.	
Diario.	Lecturas de amperaje, temperatura, presión de aceite, revoluciones por minuto, registrando estos datos durante el periodo de trabajo.	Aceite. Pernos y tuercas.
Diario.	Verificación de las condiciones generales de trabajo del equipo.	
Diario.	Calculo del número de horas de trabajo a partir del último cambio de aceite. Cambio de aceite y filtro cuando se acumulen 600 horas de trabajo para cada unidad en particular.	
Semanal.	Limpieza y lavado del filtro de aire.	
Mensual.	Drenaje y lavado del tanque de combustible, del agua del radiador con el motor en frío. Lavado de los filtros	

	de combustible.	
Mensual.	Chequeo de la tensión de las bandas del ventilador.	
Trimestral.	Limpieza y calibración de inyectores y válvulas.	Juego de pulverizadores de los inyectores.
Trimestral.	Cambio de filtros de combustible.	Filtros de combustible
Trimestral.	Limpieza de los purificadores de aire.	Juego de cables y terminales. Agua destilada.
Trimestral.	Revisión del sistema de embrague.	
Trimestral.	Revisión integral del sistema auxiliar de arranque.	
Trimestral.	Reajuste de pernos y tuercas del motor.	
Anual.	Mantenimiento preventivo de 3 meses.	Juego de pulverizadores de los inyectores.
Anual.	Esmerilado de válvulas.	Filtros de combustible
Anual.	Descarbonización de los cilindros y pistones.	Juego de cables y terminales. Agua destilada.
Anual.	Chequeo del cilindro, limpieza de los orificios de lubricación del pistón y cambio de anillos o rines, si fuera necesario.	Juntas de la culata. Juntas de los balancines. Juego de anillos o rines.
Anual.	Desmontaje y chequeo del sistema de embrague.	Disco del embrague. Collarín del embrague Conjunto para bomba de agua.
Anual.	Chequeo o cambio del conjunto de la bomba de agua.	
Cada 15,000 horas.	Inspección y reparación completa de la máquina incluyendo el cambio de las partes que se consideren necesarias (overhaul).	Juego de bushings o cojinetes de bancada y de biela. Cigüeñal nuevo o rectificación de este. Juego de cojinetes o bushings para las bielas. Juego de pistones.

		<p>Juego de anillos o rines.</p> <p>Juego de camisas para los cilindros.</p> <p>Juego de válvulas de escape y rectificación de las culatas.</p> <p>Juego de cojinetes del eje de levas.</p> <p>Juego de plunger y bushing para la bomba de inyección.</p> <p>Juego de pulverizadores de los inyectores.</p> <p>Filtro de combustible.</p> <p>Filtros de aceite.</p> <p>Conjunto de la bomba de agua.</p> <p>Conjunto de la bomba de barrido.</p> <p>Disco del embrague.</p> <p>Collarín del embrague</p> <p>Caja de bolas del embrague.</p> <p>Sistema de embrague</p> <p>Conjunto de sellos y juntas para overhaul.</p> <p>Pematex.</p>
--	--	--

Tabla 5.6

5.4.7 *Mantenimiento preventivo en subestación eléctrica*

Periodo de Mantenimiento.	Trabajo a Realizar	Materiales, repuestos y lubricantes indispensables.
Diario.	<p>Cambio de fusibles o interruptores generales de alta tensión con mantenimiento de cambio de aceite; que puedan controlar los dispositivos de arranque.</p> <p><i>Nota.</i> El operador debe ser especialmente entrenado y advertido del peligro del alto voltaje.</p>	<p>Guantes aislados para alto voltaje.</p> <p>Varilla de desconexión aislada con gancho especial.</p>
Semestral.	<p>Cambio de fusibles o interruptores generales de alta tensión con</p>	

	mantenimiento de cambio de aceite; que puedan controlar los dispositivos de arranque.	
Semestral.	Comprobación dieléctrica y acidez del aceite.	Aceite de transformador.
Semestral.	Medición a tierra.	Deshidratador.
Semestral.	Revisión del deshidratador.	Terminales.
Semestral.	Revisión de los cepos de conexión y limpieza.	Cepos.
Semestral.	Revisión y limpieza de cajas de corto circuito y aparta rayos.	Fusibles.
Semestral.	Revisión y limpieza de las líneas de transmisión eléctrica.	
Cada 3 años	Cambio de fusibles o interruptores generales de alta tensión con mantenimiento de cambio de aceite.	
Cada 3 años.	Revisión de contactos y cambio de estos en caso de ser necesario. Deben tener contador de interrupciones.	
Cada 3 años.	Mantenimiento de 1 año.	
Cada 3 años.	Cambio de aceite dieléctrico si es necesario.	Aceite de transformador.
		Deshidratador.
		Terminales.
		Cepos.
		Fusibles.

