

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA  
PARA LA EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE BOMBEO EN  
HOSPITALES PÚBLICOS NACIONALES**

PRESENTADO POR:

**CARLOS ARMANDO CABALLERO PACHECO**

**MANUEL ISAAC ZAVALA LEMUS**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO MECÁNICO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, JULIO DE 2019

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR**

**:**

**M.Sc. ROGER ARMANDO ÁRIAS ALVARADO**

**SECRETARIO GENERAL**

**:**

**M.Sc. CRISTÓBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**DECANO**

**:**

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

**SECRETARIO**

**:**

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DIRECTOR**

**:**

**ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Título :

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA  
PARA LA EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE BOMBEO EN  
HOSPITALES PÚBLICOS NACIONALES**

Presentado por :

**CARLOS ARMANDO CABALLERO PACHECO**

**MANUEL ISAAC ZAVALETA LEMUS**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

**ING. LUIS JOSÉ SALALÁ SANTOS**

San Salvador, Julio de 2019

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

**Ing. LUIS JOSÉ SALALÁ SANTOS**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de graduación a toda mi familia, principalmente a mi padre, madre y hermanos, quienes me brindaron todo su apoyo, ánimos y consejo, cuando lo necesité.

Manuel Zavaleta

Dedicado a mi madre, padre y hermana que me apoyaron de todas formas posibles a través de mi carrera universitaria con su cariño y motivación. A mis amigos y compañeros de quienes aprendí inmensamente y continuaré aprendiendo. También le agradezco a A.S.E.I.A.S por haberme mostrado la importancia de la organización civil y tener en cuenta que los valores deben perdurar a través del tiempo.

Carlos Caballero

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos principalmente a nuestras familias, por apoyarnos y brindarnos toda la ayuda posible para poder culminar nuestra carrera profesional.

También, al personal del Hospital Nacional de Niños Benjamín Bloom, que abrieron sus puertas para nosotros, prestaron su tiempo y conocimiento para poder ejecutar este trabajo de graduación. A nuestros compañeros y amigos que nos apoyaron, y a todas las personas que de forma directa o indirecta nos ayudaron para la culminación de nuestra carrera profesional.

## **RESUMEN**

Este trabajo representa el objetivo de diseñar un instrumento técnico para la evaluación sistemática de sistemas de bombeo en hospitales públicos de la red nacional de El Salvador, para así, poder realizar una buena planificación y evaluación del mantenimiento de los equipos de bombeo para alcanzar un buen desempeño de estos sistemas. Debido a la gran importancia de realizar un buen manejo del recurso hídrico y su importancia en lugares como pueden ser los hospitales. El trabajo está dividido en seis capítulos, en el primer capítulo se describen conceptos básicos teóricos importantes para el desarrollo del diseño de la metodología, en el capítulo 2 se definen los criterios a tomar en cuenta a la hora de evaluar de forma integral un sistema de bombeo, concluyendo en este capítulo con el diseño del instrumento. Luego en los siguientes tres capítulos se implementa la metodología en el Hospital Nacional para Niños Benjamín Bloom del municipio de San Salvador.

## CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTO .....	ii
RESUMEN.....	iii
INTRODUCCIÓN .....	x
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. SISTEMAS DE BOMBEO.....	1
1.2. PROBLEMAS DE UN MAL DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO .....	9
1.3. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE BOMBEO .....	9
1.4. SISTEMAS DE BOMBEO EN INSTALACIONES HOSPITALARIAS.....	11
1.5. IMPORTANCIA DE UNA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE BOMBEO .....	12
2. DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE BOMBEO HOSPITALARIOS .....	14
2.1. DEFINICIÓN DE CAMPOS DE EVALUACIÓN .....	14
2.2. DEFINICIÓN DE CAMPOS DE EVALUACIÓN PARA LOS COMPONENTES HIDRÁULICOS .....	14
2.3. DEFINICIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA LOS COMPONENTES ELÉCTRICOS.....	15
2.4. OBJETIVOS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN.....	15
2.4.1. OBJETIVOS DE LA EVALUACIÓN PARA LOS COMPONENTES HIDRÁULICOS .....	16
2.4.2. OBJETIVOS DE EVALUACIÓN PARA LOS COMPONENTES ELÉCTRICOS .....	18
2.5. CONTENIDO DE LA EVALUACIÓN .....	20
2.5.1. RECOLECCIÓN DE DATOS.....	20



2.5.2. MEDICIONES DE CAMPO.....	26
2.5.3. PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN .....	28
2.5.4. ANÁLISIS DE DATOS .....	29
2.6. ELABORACIÓN Y PROPUESTA DE INFORME .....	33
2.7. FLUJOGRAMA DE LA EVALUACIÓN.....	34
3. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	36
3.1. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN .....	36
3.2. UNIDAD DE MANTENIMIENTO DEL HNBB .....	36
3.2.1 PLAN DE MANTENIMIENTO DEL HNBB.....	37
3.2.2. INFORMACIÓN RECOLECTADA DE LAS ÓRDENES DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO.....	41
3.2.3. CONSUMO DE AGUA DEL HOSPITAL NACIONAL BENJAMIN BLOOM	42
3.2.4. CATASTRO Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE EQUIPOS QUE CONSUMEN ENERGÍA ELÉCTRICA DEL SISTEMA DE BOMBEO.....	44
3.2.5. CONSUMO DE ELÉCTRICO DEL HOSPITAL NACIONAL BENJAMIN BLOOM.....	45
3.2.6. INFORMACIÓN POBLACIONAL DEL HNBB .....	46
3.2.7. PLANOS DE LA RED DE AGUA POTABLE .....	48
4. MEDICIONES DE CAMPO .....	51
4.1. CONTABILIZACIÓN DE APLICACIONES CONECTADAS AL SISTEMA DE BOMBEO. ....	51
4.2. MEDICIONES DE CAUDAL .....	51
4.2.1. METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE CAUDAL .....	52
4.2.2. HERRAMIENTAS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDAL .....	52
4.3. MEDICIONES DE PRESIÓN.....	55
4.3.1. METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE PRESIÓN.....	56
5. ANÁLISIS DE DATOS.....	58
5.1. IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS RECURRENTES .....	58

