



**SEP**  
SECRETARÍA  
DE EDUCACIÓN  
PÚBLICA



Instituto Politécnico Nacional  
"La Técnica al Servicio de la Patria"

Escuela Superior de Ingeniería  
Mecánica y Eléctrica  
Unidad Culhuacan

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA** "2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"  
60 años de la Unidad Profesional Adolfo López Mateos  
70 Aniversario del CECyT No. 3 "Estanislao Ramírez Ruiz"  
60 años de XEIPN Canal Once, orgullosamente politécnico  
60 Aniversario del CECyT No. 4 "Lázaro Cárdenas"

**TESIS INDIVIDUAL**

Que como prueba escrita de su Examen Profesional para obtener el Título de Ingeniero Mecánico, deberá desarrollar el C.:

**ALBERTO GARCIA GARCIA**

**"DISEÑO DE CAPTACIÓN DE AGUA PARA EL SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO METRO EN LA ESTACIÓN PANTITLÁN LÍNEA 1"**

Los extremos de la estación se han deformado de tal manera que ha modificado el drenaje original, provocando problemas de funcionamiento del sistema, es debido a esto que se tiene instalado un sistema de bombeo provisional en las inmediaciones de la cabecera norte, de esta forma es como se pueden abatir los excedentes de agua que se presentan en este punto.

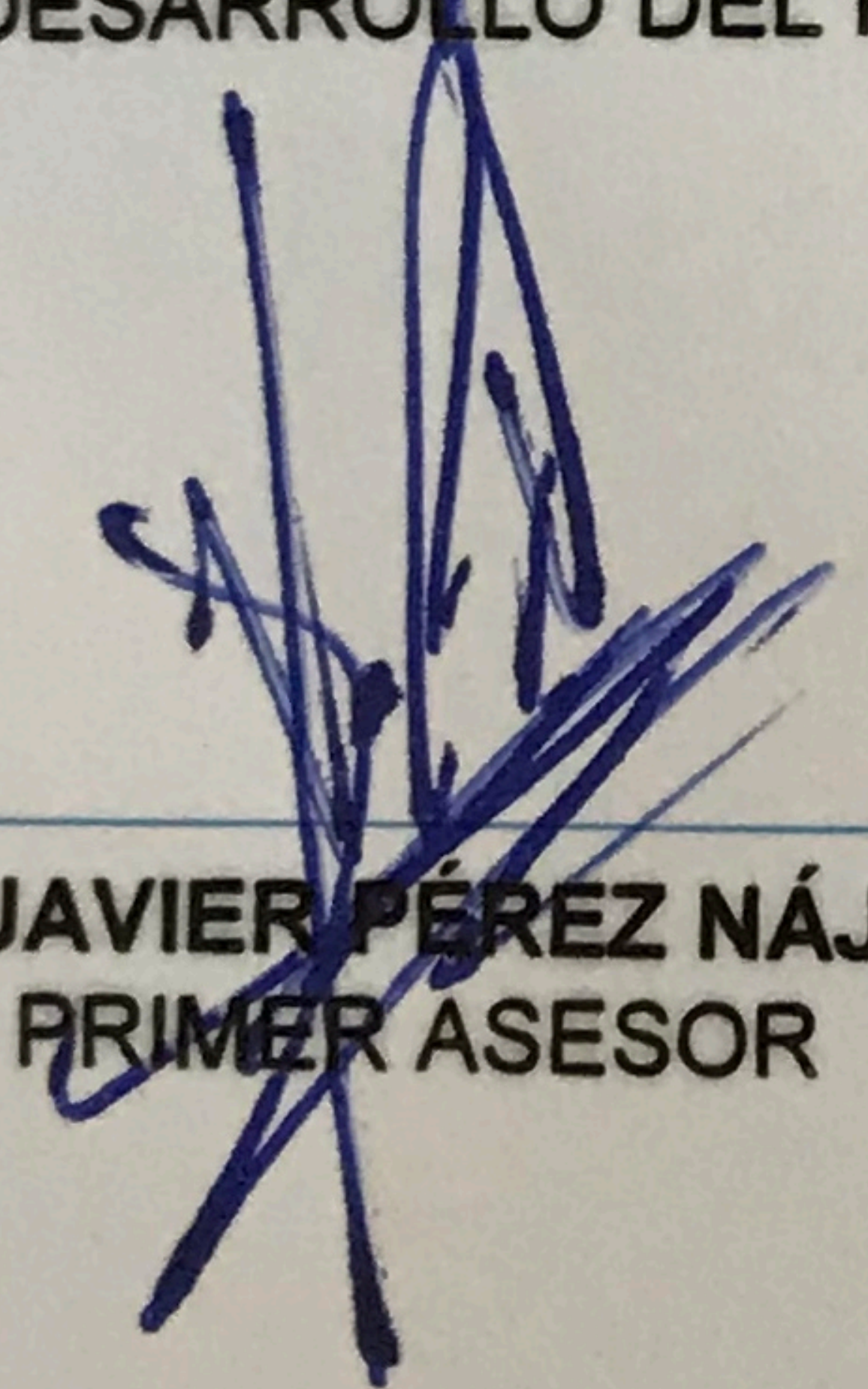
Se habla que en promedio en época de lluvia el servicio se retrasa hasta 40 min por vuelta, provocando que la gente llegue tarde a sus destinos y que la congestión sea mayor.

Es por eso por lo que, al instalar y construir los sistemas de bombeo en una adecuada zona, evitará la inundación y habrá un mejor servicio. Al final saldrá beneficiado el usuario del servicio y las áreas que estén ligadas a este tipo de problemas, evitando mantenimientos correctivos más seguidos y esto hace que exista un ahorro en cuestión de refacciones.

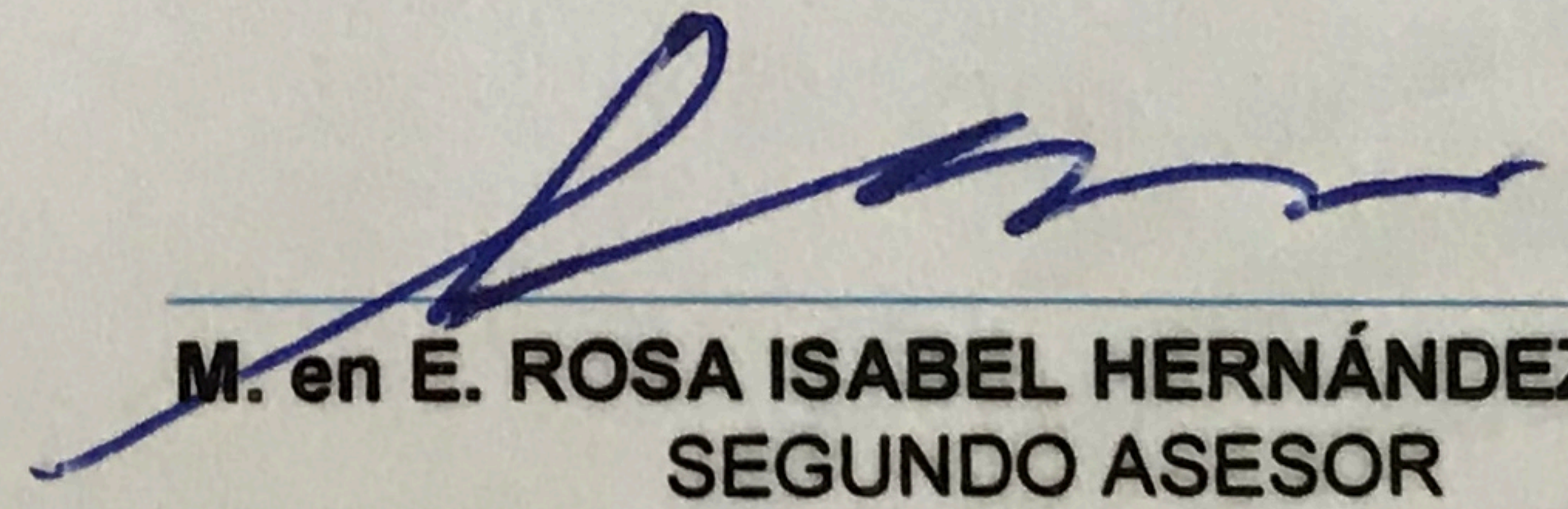
**CAPITULADO**

- CAPITULO I MARCO REFERENCIAL
- CAPITULO II MARCO TEORICO
- CAPITULO III DESARROLLO DEL PROYECTO

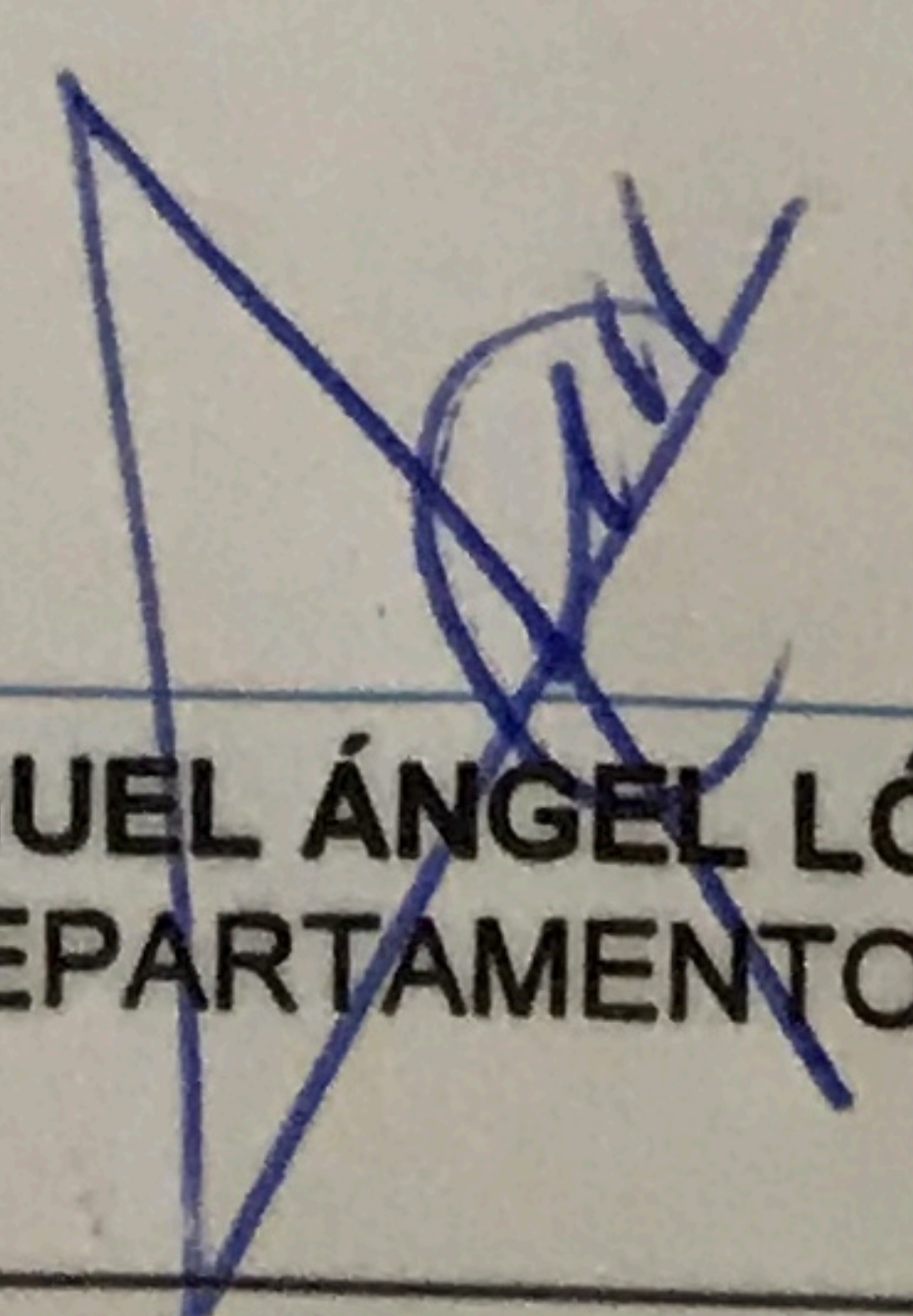
Ciudad de México, a 29 de mayo de 2019

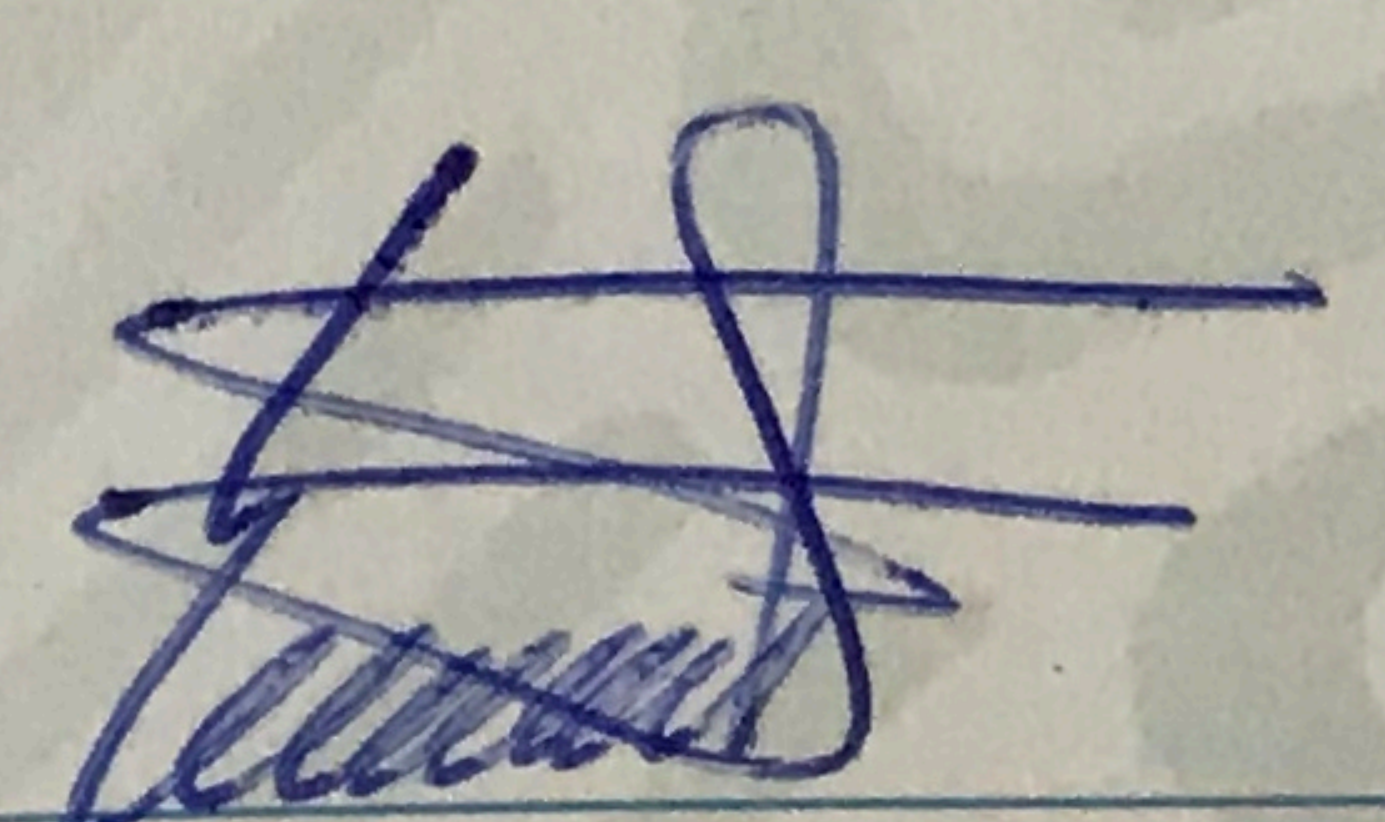
  
\_\_\_\_\_  
**ING. JAVIER PÉREZ NÁJERA**  
PRIMER ASESOR

Vo. Bo.