Tabla 5.7

*5.4.8 Mantenimiento preventivo en unidades de arranque*

<b>Periodo de Mantenimiento</b>	<b>Trabajo a Realizar</b>	<b>Materiales, repuestos y lubricantes indispensables</b>
Diario.	Control del nivel de aceite dieléctrico en la caja de arranque.	Aceite dieléctrico. Cartuchos de fusibles de repuesto.

Diario.	Revisión o cambios de fusibles del interruptor de seguridad, (cuando sea necesario).	
Semestral.	Revisión de contactos.	Contactos.
Semestral.	Revisión de elementos térmicos, metálicos y de aceite.	Elementos térmicos. Relays de tiempo. Fusibles.
Semestral.	Revisión de bobinas.	
Semestral.	Revisión de sistema mecánico.	
Semestral.	Cambio opcional del aceite dieléctrico o del elemento térmico.	
Semestral.	Regulación del tiempo de arranque.	
Semestral.	Control del interruptor de seguridad, revisión y cambio de fusibles, (cuando sea necesario).	
Semestral.	Revisión de los cables de entrada y salida.	
Anual.	Mantenimiento de 6 meses.	Aceite dieléctrico (de transformador).
Anual.	Cambio obligatorio de aceite dieléctrico.	Contactos. Elementos térmicos. Relays de tiempo.

Tabla 5.8

Los mantenimientos preventivos en plantas generadoras de emergencia operadas por motores a Diesel, así como sus diversos componentes, se deberán efectuar de acuerdo al siguiente procedimiento:

- *Inspección del grupo electrógeno*

Durante el funcionamiento, estar alerta a cualquier problema mecánico que podría crear una condición insegura o peligrosa. Las siguientes secciones abarcan las distintas áreas que deberán revisarse con frecuencia para asegurar que la unidad continúa funcionando en una manera segura.

- *Sistema de escape*

Con el grupo electrógeno funcionando, inspeccionar visual y audiblemente todo el sistema de escape incluyendo el múltiple, silenciador y tubo de escape. Revisar todas las conexiones, soldaduras, empaquetaduras y juntas en busca de fugas y asegurarse que los tubos de escape no calienten demasiado las zonas circundantes. Si se detecta alguna fuga, apagar el generador y corregirla inmediatamente.

¡Advertencia!: La inhalación de gases de escape podría causar graves lesiones personales o la muerte. Asegurarse de entubarse todo el gas de escape venenoso para ser desalojado hacia el exterior y lejos de las ventanas, puertas u otras entradas al lugar de trabajo.

- *Sistema de lubricación*

El sistema de lubricación del motor debe llenarse y cebarse con aceite de la clasificación y viscosidad recomendadas por el fabricante.

- *Nivel de aceite del motor*

Revisar el nivel de aceite durante los periodos de parada del motor a los intervalos especificados en la tabla de mantenimiento. La varilla de medición tiene marcas de nivel alto y bajo para indicar el nivel de aceite en el cárter. Para obtener lecturas precisa, apagar el motor y esperar 15 minutos antes de revisar el nivel de aceite. Esto permite que el aceite en la parte superior del motor se vacíe de vuelta al cárter. (Cárter: Parte de la caja que envuelve los principales elementos del motor y cuya base se emplea como deposito de aceite para engrase).

¡Advertencia!: La presión formada en el cárter podría expulsar aceite caliente y provocar quemaduras. No revisar el aceite mientras el grupo electrógeno está funcionando.

- *Cambio de aceite y filtro*

Cambiar el aceite y los filtros a los intervalos recomendados en la tabla anterior. Usar un aceite que cumpla con los requerimientos de viscosidad. Para esta operación debe seguir estos pasos:

- 1) Arrancar el motor y dejar que llegue a la temperatura de funcionamiento.
- 2) Apagar el motor. Asegurarse que el interruptor de arranque automático está en la posición OFF y que el cable negativo (-) de la batería esté desconectado para evitar que haya un arranque inesperado durante este procedimiento.