5.1.1. HORAS DE OPERACIONES POR CATEGORÍA EN EL SISTEMA DE BOMBEO.....	60
5.2. ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES DE CAMPO.....	62
5.3. ANÁLISIS DE LOS DATOS HISTÓRICOS .....	74
5.3.1. AUTONOMÍA DEL SISTEMA DE BOMBEO .....	75
5.4. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN POBLACIONAL DEL HOSPITAL NACIONAL BENJAMÍN BLOOM .....	76
5.5. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS .....	77
6. PROPUESTA DE SOLUCIÓN.....	80
6.1. PARÁMETROS DE DISEÑO.....	80
6.2. ANÁLISIS DE SITUACIÓN ACTUAL .....	81
6.3. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN.....	82
6.3.1 PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN .....	82
6.3.2. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN SELECCIONADA .....	82
6.3.3. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN .....	83
6.3.4 VIABILIDAD DE LA SOLUCIÓN.....	87
CONCLUSIONES.....	88
RECOMENDACIONES .....	89
BIBLIOGRAFÍA.....	90
ANEXOS.....	91
ANEXO 1. FORMATO DE MEDICIONES DE CAMPO DE CAUDAL O DE PRESIÓN. ....	91
ANEXO 2. PLANO DE PLANTA HNBB, UBICACIÓN DE CASA DE BOMBAS Y LAVANDERÍA.....	92

## ÍNDICE DE TABLAS:

	Pág.
Tabla 1. Definición de objetivos de evaluación generales y específicos. ....	16
Tabla 2. Ejemplo de procesamiento de información. ....	28
Tabla 3. Costo promedio mensual.....	43
Tabla 4. Equipos del sistema de baja presión.....	44
Tabla 5. Equipos del sistema de alta presión.....	44
Tabla 6. Características técnicas de lavadoras.....	45
Tabla 7. Cantidad de personal del HNBB. ....	47
Tabla 8. Número de camas del HNBB.....	47
Tabla 9. Planos del HNBB del sistema de bombeo de agua potable. ....	49
Tabla 10. Número de horas trabajadas y su costo de mano de obra en casa de bombas y red de distribución (2011-2018). ....	62
Tabla 11. Planteamiento de problemas.....	78
Tabla 12. Datos extraídos de norma técnica de ANDA. ....	80
Tabla 13. Planteamiento de solución a los problemas. ....	81

## ÍNDICE DE FIGURAS:

	Pág.
Figura 1. Esquema de una caseta de bombeo básica.....	4
Figura 2. Ejemplo de tabulación de datos para procesamiento de datos.....	29
Figura 3. Diagrama de metodología de evaluación.....	35
Figura 4. Esquema del departamento de mantenimiento del HNBB.....	37
Figura 5. Fotografía de ficha de mantenimiento preventivo del HNBB.....	38
Figura 6. Fotografía de ficha de OT de mantenimiento del HNBB al frente.....	39
Figura 7. Fotografía de ficha de OT del HNBB al revés.....	40
Figura 8. Consumo de agua mensual 04/2013-06/2018.....	42
Figura 9. Consumo promedio anual en metros cúbicos de agua.....	43
Figura 10. Consumo promedio eléctrico del HNBB.....	46
Figura 11. Esquema de egresos de usuarios del HNBB 2014-2018.....	48
Figura 12. Metodología para la medición de caudal.....	53
Figura 13. Tubo de abasto flexible.....	54
Figura 14. Depósito graduado.....	54
Figura 15. Cronómetro.....	55
Figura 16. Diagrama de metodología de toma de presión.....	57
Figura 17. Frecuencia de operaciones de mantenimiento en el HNBB.....	59
Figura 18. Horas trabajadas anualmente en el sistema de bombeo por categorías.....	61
Figura 19. Presión estática por niveles en sistema de baja presión.....	64
Figura 20. Presión estática por niveles en sistema de alta presión.....	65
Figura 21. Presión estática y presión estática con flujo del sistema de bombeo de baja presión, turno matutino.....	66
Figura 22. Presión estática y presión estática con flujo en sistema de alta presión en turno matutino.....	66
Figura 23. Presión estática y presión estática con flujo del sistema de baja presión en turno vespertino.....	67
Figura 24. Presión estática y presión estática con flujo del sistema de alta presión en turno vespertino.....	68

Figura 25. Presión estática y presión estática con flujo del sistema de baja presión en horario de visita de pacientes. ....	69
Figura 26. Presión estática y presión estática con flujo en sistema de alta presión en horario de visitas.....	70
Figura 27. Presión estática y presión estática con flujo del sistema de bombeo de baja presión en horario nocturno. ....	71
Figura 28. Presión estática y presión estática con flujo del sistema de alta presión en turno nocturno. ....	72
Figura 29. Caudal en metros cúbicos en sistema de baja presión. ....	73
Figura 30. Caudal en metros cúbicos en sistema de alta presión.....	74
Figura 31: Consumo promedio en metros cúbicos por año. ....	75
Figura 32: Esquema de relaciones de problemas existentes. ....	79

## INTRODUCCIÓN

Como en todo lugar el agua en un hospital es un recurso vital, por tanto es necesario que el sistema que transporta el agua sea sometido una evaluación para conocer su estado y en base a ello tomar decisiones con respecto a este. Conociendo ya la importancia de una evaluación en el sistema de bombeo el presente documento tienen como finalidad la de generar una secuencia de instrucciones para evaluar un sistema de bombeo hospitalario, para poder validar la metodología de evaluación se implementara en el Hospital Nacional de Niños Benjamín Bloom.

En el capítulo uno se describen los principios físicos bajo los que se rigen los sistemas de bombeo, los cuales obedece a la mecánica de los fluidos, se describe de igual forma los distintos componentes de conforman el sistema y todos los fundamentos teóricos de este.

El diseño de la metodología está basado en resultado esperado y la información necesaria para poder generar una propuesta, dicho diseño es planteado en el capítulo dos.

En el capítulo tres inicia la implementación de la metodología en el Hospital Nacional de Niños Benjamín Bloom. Se plasma la recolección de datos, que en conjunto con las distintas dependencias del Hospital Benjamín Bloom se ejecutó, Además en el capítulo cuatro para finalizar la obtención de los datos de entrada se muestra las mediciones de campo que se realizaron en la torre del Hospital Nacional de Niños Benjamín Bloom la cual cuenta con once pisos.

Contando ya con los datos suficientes se procede al análisis de estos, plasmando de esta manera las problemáticas que enfrenta el sistema de bombeo del hospital, en base a estas problemáticas es que se genera una solución la cual es descrita en el capítulo seis teniendo como resultado la propuesta para solucionar los problemas descubiertos en el sistema de bombeo finalizando así la implementación de la metodología.