  
\_\_\_\_\_  
**M. en E. ROSA ISABEL HERNÁNDEZ GÓMEZ**  
SEGUNDO ASESOR

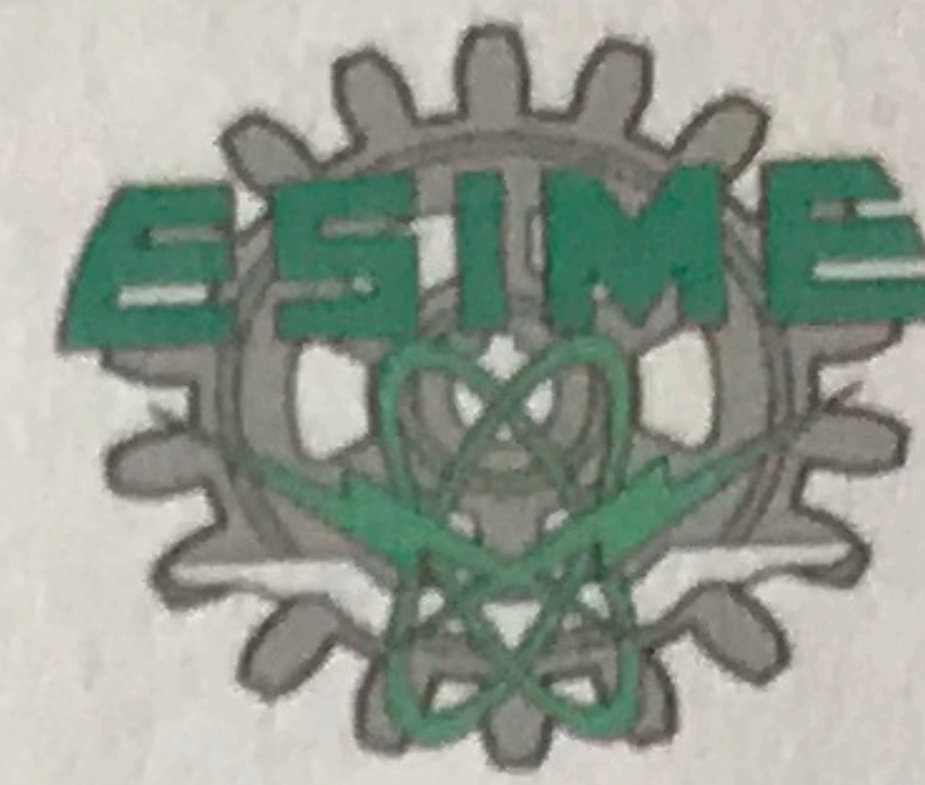
APROBADO

  
\_\_\_\_\_  
**ING. MIGUEL ÁNGEL LÓPEZ VEGA**  
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE I M E ISISA

  
\_\_\_\_\_  
**DR. EUSEBIO RICARDEZ VAZQUEZ**  
SUBDIRECTOR ACADEMICO INTERINO



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y  
ELÉCTRICA  
UNIDAD CULHUACAN  
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA  
OFICINA DE TITULACIÓN PROFESIONAL



CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE OBRA

En la Ciudad de México, a 29 de mayo del año 2019, el que suscribe **Alberto García García**, alumno (a) de la carrera de **Ingeniería Mecánica**, con número de registro **R-0285/19**, egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Culhuacan, manifiesto que soy el autor intelectual del presente trabajo de **Tesis Individual**, bajo la asesoría del Ing. **Javier Pérez Nájera** y de la M. en E. **Rosa Isabel Hernández Gómez** y autorizo el uso del trabajo titulado **Diseño de captación de agua para el Sistema De Transporte Colectivo Metro en la estación Pantitlán Línea 1**, al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deberán reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/ o asesores del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección de correo: [garciagalberto@hotmail.com](mailto:garciagalberto@hotmail.com) . Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Nombre y firma del alumno



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y  
ELÉCTRICA**



**Diseño de captación de agua para el Sistema De Transporte  
Colectivo Metro en la estación Pantitlán línea 1**

**T E S I S**

Para obtener el Título de  
Ingeniero Mecánico

PRESENTA

**ALBERTO GARCIA GARCIA**

Director(es) de Tesis

Ing. Javier Pérez Nájera

M. en C. Rosa Isabel Hernández Gómez

México, Ciudad de México

Mayo 2019

# INTRODUCCION

En el presente trabajo de investigación se describen las consideraciones, los criterios y los lineamientos utilizados para el diseño hidráulico de las instalaciones del Cárcamo de Bombeo que se proyectara en el tramo entre la estación Pantitlán y la estación Zaragoza de la Línea 1 del Metro del Sistema de Transporte Colectivo de las Ciudad de México

Debido a las inundaciones y filtraciones a través de los muros por el nivel freático esta existiendo afectaciones al funcionamiento de los elementos de señalización y de las vías por donde circula nuestro tren lo que hace que el servicio se deteriore y por ese motivo las maniobras en ese tramo son mas constantes, causando retraso en la línea

Dicha propuesta fue aceptada por las autoridades del Metro ya que se considera una forma viable para evitar los encharcamientos y deterioro del sistema.

# AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al Instituto Politécnico Nacional por permitirme formar parte de la mejor Universidad de México, dándome las bases para ahora desarrollarme como profesional.

A la Escuela Superior De Ingeniería Mecánica Unidad Culhuacán por darme los conocimientos que hoy en día aplico en mi vida diaria, porque no solo es cuestión de cosas académicas si no también te forman como persona.

Quiero agradecer a Dios por permitirme terminar esta etapa que mucho trabajo ha costado, sacrificio, enfermedades, pero siempre bendecido por poder seguir adelante.

Por mencionar a mis mas grandes mentores, ejemplos e ídolos que son mis padres que sin ellos no estuviera aquí cerrando este ciclo.

José Garcia Ceballos y Beatriz Garcia Chincoya gracias por darme la vida, gracias por siempre estar a mi lado incondicionalmente y por siempre apoyarme en cualquier decisión que quise tomar.

Gracias por orientarme por pasar conmigo desveladas, alegrías, tristezas, corajes, pero sobre todo gracias porque ahora estamos por concluir esta etapa que mucho trabajo nos ha costado pero que sin ustedes no seria posible, los amo y siempre serán mi más grande motivación.

A mi hermana Nalleli Garcia Garcia que siempre me apoyo cuando necesitaba de sus consejos y por ser el mejor referente de una persona dedicada, fuerte, guerrera y sobre todo porque tienes mi admiración por ser quien eres, te amo hermana.

Y ahora en este momento a la mujer que me motivo para concluir esto y la que me apoyo en todo momento en esta etapa final, a mi novia Marlen Coria Ramírez, gracias por siempre impulsarme a ser mejor, gracias por cada momento que me escuchaste y que siempre estuviste para brindarme el mejor consejo para ver siempre por mi crecimiento, no pude encontrar una mejor mujer, te amo.

A mis amigos que de alguna forma me impulsaron y me ayudaron a estar ahorita presentando mi tesis.

Y, por último, pero no menos importantes a los profesores Javier Pérez Nájera y Rosa Isabel Hernández Gómez, que sin pensarlo me ayudaron a terminar esta tesis y que gracias a sus conocimientos y paciencia hoy puedo presentarla y estar ya en el último paso para poder titularme. Unas grandes personas y que dios los bendiga

Alberto Garcia Garcia

# Contenido

INTRODUCCION .....	1
AGRADECIMIENTOS.....	3
CAPITULO I MARCO REFERENCIAL.....	6
ANTECEDENTES .....	6
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
OBJETIVO GENERAL.....	6
OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	6
JUSTIFICACIÓN .....	7
CAPITULO II MARCO TEORICO.....	8
FACTORES TOPOGRAFICOS .....	8
LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO .....	8
TEODOLITO .....	8
AGUAS FREÁTICAS.....	9
OBRA CIVIL .....	9
CÁRCAMO .....	9
OBRA HIDRAULICA .....	10
LEY DE DARCY: .....	10
CARGA DINÁMICA TOTAL .....	13
LA ECUACIÓN DE DARCY-WEISBACH.....	13
DIAGRAMA DE MOODY.....	13
EXPRESIÓN MATEMÁTICA.....	14
ECUACIÓN DE COLEBROOK-WHITE: .....	14
ECUACIÓN DE BARR:.....	15
ECUACIÓN DE HAALAND: .....	15
BOMBA SUMERGIBLE .....	15
LONGITUD EQUIVALENTE .....	17
TIPOS DE VÁLVULAS.....	18
OBRA ELECTRICA.....	22
TABLEROS ELÉCTRICOS .....	22
CAPITULO III DESARROLLO DEL PROYECTO .....	31
SISTEMA DE DRENAJE DEL TUNEL, TUBO DREN COLECTORES.....	36

CRITERIO DE DISEÑO .....	40
ANALISIS HIDRAULICO.....	41
CARGA DINAMICA DE BOMBEO .....	42
CARGA ESTATICA DE DESCARGA.....	44
PERDIDA DE ENERGIA POR FRICCION .....	44
PERDIDA DE ENERGIA POR ACCESORIOS .....	45
PERDIDA DE ENERGIA POR VELOCIDAD .....	46
CARGA DINAMICA TOTAL.....	46
SELECCIÓN DE EQUIPO DE BOMBEO.....	46
EQUIPO DE BOMBEO.....	49
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN:.....	50
LOS ELEMENTOS PRINCIPALES DEL TABLERO .....	51
SECUENCIA DE OPERACIÓN .....	52
SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA .....	52
NORMATIVIDAD .....	54
CONCLUSION .....	55
FUENTES DE INFORMACION .....	56

## CAPITULO I MARCO REFERENCIAL

### ANTECEDENTES

La línea 1 del Metro entro en operación en septiembre de 1969 con un tramo aproximadamente de 12.7km entre las estaciones de Zaragoza-Observatorio. En 1984 se completó con la construcción del tramo comprendido entre las estaciones Zaragoza y Pantitlán, para hacer correspondencia con la Línea 9. La línea 1 tiene un total de 20 estaciones y una longitud de 18.83km. Todas las estaciones son subterráneas, con las Líneas 5, 9 y A en la estación Pantitlán, la Línea 8 en Salto del Agua, en la Línea B en San Lázaro, la Línea 4 en Candelaria, la Línea 2 en Pino Suarez, la Línea 3 en Balderas y con las Líneas 7 y 9 en Tacubaya.

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante estos 50 años de servicio ininterrumpido, la Línea 1 del Metro no ha recibido un mantenimiento mayor en su estructura, debido al sistema constructivo empleado desde un inicio, a pesar de las condiciones del suelo que prevalecen en el Valle de México, el comportamiento de los túneles por donde pasa el Metro solo ha sufrido deformaciones locales a lo largo de sus casi 20km de longitud, debido a las filtraciones que sufren los túneles independientemente del clima, uno de los sitios donde estas deformaciones se han acentuado es en la estación Pantitlán, donde el agua se estanca causando problemas.

Debido a este problema surgen las siguientes preguntas:

¿Qué tipo de mejoras se necesitan realizar en la estación del Metro, para obtener un flujo continuo de agua?

¿Cuál sería la forma idónea para evitar la inundación a nivel vía?

¿Qué tipo de cárcamo sería el más eficiente para evitar la inundación, de acuerdo con las especificaciones de la construcción y sus limitantes existentes?

### OBJETIVO GENERAL.

Diseñar un sistema de flujo de agua para evitar el estancamiento e inundaciones causadas por las filtraciones y lluvias en el Sistema de Transporte Colectivo Metro

### OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Detectar a través de un levantamiento topográfico la afectación que ha tenido la estación.
- Seleccionar el cárcamo con las dimensiones correspondientes para su mejor funcionamiento.
- Conocer y seleccionar la bomba adecuada para el desalojo del agua.
- Seleccionar la tubería y arreglo hidráulico para el desalojo del agua hasta el pozo de visita.



- Seleccionar los elementos eléctricos para el armado del tablero de control y fuerza.

## JUSTIFICACIÓN

Los extremos de la estación se han deformado de tal manera que ha modificado el drenaje original, provocando problemas de funcionamiento del sistema, es debido a esto que se tiene instalado un sistema de bombeo provisional en las inmediaciones de la cabecera norte, de esta forma es como se pueden abatir los excedentes de agua que se presentan en este punto.

Se habla que en promedio en época de lluvia el servicio se retrasa hasta 40 min por vuelta, provocando que la gente llegue tarde a sus destinos y que la congestión sea mayor.

Es por eso por lo que, al instalar y construir los sistemas de bombeo en una adecuada zona, evitará la inundación y habrá un mejor servicio.

Al final saldrá beneficiado el usuario del servicio y las áreas que estén ligadas a este tipo de problemas, evitando mantenimientos correctivos más seguidos y esto hace que exista un ahorro en cuestión de refacciones.

## CAPITULO II MARCO TEORICO

En el presente trabajo de investigación se tomaron 4 elementos fundamentales para realizar el análisis de estos y diseñar el sistema de flujo de agua. Los 4 elementos fundamentales en que basamos las investigaciones son:

Factores topográficos

Obra civil

Obra hidráulica

Obra eléctrica

### FACTORES TOPOGRAFICOS

#### LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Consiste en que, a través de la utilización de instrumental especializado, el topógrafo realiza un escrutinio de la superficie del terreno y procede a la toma de datos, generalmente con un teodolito o estación total. Con los datos obtenidos en el levantamiento topográfico se realizan mapas o planos específicos de un lugar, describiendo particularmente las características del terreno, como los relieves o diferencias de altura que pueda haber.