- 3) Sacar el tapón de drenaje de aceite o abrir la válvula de drenaje y drenar el aceite en un recipiente adecuado. Una vez que se vacíe todo el aceite, volver a colocar el tapón de drenaje de aceite a 81-95 N-m.
- 4) Destornillar los filtros de aceite y botarlos.
- 5) Aplicar una capa delgada de aceite en la superficie de sellado de los filtros nuevos y llenarlos con aceite nuevo y limpio.
- 6) Colocar los filtros y girarlos a mano 2/3 de vuelta después de que el sello toque la superficie de sellado del soporte. No apretarlos demasiado.
- 7) Llenar el cárter con la cantidad de aceite necesario para llenar a la marca alta de la varilla de medición.
- 8) Volver a conectar el cable negativo (-) de la batería. Arrancar el motor y buscar fugas de aceite.
- 9) Apagar el motor, esperar 15 minutos y revisar el nivel de aceite. Agregar aceite si fuese necesario.

¡Advertencia!: La presión formada en el cárter podría expulsar aceite caliente y causar graves quemaduras. No revisar el aceite mientras el grupo electrógeno esté funcionando.

Mantener el nivel de aceite lo más cerca posible de la marca alta en la varilla de medición. Quitar la tapa de llenado y agregar aceite de la misma marca y clasificación cuando sea necesario.

¡Precaución!: No hacer funcionar el motor con el nivel de aceite debajo de la marca baja ó sobre la marca alta. Al sobrellenar el cárter, se podría formar espuma a una mezcla de aire con el aceite. El funcionamiento con un nivel inadecuado de aceite podría resultar en una pérdida de presión de aceite.

- *Sistema de enfriamiento*

Hay que llenar el sistema de enfriamiento (radiador) antes de hacer funcionar la unidad. La capacidad del sistema de enfriamiento en litros varía de acuerdo a la capacidad a la planta en KW.

- *Nivel del refrigerante*

Revisar el nivel de refrigerante durante los periodos de parada intervalos especificados en la tabla de mantenimiento. Sacar la tapa del radiador, después de dejar que el motor se enfríe y si es necesario, agregar refrigerante hasta que el nivel este cerca de la parte superior del radiador. Usar una solución refrigerante que cumpla con los requerimientos del fabricante.

¡Advertencia!: El contacto con el refrigerante caliente puede causar graves lesiones de quemaduras en la piel. Dejar que el sistema se enfríe antes de liberar la presión y quitar la tapa del radiador.

¡Precaución!: El dispositivo de parada por alta temperatura del motor apagará el motor solamente si el nivel de refrigerante está lo suficiente alto para tocar el interruptor de corte. Una pérdida de refrigerante permitirá al motor sobrecalentarse sin la protección del dispositivo de corte y podría resultar en daños serios al motor. Por lo tanto, es esencial mantener un nivel adecuado de refrigerante para asegurar el funcionamiento del sistema de enfriamiento y del dispositivo de parada por alta temperatura.

- *Requerimientos del refrigerante*

El agua usada para enfriar el motor debe ser limpia, con bajo contenido mineral y sin ningún químico corrosivo, tal como cloruro, sulfato o ácido. Por lo general, cualquier agua que sea adecuada para beber puede procesarse para usarse como refrigerante del motor.

- *Sistema de combustible*

Con el grupo electrógeno funcionando, inspeccionar los conductos de suministro de combustible, los conductos de retorno, los filtros y los adaptadores en busca de fugas. Revisar las secciones flexibles por si tuvieran cortes, grietas y abrasiones y asegurarse que no estén frotando contra ninguna parte del motor a su alrededor que podría causar rotura. Si se detecta alguna fuga, corregirla de inmediato.

¡Advertencia!: La inflamación del combustible puede causar lesiones corporales graves o la muerte. No permitir llamas, cigarrillos u otro material inflamable cerca del sistema de combustible.

El motor ha sido diseñado principalmente para funcionar con combustible diesel centrifugado No. 2, ya que este combustible tiene un contenido energético mayor y generalmente es más barato. El motor también funcionará satisfactoriamente con combustible No. 1 u otros similares si cumplen con las mismas especificaciones.