## **1. MARCO TEÓRICO**

En el siguiente capítulo se muestra los conceptos necesarios para el desarrollo de los diferentes aspectos del trabajo de graduación.

### **1.1. SISTEMAS DE BOMBEO**

A continuación se describen los sistemas de bombeo comúnmente utilizados en los sistemas de suministro de agua potable.

#### **1.1.1. ANTECEDENTES DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO**

La ingeniería hidráulica es la rama de las ingenierías que se ocupa de la ejecución de obras relacionadas con sistemas de aguas sin importar si su función es para la generación de energía, para canalización, para irrigación o para potabilización del agua. Aprovecha los recursos hídricos como ríos, mares, lagos, mantos acuíferos subterráneos para la obtención del recurso y el aprovechamiento humano de este.

Un sistema de bombeo consiste en un conjunto de elementos que permiten el transporte a través de tuberías y el almacenamiento temporal de los fluidos, de forma que se cumplan las especificaciones de caudal y presión necesarias en los diferentes sistemas y procesos. Este trabajo de graduación se limita al estudio del transporte de fluidos newtonianos incompresibles, y más concretamente de líquidos.

Del año 4000 al 2000 a. C. los egipcios y los fenicios ya tenían experiencias en problemas de agua, en la construcción de sus barcos y sus puertos. En ese tiempo, China, India, Pakistán, Egipto y Mesopotamia iniciaron el desarrollo de los sistemas de riego. Los chinos también experimentaron en la protección contra inundaciones, después del 500 a. C. en la Grecia antigua se

construyeron acueductos y se empezaron a desarrollar fórmulas para dichos sistemas; fue éste uno de los primeros intentos para la elaboración de un modelo matemático. Después, se conoce la invención del molino de viento utilizado para extraer aguas subterráneas. Ya en el siglo XVI se desarrollaron los principios de la hidráulica con científicos como Kepler y Torricelli, alrededor del año 1800 Newton, Bernoulli y Euler perfeccionaron dichas teorías.

Las primeras civilizaciones que crearon sistemas de canalización de agua fueron los romanos, ellos dispusieron de un sistema de acueductos cuya función era transportar los desechos humanos de un lugar a otro (sistema de cloacas). Más tarde en 1795 se creó el primer modelo físico por el ingeniero Luis Jerónimo en un tramo del río Garona en Francia. En el año 1885, Reynolds construyó un modelo del río Mersey, cerca de Liverpool. Él notó que la relación existente entre la fuerza de la inercia y la fuerza de fricción interna era de gran importancia para el diseño de los modelos hidráulicos. Hoy en día, esta relación se denomina número de Reynolds, parámetro adimensional muy significativo en los modelos hidráulicos actuales.

El arquitecto naval William Froude, en 1870, indicó la importancia de tal relación de la fuerza de inercia y de la fuerza de gravedad. En la actualidad esta relación se denomina número de Froude, parámetro adimensional básico en el análisis de los modelos hidráulicos. El primer laboratorio hidráulico fue fundado en Dresden (Alemania), en 1891, por el Profesor Engels, y después de éste muchos otros aparecieron en casi todos los países del mundo; hoy en día hay más de un centenar (Dorado, 2011).

### **1.1.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO**

Los fundamentos teóricos que rigen el funcionamiento de los sistemas de bombeo son los de la mecánica de fluidos la cual estudia el comportamiento de los fluidos en movimiento y las fuerzas que lo provocan, el concepto de fluido



engloba tanto los estados de la material líquido y gaseoso, cuya característica principal es que tales estados no resisten esfuerzos cortantes, esto permite que puedan fluir.

Para un sistema de bombeo estos principios se aplican para la selección de la bomba según la potencia necesaria para forzar el agua en las tuberías, para diseñar el sistema de tuberías tomando en cuenta las pérdidas por fricción así como otros aspectos que se consideran para diseñar, seleccionar y mantener un sistema de bombeo.

### **1.1.3. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE BOMBEO**

Los componentes básicos de una estación de bombeo de agua potable son los siguientes (Organización Panamericana de la Salud, 2005):

- Caseta de bombeo,
- Cisterna de bombeo,
- Equipo de bombeo,
- Grupo generador de energía y fuerza motriz,
- Tubería de succión,
- Tubería de impulsión,
- Válvulas de regulación y control,
- Interruptores de máximo y mínimo nivel,
- Tableros de protección y control eléctrico,
- Sistema de ventilación, natural o mediante equipos, y
- Área para el personal de operación.

La figura 1 muestra un esquema típico de una caseta de bombeo empleado en el área rural, constituido por bombas centrífugas de eje horizontal,

sin embargo, esta configuración puede variar de acuerdo a las condiciones particulares de cada proyecto.

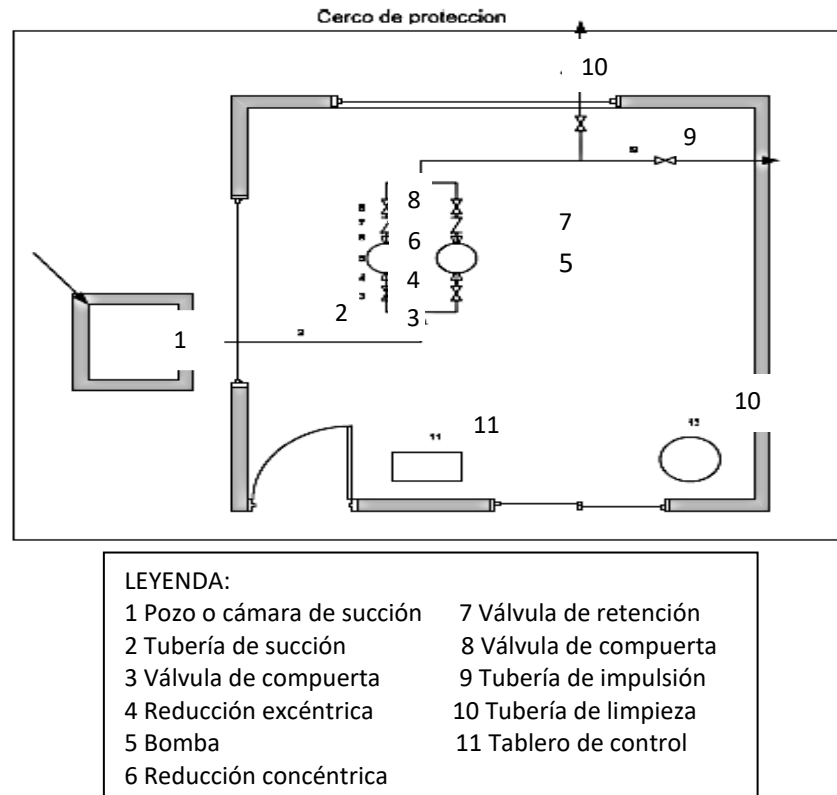


Figura 1. Esquema de una caseta de bombeo básica.