Con esta técnica de topografía se persigue principalmente determinar la posición del terreno entre dos puntos, sobre un plano horizontal. Aquí entra en funcionamiento la planimetría, que se define como el proceso de representación a escala de un terreno sobre un plano. Por ello, en esta fase se prescinde de elementos como la altura y el relieve de este.

Posteriormente, sobre la base del plano horizontal, se procede mediante el método de nivelación directa, a determinar la altura del terreno entre varios puntos. En esta nivelación se parte de un punto cuya altura es conocida, para proceder a la medición vertical de la altura del terreno, pudiendo establecer así cotas o la identificación de diversos puntos o coordenadas.

#### TEODOLITO

El teodolito es un instrumento de medición mecánico-óptico que se utiliza para obtener ángulos verticales y horizontales, en la mayoría de los casos, ámbito en el cual tiene una precisión elevada. Con otras herramientas auxiliares puede medir distancias y desniveles. Es portátil y manual; está hecho con fines topográficos e ingenieriles, sobre todo para las triangulaciones. Con ayuda de una mira y mediante la taquimetría, puede medir distancias. Un equipo más moderno y sofisticado es el teodolito

electrónico, y otro instrumento más sofisticado es otro tipo de teodolito más conocido como estación total.

Básicamente, el teodolito actual es un telescopio montado sobre un trípode y con dos círculos graduados, uno vertical y otro horizontal, con los que se miden los ángulos con ayuda de lentes.

El teodolito también es una herramienta muy sencilla de transportar. Por eso es una herramienta que tiene muchas garantías y ventajas en su utilización. Es su precisión en el campo lo que lo hace importante y necesario para la construcción.

## AGUAS FREÁTICAS

Las **Aguas freáticas** son aquellas que se acumulan bajo la tierra, almacenadas en los poros que existen en sedimentos como la arena y la grava, y en las fisuras que se encuentran en rocas. El agua freática es parte de la precipitación que se filtra a través del suelo hasta llegar al material rocoso que está saturado de agua, se mueve lentamente hacia los niveles bajos, generalmente en ángulos inclinados (debido a la gravedad) y eventualmente llegan a los arroyos, los lagos y los océanos. Ellas proceden de la precipitación y la condensación, excepto otras como las aguas connatas o fósiles (sedimentarias) y las juveniles (magmáticas).

## FACTORES QUE CONDICIONAN LA INFILTRACIÓN

-El clima ya que cuanto mayor sea la precipitación, mayor será la cantidad de agua que se pueda infiltrar.

-La pendiente, porque si la inclinación del terreno es pronunciada, el agua discurre rápidamente, sin tiempo a infiltrarse.

-La vegetación, que dificulta el movimiento del agua y favorece, por ello, la infiltración.

## OBRA CIVIL

### CÁRCAMO

Los cárcamos de bombeo se usan para impulsar todo tipo de agua (residual, pluvial, industrial, etc.) cuando:

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

## CÁRCAMOS HÚMEDOS

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

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

Básicamente la cámara de succión consiste en un pozo de registro de dimensiones superiores a las normales. El nivel mínimo del agua se debe situar a una cota tal que no permita la entrada de aire a la tubería de succión por la formación de vórtices. La parte superior de la voluta se debe ubicar por debajo del nivel mínimo del agua para eliminar la posibilidad de que el aire entre en la bomba. Cada bomba debe contar con una tubería de succión independiente, con el objeto de poder sacarla fuera de servicio para su mantenimiento. Por ello, se instalan válvulas de aislamiento entre la bomba, la cámara de succión, así como a continuación de la válvula de retención en la descarga. Estas válvulas normalmente son del tipo de resorte, ya que el espacio disponible en el cárcamo es limitado.

## OBRA HIDRAULICA

### LEY DE DARCY:

La **Ley de Darcy** sirve para describir los flujos de fluidos a través de materiales porosos. La ley fue deducida como una universalización aplicable al cálculo del flujo de agua por medio de filtros de arena. Se obtuvo a partir de unos pocos experimentos hechos por el ingeniero francés Henry Darcy en arena gruesa que contenía grava fina del río Saona.

Si bien con el tiempo fue sometida a modificaciones, la ley formulada por Darcy a partir de sus experimentos es la base científica de la hidrología actual. Para sus investigaciones Darcy usó un aparato muy similar a los permeámetros que se emplean en la actualidad en la mayoría de los laboratorios en la investigación con fluidos.

### ¿EN QUÉ CONSISTE?

En su forma más sencilla, la expresión matemática de la Ley de Darcy es la siguiente:

$$Q = K \cdot A \cdot \Delta h / \Delta L$$

En esta expresión Q es el caudal y K es una constante conocida como coeficiente de permeabilidad de Darcy (constante que depende tanto del material como de las propiedades del fluido que lo atraviesa).

Además, A es el área de la sección transversal,  $\Delta L$  es la distancia entre dos puntos de la muestra y  $\Delta h$  es la diferencia de potencial entre esos dos mismos puntos. Ver figura 1

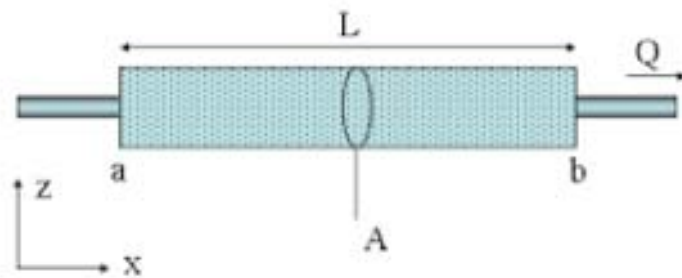


FIGURA 1 LEY DE DARCY (CABALLERO, 2018)

Una expresión más correcta de la ley sería:

$$q = -K \cdot (dh/dl)$$

En esta ecuación  $q = Q / A$  o caudal por sección, K es la conductividad hidráulica, y  $dh/dl$  es el gradiente hidráulico.

### CONSIDERACIONES DE LA LEY DE DARCY

A la hora de establecer la ley de Darcy se tienen en cuenta una serie de consideraciones, tanto sobre el medio poroso como sobre el fluido:

– El fluido es no se puede comprimir.

- El medio poroso que atraviesa el fluido es homogéneo.
- El flujo es de carácter lineal.
- El flujo del fluido es isotérmico.
- El fluido no reacciona en ningún momento con el medio poroso que atraviesa.

## EL PERMEÁMETRO

El dispositivo ideado por Darcy para sus experimentos es la base de los permeámetros actuales. Los permeámetros se utilizan para determinar la permeabilidad de diferentes materiales ante el paso de un fluido.

En líneas generales consisten en un recipiente relleno de un material arenoso con una sección determinada constante por el que se hace circular un flujo de agua.

El flujo de agua tiene su origen en un depósito de agua en el que el nivel de agua es constante. La salida que se encuentra ubicada en el otro extremo del recipiente consiste en un grifo por el que sale un caudal constante.

Se toman como mínimo dos mediciones de la altura de la columna de agua a lo largo del recorrido del fluido con el objetivo de conocer la permeabilidad del material.

## APLICACIONES

La Ley de Darcy se utiliza en la actualidad ampliamente en ingeniería civil, en ingeniería agrícola y en la industria petrolífera; y, por supuesto, en hidrogeología.

De esta forma, una de las aplicaciones más relevantes de la Ley de Darcy consiste en obtener el flujo de agua a través de los acuíferos.

En lo que respecta a la industria petrolífera, la Ley de Darcy también se utiliza para describir los flujos de petróleo, de agua y de gas a través de depósitos de petróleo.

## CARGA DINÁMICA TOTAL

Diferencia entre la altura correspondiente a la presión en la brida de salida de una bomba y la altura correspondiente al vacío o presión en la brida de entrada a la misma, corregidas a un mismo plano de referencia, más la altura dinámica en la brida de salida menos la altura dinámica en la brida de entrada

## LA ECUACIÓN DE DARCY-WEISBACH

Es una ecuación ampliamente usada en hidráulica. Permite el cálculo de la pérdida de carga debida a la fricción dentro una tubería.

La ecuación fue inicialmente una variante de la ecuación de Prony, desarrollada por el francés Henry Darcy. En 1845 fue refinada por Julius Weisbach, de Sajonia, hasta la forma en que se conoce actualmente:

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

donde  $h_f$  es la pérdida de carga debida a la fricción, calculada a partir de  $(f)$ = factor de fricción de Darcy,  $L/D$  = relación entre la longitud y el diámetro de la tubería,  $v$  = la velocidad media de flujo,  $g$  = que corresponde a la aceleración debida a la gravedad, y se supone constante ( $9.81\text{m/s}^2$ ).

El factor de fricción  $\phi$  es adimensional y varía de acuerdo a los parámetros de la tubería y del flujo. Este puede ser conocido con una gran exactitud dentro de ciertos regímenes de flujo; por lo que esta ecuación fue inicialmente superada en muchos casos por la ecuación empírica de Prony.

Años más tarde se evitó su uso en diversos casos especiales en favor de otras ecuaciones empíricas, principalmente la ecuación de Hazen-Williams, ecuaciones que en la mayoría de los casos, eran significativamente más fáciles de calcular. No obstante, desde la llegada de las calculadoras la facilidad del cálculo no es mayor problema, por lo que la ecuación de Darcy-Weisbach es de las preferidas.

## DIAGRAMA DE MOODY

El **diagrama de Moody** es la representación gráfica en escala doblemente logarítmica del factor de fricción en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa de una tubería, diagrama hecho por Lewis Ferry Moody.

En la ecuación de Darcy-Weisbach aparece el término que representa el factor de fricción de Darcy, conocido también como coeficiente de fricción. El cálculo de este coeficiente no es inmediato y no existe una única fórmula para calcularlo en todas las situaciones posibles.

Se pueden distinguir dos situaciones diferentes, el caso en que el flujo sea laminar y el caso en que el flujo sea turbulento. En el caso de flujo laminar se usa una de las expresiones de la ecuación de Poiseuille; en el caso de flujo turbulento se puede usar la ecuación de Colebrook-White además de algunas otras como ecuación de Barr, ecuación de Miller, ecuación de Haaland.

En el caso de flujo laminar el factor de fricción depende únicamente del número de Reynolds. Para flujo turbulento, el factor de fricción depende tanto del número de Reynolds como de la rugosidad relativa de la tubería, por eso en este caso se representa mediante una familia de curvas, una para cada valor del parámetro  $k/d$ , donde  $k$  es el valor de la rugosidad absoluta, es decir la longitud (habitualmente en milímetros) de la rugosidad directamente medible en la tubería. Ver figura 2

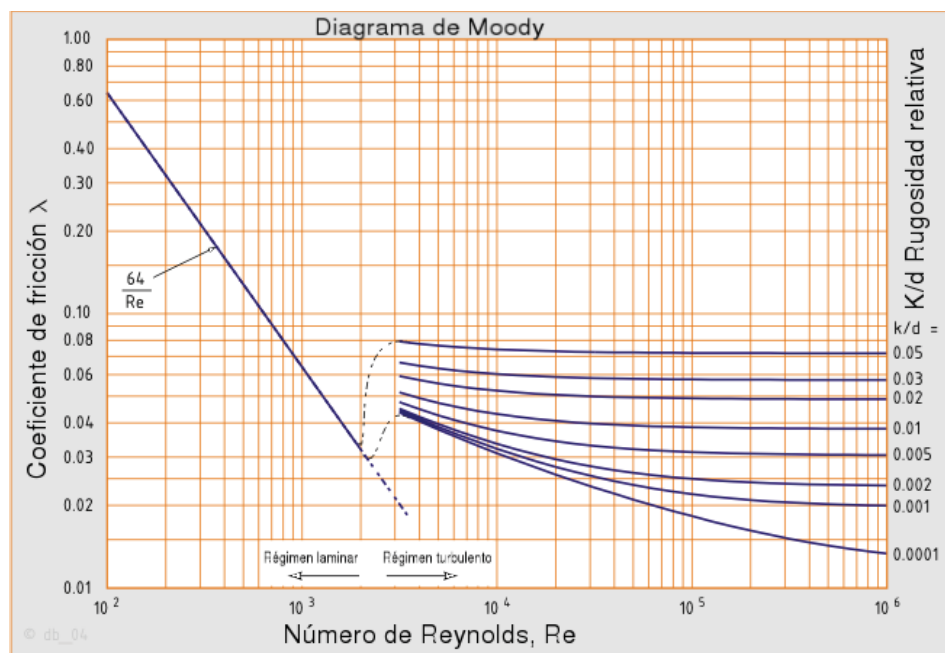


FIGURA 2 DIAGRAMA DE MOODY (CHOW, HIDRAULICA DE LOS CANALES ABIERTOS, 1982)

## EXPRESIÓN MATEMÁTICA

### ECUACIÓN DE COLEBROOK-WHITE:

$k/D$  = rugosidad relativa total

$Re$  = Número de Reynolds

$\lambda$  = factor de fricción



D = diámetro interno de la cañería

#### ECUACIÓN DE BARR:

$k/D$  = rugosidad relativa

Re = Número de Reynolds

$\lambda$  = factor de fricción

#### ECUACIÓN DE HAALAND:

$k/D$  = rugosidad relativa

Re = Número de Reynolds

$\lambda$  = factor de fricción

### BOMBA SUMERGIBLE

Una **bomba sumergible** es una bomba que tiene un impulsor sellado a la carcasa. El conjunto se sumerge en el líquido a bombear. La ventaja de este tipo de bomba es que puede proporcionar una fuerza de elevación significativa pues no depende de la presión de aire externa para hacer ascender el líquido, ver figura 3.

### CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONAMIENTO

Un sistema de sellos mecánicos se utiliza para prevenir que el líquido que se bombea entre en el motor no cause un cortocircuito. La bomba se puede conectar con un tubo, manguera flexible o bajar de los carriles o de los alambres de guía de modo que la bomba siente en "un acoplador del pie de los platos", de tal forma conectándola con la tubería de salida.

### APLICACIONES

Las bombas sumergibles encuentran muchas utilidades, las bombas de etapa simple se utilizan para el drenaje, el bombeo de aguas residuales, el bombeo industrial general y el bombeo de la mezcla. Las bombas sumergibles se colocan habitualmente en la parte inferior de los depósitos de combustible y también se utilizan para la extracción de agua de pozos de agua.

Las bombas sumergibles también se utilizan en depósitos de combustible. Aumentando la presión en el fondo del depósito, se puede elevar el líquido más fácilmente que aspirándolo (succión) desde arriba. Los modelos más avanzados incluyen un separador de agua/aceite que permite reinyectar el en el yacimiento sin necesidad de subirla a la superficie.