Se deben tomar las precauciones necesarias para impedir la entrada de suciedad, agua u otros contaminantes al sistema de combustible. Filtrar o colar el combustible a medida que se llena el tanque a  $\frac{3}{4}$  de su capacidad.

Para evitar problemas de condensación, mantener los tanques a  $\frac{3}{4}$  de su capacidad y mantenerlos a su nivel cada vez que se use el motor. En tiempo de frío, el combustible caliente que regresa de los inyectores calienta el combustible en el tanque. Si el nivel de combustible está bajo, la porción superior del tanque tiende a formar condensación. Durante el tiempo caluroso, el combustible y el tanque se calientan durante el día. Durante la noche, el aire fresco tiende a bajar la temperatura del tanque con más la rapidez que la del combustible. Si el nivel de combustible es bajo, la porción superior del tanque se enfría más rápido y tiende a condensar la humedad.

La condensación (agua) puede obstruir los filtros de combustible y también causar problemas de congelación. Además, el agua que se mezcla con el azufre del combustible forma ácidos que corroen y dañan las piezas del motor.

- *Filtros de combustible*

Se usan filtros de combustible tipo atornillable y desechable. Llenar los filtros nuevos con combustible diesel y lubricar las juntas con el mismo combustible. Instalar y apretarlos a mano hasta que la empaquetadura toque apenas el cabezal del filtro, luego, apretarlos a tres cuartos de vuelta adicional.

- *Filtro de aire*

Los componentes de admisión de aire deben revisarse en el intervalo especificado en la tabla de mantenimiento. Las condiciones ambientales generalmente determinan la frecuencia de las revisiones. Los filtros de aire normales y para servicio severo tienen un elemento de papel que puede limpiarse y volverse a usar sino está dañado. Botar el filtro y usar uno nuevo si está dañado.

Para dar servicio al filtro de aire:

- Aflojar los sujetadores y sacar la tapa del extremo de la caja del filtro.
- Sacar el elemento filtrante de la caja.
- Para limpiarlo, sopletear con aire comprimido a baja presión (30 Lb./pulg.<sup>2</sup>) a través del elemento, desde el lado limpio. Para evitar dañar el elemento, mantener la boquilla de aire a una distancia de por lo menos 25 m.m., (1 pulgada) del papel.
- Colocar el filtro en una solución de agua y solvente Donalds Sons D1 400 (o solvente equivalente) para quitar el hollín, carbón y mugre.
- Enjuagar el elemento con agua limpia (a baja presión) y sacarlo al aire. No sopletearlo con aire comprimido. Volver a instalarlo cuando está seco. Para evitar reducir el flujo de aire, cambiar el filtro después de limpiarlo dos veces.

¡Precaución!: Mantener los filtros de aire con cuidado para evitar dañarlos. Si se daña un filtro de aire, instalar la pieza de repuesto recomendada.

- *Sistema eléctrico de C.A.*

Revisar los siguientes cuando el grupo electrógeno está funcionando, de otra manera, medir las líneas de carga L1, L2 y L3 usando el medidor de CA correspondiente.

- *Frecuenciómetro*

La frecuencia del generador debe estar estable y la indicación debe igualar el valor especificado en la placa de identificación.

- *Voltímetro C.A.*

Mover el selector de fase a cada posición de fase integral indicada en la escala de voltaje (L1-L2, L2-L3 y L3-L1). Leer la escala alta o baja. Cuando la unidad está sin carga, el (los) voltaje(s) interlineal(es) debe(n) igualar el valor especificado en la placa de identificación.

- *Amperímetro C.A.*

Mover el selector de fase a cada posición de fase indicada en la escala de amperaje (L1, L2 y L3). Leer la escala alta o baja del amperímetro según el indicador de escala alta / baja. Cuando la unidad está sin carga, la indicación debe ser cero. Cuando hay una carga conectada las corrientes de línea deben ser casi iguales.

- *Sistema eléctrico de C.C.*

Revisar que los bornes de la batería estén limpios y que las conexiones estén apretadas. Las conexiones sueltas o con corrosión crean resistencia que podría impedir el arranque. Limpiar y volver a conectar los cables de la batería si están sueltos. Siempre desconectar ambos extremos del cable negativo de la batería. Volver a conectar un extremo del cable al borne negativo de la batería y el otro a tierra. Esto hace que cualquier arco que se forma pasará fuera de la batería y reduce la posibilidad de encender los gases explosivos de la batería.