#### 1.1.4. CRITERIOS DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO

Los tamaños de las distintas plantas de bombeo varían según la instalación en la que se encuentre localizada, a esto se le añade el factor más importante el cual es la demanda o consumo de agua potable que requieren las aplicaciones de la instalación, partiendo de la demanda se seleccionan los elementos fundamentales que componen los sistemas de bombeo, para estos existen diferentes criterios de diseño y selección, de lo cual se encuentran los siguientes:

## ➤ Tubería

Las tuberías son los elementos que sirven de vía para el transporte del agua potable al punto de consumo. Cuando se considera la instalación del sistema de bombeo y se representan las tuberías en el plano hidráulico se debe buscar los tramos más cortos posibles entre el punto de inicio o de toma y el punto de demanda. Además se debe colocar únicamente los accesorios necesarios, esto con el objetivo de:

- Poder reducir los costos de inversión inicial que se incurriría en la compra de la tubería y
- Reducir pérdidas por fricción en la tubería.

Este segundo punto resulta el más crucial, ya que las pérdidas por fricción se traducen a gastos energéticos. El cálculo de las pérdidas energéticas por tuberías está dado por dos fórmulas, las cuales son para calcular las pérdidas debido a la fricción de la tubería y las pérdidas por accesorios, la ecuación de Darcy - Weisbach<sup>1</sup> la cual rige las pérdidas por fricción en tuberías es la siguiente:

$$h_f = f \frac{LV^2}{D^2g} \quad (\text{Ecuación de Darcy - Weisbach})$$

donde:

$h_f$ : es la pérdida de carga en metros de columna de líquido.

$f$ : es un coeficiente de fricción adimensional.

$L$ : es la longitud de la tubería.

$D$ : es el diámetro interior de la tubería.

$V$ : es la velocidad del fluido.

$g$ : es la aceleración de la gravedad.

---

<sup>1</sup>Claudio Mataix, 1986, Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas, Madrid- España, Ediciones del Castillo

Según la ecuación anterior se puede ver que a medida que incrementa la longitud de la tubería incrementarán las pérdidas. El valor de  $f$  varía según la rugosidad de la tubería por la que se transporta el fluido, por lo cual la selección de un material que presente poca rugosidad y que sea de bajo costo es un punto crítico en el diseño de instalaciones de bombeo.

Para la pérdida de energía por accesorios se utiliza la siguiente fórmula:

$$h = k \left( \frac{v^2}{2g} \right)$$

donde:

$k$ : Constante del accesorio

$v$ : Velocidad del fluido en movimiento

$g$ : Aceleración de gravedad.

El valor  $k$  varía según el tipo de accesorio se utilice, por lo cual como ha sido mencionado previamente, se debe de utilizar únicamente los accesorios necesarios.

### ➤ **Bomba hidráulica**

En un sistema de bombeo el dispositivo que se encarga de suministrar energía potencial y cinética al fluido es la bomba hidráulica, por lo cual la selección de este dispositivo es sumamente esencial para que el suministro del caudal que demandan las distintas aplicaciones sean satisfechas, para seleccionar las bombas dependen de 4 factores<sup>2</sup>:

- Caudal entregado por la bomba
- Potencia de la bomba
- Carga de la bomba

---

<sup>2</sup>Claudio Mataix, 1986, Mecánica de fluidos y Máquinas hidráulicas, Madrid- España, Ediciones del Castillo

- Eficiencia hidráulica

Se utiliza como herramienta de selección de las bombas las denominadas curvas de comportamiento las cuales caracterizan la conducta de los factores previamente mencionados. Estas curvas son construidas mediante ensayos realizados en bancos de prueba de bombas en donde se registran los datos de entrada y los datos de salida para luego generar dichas curvas.

A continuación se desglosa paso por paso el proceso para la selección de bombas centrífugas, ya que son el tipo de bombas más comunes para los sistemas aplicados a edificios.

- 1) Identificar el fluido que será bombeado así como también sus propiedades físicas como densidad y viscosidad a la temperatura de trabajo del fluido y con esto se podrá utilizar la ecuación de Bernoulli para calcular el NPSH (altura neta positiva de succión) disponible para poder verificar si existe o no riesgo de cavitación en el rodete de la bomba.
- 2) Determinar la demanda de las aplicaciones conectadas al sistema de bombeo, junto con su factor de servicio para poder tener una primera aproximación al caudal que debe de desarrollar la bomba.
- 3) Determinar la carga de la bomba, para esto se debe de realizar un balance de energía a través de la ecuación de Bernoulli.
- 4) Según las curvas características que facilitan los fabricantes de bombas, ya con los valores fijados de caudal y la carga de la bomba se trazan estos valores en la curva Q-H (curva característica de la bomba) y de esta forma se determina el diámetro del rodete al valor más cercano.
- 5) Utilizando la curva de potencia se procede a determinar el consumo que tendrá la bomba, para este caso se considera conveniente utilizar un factor de seguridad el cual será fijado por el diseñador.

6) Y por último se utiliza la curva de NPSH requerida la cual representa la energía necesaria para llenar la parte de aspiración de la misma y vencer las pérdidas por rozamientos y aumento de velocidad desde la conexión de aspiración hasta el punto donde se incrementa la energía el valor del NPSH requerido será según el caudal desarrollado.