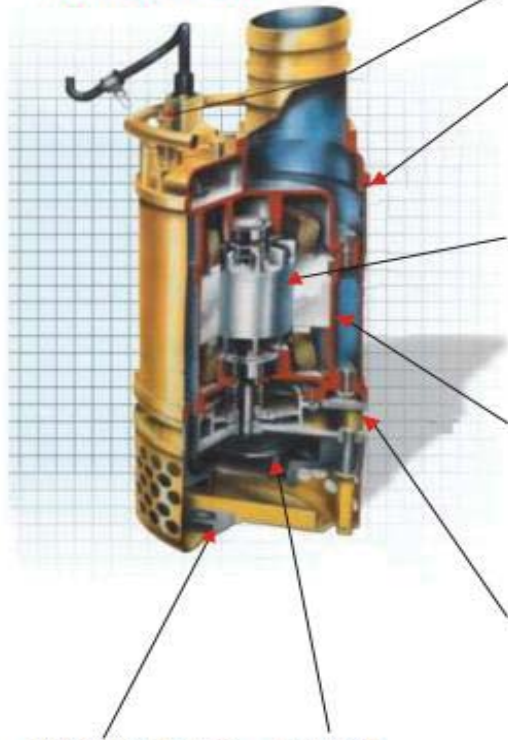
El sistema consiste en un número de rodets giratorios instalados en serie para aumentar la presión. La energía para hacer girar la bomba proviene de una red

eléctrica de baja tensión que acciona un motor especialmente diseñado para trabajar a temperaturas de hasta 150 °C.

Se requiere atención especial al tipo de bomba sumergible utilizado cuando se usan ciertos tipos de líquidos. En la mayoría de las aplicaciones se utilizan motores asíncronos de corriente alterna que accionan una bomba centrífuga radial, que puede ser de varias etapas conectadas en serie. Las bombas sumergibles pueden trabajar también con tubería de aspiración, colocando la bomba por encima del nivel del depósito. Sin embargo, para funcionar tienen que estar cebadas, esto es, con agua, de forma que la columna de agua comunique la bomba con el depósito. La tubería de aspiración no puede ser excesivamente alta para que no disminuya excesivamente la presión en la bomba y evitar la cavitación en la bomba. El líquido bombeado, al circular alrededor del motor, también refrigera a éste. Para que los propósitos se refresquen. Además, si la bomba está situada fuera del depósito, existe la posibilidad de que se produzcan fugas de gasolina y pueda causar un incendio. Algunos tipos de bomba no están preparados para ciertas aplicaciones, como el bombeo de agua caliente o líquidos inflamables. Ver figura 3

**ESPECIFICACIONES DE MATERIALES CLASIFICACION JIS (Japan Industrial Standard).**

**CORTE DE BOMBA**



**VALVULA DE SEGURIDAD:**  
Para escape de presiones de emergencia.

**O-RINGS:**  
De Hule-nitrilo resisten altas temperaturas y concentraciones elevadas de aguas ácidas, alcalinas y que contengan derivados de petróleo, presentan una gran estabilidad dimensional para un sellado perfecto.

**MOTOR:**  
Motor eléctrico seco, de diseño arranque a carga plena, potente torque, de embobinado especial, con aislamiento barniz de 200°C, que soporta altas temperaturas y de muy alta eficiencia para operar en voltajes de 220 ó 440 volts, 60 Hz. Clasificación NEMA "F" 155°C.

**CUERPO DE LA BOMBA:**  
Aluminio al magnesio (Aeronáutico), utilizado en los motores de la industria automotriz, da mayor durabilidad y excelente resistencia a la abrasión, corrosión, altas temperaturas y al maltrato.  
Extraordinariamente compacta, liviana y de muy fácil manejo.

**CUBIERTA DE CARCAZA:**  
Fabricado en Aluminio al magnesio, con un recubrimiento de hule (Hyp-Nit) vulcanizado en todo su contorno, para resistir la abrasión y evitar un desgaste prematuro.  
Para mayor resistencia y evitar el barrido de cuerdas en el vulcanizado, lleva una incrustación en acero inoxidable.

**ANODO DE SACRIFICIO:**  
Absorbe el oxígeno del agua que se encuentra en el strainer (colador) para evitar que éste se oxide.



**IMPULSOR:**  
De aleación muy alta de Cromo (Acero inoxidable), balanceado por computadora y sellado. Evitando con esto un desgaste prematuro en la flecha, los baleros, el sello mecánico y sello de aceite.

**PINTURA:**  
En su Interior anticorrosiva para dar mayor durabilidad y seguridad. En su Exterior electrostática, que permite un mejor acabado, excelente presentación y mayor protección.

FIGURA 3 PARTES ESENCIALES DE UNA MOTOBOMBA (LOPAIZA, 2019)

LONGITUD EQUIVALENTE

Se refiere a los valores de coeficientes de resistencia K en los diferentes accesorios. Ver figura 4

Accesorios	L/D	Diámetro nominal (en pulgadas)											
		1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2_3	4	6	8-10	12-16	18-24
Válv.de compuerta(abierta)	8	0.22	0.2	0.18	0.18	0.15	0.15	0.14	0.12	0.11	0.1	0.1	0.1
Válv.de globo(abierta)	340	9.2	8.5	7.8	7.5	7.1	6.5	6.1	5.8	5.1	4.8	4.4	4.1

Válv.de retención horizontal (check)	100	2.7	2.5	2.3	2.2	2.1	1.9	1.8	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	
Válv.de retención horizontal oscilatoria(check)	50	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	0.75	0.7	0.65	0.6	
Válv.de pie de disco (de huso) con colador	420	11.3	10.5	9.7	9.3	8.8	8.0	7.6	7.1	6.3	5.9	5.5	5.0	
Válv.de pie de disco con bisagra	75	2	1.9	1.7	1.7	1.7	1.4	1.4	1.3	1.1	1.1	1.0	0.9	
Codos estándar	90°	30	0.81	0.75	0.69	0.66	0.63	0.57	0.54	0.51	0.45	0.42	0.39	0.36
	45°	16	0.43	0.4	0.37	0.35	0.34	0.3	0.29	0.27	0.24	0.22	0.21	0.19
	90° radio largo	16	0.43	0.4	0.37	0.35	0.34	0.3	0.29	0.27	0.24	0.22	0.21	0.19
	180°	50	1.35	1.25	1.15	1.10	1.05	0.95	0.9	0.85	0.75	0.7	0.65	0.6
Curvas de 90°	20	0.54	0.5	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.3	0.28	0.26	0.24	
T en línea (con derivación en la línea principal y lateral cerrada)	20	0.54	0.5	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.3	0.28	0.26	0.24	
T en línea (con circulación por derivación)	60	1.62	1.5	1.38	1.32	1.26	1.14	1.08	1.02	0.9	0.84	0.78	0.72	

FIGURA 4 LONGITUD EQUIVALENTE (D, 1998)

## TIPOS DE VÁLVULAS

### VÁLVULAS DE COMPUERTA

Este tipo de válvulas se utiliza principalmente cuando se requiere de circulación ininterrumpida y poca caída de presión. No se recomienda para servicios de estrangulación, porque tiende a sufrir erosión rápida cuando restringen la circulación y producen turbulencia con la compuerta parcialmente abierta. Las características principales del servicio de las válvulas de compuerta incluyen: cierre completo sin estrangulación, operación poco frecuente y mínima resistencia a la circulación. Ver figura 5

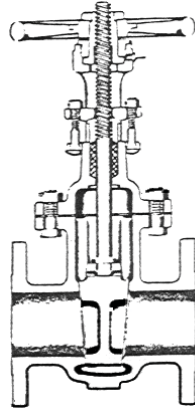


FIGURA 5 VÁLVULA DE COMPUERTA (MENDIZABAL, 2005)

### VÁLVULAS DE GLOBO

Las válvulas de globo se utilizan para cortar o regular el flujo del líquido y este último es su uso principal. Esta válvula ocasiona turbulencia y caída de presión, debido a que la trayectoria del flujo es muy problemática. Ver figura 6

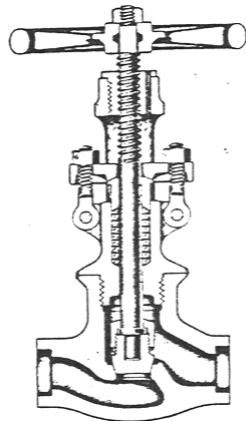


FIGURA 6 VÁLVULA DE GLOBO (MENDIZABAL, 2005)

### VÁLVULAS DE MARIPOSA

Este tipo de válvulas son uno de los más antiguos que se conocen. Son sencillas ligeras y de bajo costo. El uso principal de las válvulas de mariposa es para servicio de corte y de estrangulación cuando se manejan grandes volúmenes de gases y líquidos a presiones relativamente bajas.

Su diseño evita la acumulación de sólidos y produce baja caída de presión. Ver figura 7



FIGURA 7 VÁLVULA DE MARIPOSA (MENDIZABAL, 2005)

### VÁLVULAS DE ANGULO

Las válvulas en ángulo son, básicamente, válvulas de globo que tienen conexiones de entrada y de salida en ángulo recto. Su empleo principal es para servicio de estrangulación y presentan menos resistencia al flujo que las de globo. Ver figura 8

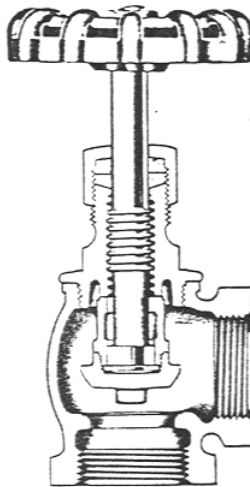


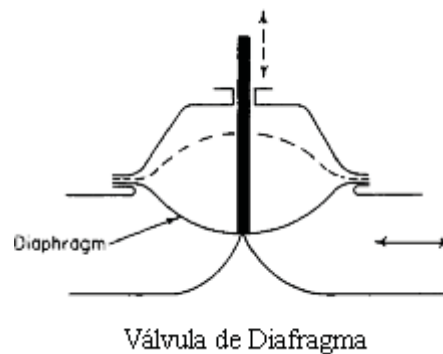
FIGURA 8 VÁLVULA DE ANGULO (MENDIZABAL, 2005)

### VÁLVULAS DE DIAFRAGMA

Las válvulas de diafragma se utilizan en servicios para corte y estrangulación y desempeñan una serie de servicios importantes para el control de líquidos. El diafragma aísla el líquido que se maneja, del mecanismo de operación. Los líquidos no pueden tener contacto con las piezas de trabajo en donde

ocasionarían corrosión y fallas de servicio.

Cuando se abre la válvula, se eleva el diafragma fuera de la trayectoria de flujo y el líquido tiene un flujo suave y sin obstrucciones. Cuando se cierra la válvula, el diafragma asienta con rigidez contra un vertedero o zona circular en el fondo de la válvula. Las aplicaciones principales de las válvulas de diafragma son para bajas presiones y con pastas aguadas que obstruirían o corroerían las piezas funcionales de la mayor parte de otros tipos de válvulas. Ver figura 9



**FIGURA 9 VÁLVULA DE DIAFRAGMA (MENDIZABAL, 2005)**

## VÁLVULAS DE UN SOLO PASO O VÁLVULAS CHECK

Las válvulas Check se destinan a impedir la inversión del fluido en una tubería. La presión del fluido circulante abre la válvula; el peso del mecanismo de retención y cualquier inversión en el fluido la cierran. Existen distintos tipos de válvulas check. La selección de un tipo particular depende de la temperatura y presión de funcionamiento, de la limpieza del líquido del proceso, caída de presión disponible y, en grado menor, de las limitaciones por la configuración de la tubería. Ver figura 10

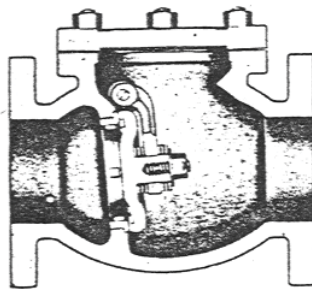


ILUSTRACIÓN 10 VÁLVULA CHECK (MENDIZABAL, 2005)

## OBRA ELECTRICA

### TABLEROS ELÉCTRICOS

Los tableros eléctricos, sus tipos y aplicaciones según el uso de la energía eléctrica

En una instalación eléctrica, los tableros eléctricos son la parte principal. En los tableros eléctricos se encuentran los dispositivos de seguridad y los mecanismos de maniobra de dicha instalación.

En términos generales, los tableros eléctricos son gabinetes en los que se concentran los dispositivos de conexión, control, maniobra, protección, medida, señalización y distribución, todos estos dispositivos permiten que una instalación eléctrica funcione adecuadamente.

Dos de los constituyentes de los tableros eléctricos son: el medidor de consumo (mismo que no se puede alterar) e interruptor, que es un dispositivo que corta la corriente eléctrica una vez que se supera el consumo contratado. Es importante mencionar que el interruptor no tiene funciones de seguridad, solamente se encarga de limitar el nivel del consumo.



Para fabricar los tableros eléctricos se debe cumplir con una serie de normas que permitan su funcionamiento de forma adecuada cuando ya se le ha suministrado la energía eléctrica. El cumplimiento de estas normas garantiza la seguridad tanto de las instalaciones en las que haya presencia de tableros eléctricos como de los operarios.

Una importante medida de seguridad para los tableros eléctricos es la instalación de interruptores de seguridad, estos deben ser distintos del interruptor explicado más arriba. Dichos interruptores de seguridad suelen ser de dos tipos: termomagnético, que se encarga de proteger tanto el tablero eléctrico como la instalación de variaciones en la corriente, y diferencial, que está dirigido a la protección de los usuarios.

## TIPOS DE TABLEROS ELÉCTRICOS

Según su ubicación en la instalación eléctrica, los tableros eléctricos se clasifican en:

- Tablero principal de distribución: Este tablero está conectado a la línea eléctrica principal y de él se derivan los circuitos secundarios. Este tablero contiene el interruptor principal.
- Tableros secundarios de distribución: Son alimentados directamente por el tablero principal. Son auxiliares en la protección y operación de sub alimentadores.
- Tableros de paso: Tienen la finalidad de proteger derivaciones que por su capacidad no pueden ser directamente conectadas alimentadores o sub alimentadores. Para llevar a cabo esta protección cuentan con fusibles.
- Gabinete individual del medidor: Este recibe directamente el circuito de alimentación y en él está el medidor de energía desde el cual se desprende el circuito principal.
- Tableros de comando: Contienen dispositivos de seguridad y maniobra.