*¡Advertencia!:* El encendido de los gases explosivos de la batería podría resultar en graves lesiones personales. No fumar mientras se de servicio a las baterías.

*¡Advertencia!:* El arranque inesperado del grupo electrógeno podría resultar en graves lesiones personales o la muerte. Colocar el conmutador de control en la posición stop y desconectar el cable de la batería antes de inspeccionar el grupo electrógeno.

Con el grupo electrógeno parado, revisar si hay correas o conexiones sueltas, empaquetaduras y mangueras con fugas o cualquier señal de daño mecánico. Si se encuentra un problema, corregirlo de inmediato. Con el grupo electrógeno funcionando, escuchar si hay algún ruido anormal que pueda indicar problemas mecánicos y revisar con frecuencia la presión de aceite.

- *Acumulador*

Revisar la condición del acumulador al intervalo especificado en la tabla de mantenimiento. Asegurarse que las condiciones estén bien apretadas y limpias. Una ligera capa de grasa no conductiva retardará la corrosión de los bornes. Agregar agua destilada para mantener el electrolito al nivel correcto sobre las placas.

Revisar la gravedad específica con un hidrómetro y recargar el acumulador si la indicación es inferior a 1,260.

¡Advertencia!: El encendido de los gases explosivos del acumulador puede resultar en graves lesiones personales. No fumar mientras se da servicio al acumulador.

- *Ajustes del control del gobernador mecánico*

Siempre revisar la velocidad del motor cuando el grupo electrógeno está en marcha. Usar un frecuenciómetro de precisión para medir la frecuencia a carga plena y ajustarla al valor nominal de 50 ó 60 Hz.

La frecuencia de salida (50 ó 60 Hz.) se puede ajustar girando el tornillo de ajuste de velocidad del gobernador mientras el motor está funcionando a temperatura de funcionamiento normal a carga plena. Ajustar la caída de cinco por ciento de la frecuencia nominal (3 Hz. para grupos electrógenos de 60 Hz. y 2.5 Hz. para grupos electrógenos de 50 Hz.). Probar el funcionamiento a distintas cargas y aumentar la caída si el gobernador oscila. Reajustar la frecuencia a carga plena si se ajustó la caída.

*Recomendaciones generales para los operadores de plantas eléctricas impulsadas por motores de combustión interna*

- 1) Procure que no entren tierra o polvo al motor, al generador y al interior de los tableros de control y transferencia.
- 2) Conserve perfectamente bien lubricado el motor y la chumacera del generador así como de la excitatriz.
- 3) Cerciórese que esté bien dosificado el combustible para el motor.
- 4) Compruebe que al operar la planta se conserven dentro de los valores normales las temperaturas del agua del radiador, de los embobinados del generador, de las bobinas de los contactores magnéticos, de los tableros, etc.
- 5) Los motores nuevos traen un aditivo que los protege de la corrosión interna, la cual dura un cierto tiempo. Después hay que procurarle darle otro que lo proteja. Además evitando fugas, goteras sobre partes metálicas, en general hay que evitar la corrosión a todo costo.
- 6) Hay que procurar que se cuenten siempre los medios de suministro de aire, por ejemplo:

- a) Aire limpio para la operación del motor.
  - b) Aire fresco para el enfriamiento del motor y generador.
  - c) Medios para desalojar el aire caliente.
- 7) Compruebe siempre que la planta gira a la velocidad correcta por medio de su frecuenciómetro y/o si es pequeña y no lo tiene, por medio de un tacómetro.
  - 8) Conozca siempre el buen estado de su planta en general
  - 9) Corrija las fallas en cuanto aparezcan, por muy sencillas que se vean.
  - 10) Implante un programa para controlar el mantenimiento. Abra una libreta para anotar todos los datos en la vida de la planta y por medio de ella compruebe la correcta aplicación del mantenimiento.

#### *5.4.9 Servicio de mantenimiento correctivo*

El mantenimiento correctivo se efectúa para eliminar posibles fallas en los componentes de los equipos o elementos de las instalaciones, ya sea mediante la sustitución de los componentes de un equipo o, en caso de ser necesario, cambiar un equipo completo por otro nuevo.