### ➤ **Motores**

Los motores son los elementos que proporcionan el impulso de energía mecánica, la selección de motores para un sistema de bombeo dependerá de los siguientes factores:

- **Potencia requerida para la instalación:** Con la potencia requerida por la bomba que será acoplada al motor, se divide entre la eficiencia de la transmisión de energía entre el rotor y el eje del motor. A este valor se le divide nuevamente entre la eficiencia de la conversión de la fuente de energía a la mecánica.
- **Eficiencia del motor:** la eficiencia dependerá de la naturaleza del motor y su construcción. Este dato debe de ser listado por el fabricante en las características del equipo.
- **Disposición de la fuente de energía del motor:** Los motores pueden ser de combustión interna, es decir utilizan un combustible para su funcionamiento o pueden ser eléctricos para lo cual necesitan una alimentación de una fuente de energía eléctrica bajo los requisitos de voltaje, amperaje y fase para el cual está construido, por ello la disponibilidad de cualquiera de las fuentes de energía para lograr el funcionamiento de los motores es esencial para su selección.

## **1.2. PROBLEMAS DE UN MAL DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO**

El diseño de un sistema de bombeo no es una tarea que debe de tomarse a la ligera, debe de ser realizada por un experto en el área o por lo menos que tenga estudios para llevar a cabo esta labor. Existen diversos problemas que pueden presentarse en un sistema de bombeo y entre aquellos que se originan debido a un mal diseño del sistema se pueden mencionar los siguientes:

- Demanda no satisfecha: Se puede deber a varios errores en el diseño como haber calculado un valor de caudal menor a la de las aplicaciones con su factor de uso, podría ser también por un valor erróneo de las pérdidas en las tuberías así como también como una mala proyección en el incremento de la demanda de las aplicaciones del sistema.
- Cavitación en rodete de la bomba: Principalmente ocurre por no haber calculado de forma correcta el NPSH disponible.

## **1.3. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE BOMBEO**

Uno de los costos más elevados en las estaciones de bombeo son la operación de estas, que incluso son superiores a la inversión inicial y además, está comprobado que los sistemas de bombeo consumen aproximadamente entre el 20% y el 25% de la demanda mundial de energía eléctrica (Valdés & Huguet Esteve, 2010). Algunas organizaciones incluso afirman que las estaciones de bombeo pueden representar hasta un 30% de la demanda mundial de energía eléctrica, siendo responsabilidad de casi 35% de las emisiones de dióxido de carbono ( $CO_2$ ).

En el proceso de transformación de la energía para un trabajo de bombeo se tienen diferentes factores que provocan pérdidas, entre ellas se puede mencionar (Moya, 2016):

- a) Pérdidas en instalaciones eléctricas (alrededor del 6%),
- b) Pérdidas en motores eléctricos (alrededor del 10%),
- c) Pérdidas en el acoplamiento (alrededor del 1%),
- d) Pérdidas en la bomba (alrededor del 32%),
- e) Pérdidas en la conducción (alrededor del 12%) y
- f) Pérdidas por fugas (alrededor del 18%) quedando finalmente cerca de un 21% de trabajo útil aprovechable.

Los mayores problemas con el mayor gasto de energía están relacionados con atascos, desgaste del impulsor, rodamientos en mal estado o motor defectuoso entre el conjunto motor-bomba. En el sistema se genera mayor gasto por las pérdidas en válvulas, sedimentaciones y aire en las tuberías o sifones u otros elementos que no funcionen correctamente. De acuerdo al manejo de la estación, se puede generar un mayor gasto de energía de acuerdo a los niveles de arranque y paro y de acuerdo a la energía de velocidad dispuesta en el sistema. Si se trata de reducir estos gastos se puede aumentar nuestra eficiencia del sistema obteniendo menores gastos energéticos y mayor rentabilidad.

Los puntos a analizar dentro de una evaluación de eficiencia energética son:

- a) Caudal y presión de impulsión,
- b) Altura geodésica,
- c) Potencia consumida,
- d) Diámetro de tuberías,
- e) Niveles de agua en el pozo,



- f) Distancia entre los instrumentos de medición,
- g) Esquema de la instalación y
- h) Manejo de la estación.

La finalidad de una auditoría energética en una estación de bombeo es obtener recomendaciones para lograr ahorros energéticos, ya que en muchos casos, a pesar de que la inversión inicial pueda parecer muy grande, los ahorros que se obtienen por la reducción en la factura de energía eléctrica pueden amortizarse en un corto periodo de tiempo (2-5 años).

El proceso de una evaluación energética de un sistema de bombeo puede tener diferentes etapas, entre las cuales están:

- a) Recolección de información histórica,
- b) Mediciones de campo,
- c) Análisis de la información,
- d) Identificación de las áreas que poseen oportunidad de ahorro,
- e) Propuestas de medidas de ahorro y
- f) Evaluación de medidas.

Además de ello se deben de evaluar diferentes indicadores energéticos que pueden ser de gran utilidad, algunos de los factores que normalmente se toman en cuenta son la evolución del consumo de energía, las tarifas eléctricas, el factor de potencia, eficiencia de los motores eléctricos, ahorros de energías en las bombas, etc.

#### **1.4. SISTEMAS DE BOMBEO EN INSTALACIONES HOSPITALARIAS**

El agua es un derecho fundamental para toda persona, sin embargo, según UNICEF y la Organización mundial de la salud (OMS), en su última

publicación en 2019 una de cada tres personas en el mundo no tiene acceso al agua potable (UNICEF, OMS, 2019).

La importancia de un sistema de bombeo radica en el constante crecimiento de la población y en lo difícil que resulta cada vez encontrar el vital líquido. Actualmente hay personas que tienen que desplazarse varios kilómetros para obtener agua pues no cuentan con tecnología o equipo necesario para trasladarla hasta su lugar de residencia.

En el caso de edificios como hospitales, el líquido es brindado por el sistema de acueductos nacional (en El Salvador es brindada por una administración nacional). El agua está presente casi en todas las actividades que se realizan; agua para uso en inodoros y duchas, lavandería, agua caliente sanitaria (ACS), limpieza, lavandería, etc. Sin embargo, normalmente el suministro que se tiene con estos sistemas resulta insuficiente en caudal y presión, básicamente no es posible cubrir todo el sistema hidráulico de un edificio hospitalario por sí solo, por lo tanto hay que repotenciar el sistema. Aquí es donde entran los sistemas de bombeo, primero, y como parte de la instalación, es necesario tener una cantidad almacenada de agua para cubrir todas las necesidades, esto se realiza en la cámara de succión y posteriormente con el sistema de bombas ya diseñado, se hace llegar a cualquier parte de la edificación donde se requiera.