Aplicaciones de los tableros eléctricos según el uso de la energía eléctrica

Como sabemos, la energía eléctrica tiene múltiples usos. Puede tener uso industrial, doméstico, también es posible utilizarla en grandes cantidades para alumbrado público, entre otros. Por otro lado, los tableros eléctricos tienen, según el uso de la energía eléctrica, las siguientes aplicaciones:

- Centro de Control de Motores
- Subestaciones
- Alumbrado
- Centros de carga o de uso residencial

- Tableros de distribución
- Celdas de seccionamiento
- Centro de distribución de potencia
- Centro de fuerza

## ELEMENTOS QUE CONFORMAN UN TABLERO ELÉCTRICO

### INTERRUPTOR TERMO MAGNÉTICO

Cumple la función de interruptor manual, interruptor automático activado por cortocircuitos y activado por sobre corrientes. Vienen calibrados para distintos valores de intensidad de corriente eléctrica. El conexionado es a través de bornes por tornillos y el montaje se realiza mediante riel DIN. Ver figura 11



FIGURA 11 INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO (FERNANDO, 2005)

### BORNERAS

Sirven para realizar interconexiones entre cables, evitando de esta forma realizar empalmes y el uso de cinta aisladora. Existen varios modelos y calibres para cables, como así también accesorios como topes, tapas, distintas formas de conexionado (por tornillo, a presión) dependerá del uso que se le quiera dar (ver catálogos). El montaje se realiza mediante riel DIN. Ver figura 12



FIGURA 12 BORNERA (FERNANDO, 2005)

## CABLECANAL

Se utiliza para canalizar los cables y así poder tener un buen orden en el cableado del tablero, dependiendo del uso podemos encontrar cablecanales ranurados o no ranurados, la elección se realiza por cantidad de cables que va a alojar (tamaño). La forma de montaje es mediante cinta auto adhesiva o tornillos. Siempre debemos consultar los catálogos de los fabricantes para una buena elección del producto. También se realizan instalaciones eléctricas domiciliarias completas, colocando toda la línea de accesorios para tal fin. Cabele hay que aclarar que el cablecanal ranurado sirve para realizar derivaciones de los cables por los espacios disponibles. Ver figura 13



FIGURA 13 CABLECANAL (FERNANDO, 2005)

## LLAVE SELECTORA

Existen de dos o tres posiciones, realizando paso por cero o no. Este cabezal se utiliza para realizar la selección de una acción u otra. Los contactos a utilizar van a depender de la aplicación. Los modelos pueden ser con maneta o con

llave. Ver figura 14



FIGURA 14 LLAVE SELECTORA (FERNANDO, 2005)

## GABINETES

Se utilizan para alojar todos los componentes eléctricos, pueden ser de plástico o de chapa, con tapa fija o con puerta, con cerradura con calle o con maneta de giro, varían su tamaño y colores. Ver figura 15



FIGURA 15 GABINETE (FERNANDO, 2005)

## CONECTORES

Se utilizan para realizar canalizaciones en las conexiones mediante tubos flexibles metálicos, por donde se pasarán los cables, de esta forma logramos protección y blindaje de la conexión. Ver figura 16



FIGURA 16 CONECTORES (FERNANDO, 2005)

## ELEMENTOS DE MANIOBRA

### RELÉ

Un relé es un interruptor accionado por un electroimán. Un electroimán está formado por una barra de hierro dulce, llamada núcleo, rodeada por una bobina de hilo de cobre. Al pasar una corriente eléctrica por la bobina el núcleo de hierro se magnetiza por efecto del campo magnético producido por la bobina, convirtiéndose en un imán tanto más potente cuanto mayor sea la intensidad de la corriente y el número de vueltas de la bobina. Al abrir de nuevo el interruptor y dejar de pasar corriente por la bobina, desaparece el campo magnético y el núcleo deja de ser un imán.

El relé más sencillo está formado por un electroimán como el descrito anteriormente y un interruptor de contactos. Al pasar una pequeña corriente por la bobina, el núcleo se imanta y atrae al inducido por uno de sus extremos, empujando por el otro a uno de los contactos hasta que se juntan, permitiendo el paso de la corriente a través de ellos. Esta corriente es, normalmente, mucho mayor que la que pasa por la bobina. Ver figura 17



FIGURA 17 RELEVADOR (FERNANDO, 2005)

## CONTACTOR

Generalmente los relés se utilizan para manejar cargas con consumos de potencia pequeños, para mayores consumos de potencia se utilizan contactores. Un contactor es de constitución parecida a la del relé, pero tiene la capacidad de soportar grandes cargas en sus contactos principales, aunque la tensión de alimentación de su bobina sea pequeña. Ver figura 18

Principalmente consta de 10 bornes de conexión (esto variará según modelo y marca):

2 para la alimentación de la bobina.

2 para un contacto abierto o cerrado usado en el circuito de control (contacto auxiliar).

Este contacto se puede suplementar con bloques específicos de contactos que se asocian físicamente al contactor; pueden ser NC-NC; NC-NO-NO-NC; NO-NO, etc.

6 para la conmutación de las líneas de potencia (Contactos principales).



## ELEMENTOS DE MANIOBRA Y PROTECCION

### RELÉS TÉRMICOS

Estos relés cumplen con la función de protección térmica del motor contra sobrecargas y van asociados a un contactor que es el que realiza la apertura del circuito de potencia. puesto que protegen solamente contra sobrecargas, los relés térmicos deben complementarse con una protección contra cortocircuitos. el relé de imagen térmica simula, a través de la utilización de un bimetálico, el calentamiento y enfriamiento del motor protegido en base a sus constantes de tiempo, vigilando las temperaturas alcanzadas en comparación con la máxima admisible como función de la duración de la sobrecarga. la temperatura es obtenida de forma indirecta, a través de la medición

FIGURA 18 CONTACTOR (FERNANDO, 2005)

de la corriente. Ver figura 19



ILUSTRACIÓN 8 RELÉ TI

FIGURA 19 RELEVADOR TÉRMICO (FERNANDO, 2005)





## CAPITULO III DESARROLLO DEL PROYECTO

Una de las prioridades de este proyecto es la correcta canalización y disposición de los escurrimientos pluviales, para lograrlo, el proyecto contempla la implementación de infraestructura de drenaje, en este caso cárcamo de bombeo, para el buen funcionamiento de la Línea 1 del Metro.

La principal fuente de agua que se puede presentar en el cajón del Metro es el agua de infiltración proveniente de los mantos freáticos y en algunos casos el agua de lluvia que penetra por las rejillas de ventilación. El agua freática penetra a través de los muros y losas del cajón debido a que estos no son completamente impermeables, o bien, el agua se abre paso a través de las juntas constructivas y grietas de contracción en la estructura e ingresa por goteo al interior, en algunos casos este goteo se convierte en escurrimiento, una vez allí, se acumula y se convierte en un riesgo de accidente para los trenes, o bien daña los elementos de concreto descubriendo el acero de refuerzo debilitando la estructura y afecta las instalaciones eléctricas, principalmente las charolas, y demás instalaciones como es caso de las líneas de la red contraincendios y los aparatos de vía y de señalización, lo que es objetable en las instalaciones del Metro, siendo preciso proveer de las instalaciones adecuadas para desalojar el agua del interior del cajón.

Como podemos observar la estimación de los volúmenes de agua que pueden acumularse en el interior del cajón del Metro, en este caso, no responden a la aplicación directa de las teorías y métodos de cálculo, solo se podrá estimar el volumen del escurrimiento para el diseño de la infraestructura, considerando o proponiendo algún valor por el agua producto de la infiltración que se puede acumular en los sitios observados o bien un porcentaje estimativo, acorde con la importancia de las instalaciones del Metro.

En las siguientes imágenes podemos observar las condiciones que se presentan en este tramo del cajón y que se han resuelto de manera provisional por parte del personal de operación de la Gerencia de Instalaciones Fijas.

Imagen No 20.- Trinchera de cableado eléctrico de la estación Pantitlán, se encuentra totalmente inundada y se puede observar el escurrimiento de agua por el muro hacia el interior de esta.



**IMAGEN 20** ESCURRIMIENTO POR MUROS

Imagen numero 21.- Los cables eléctricos se encuentran totalmente sumergidos en agua y recubiertos con salitre, no existe un sistema óptimo para poder desalojar el agua acumulada dentro de la trinchera, así como el agua que se encuentra encharcada en los alrededores sobre la zona del balastro.



**IMAGEN 21** TRINCHERA DE CABLES INUNDADA

En la imagen No 22.- Existen zonas del balastro con importantes volúmenes de agua de infiltración acumulados, tanto en los muros, losa de fondo de cajón, como por la losa tapa, se puede observar ya no infiltraciones sino escurrimientos de agua que penetran al interior del cajón provocando problemas a la operación de los trenes y aparatos de vías.



**IMAGEN 22 ENCHARCAMIENTO EN EL BALASTRO**

En la imagen No 23.- se observa que, debido a las filtraciones en la zona de trincheras, las instalaciones del drenaje de plataforma se encuentran inundadas, por lo que en un registro de drenaje se ha instalado de manera provisional una bomba sumergible que conduce los escurrimientos hacia un cárcamo de bombeo, también provisional que se ubica en la salida de la estación Pantitlán, en el sentido Observatorio-Pantitlán.



**IMAGEN 23 BOMBA AUXILIAR PROVISIONAL**

En la imagen No 24.- se observa la descarga del bombeo en el Km 0+748.277, proveniente del registro, podemos observar la trayectoria bajo las vías de la manguera que es utilizada como conducto de descarga.



**IMAGEN 24** DESCARGA POR LAS VÍAS

Actualmente para desalojar los excedentes de agua en la zona, existe en el sitio una instalación provisional de un equipo de bombeo dentro de un registro, por lo que los escurrimientos que ingresan al interior del cajón son canalizados y captados en este registro, para traspalearlos hacia otro cárcamo de bombeo provisional para su desalojo hacia la red exterior de drenaje de la estación. Por lo anteriormente mencionado, y con la información obtenida en base al levantamiento topográfico realizado, en el perfil de la rasante se identifica que este sitio es un punto bajo del perfil, y los escurrimientos de agua tienden a acumularse en esta zona, y de acuerdo con reportes del personal de operación del STC este es un punto conflictivo ya que si los equipos de bombeo que se encuentran provisionalmente operando quedaran por alguna razón fuera de servicio, los niveles de agua inundarían la zona de aparatos ocasionando problemas de operación al sistema de la Línea 1, adicionalmente, en la zona de cruce de la línea 5, se presentan, principalmente durante la temporada de lluvias importantes aportaciones al sistema de drenaje de esta zona de la Línea 1.

Para la definición del sitio para la construcción del cárcamo de bombeo, se realizó la revisión, análisis, interpretación y diagnóstico de la información del levantamiento topográfico y de las condiciones en que se encuentra la infraestructura de drenaje de plataforma existente, observándose que en este sitio se tiene la acumulación de agua producto de la infiltración de aguas freáticas que afecta una zona de aproximadamente 360 metros, inundando el drenaje de plataforma, situación que ocasiona la inundación de la zona del cajón, con tirantes de agua medidos de hasta 60cm, alcanzando niveles que pueden afectar la operación del sistema, dando por resultado, que de acuerdo con el perfil de la línea y las condiciones para la operación del sistema que se presentan

en el sitio, se hizo necesario la consideración de un cárcamo de bombeo que deberá anexarse a la planeación original de la Línea 1.

Durante los trabajos de levantamiento de las instalaciones existentes del drenaje de plataforma, tanto de los registros, tapas y cárcamos de bombeo, para la verificación física, técnica, dimensional y de funcionamiento de los componentes del drenaje de plataforma desde la Cola de Maniobras Pantitlán de la Línea 1 del STC, se fueron identificando las diferentes instalaciones hidráulicas que componen la infraestructura de drenaje para la captación, canalización y desalojo del agua de lluvia e infiltraciones que se presentan a lo largo del cajón y túnel.

Generalmente las aportaciones de agua que penetran en las estaciones y en el tramo de las líneas del Metro, provienen de las rejillas de ventilación, así como las del producto de infiltración de agua freática o de fugas en la red de agua potable y alcantarillado adyacente; estas aportaciones o escurrimientos deberán ser inmediatamente conducidas a través del drenaje hacia los cárcamos de recolección.

No se puede impedir que el agua proveniente de lluvia e infiltraciones penetre directamente y provoque problemas de acumulación y/o encharcamiento, en algunos casos llegue a inundar zonas que pudieran llegar a impedir la operación de la red del Metro, por lo que es necesario que el sistema de drenaje en los tramos o Inter estaciones y en las cabeceras de estación funcione correctamente y sea diseñado en función de las necesidades que se presenten.

En el caso del túnel, es importante analizar el perfil longitudinal de la línea para la localización de los cárcamos de bombeo, que deberán colocarse en los puntos bajos del mismo, garantizando de esta manera que el túnel permanezca libre de zonas inundadas. En cada cárcamo se deberán dos bombas del tipo sumergible capaces de conducir a través de tuberías de descarga a un registro previsto a nivel de calle o exterior, el que a su vez estará conectado a la red de alcantarillado municipal. La operación de estas dos bombas deberá de ser en forma alternada y simultánea, en caso de mayor aporte de agua, para evitar que solo una de ellas trabaje, permitiendo también dar mantenimiento cuando se requiera, sin tener que dejar fuera de servicio los cárcamos, aunque sea temporalmente.

El análisis para el cálculo de los gastos de aportación hacia los cárcamos por concepto de agua de filtraciones y de lluvia, se hace considerando como la más importante y de mayor volumen la correspondiente a la lluvia, por lo que la capacidad de los cárcamos deberá calcularse considerando un tiempo de llenado de tres horas, lo que permitirá contar con un factor de seguridad, ya que de lo contrario, los dispositivos de arranque y de paro automático de las bombas estarían operando continuamente para desalojar el agua a la red municipal.

## SISTEMA DE DRENAJE DEL TUNEL, TUBO DREN COLECTORES.

A lo largo del tune y ahogada en la losa inferior, están instaladas dos tuberías de 200mm (8") de diámetro de PVC, las que tienen la función de drenar todas aquellas aportaciones, ya sean pluviales que entran a través de las rejillas de ventilación o las aguas freáticas que se filtran en los muros al interior del propio cajón. Estas tuberías tienen coladeras interconectadas a cada 10m y registros a cada 30m, que permiten efectuar los trabajos de limpieza y mantenimiento necesarios.

En la zona de estación, la zona correspondiente a las vías cuenta con drenes laterales en ambos lados de la estación, con tubos de 200mm de diámetro, registros y coladeras que permiten drenar el agua hacia el cárcamo más próximo, manteniendo seco el balastro de la estación.

En las especificaciones del diseño de las líneas del Metro, se establece que a todo lo largo del cajón, en forma ininterrumpida y a ambos lados sobre las coladeras, se deberá colocarse una cubierta de concreto, que tendrá la función de contener el balastro. Además de dejar libre un canal por donde escurre el agua.