Generalmente es de esperarse una falla en los equipos electromecánicos, los cuales son susceptibles a un mayor desgaste, por lo cual se tendrá mayor atención en determinar con oportunidad, cuando algún componente opere de forma anormal. Esta determinación podrá ser mediante la observación visual o auditiva de alguna deformación, fisuramiento, ruido, etc., o mediante alguna determinación en base a las lecturas de los indicadores.

Este mantenimiento debe ser programado y ejecutado en época de estiaje, ya que algunas reparaciones pueden necesitar de un tiempo considerable, el cual en combinación con otros eventos desfavorables, puede causar perjuicios en el óptimo funcionamiento de los equipos. Por lo anterior cuando una falla sea evolutiva se debe documentar para programar su reparación.

#### *5.4.9.1 Servicio de mantenimiento correctivo al sistema eléctrico y de control de las generadoras*

- 1) Nivelación y acoplamiento del grupo motor generador.
- 2) Instalación y conexión de interruptor de enlace para las unidades generadoras. Cableado del generador al bus de enlace.
- 3) Calibración de protecciones del sistema de control y transferencia.
- 4) Cambio de mensula para la sincronización para operar en forma aislada y en paralelo.
- 5) Mantenimiento correctivo al sistema de control y fuerza consistente en cambio de los rectificadores de media onda, relevadores, contactores, realambrado de la tablilla de señalización completa, elaboración del diagrama de control y puesta en servicio.

- 6) Adecuación de ductería y trincheras para la conexión de servicios auxiliares, así como alimentación de combustible, lubricación, agua y aire comprimido.
- 7) Cambio de conjuntos de potencia.
- 8) Pruebas con carga y puesta en servicio del interruptor de enlace de las unidades generadoras.
- 9) Pruebas al grupo completo motor generador fuerza y control.
- 10) Cambio de pirómetros para la medición de la temperatura en la cámara de combustión.
- 11) Cambio de interruptores de enlace para el reparto de cargas.

## 5.5 Solución de problemas con bombas centrífugas

A continuación tenemos una tabla, en donde se observan las principales fallas que se presentan en la operación de las bombas centrífugas, sus posibles causas y soluciones.

SÍNTOMAS	CAUSA PROBABLE DEL PROBLEMA
La bomba no succiona.	1, 2, 3, 4, 6, 11, 14, 16, 17, 22, 23.
Capacidad insuficiente.	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 17, 20, 22, 23, 29, 30, 31.
Presión insuficiente.	5, 14, 16, 17, 20, 22, 29, 30, 31.
Se descarga después del arranque.	2, 3, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13.
Potencia excesiva.	15, 16, 17, 18, 19, 20, 23, 24, 26, 27, 29, 33, 34, 37.
Fuga por los estoperos.	13, 24, 26, 32, 34, 35, 36, 38, 39, 40.
Corta duración del empaque.	12, 13, 24, 26, 28, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40.
La bomba vibra y tiene ruidos.	27, 28, 30, 35, 36, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47.
Corta duración de cojinetes.	24, 26, 27, 28, 35, 36, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47.
Hay sobrecalentamientos.	1, 4, 21, 22, 24, 27, 28, 35, 36, 41.

Tabla 5.9

### 5.5.1 Problemas en la succión

- 1) La bomba no esta cebada.
- 2) La bomba o el tubo de succión no están llenos de líquido.
- 3) Altura de succión excesiva.
- 4) Margen insuficiente entre la presión de succión y la de vapor.
- 5) Cantidad excesiva de aire en el líquido.
- 6) Bolsa de aire en el tubo de succión.

- 7) Entrada de aire al tubo de succión.
- 8) Entrada de aire por los estoperos.
- 9) Válvula de pie demasiado pequeña.
- 10) Válvula de pie posiblemente obstruida.
- 11) Tubo de succión le falta sumergencia.
- 12) Tubería de sello de agua obstruida.
- 13) Jaula de sello mal colocada en el estopero e impide que el agua entre.

#### *5.5.2 Problemas en el sistema*

- 14) Velocidad muy baja.
- 15) Velocidad muy alta.
- 16) Sentido incorrecto de rotación.
- 17) Carga total del sistema mayor que la carga de proyecto.
- 18) Carga total del sistema menor que la carga de proyecto.
- 19) Densidad relativa del líquido, diferente a la de proyecto.
- 20) Viscosidad del líquido, diferente a la de proyecto.
- 21) Operación a capacidad muy baja.
- 22) Operación en paralelo de bombas inadecuadas para este trabajo.