### **1.5. IMPORTANCIA DE UNA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE BOMBEO**

Toda institución o empresa, debe de perseguir siempre una mejora continua, esto al mismo tiempo enfrentándose con el desgaste de los sistemas de apoyo que conforman al ente debido al transcurso del tiempo, es por esto que se debe de encontrar la forma para captar el estado actual del ente (medir) y de los diferentes sistemas que lo conforman, este es el objetivo principal que

persigue una evaluación y con los datos recopilados, es decir el estado actual definido y con ello se pueden tomar decisiones para lograr la persecución de la mejora continua.

## **2. DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE BOMBEO HOSPITALARIOS**

En este capítulo se definen criterios, campos y objetivos de evaluación para un sistema de evaluación de sistemas de bombeo en hospitales.

### **2.1. DEFINICIÓN DE CAMPOS DE EVALUACIÓN**

Una evaluación es nada más que una valoración de los atributos que puede tener algo, para llevarla a cabo primeramente se tiene que establecer cómo se definirán los criterios, esto por efecto de claridad y a forma de delimitar la evaluación del sistema por lo cual la evaluación se realizará acorde a los componentes del sistema de bombeo en los cuales se definirán qué aspectos estarán sometidos a los criterios.

### **2.2. DEFINICIÓN DE CAMPOS DE EVALUACIÓN PARA LOS COMPONENTES HIDRÁULICOS**

Los elementos mecánicos que conforman un sistema de bombeo son diversos y están sometidos a desgaste por abrasión, cavitación, elevaciones de presión entre otros desperfectos que se pueden encontrar durante su operación, estos desperfectos conllevan a un consumo excesivo al que realmente requieren las aplicaciones por lo cual los campos que serán sometidos a evaluación son los siguientes:

- Consumo de agua,
- Operatividad,
- Mantenimiento de los elementos,

- Costos de la operación de los elementos mecánicos y
- Funcionamiento.

### **2.3. DEFINICIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA LOS COMPONENTES ELÉCTRICOS**

Los criterios que involucran a los componentes eléctricos está ligado de manera directa al consumo eléctrico y por lo tanto a la eficiencia de este recurso, la calidad eléctrica o la falta de ella puede llegar a presentar desperfectos en el sistema en base esto se definen los campos que serán sometidos a evaluación:

- Consumo eléctrico,
- Operatividad,
- Mantenimiento de los elementos eléctricos y
- Costo de la operación de los elementos eléctricos.

### **2.4. OBJETIVOS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN**

Las bases de toda evaluación están cimentadas en tres componentes los cuales son los objetivos es decir lo que el sistema debería de aspirar a ser, los criterios que es con los cuales se anunciará qué aspectos debe de cumplir para lograr los objetivos y por último los indicadores que reflejaran de manera cuantitativa y cualitativa si los criterios son cumplidos.

Como se ha descrito previamente, una evaluación lleva el objetivo principal de conocer el estado actual de algo, aplicado a la temática del documento, se pretende con una evaluación de conocer el estado que presenta

la instalación del sistema de bombeo de la institución hospitalaria a la cual sea aplicada la metodología, para ello deben trazarse diferentes objetivos para los distintos componentes que lo conforman, siendo estas las bases de donde se partirá la evaluación por lo cual según como se habían desglosado los campos de evaluación, de igual se forma se desglosan los objetivos.

Tabla 1. Definición de objetivos de evaluación generales y específicos.

Objetivo General	Conocer el estado actual de la estación de bombeo junto con los componentes que lo integran, para obtener así plasmada la situación real de la estación para la toma de decisiones.	
Objetivos Específicos	Sistema Hidráulico	Conocer el estado actual del sistema hidráulico de la estación de bombeo.
	Sistema Eléctrico	Conocer el estado actual del sistema eléctrico de la estación de bombeo.
	Sistemas de control (auxiliares)	Conocer el estado actual de los sistemas de control de la estación de bombeo.

#### 2.4.1. OBJETIVOS DE LA EVALUACIÓN PARA LOS COMPONENTES HIDRÁULICOS

A partir de los campos que fueron descritos en los componentes hidráulicos se han determinado los objetivos que la evaluación persigue captar los cuales son:

##### ➤ Consumo de agua

Los objetivos de consumo de agua deben de ir orientados a que el sistema tenga la apropiada gestión del recurso de esto se delinear los siguientes puntos:

- Se conoce la demanda de la población que tiene que ser suplida para las aplicaciones por el sistema de bombeo.
- El consumo de agua es apropiado, acorde a las aplicaciones conectadas a la red hidráulica.
- La presión requerida por las aplicaciones es suplida por el sistema de bombeo.
- El suministro de agua es estable y está disponible siempre que se necesite.

➤ **Operatividad**

La operatividad se refiere a la capacidad de funcionar de los elementos dentro del sistema hidráulico, por lo cual los objetivos trazados para los elementos hidráulicos en este campo son los siguientes:

- Se cuentan con conocimiento de la capacidad instalada y con los respectivos planos hidráulicos de la instalación.
- Los elementos hidráulicos funcionan de manera satisfactoria según lo esperado de ellos.
- El sistema de bombeo posee autonomía ante discontinuidades por parte del proveedor de agua.

➤ **Mantenimiento de los elementos**

El mantenimiento es la actividad de preservar los activos dentro de una organización, por lo cual refiriéndose a lo que es un sistema de bombeo de agua y específicamente a los elementos hidráulicos debe de dársele un mantenimiento a los distintos elementos que lo conforman como lo son las bombas y sus partes, tuberías, válvulas, etc. En este documento no se entrará en detalle con relación al tipo de mantenimiento que se utilice en la institución más bien se tratará de reflejar si los elementos son mantenidos de forma apropiada o no, por lo cual según esta descripción se traza los siguientes puntos:

- No se obtienen fallos o paradas en el sistema hidráulico.
- Se posee un plan de chequeo y mantenimiento preventivo de los componentes del sistema hidráulico y se llevan a cabo.
- Se evalúa el sistema hidráulico de forma periódica para obtener el estado del sistema hidráulico.
- El plan de mantenimiento para el sistema hidráulico ha sido útil para evitar problemas en éste.