Con el fin de captar el agua pluvial que penetra al cajón a través de las rejillas de ventilación, se colocan charolas recolectoras a base de la lámina galvanizada. Estas charolas se cuelgan de tal manera que permiten a la vez respetar el área requerida para la ventilación, así como los gálibos de circulación de los trenes en el interior del túnel. Por medio de dos bajadas pluviales. La charola se drena directamente al dren lateral del cajón. Ver figura 25

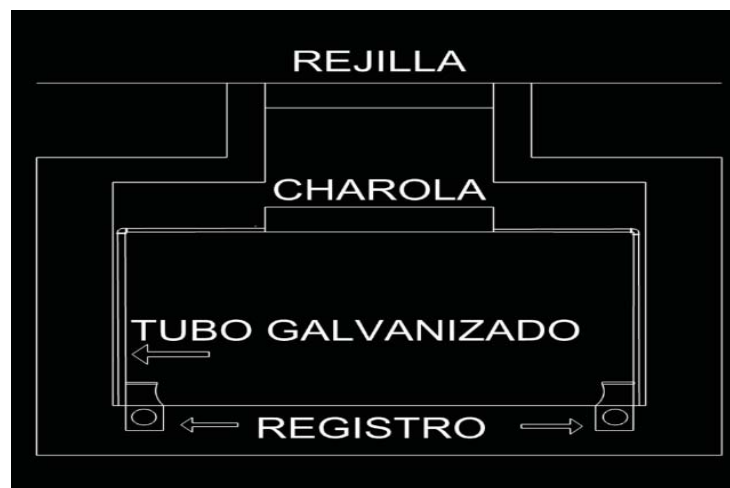


FIGURA 25 SISTEMA DE DRENAJE DEL TÚNEL

Los cárcamos de tramo (canal cubeta) se localizan en los puntos más bajos del perfil longitudinal del cajón. A estos cárcamos se hacen llegar las aguas pluviales y de

filtración de muros, a través de los tubos colectores o drenes laterales que descargan por gravedad a los cárcamos; los tubos del dren deberán tener la misma pendiente longitudinal que la losa inferior del tramo.

El dimensionamiento y capacidad de los cárcamos de tramo se determinan con base en la longitud de los tramos y su pendiente longitudinal, el área y el número de rejillas de ventilación del tramo, el factor de filtración de agua del subsuelo a través de los muros y la capacidad determinada por el equipo de bombeo. Los cárcamos deberán de contar con acceso directo por el túnel, con el fin de permitir mayores facilidades de mantenimiento a los equipos de bombeo.

La presencia de agua en el sistema de drenaje original de la Línea 1 del Metro es una constante, existen tramos donde los registros están saturados y en algunos casos como en el tramo de la estación Merced a la estación Pantitlán se tiene presencia de agua en el balastro, proveniente de filtraciones de consideración en los muros y de registros dañados.

Para estimar el volumen de agua por infiltración que ingresa al túnel en el Inter tramo, se determina el gasto de infiltración (en litros por segundo) a partir de la aplicación de la fórmula que expresa la Ley de Darcy; a partir del coeficiente de permeabilidad, la pendiente hidráulica y el área a través de la cual se da la infiltración, desarrollando el método se obtiene el volumen correspondiente.

La expresión de la fórmula de Darcy es la siguiente:

$$QI = (K) (i) (AI)$$

Donde:

**QI**= Gasto de infiltración, en  $m^3/s$

**K**= Coeficiente de permeabilidad del material de infiltración (muros de concreto), en  $m/s$

**i** = Pendiente hidráulica ( $H/L$ ) Carga hidrostática / Longitud del recorrido de la infiltración, adimensional

**A** = Área de los muros a través de los cuales se produce la infiltración, en  $m^2$

El volumen producto de la infiltración que se tiene en el tramo del cajón se determina a partir del gasto de infiltración y un determinado tiempo de infiltración, se ha considerado este tiempo igual al tiempo de llenado del cárcamo de bombeo que es de 3 horas, por lo tanto, se tiene la siguiente expresión:

3 horas=10 800 seg.

$$VI = (10,800) (QI)$$

Donde:

VI volumen de infiltración en  $m^3$

Según la Norma Técnica Colombia de Concretos y Métodos de Ensayo par Determinar la Permeabilidad del Concreto al Agua **ASTM NTC 4483** El coeficiente de permeabilidad para el concreto armado es:

$$K= 0.00000001 \text{ m/s a } 0.0000000001 \text{ m/s}$$

Para el presente diseño se considera el valor medio de **K= 0.000000001 m/s**

La determinación de la pendiente hidráulica  $i$ , se define como el cociente entre la carga hidrostática y la longitud de recorrido de la infiltración, por lo que se tiene:

$$i = \frac{H}{L}$$

$$i = \frac{\text{nivel de agua freatica} - \text{nivel de bajo anden}}{\text{espesor del muro del cajon}}$$

sustituyendo valores, la determinación de la pendiente hidráulica  $i$ , resulta de:

$$i = \frac{2,226.640 - 2,217.200}{0.60} = \mathbf{15.33}$$

la determinación del área a través de la cual se producirá la infiltración  $A_i$ , se define como el área del túnel que está en contacto con el terreno natural desde su parte superior hasta el nivel de la subrasante (nivel en que se tiene el balastro en el cajón) y que tiene la influencia del nivel freático y la infiltración del agua de lluvia, por lo que se tiene:

ATOTAL= (Perímetro exterior del Cajón) (Longitud del Tramo de Estudio)

$$ATOTAL = (25.19\text{m} + 9.44\text{m} + 25.19\text{m} + 9.44\text{m}) (362.00\text{m})$$

$$ATOTAL = (69.26\text{m}) (362.00\text{m}) = \mathbf{25,072.00 m^2}$$



En la siguiente tabla se muestran los resultados del cálculo de volúmenes de infiltración en el tramo de estudio. Ver tabla 1

TABLA 1. VOLUMEN DE PRODUCTO DE LA INFILTRACION					
TRAMO	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (m/s)	PENDIENTE HIDRAULICA (adimensional)	AREA DE INFILTRACION ( $m^2$ )	GASTO DE INFILTRACION ( $m^3/s$ )	VOLUMEN $m^3$
	0.000000001	15.33	25.072.00	0.000384	4.15

**TABLA 1 VOLUMEN DE PRODUCTO DE INFILTRACIÓN**

De acuerdo a lo anterior, analizando el perfil longitudinal del tramo se tiene que la longitud del cajón entre el punto bajo y los puntos altos o parteaguas es de **362.00** metros, el ancho del cajón es de **28.75** metros y en el punto bajo se puede alcanzar un tirante de 60 centímetros, si tomáramos en cuenta la lámina de agua que se forma entre los puntos altos y el punto bajo del perfil longitudinal, para el caso de dirigir el escurrimiento hacia el cárcamo de bombeo de proyecto, este volumen sería del orden de:

VOLUMEN REAL DEL AGUA = (ALAMINA DE AGUA) (ANCHO DEL CAJÓN)

VOLUMEN REAL DEL AGUA = (217.21m) (28.75m)

VOLUMEN REAL DEL AGUA = **6,245.0  $m^3$**

En la tabla 2 podemos observar el gasto que se requiere para vaciar el volumen en diferentes tiempos.

Tabla 2. TABLA DE TIEMPO DE VACIADO	
TIEMPO DE VACIADO (en horas)	QVACIADO ( $m^3/S$ )
3	0.58
6	0.29
9	0.19
12	0.14

**TABLA 2 TIEMPO DE VACIADO**

Otra recomendación para el diseño del drenaje de un túnel, proponen los siguientes valores que se basan en la experiencia acumulada en algunos casos registrados, por ejemplo, para el agua de lluvia procedente de las rejillas de ventilación que representan accesos abiertos al ingreso de agua pluvial al interior del túnel y que se canaliza hacia el drenaje original o bien hacia el cárcamo de bombeo que deberá diseñarse para la lluvia máxima de corta duración en el sitio de estudio, recomendándose considerar una intensidad de 100 mm/hr( precipitación pluvial), basada en la lluvia de fuerte intensidad de 15 minutos de duración y los equipos que desalojaran los escurrimientos hacia el drenaje exterior, es decir el cárcamo deberá

estar equipado con bombas automáticas con una capacidad de 15 l.p.s (gasto) que generalmente son suficientes para los volúmenes que ahí se acumulan.

Por lo anterior, para el diseño del Cárcamo de Bombeo que se proyecta en el Km 0+748.500 entre la estación Pantitlán y la estación Zaragoza, con dirección a la estación Pantitlán de la Línea 1 del Metro, se consideraron las recomendaciones y valores analizados anteriormente, donde observamos que el gasto de diseño no será mayor de 15 l.p.s y dadas las condiciones particulares del sitio donde se ubicara el cárcamo de bombeo y a la presencia de los cárcamos de bombeo existentes en las cabeceras de las estaciones Zaragoza y Pantitlán, el gasto de diseño será el siguiente:

**QDISEÑO= 15 l.p.s**

Para determinar la capacidad del tanque del cárcamo de bombeo, se considerará un tiempo de llenado de 15 minutos, resultando que:

CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DEL CARCAMO DE BOMBEO= (15 l.p.s) (900 seg) = **13,500 lts**

Recomendándose una capacidad de aproximadamente 3 veces el volumen calculado

CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DEL CARCAMO DE BOMBEO=(13,500lts) (3) = 40,000.00 lts = **40.0m<sup>3</sup>**

## CRITERIO DE DISEÑO

Se considera un sistema de bombeo que permita almacenar y desalojar el agua de la infiltración hacia la red de drenaje delegacional, el cárcamo estará localizado en el punto más bajo del tramo y su capacidad se estimó considerando volumen o un porcentaje estimado.

Bajo el criterio indicado anteriormente, a continuación, se presenta el criterio para su dimensionamiento y diseño en equipos de bombeo.

Para el dimensionamiento del cárcamo, se deben considerar los siguientes puntos:

- a) Disposición en planta acorde con el espacio disponible.
- b) La profundidad se determina a partir del tirante útil, tirante inferior que no se bombea correspondiente a la cámara de succión y a la altura de la cámara de aire.
- c) El piso del cárcamo debe de tener una pendiente mínima del **2%** hacia la cámara de succión.

- d) Debe ser completamente impermeable, debe ser construida con concreto reforzado con la adición de un impermeabilizante integral y su respectiva impermeabilización.
- e) Se coloca un tubo de ventilación para permitir la entrada de aire exterior y la salida de vapor y gases desprendidos del agua, este consiste en un tubo de 0.10m (4") de diámetro protegido con tela de mosquitero para evitar la entrada de insectos, roedores o basura.
- f) En el lugar más cercano a las tuberías de succión y de los electrodos para los controles de niveles alto y bajo, se proyectan registros de acceso con cierre hermético y una escaleta marina adosada a un muro para inspección y limpieza

## ANALISIS HIDRAULICO

En planta se propone para el proyecto del cárcamo las siguientes dimensiones

$$ACARCAMO = 6.50 \text{ m} \times 3.00 \text{ m} = \mathbf{19.50 \text{ m}^2}$$

La determinación del tirante del agua está dada por:

$$YCARCAMO = \frac{V_{carcamo}}{A_{carcamo}} = \frac{40.0\text{m}^3}{19.50\text{m}^2} = \mathbf{2.00\text{m}}$$

Considerando un espacio libre disponible de 0.50m para la cámara de aire, la altura total del cárcamo resulta de:

HCARCAMO= tirante de agua + cámara de aire

$$HCARCAMO = 2.00\text{m} + 0.50\text{m} = \mathbf{2.50 \text{ m}}$$

Por cuestiones de mantenimiento y de acuerdo con el nivel de descarga de la tubería proveniente del drenaje de vías (drenaje de plataforma), se ha considerado una altura mayor, que incluye el espesor necesario para dar la pendiente hacia la cámara de succión del cárcamo.

La distribución de la colocación de los electro niveles para la operación del equipo de bombeo, está dada de acuerdo con las siguientes consideraciones:

- a) Nivel del Fondo del cárcamo: 2,214.650 m.s.n.m (2.5m)
- b) Altura considerada para el nivel máximo de almacenamiento y de operación del equipo de bombeo es:2,216.650 m.s.n.m (2m)
- c) Los niveles a los cuales se colocan los electros niveles son:
  - i. Electro nivel "P" alarma de Bajo Nivel = 2,214.650 m.s.n.m (.50m)
  - ii. Electro nivel "B" Alternancia = 2,215.800 m.s.n.m(1.15m)

- iii. Electro nivel "C" Simultaneo= 2,215.900 m.s.n.m(1.25m)
- iv. Electro nivel "A" alarma de Alto Nivel = 2,216.600 m.s.n.m (1.96m)

Para diseñar el equipo de bombeo que cumpla con las condiciones de gasto de diseño, es necesario determinar la carga dinámica total, cuyo procedimiento de cálculo se presenta a continuación:

## CARGA DINAMICA DE BOMBEO

La determinación de la Carga Dinámica Total se obtendrá con la siguiente expresión:

$$\mathbf{CDT = hDB + hED + hf + hs + hv}$$

Donde:

**CDT= Carga Dinámica Total, en m**

**hDB= Carga Dinámica de Bombeo, en m**

**hED= Carga Estática de Descarga, en m0**

**hf= Perdidas de Energía por Fricción en Tubería de Descarga, en m**

**hs= Perdidas de Energía Secundarias, en m**

**hv= Perdidas de Carga por Velocidad, en m**

El equipo de bombeo a seleccionar es del tipo sumergible portátil y de acuerdo al volumen que se tiene, el gasto de diseño es el que se permita vaciar el volumen total del cárcamo en un tiempo promedio de 50 minutos.

Las pérdidas de energía por fricción se determinan de la aplicación de la ecuación de Darcy-Weisbach, las pérdidas de energía por cada uno de los accesorios es determinada en función de la carga de velocidad afectada por el coeficiente de determinada en función de la carga de velocidad afectada por el coeficiente de perdidas "K" o bien considerado el 10% del total de las pérdidas de energía por fricción, en ambas perdidas de energía interviene la ecuación de continuidad, sus expresiones están dadas por:

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

$$h_s = K \frac{V^2}{2g}$$

$$V = \frac{Q_{BP}}{A}$$

Donde:

$h_f$  = Pérdidas de energía por fricción en la tubería de descarga, en m

$h_s$  = Pérdidas de energía por accesorios (secundarias), en m

$Q_{BP}$  = Gasto de bombeo, en  $\frac{m^3}{s}$

$A$  = Área hidráulica de la tubería de descarga, en  $m^2$

$V$  = Velocidad media del fluido, en  $\frac{m}{s}$

$g$  = Aceleración gravitacional, en  $\frac{m}{s^2}$

$L$  = Longitud de la tubería de descarga, en m

$D$  = Diámetro de la tubería de descarga, en m

$f$  = Coeficiente de fricción, adimensional

$K$  = Coeficiente de pérdidas, adimensional.