#### *5.5.3 Problemas mecánicos*

- 23) Cuerpos extraños en el impulsor.
- 24) Desalineación.
- 25) Los cimientos no están rígidos.
- 26) Eje doblado.
- 27) Las partes rotativas rozan contra partes fijas.
- 28) Cojinetes gastados.
- 29) Anillos de desgaste demasiado gastados.
- 30) Impulsor dañado.
- 31) Junta de carcasa deficiente y permite fugas internas.
- 32) Eje o camisas del eje gastados o excoriados junto con el empaque.
- 33) Empaques (estoperos) mal instalados.
- 34) Tipo incorrecto del empaque para condiciones de operación.
- 35) El eje gira descentrado por cojinetes gastados o desalineados.
- 36) Rotor desequilibrado y ocasiona vibración.
- 37) Empaques muy apretados y no permiten circulación de líquido para lubricar el estopero.
- 38) Falta de suministro de agua a los estoperos enfriados por agua.
- 39) Holgura excesiva en la parte inferior del estopero.
- 40) Mugre o arena en el área de sellado.
- 41) Empuje excesivo ocasionado por una falla mecánica dentro de la bomba.
- 42) Exceso de grasa o aceite en los cojinetes o falta de enfriamiento.
- 43) Falta de lubricación.
- 44) Instalación incorrecta de los cojinetes (uso de cojinetes desiguales en un par).

- 45) Mugre en los cojinetes (rodamientos).
- 46) Herrumbre en los cojinetes por agua en su cubierta.
- 47) Enfrentamiento excesivo de cojinetes enfriados por agua que ocasiona bastante humedad del aire en el interior de la caja.

## CONCLUSIONES

Como podemos observar en el presente trabajo, la problemática de inundaciones se ha venido atacando desde la época prehispánica, la cual ha tomado grandes niveles con el crecimiento poblacional de la ciudad, así como, con el hundimiento de la misma.

Los esfuerzos actuales por mantener las inundaciones bajo control son grandes y correctamente enfocados, para lo cual se cuenta con la maquinaria y equipo humano necesario; pero estos esfuerzos se han llegado a ver nulificados por los actuales cambios climáticos, los cuales han ocasionado que en algunas ocasiones, las precipitaciones pluviales sean más intensas en un sólo punto, lo cual supera la capacidad instalada para el desalojo de la misma, por gravedad o bombeo creando incluso problemas en otras áreas de la urbe al canalizar dichas aguas en el proceso de desalojo, debido a que el sistema de drenaje es una red interconectada que se opera de forma conveniente de acuerdo a la cantidad de agua a desalojar, misma que puede ser recolectada en toda la ciudad y evacuada del Valle de México por tres puntos estratégicamente seleccionados.

Es imprescindible aplicar un principio de racionalidad a partir de la consideración del recurso hidráulico en el desarrollo urbano, replanteando el cumplimiento de las disposiciones normativas para la protección y desarrollo tanto de las áreas de conservación para la recarga del acuífero, como el respeto a las superficies destinadas a la regulación de escurrimientos extraordinarios, y la racionalidad en el manejo responsable del sistema hidrológico de la Cuenca del Valle de México, en el tratamiento de caudales para su reutilización y en el uso eficiente del recurso por parte de los usuarios.

También se debería tomar conciencia de la cantidad tan grande de basura que día con día la población deja en las calles y que desafortunadamente en la época de lluvias es arrastrada a los accesorios hidráulicos, obstruyendo el libre paso del agua que se pretende desalojar, y que en ocasiones se llega a introducir en el sistema de drenaje, provocando atascamiento en los equipos de bombeo, lo que trae como consecuencia encharcamientos mismos que quizá con el simple hecho de NO tirar basura en la calle podrían evitarse.

Debemos pensar también a largo plazo, tomando en cuenta que, si no se detiene el crecimiento de la población en el Valle de México, las soluciones serán cada vez más difíciles y costosas, no sólo en relación con las inundaciones, sino con todos los servicios, dentro de los que destaca el abastecimiento de agua potable y el problema del transporte.

Se tomaron diferentes factores de riesgo en las estaciones de bombeo: la falta de energía eléctrica, la cual se compensará con una planta generadora diesel o

mediante de motores de combustión interna acoplados a las bombas mediante cabezales engranados.