➤ **Costos de la operación de los elementos hidráulicos**

Dentro de toda organización sea pública o privada una de las persecuciones que tienen contempladas es la reducción de costos, por lo tanto es de tener en claro los costos que representan las operaciones de los distintos sistemas, en este apartado se tomarán específicamente los componentes hidráulicos dentro del sistema de bombeo, por lo cual los objetivos que se esperarían cumplir en la evaluación son los siguientes:

- Se cuenta con un registro de los costos que representan los elementos hidráulicos a través de la vida de la instalación.
- Los costos representados por el mantenimiento y la operatividad de los elementos hidráulicos del sistema son los esperados.

#### **2.4.2. OBJETIVOS DE EVALUACIÓN PARA LOS COMPONENTES ELÉCTRICOS**

De acuerdo con los campos a evaluar descritos en el capítulo se obtiene lo siguiente:



➤ **Consumo de energía**

Al evaluar el consumo de energía se deberá tener claro los siguientes puntos de la instalación eléctrica:

- Se conoce la factura eléctrica que corresponde a la carga por el sistema de bombeo.
- Se conoce el factor de potencia de la instalación eléctrica y su valor es aceptable operativamente para la red eléctrica.
- Se conoce la potencia real demandada por la estación de bombeo (demanda real).
- Se conoce la potencia de diseño que demanda la estación de bombeo.
- Se conoce la potencia real que es capaz de soportar la instalación eléctrica (máxima capacidad instalada).
- La demanda real consumida de energía es aceptable acorde con los equipos conectados a la subestación de la estación de bombeo.

➤ **Operatividad**

Evaluación del ítem:

- Se conocen los elementos que conforman la instalación eléctrica del sistema de bombeo, así como sus especificaciones.
- Los elementos de la instalación eléctrica del sistema de bombeo están bien seleccionados, de tal forma que manejan un rendimiento aceptable.
- La instalación eléctrica funciona correctamente de forma continua.

➤ **Mantenimiento**

Evaluación del ítem:

- No se obtienen fallos o paradas en el sistema eléctrico.

- Se posee un plan de chequeo y mantenimiento preventivo de los componentes del sistema eléctrico y se llevan a cabo.
- Evaluó el sistema eléctrico de forma periódica para obtener el estado del sistema eléctrico.
- El plan de mantenimiento para el sistema eléctrico ha sido útil para evitar problemas en éste.

➤ **Costos de operación**

Evaluación del ítem:

- Acorde a los valores de placa o nominales, el consumo eléctrico es el esperado según el tiempo de uso.
- La operatividad de los elementos que conforman al sistema son los esperados según las aplicaciones del sistema.
- Los costos representados por el mantenimiento y la operatividad de los elementos eléctricos del sistema son los esperados.

## **2.5. CONTENIDO DE LA EVALUACIÓN**

A continuación en el siguiente apartado se define el contenido de la metodología de evaluación diseñada para el análisis de casos de sistemas de bombeo de agua potable.

### **2.5.1. RECOLECCIÓN DE DATOS**

El primer paso resulta fundamental para sostener una buena evaluación, en este apartado se trata de recabar la mayor cantidad de información que la entidad a la cual se está sometiendo a evaluación su sistema de bombeo puede que tenga generada, esta información luego será procesada para después ser

analizada y formular conclusiones y recomendaciones para la entidad. Se han estructurado las tareas por hacer basándose en los objetivos, criterios e índices para la evaluación, los cuales son:

➤ **Consumo de agua**

Se solicitan a las unidades competentes la cantidad de personas que ingresan y que usan las instalaciones del hospital, entre otro tipo de información que pueda ser útil.

Evaluación del ítem:

- Se conoce la cantidad de personas que ingresan a la instalación por día: se considera necesario de 5 a 10 años para poder estimar la función del incremento de la demanda.
- Se conoce la cantidad de aplicaciones en cada red hidráulica: para cada red hidráulica que se encuentra dentro de la institución, este debe de conocer y tener las documentaciones de las aplicaciones que utilizan el recurso hídrico.
- Se conoce el consumo total de la instalación: para este apartado se consideran 10 años de acumulación de documentos (facturas, reportes, informes, etc.) que contengan el consumo de agua en unidades de caudal, esto con el fin de poder comparar las personas que ingresan al hospital y el consumo de agua.
- Se conoce el consumo de cada aplicación en la instalación: se espera que se conozca el consumo de cada aplicación en unidades de caudal y esta será comparada con el consumo total de agua para poder corroborar la fiabilidad de los datos.
- Se posee un registro de discontinuidades del suministro de agua: para poder contar con datos fiables para el análisis del estado actual del sistema será necesario que se cuente con un registro de las discontinuidades del suministro de agua potable del sistema.

➤ **Operatividad de los elementos hidráulicos**

Se solicitan a las unidades competentes la documentación de los elementos de la instalación hidráulica.

Evaluación del ítem:

- Se cuenta con un catastro de los equipos hidráulicos en el sistema: para el correcto análisis del sistema de bombeo se necesita tener inventariado todos los equipos hidráulicos dentro del mismo.
- Se cuentan con conocimiento de la capacidad instalada y con los respectivos planos hidráulicos de la instalación: El conocimiento sobre la capacidad instalada y los planos hidráulicos del sistema de bombeo resultan esenciales para poder calcular y simular el comportamiento del sistema acorde a las demandas que se le está sometiendo.
- Se cuenta con los planos hidráulicos actualizados: No es suficiente con tener los planos hidráulicos que se generaron a la hora de diseñar el sistema de bombeo, en caso que instalen nuevas aplicaciones y se realicen nuevas tomas de agua, estas deberán de estar incluidas en los planos hidráulicos.
- Se cuenta con las curvas características de las bombas de la instalación: las curvas características de las bombas son gráficas necesarias para poder comprender la operación de las bombas, por lo cual es un dato útil para analizar un sistema de bombeo.
- Se conoce el punto de operación de cada bomba acorde a las curvas características de cada bomba: con las curvas características se determinan los puntos de operación de las bombas, es necesario que toda instalación de bombeo cuente con estos datos para poder contar con un punto de referencia al desempeño de las bombas.

➤ **Mantenimiento de los elementos hidráulicos**

Se solicitan a las unidades competentes el seguimiento del mantenimiento que se les realiza a los elementos hidráulicos.