El equipo de bombeo se diseña para conducir el gasto de bombeo  $Q_{BP}$ , Para la carga dinámica total determinada. Cada parámetro indicado tiene una secuencia de cálculo, por lo que a continuación se calcula cada uno de ellos:

### CARGA DINAMICA DE BOMBEO.

La determinación de la Carga Dinámica de Bombeo  $h_{DB}$ , se define como la diferencia entre el nivel máximo del agua en el cárcamo y el nivel mínimo de agua en el cárcamo (nivel de paro del equipo de bombeo), por lo que se tiene:

$h_{DB}$  = Nivel máximo de agua en el cárcamo – Nivel mínimo del cárcamo

$$h_{DB} = 2,216.600(2m) - 2,214.650(0.5m) = \mathbf{1.95m}$$

## CARGA ESTÁTICA DE DESCARGA.

La determinación de la Carga Estática de Descarga hED, se define como la diferencia entre el nivel máximo de descarga (nivel de descarga en la caja de cambio de régimen) y el nivel de agua máximo en el cárcamo, por lo que se tiene:

$h_{ED} = \text{Nivel Máximo de Descarga} - \text{Nivel máximo de agua en el cárcamo}$

(descarga hasta el pozo de visita) – (nivel de agua máximo del cárcamo)

$$h_{ED} = 2,228.237(13.637\text{m}) - 2,216.600(2\text{m}) = \mathbf{11.637\ m}$$

## PERDIDA DE ENERGIA POR FRICCIÓN

Para el cálculo de las pérdidas de energía por fricción en la tubería de descarga hf, se opta por utilizar la ecuación de Darcy-Weisbach, por lo que se tiene:

$$hf = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad V = \frac{Q_{BP}}{A}$$

Los datos que se tienen son:

$f = 0.016$  obtenido a partir del diagrama de Moody

$L = 69.50\ \text{m}$

$Q = 0.015 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$  (15 l.p.s)

$D = 0.102\ \text{m}$  (4")

$A = 0.0082\ \text{m}^2 \quad \pi r^2 = (3.1416) (0.51\text{m})^2 = 0.0082\ \text{m}^2$

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

$V = 1.83 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \frac{0.015}{0.0082} = 1.83 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Sustituyendo datos se tiene:

$$hf = 0.0016 \left( \frac{69.50}{0.102} \right) \left( \frac{1.83^2}{19.62} \right) = \mathbf{1.86\text{m}}$$

## PERDIDA DE ENERGIA POR ACCESORIOS

La obtención del valor de las pérdidas de energía por cada uno de los accesorios es determinada en función de la carga de velocidad afectada por el coeficiente de perdidas “K”, este coeficiente es función de cada accesorio y su expresión es:

$$h_s = K \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

$h_s$  = Perdidas de energía por accesorios (secundaria), en m

K = coeficiente de perdidas adimensional

V = Velocidad medida del fluido, en  $\frac{m}{s}$

g = Aceleración gravitacional, en  $\frac{m}{s^2}$

En la siguiente tabla según su longitud equivalente por accesorios se presenta el resultado sustituyendo valores: Ver tabla 3

TABLA 3. DE PERDIDAS DE ENERGIA POR ACCESORIOS				
CANTIDAD	PIEZA	COEFICIENTE DE PERDIDAS K (adimensional) (Longitud equivalente)	PERDIDA LOCAL TOTAL (m) $h_s=(k)(h_v)$	OBSERVACIONES
1	Entrada de 0.102m (4")	0.50	0.085	LA VELOCIDAD Y CARGA DE VELOCIDAD $V= 1.83 \frac{m}{s}$ $h_v =0.17$
1	Válvula de compuerta de 0.102m (4")	5.00	0.850	
1	Válvula check de 0.102m (4")	1.25	0.213	
2	Codos de 45° de 0.102m (4")	0.35	0.120	
10	Codos de 90° de 0.102m (4")	1.10	1.880	
1	Tee de 0.102m (4")	0.48	0.082	
1	VAEA de 0.102m (4")	7.56	1.290	
1	Sistema de manómetro de 0.102m (4")	2.00	0.340	

1	Descarga de 0.102m (4")	1.00	0.170	
TOTAL			<b>5.03</b>	

**TABLA 3 PERDIDA DE ENERGÍA POR ACCESORIOS**

### PERDIDA DE ENERGIA POR VELOCIDAD

Para el cálculo de las pérdidas de carga por velocidad, se considera el diámetro interior de la línea de descarga, para este caso el material considerado es Fierro Galvanizado, por lo que su diámetro interior, el área hidráulica, la velocidad media y la carga por velocidad valen:

$$D_{int} = 0.102\text{m (4")}$$

$$A = \frac{\pi \times D_{int}^2}{4} = \frac{\pi \times 0.102^2}{4} = 0.0082 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.015}{0.0082} = 1.83 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$h_v = \frac{V^2}{2g} = \frac{1.83^2}{19.62} = \mathbf{0.170m}$$

### CARGA DINAMICA TOTAL.

La obtención de la carga dinámica total CDT, se obtendrá con la siguiente expresión:

$$\mathbf{CDT = h_{DB} + h_{ED} + h_f + h_s + h_v}$$

$$\mathbf{CDT = 1.95m + 11.637m + 1.86m + 5.03m + 0.170m = 20.647m}$$

### SELECCIÓN DE EQUIPO DE BOMBEO

La obtención de la Potencia se determina a partir de la siguiente expresión:

$$P_b = \frac{Q \times CDT}{76 \times \eta} ; \eta = \text{eficiencia hidráulica} \times \text{eficiencia del motor}$$

Donde:

P<sub>b</sub> = potencia, en HP

Q = gasto de bombeo, en l.p.s

CDT = Carga Dinámica Total, en m



$\eta$  = Eficiencia, en decimal

Los datos de eficiencia global media son:

Eficiencia = 67.0%

$\eta$  = 67.0%

$$Pb = \frac{15.00 \times 20.65}{76 \times 0.67} = \mathbf{6.1 \text{ HP}}$$

Dado que el resultado de la potencia del equipo es de aproximadamente 6.0 HP, se toma el valor comercial de 7.5 HP

De acuerdo con los requerimientos del sistema de drenaje de las líneas del Metro de la CDMX, en todos los cárcamos de tramo, el sistema de bombeo consiste en dos bombas eléctricas de tipo sumergible portátil. Las bombas deben calcularse para vencer la carga dinámica total y el gasto estimado con una sola de ellas, aunque en un momento determinado si las aportaciones de agua al cárcamo fueran mayores, podrían trabajar las dos simultáneamente.

De acuerdo con los manuales de equipo de bombeo (VH Pump, ABS, Hidromatic, entre otras), como podemos ver en las siguientes imágenes las gráficas y especificaciones del equipo de bombeo, para condiciones de gasto 15 l.p.m (900 l.p.m o  $0.9 \frac{m^3}{m}$ ) y carga dinámica total de 20.65 metros, para el ejemplo de la bomba VH Pump, entrando a la curva de bombeo tenemos lo siguiente

En la primera grafica de las curvas de bombeo, los equipos ahí representados no cumplen con las condiciones de gasto y de carga dinámica; mientras que, en los modelos de la segunda gráfica, el equipo que reúne las condiciones es el siguiente:

Figura 26.-VH-2104UT, con características definidas de acuerdo con la siguiente tabla:

MODELO	DIÁMETRO NOMINAL DE DESCARGA		CAPACIDAD DE BOMBEO				CAPACIDAD				MOTOR				DIMENSIONES DE BOMBA			DIÁMETRO DE BOMBA		ACOTE REQUERIDO	
	COLUMNA		CAUDAL		ENERGÍA GARCIONO		HEAD		CAPACIDAD						DIÁMETRO		PESO DE				
	INCH	MM	MTL	LPM	MTL	LPM	FT	GPM	FT	GPM	CORRIENTE	VOLTS	HP	R.P.M.	AMP	CM	CM	KG	MM	MTL	LTS
VH-252UL	2	50	30	200	35	700	98.4	52.8	114.9	185.0	CA 3-Fases	220	5	3600	14	30.0	69.0	52.9	9	10	0.640
VH-253UL	3	80	20	500	30	1200	65.6	132.1	98.4	317.1	CA 3-Fases	220	5	3600	14	30.0	69.0	47.7	9	10	0.640
VH-254UL	4	100	10	1000	21	1700	32.8	264.2	68.9	449.2	CA 3-Fases	220	5	3600	14	30.0	69.0	49.7	15	10	0.640
VH-283UL	3	80	30	500	40	1300	98.4	132.1	131.3	343.5	CA 3-Fases	220	7 1/2	3600	20	30.0	69.0	49.8	9	10	0.640
VH-284UL	4	100	15	1000	25	2000	49.2	264.2	82.0	528.4	CA 3-Fases	220	7 1/2	3600	20	30.0	69.0	50.6	15	10	0.640
VH-2104UT	4	100	27	1000	40	1700	88.6	264.2	131.3	449.2	CA 3-Fases	220	10	3600	26	36.5	85.0	82.0	15	10	1.100
VH-2106UT	6	150	10	2000	20	3200	32.8	528.4	65.7	845.5	CA 3-Fases	220	10	1800	26	36.5	85.0	115	30	10	1.100
VH-2154UT	4	100	30	1000	45	1800	98.4	264.2	147.7	475.6	CA 3-Fases	220	15	3600	37.5	36.5	85.0	115	15	10	1.100
VH-2156UT	6	150	15	2000	26	3500	49.2	528.4	85.3	924.7	CA 3-Fases	220	15	1800	37.5	36.5	85.0	120	30	10	1.100
VH-2206UT	6	150	23	2000	45	2800	75.5	528.4	147.7	739.8	CA 3-Fases	440	20	3600	49	38.0	100	135	30	10	1.100
VH-2208UT	8	200	15	4000	23	6000	49.2	1056.8	75.5	1585.2	CA 3-Fases	440	20	1800	49	38.0	100	135	40	10	1.100

1M<sup>3</sup> = 1,000 Lts.

Curvas de bombeo

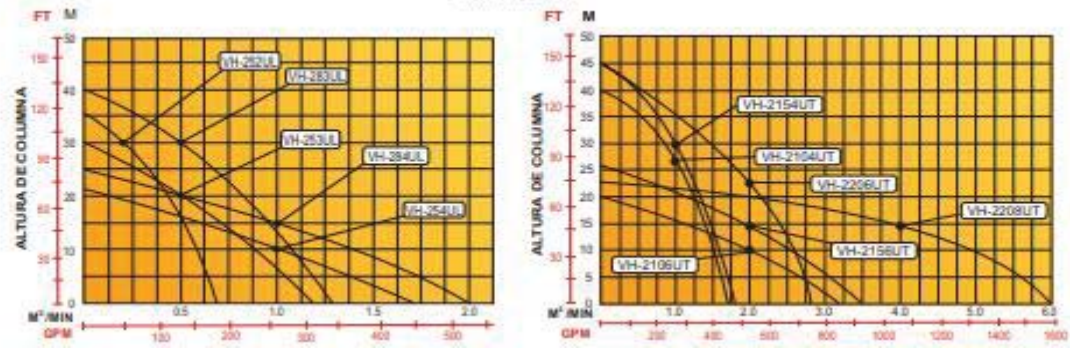


FIGURA 26 CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA (LOPAIZA, 2019)

Donde observamos que el diámetro nominal de la descarga es de 4" (100mm), la capacidad de bombeo resulta: Columna de 27m con capacidad de 1000 l.p.m (16.7 l. p.s), una columna máxima de 40m con capacidad máxima de 1700 l.p.m (28.3 l.p.s), motor de 220V, potencia de 10 H.P a 3600 R.P.M y peso del equipo de 82.0 kg

Estos equipos de bombeo deberán contar con un sistema de izamiento, a base de cadenas de acero inoxidable, para poderse extraer de los cárcamos cuando estos requieran mantenimiento.

Las tuberías de las descargas de los equipos de bombeo deberán ser de manguera industrial uso rudo en la zona interior del cárcamo de bombeo, cambiar a acero negro o fierro fundido con extremos bridados en la zona de operación del cárcamo y cambiar a polietileno de alta densidad en la parte enterrada hacia la descarga al exterior. El diámetro deberá de calcularse en función del gasto por manejar y la velocidad máxima permisible.

Las válvulas y conexiones también serán del tipo bridado y de los diámetros que cada proyecto requiera. Cada equipo de bombeo deberá contar con su propia línea de tubería de descarga independiente hacia el exterior y estas deberán estar interconectadas a través de un by pass, con válvula de compuerta para permitir utilizar cualesquiera de las líneas en caso necesario.

También deberá considerarse la conexión para una bomba de emergencia, a base de un niple para manguera de 76mm de diámetro.

Todas las tuberías deberán ir debidamente soportadas al muro y al techo. Se calculan los espaciamientos de soporte en cada caso, aceptándose 3m como separación máxima, para evitar vibraciones.

Las tuberías de descarga de las bombas deberán desaguar en los registros exteriores a nivel de la calle, cuyas dimensiones serán las necesarias para recibir los gastos de agua calculados, sin que se desborde por la tapa.

Desde estos registros, deberá hacerse una conexión a la red municipal con tubería de concreto o polietileno de alta densidad corrugado, de diámetro adecuado en función del gasto, la que tendrá una pendiente hacia la red municipal a fin de lograr la evacuación por gravedad.

## EQUIPO DE BOMBEO.

De acuerdo con los datos de gasto de diseño y carga dinámica total; el equipo propuesto de acuerdo con la propuesta técnica del fabricante es el que se describe a continuación:

- a) Equipo de bombeo: formado por dos bombas sumergibles marca VH Pump, modelo VH-2104UT o técnicamente equivalente para bombeo intermitente de agua pluvial, de infiltración y lodos, con protección eléctrica tipo Auto-Cut que desconecte el motor al alcanzar 120°C y restablecer la operación automáticamente al bajar la temperatura del bobinado a 60°C, con diámetro de descarga estándar de 100mm (4") para manguera, paso de esfera de 76mm (3"), con impulsor tipo cerrado, para manejar un gasto de 15.0 l.p.s y una carga dinámica total de 20.65mca, con una eficiencia hidráulica de acuerdo a graficas del fabricante (el equipo tendrá un rango de operación que proporciona un gasto de 16.7 l.p.s con una carga dinámica de 27.0 mca, hasta 28.3 l.p.s con una carga máxima de 40 mca, con doble sello mecánico de carburo de silicio, formado por dos niveles de sellado, uno hacia el motor y el otro hacia el impulsor y con oreja de izaje. Peso del ensamblaje bomba-motor (sin cable) de 82.0 kg

Motor eléctrico seco trifásico de 10.0 HP a 3600 R.P.M, de diseño de arranque a carga plena, potente torque, de embobinado especial con aislamiento barniz de 200°C, que soporta altas temperaturas y de muy alta eficiencia para operar en voltajes de 220 Volts, 60 HZ, para servicio continuo, aislamiento clase F Clasificación NEMA "F" 155°C, factor de servicio 1.10, arranque directo con contactor incorporado, 10 metros de cable de potencia.

## MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN:

Cuerpo de la bomba de Aluminio al Magnesio (aeronáutico), de mayor durabilidad y excelente resistencia a la abrasión, corrosión, altas temperaturas y al mal trato. Extraordinariamente compacta, liviana y de muy fácil manejo.

Flecha de acero inoxidable ANSI 410 SS

Impulsor de aleación muy alta de cromo (acero inoxidable) ANSI 410 SS

Tornillería en acero inoxidable molibdeno ANSI SS 304/316

Sello mecánico superior en Carburo de Silicio

Sello mecánico inferior en Carburo de Silicio

- b) Tablero de control automático: tablero de fuerza y control automático, suministrado en gabinete metálico tipo NEMA 4X de acero inoxidable. Marca SIEMENS, modelo RITTAL o técnicamente equivalente, el cual permite controlar y proteger dos motobombas centrifugas verticales sumergibles de 10.0HP, a 220 Volts, este tablero realiza las siguientes funciones.
- i. Arrancar a tensión plena ambas motobombas
  - ii. Proporcionar protección contra sobrecargas y corto circuito para cada motobomba (25Kv)
  - iii. Controlar automáticamente las bombas
  - iv. Proporcionar dos señales de control remotas de motobomba 1 operando y motobomba 2 operando, señalización de operación en tablero
  - v. Proporcionar señal remota de alarma de 80 dB
  - vi. El tablero de control deberá ser de tipo electromecánico, con sus componentes para uso industrial y de línea, confinados en un gabinete lo suficientemente amplio para poder maniobrar interiormente, la puerta deberá ser asegurada con una llave tipo triangular, además de contar con equipos de control del tipo PLC's o PAC's, para poder comunicará distancia el estado de las instalaciones tales como el alto nivel en cárcamo, ausencia de fases, daños en las motobombas, etc.
  - vii. Controlar manualmente las motobombas. En el tablero se tiene las posiciones PARO, MANUAL Y AUTOMATICO.

## LOS ELEMENTOS PRINCIPALES DEL TABLERO

- i. Interruptor termomagnético general ED63B125 e interruptores termomagnéticos ED63B070 marca SIEMENS o técnicamente equivalente derivados de 65,000 amperes simétricos de capacidad interruptiva normal
- ii. Todos los motores son trifásicos 220 volts, 60 Hz, con protección individual a base de interruptores termomagnéticos de tres polos
- iii. Arrancadores magnéticos marca SIEMENS, modelo 3RT1034 o técnicamente equivalentes, a tensión plena con protección térmica en las tres fases; incluye interruptor termomagnético “ED 6” contactor SIRIUS “3RT” de acuerdo a la potencia del motor y relevador bimetálico “3RU” ajustado de acuerdo a la potencia del motor eléctrico de la motobomba
- iv. Dispositivos de control tipo electromecánico tipo pera, adecuados para alternar el funcionamiento de las motobombas.
- v. El control automático deberá utilizar cuatro relevadores como mínimo para alternar y trabajar en automático.
- vi. Electro nivel (tipo pera) con contacto integrado para la transmisión remota de alarma de accionamiento mecánico sin necesidad de alimentación eléctrica e independientemente del circuito de control y fuerza, debiendo ser normalmente abierto (“NA”) para cárcamos.
- vii. Electro nivel (tipo electrodo) integrado por tramos de acero inoxidable A-303 y sujetos con cable uso rudo cal 5x16 AWG en colores diferentes (no roscados)
- viii. El control automático de las motobombas es realizado mediante un sistema de control eléctrico automático marca SIEMENS o técnicamente equivalente para alternar y simultanear las motobombas por medio de interruptores de nivel, este control es con lógica por medio de relevadores.

Ver figura 27. Tablero de control y fuerza

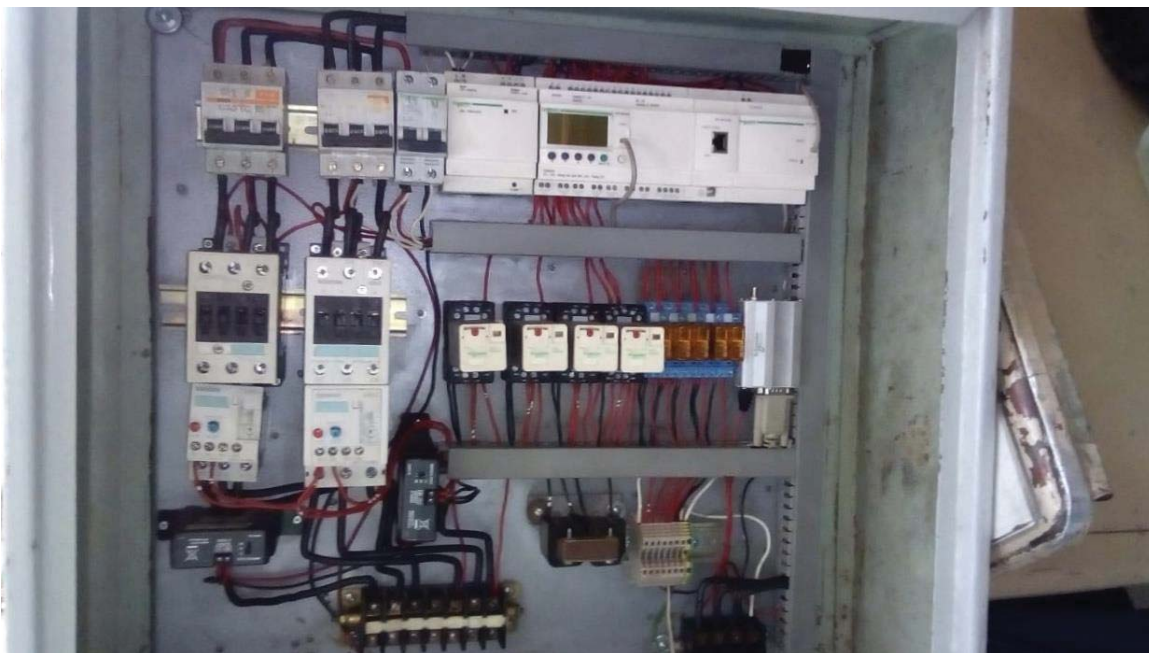


FIGURA 27. TABLERO DE CONTROL Y FUERZA

## SECUENCIA DE OPERACIÓN

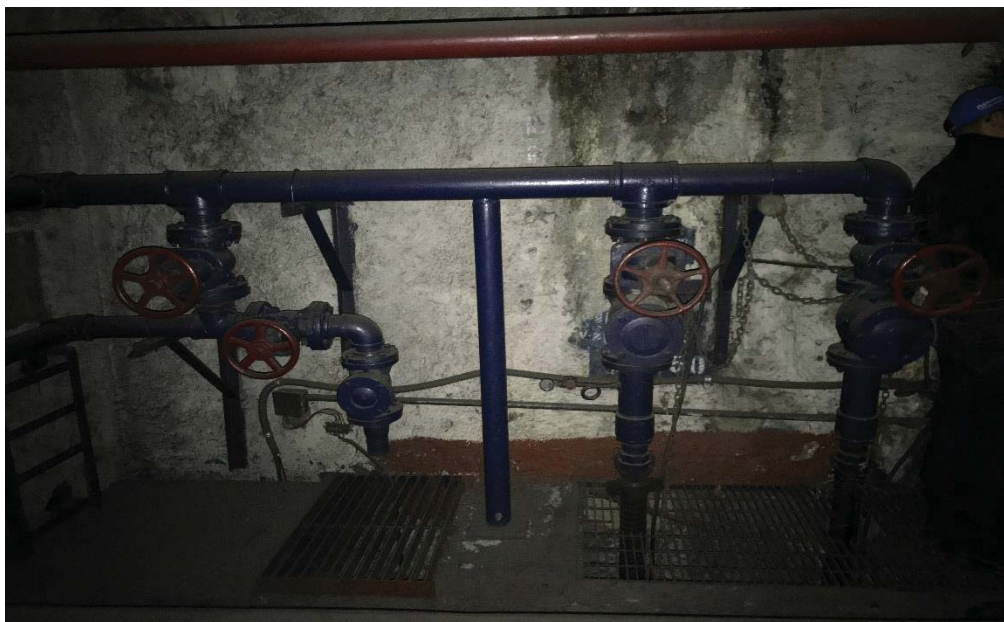
El cárcamo debe de tener un mínimo de cuatro electros niveles (tipo electrodo) para las siguientes operaciones:

- El electro nivel “A” (tipo pera) alarma por nivel alto, localizado entre los electros niveles “B” y “C”, la señal debe permanecer hasta que se corrija el problema.
- Electro nivel “B” arranque de la primera motobomba. Las motobombas 1 y 2 se alternarán las funciones de la primera motobomba después de cada ciclo.
- Electro nivel “C” arranque de la segunda motobomba, o bien, operación simultanea de las dos motobombas.
- Electro nivel “P” paro de las motobombas por nivel bajo.

## SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA

- Sistema de fuerza: corriente alterna 60 +/- 1 Hz, tres fases, 3 hilos, 1 hilo tierra física, 220 volts +/- 10%
- Sistema de control: corriente alterna 60 +/- 1 Hz, dos fases, dos hilos 220 volts +/- 10%
- Cada arrancador debe de contar con un circuito de control considerando sus respectivas protecciones termomagnéticas serie “5SX” marca SIEMENS, modelo “5SX2” o técnicamente equivalente, de capacidad requerida por el control, montados en el riel DIN.

Con esto podemos dar por terminado nuestro cárcamo. Ver figura 28



**FIGURA 28. CÁRCAMO TERMINADO CON TUBERÍA AUXILIAR**

## NORMATIVIDAD

- Especificaciones para el Proyecto y Construcción de las Líneas del Metro de la Ciudad de México, Volumen 1 y 2 Proyecto. Comisión de vialidad y transporte urbano, Secretaria de Obras y Servicios. Gobierno de la CDMX.
- Reglamento de Construcciones para la CDMX. Secretaria de Obras y Servicios. Gobierno de la CDMX.
- Normas Técnicas Complementarias para Instalaciones de Abastecimiento de Agua Potable y Drenaje. Secretaria de Obras y Servicios. Gobierno de la CDMX
- Normas de Construcción de la Administración Pública del Distrito Federal. Libro 2 Tomo II Proyectos Ejecutivos para Agua a Presión, Alcantarillado y Diseño de Pozo para Extracción de Agua. Secretaria de Obras y Servicios. Gobierno de la CDMX.
- Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS). Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)
- Especificaciones de Hermeticidad para el Sistema de Alcantarillado Sanitario Norma NOM-001-CNA-1995, referente al sistema de tuberías.



## CONCLUSION

Las afectaciones por el hundimiento de las estaciones son inevitables, en este trabajo de investigación tocamos un tema de importancia que es el encharcamiento en el tramo de Zaragoza a Pantitlán de la Línea 1.

Con este tipo de problemas ya existentes se analizó cual sería la mejor opción para evitar que el flujo de agua ya no sea continuo, concluyendo en la construcción de un Cárcamo de Bombeo que nos ayudara a evitar los encharcamientos y con esto las afectaciones al sistema.

La construcción del cárcamo atacó el principal problema que es la inundación en esta zona, se pudo analizar cada punto para su construcción con todo y sus limitantes, los cuales fueron: levantamiento topográfico que nos permitió saber las afectaciones de la estación con el paso del tiempo, la obra civil que nos permitió la construcción del cárcamo, la obra hidráulica que nos permitió el análisis de cada elemento hidráulico para poder lograr la evacuación del agua y por último la obra eléctrica que nos permitió la automatización de todo el sistema. Quedando en operación y abatiendo sin ningún problema el aforo de agua que llega por filtraciones y en temporadas de lluvia.

Gracias a esto el servicio está operando de forma correcta bajando el índice de retraso, pero sobre todo disminuyendo las intervenciones del personal para su mantenimiento correctivo causando esto un ahorro para el sistema.

## FUENTES DE INFORMACION

*Aguamarket*. (s.f.). Recuperado el 04 de abril de 2019, de Aguamarket:  
[www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?](http://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?)

Caballero, J. (09 de mayo de 2018). *lidefer*. Recuperado el 04 de abril de 2019, de lidefer: [www.lidefer.com/ley-darcy/](http://www.lidefer.com/ley-darcy/)

Chow, V. T. (1982). *wikipedia*. Recuperado el 04 de abril de 2019, de wikipedia:  
[es.wikipedia.org/wiki/Diagrama-de-Moody](https://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama-de-Moody)

Chow, V. T. (s.f.). *Wikipedia*. Recuperado el 04 de abril de 2019, de Wikipedia:  
[es.wikipedia.org/wiki/Diagrama-de-Moody](https://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama-de-Moody)

D, P. F. (noviembre de 1998). *Fagro*. Recuperado el 4 de abril de 2019, de Fagro:  
[www.fagro.edu.uy/hidrologia/riego/HIDRAULICA](http://www.fagro.edu.uy/hidrologia/riego/HIDRAULICA)

*dosiflusa*. (s.f.). Recuperado el 04 de abril de 2019, de dosiflusa:  
[dosiflusa.com.mx/pdf/VH-Pump/VH-Pump-Catalogo-Completo](http://dosiflusa.com.mx/pdf/VH-Pump/VH-Pump-Catalogo-Completo)

*ecured*. (s.f.). Recuperado el 04 de abril de 2019, de ecured: [www.ecured.ci/Aguas-freaticas](http://www.ecured.ci/Aguas-freaticas)

Fernando, M. (25 de noviembre de 2005). *taller la guardia*. Recuperado el 04 de abril de 2019, de taller la guardia:  
[tallerlaguardia8199.files.wordpress.com/2017/03/apunte-electricidad-ind-3.pdf](http://tallerlaguardia8199.files.wordpress.com/2017/03/apunte-electricidad-ind-3.pdf)

Lopaiza, I. (2019). Motobombas Portatiles Sumergibles. *Bombas Portatiles VH-Pump*, 6.

Mendizabal, D. G. (agosto de 2005). *gecoubs*. Recuperado el 04 de abril de 2019, de gecoubs: [gecosub.com.ve/guias/GECO](http://gecosub.com.ve/guias/GECO)

Onesimo, I. B. (2004). *Datos Practicos de Instalaciones Hidraulicas y Sanitarias*. CDMX: Derechos Reservados.

*ptolomeo*. (s.f.). Recuperado el 04 de abril de 2019, de ptolomeo:  
[www.ptolomeo.unam.mx](http://www.ptolomeo.unam.mx)

*pymet*. (s.f.). Recuperado el 04 de abril de 2019, de pymet:  
[www.pymet.es/levantamiento-topografico/](http://www.pymet.es/levantamiento-topografico/)