En el presente proyecto se tomaron en cuenta, para desarrollar la parte de los cálculos eléctricos, las disposiciones de la NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-1999, tomando en cuenta que la NOM es el instrumento normativo que regula las instalaciones eléctricas en nuestro país y que establece las disposiciones y especificaciones de carácter técnico que deben satisfacer las instalaciones destinadas a la utilización de la energía eléctrica, a fin de que ofrezcan condiciones adecuadas de seguridad para las personas y sus propiedades, en lo referente a protección contra choque eléctrico, efectos térmicos, sobre corrientes, corrientes de falla, sobre tensiones, fenómenos atmosféricos e incendios, entre otros. El cumplimiento de las disposiciones indicadas en esta NOM garantizará el uso de la energía eléctrica en forma segura.

En lo que se refiere al nivel de iluminación, de los sistemas de bombeo existentes, se puede observar que es deficiente, por lo que se propone la utilización de luminarias fluorescentes así como un mayor número de ellas, pues los cálculos así lo indican, pero sobre todo con apego a la norma NOM-001, garantizando con ello la seguridad de los operadores.

En el caso de las instalaciones de bombeo peatonal y vehicular, los operadores no cuentan con señalizaciones que les permitan tener un control automático de los niveles de agua en los cárcamos, aun cuando existen electroniveles (los cuales no funcionan), para lo cual se basan en una revisión visual de los niveles y de su experiencia para la operación adecuada de los equipos. A este problema se propone la rehabilitación de dichos electro niveles y la instalación de indicadores luminosos colocados en el cuarto de control los cuales permitan al operador saber con certeza los niveles en que se encuentra el cárcamo y de esta manera saber, cuando se debe arrancar las bombas uno y dos (condiciones normales de operación), o en caso de emergencia la bomba tres en un nivel alto. Así aseguramos el desalojo oportuno del agua almacenada en el cárcamo y evitaremos encharcamientos en el deprimido que pongan en riesgo el cruce de transeúntes y vehículos y de esta manera eficientar la operación en conjunto de los sistemas de bombeo.

## **APÉNDICE**

## BIBLIOGRAFÍA

Memoria de las obras del sistema de drenaje profundo del Distrito Federal. Secretaría de Obras y Servicios del Departamento del Distrito Federal. México. (1975)

Domínguez, M. R y Jiménez, E. M. "El Sistema Principal de Drenaje del Valle de México". Barcelona España. Colegio de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Cataluña". En Monografía sobre Inundaciones y Redes de Drenaje Urbano. (1992)

Ing. José Raúl Martín. "Diseño de Subestaciones Eléctricas". Facultad de Ingeniería U.N.A.M.

Irving L. Kosow "Maquinas Eléctricas y Transformadores" Editorial Reverte S.A. España (1989).

R.L. McIntyre. "Control de motores eléctricos". 3ª. Edición. Editorial Marcombo. Barcelona España.

Chester L. Dawes "Tratado de Electricidad II" 4ª. Edición. Editorial Gustavo Gili Barcelona España (1985).

Memoria de las obras del sistema del Drenaje Profundo del Distrito Federal. Secretaría de Obras y Servicios del Departamento del Distrito Federal. México (1975).

"Hidráulica Urbana". Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Gobierno del Distrito Federal. No. 1-5 [Revista].

Domínguez, M. R. "*Sistema para el Control y Drenaje de las Avenidas en el Área Metropolitana del Valle de México*". No. 593 [Serie Azul del Instituto de Ingeniería]. (1997)

"Manual Eléctrico 4ª. Edición." Compañía CONELEC (1989).

Dr. Ramón Domínguez Mora. "Las Inundaciones en la Ciudad de México", Problemática y Alternativas de Solución. Artículo 1 publicado en Internet en el año 2000.

"Curso de subestaciones eléctricas". Compañía SINERGIA. 1999.

"Manual de operación y mantenimiento de plantas eléctricas". Compañía SINERGIA. 2001

“Guía de especificaciones de Centro de Control de Motores”. SCHNEIDER ELECTRIC MÉXICO. 2003

Norma Oficial Mexicana. NOM-001-SEDE-1999. “Instalaciones Eléctricas (utilización)”.

“Manual de servicio de grupos electrógenos”. Compañía ONAN. 2

Manual de Diseño de Subestaciones. Relaciones Industriales Compañía de Luz y Fuerza del Centro. México 1978.