Evaluación del ítem:

- Se cuenta con un registro de los paros por defectos causados en el sistema hidráulico: uno de los sentidos principales de por qué se les da mantenimiento a cualquier elemento es debido a evitar que este deje de realizar las operaciones que normalmente realiza, es por ello que se debe de tener un registro de los paros debido a defectos.
- Se posee un plan anual de mantenimiento para el sistema hidráulico del sistema de bombeo: toda entidad que posea cualquier equipo de cualquier naturaleza debe de contar con un plan de mantenimiento para sus equipos, por lo cual también el sistema de bombeo que se someterá a evaluación deberá de contar con éste, este criterio no pretende evaluar si el plan de mantenimiento que se aplica al sistema es adecuado o no, más bien pretende saber si dicho mantenimiento es insuficiente o no.
- Se llevan a cabo las tareas en la fecha estimada del plan de mantenimiento: el mantenimiento tiene que ser planificado, por lo cual para llevar a cabo un mantenimiento eficaz este tiene que ser ejecutado en la fecha que se había planteado.

➤ **Costos de operación de los elementos hidráulicos**

Se solicitan a las unidades correspondientes documentos que correspondan a los gastos incurridos en la operación y mantenimiento del sistema hidráulico. Evaluación del ítem:

- Se cuenta con un registro de los costos de mantenimiento que representan los elementos hidráulicos a través de la vida de la instalación: a la hora de seleccionar alternativas de proyectos uno de los aspectos más decisivos

para la toma de decisiones son los costos que involucra mantener el sistema actual o cambiarlo, para ello se debe conocer lo que ha incurrido la entidad en mantener el actual sistema.

- Se cuenta con un registro de los costos de operación que representan los elementos hidráulicos a través de la vida de la instalación: a la hora de seleccionar alternativas de proyectos uno de los aspectos más decisivos para la toma de decisiones son los costos que involucra mantener el sistema actual o cambiarlo, para ello se debe conocer lo que ha incurrido la entidad en mantener el actual sistema.

➤ **Consumo eléctrico**

Se solicitan a las unidades correspondientes los datos generados con respecto al consumo eléctrico.

Evaluación del ítem:

- Se conoce la factura o carga eléctrica por el sistema de bombeo: los costos por el consumo de energía eléctrica del sistema, es un parámetro útil para la toma de decisiones.
- Se conoce el factor de potencia de la instalación eléctrica. El factor de potencia es un indicador de cuán resistiva es una red, por lo cual conocer este factor podría indicar la presencia de armónicos entre otras posibles causas.
- Se conoce la potencia demandada por la estación de bombeo: la potencia demandada es necesario conocerla, para poder estimar el consumo eléctrico, para determinar la correcta selección del transformador y generador.
- Se conoce el porcentaje de carga eléctrica que posee cada equipo: en base al total de la carga eléctrica, se debe de asignar un porcentaje que cada equipo consumo de esta totalidad.

- Se conoce la capacidad instalada de la instalación: es recomendable que no se use la totalidad de la capacidad instalada de una planta para no forzar los equipos a su límite, por esta razón se debe de tener conocimiento de la capacidad instalada.

➤ **Operatividad de los elementos eléctricos**

Se solicitan a las unidades correspondientes la documentación sobre la operatividad de los equipos eléctricos. Evaluación del ítem:

- Se cuenta con un catastro de los elementos eléctricos del sistema de bombeo: se debe tener inventariado todos los equipos eléctricos que se encuentren en el sistema de bombeo.
- Se conocen las especificaciones de cada equipo: además de conocer los equipos eléctricos que se encuentran en el sistema de bombeo se deberán de encontrar también las especificaciones técnicas de cada uno.
- La instalación eléctrica no ocasiona paros en el sistema de bombeo: la gran mayoría de sistemas de bombeo son alimentados por la red eléctrica, es por ello que si se encuentra algún malfuncionamiento en la alimentación de energía eléctrica repercute en cortes de suministro de agua en la instalación hospitalaria. Este aspecto se medirá dependiendo de lo que la información que la unidad de mantenimiento posea en sus archivos.

➤ **Mantenimiento de los elementos eléctricos**

Se solicitan a las unidades correspondientes la documentación sobre el mantenimiento que se le ha realizado y se le realizará a los elementos eléctricos del sistema de bombeo.

Evaluación del ítem:

- Se posee un plan anual de mantenimiento para el sistema eléctrico del sistema de bombeo: toda entidad que posea cualquier equipo de cualquier

naturaleza debe de contar con un plan de mantenimiento para sus equipos, por lo cual también para los elementos eléctricos del sistema de bombeo que se someterá a evaluación deberá de contar con éste, dicho criterio no pretende evaluar si el plan de mantenimiento que se aplica al sistema es adecuado o no, más bien pretende saber si dicho mantenimiento es insuficiente o no.

➤ **Costos de operación de los elementos eléctricos**

Se solicitan a las unidades correspondientes la documentación sobre los costos de operación de los elementos eléctricos.

Evaluación del ítem:

- Se cuenta con un registro de los costos de mantenimiento que representan los elementos eléctricos a través de la vida de la instalación: a la hora de seleccionar alternativas de proyectos uno de los aspectos más decisivos para la toma de decisiones son los costos que involucra mantener el sistema actual o cambiarlo, para ello se debe conocer lo que ha incurrido la entidad en mantener el actual sistema.
- Se cuenta con un registro de los costos de operación que representan los elementos eléctricos a través de la vida de la instalación: la hora de seleccionar alternativas de proyectos uno de los aspectos más decisivos para la toma de decisiones son los costos que involucra mantener el sistema actual o cambiarlo, para ello se debe conocer lo que ha incurrido la entidad en mantener el actual sistema.

## **2.5.2. MEDICIONES DE CAMPO**

Como segundo paso para la realización de la evaluación se llevará a cabo una inspección del sistema de bombeo, en el cual se tomarán datos de los



elementos de control, se inspeccionará el estado de estos mismos así como cualquier otra medición que se necesite.

➤ **Consumo de agua**

Se realizan las mediciones de campo referentes al consumo de agua.

Evaluación del ítem:

- Toma de caudales de cada aplicación en el sistema de bombeo: Se anotará en un formato de recolección de datos.

➤ **Operatividad de los elementos hidráulicos**

Se realizan las mediciones de campo referentes a la operatividad de los elementos hidráulicos.

Evaluación del ítem:

- Los equipos hidráulicos están identificados con placas técnicas. Todos los equipos que se adquieran deben de tener su placa técnica o algún tipo de señalización que presente las características técnicas del equipo, esto con el objetivo de agilizar la tarea de toma de datos.
- Toma de datos de los equipos en operación: Para este ítem se espera llegar a conocer el consumo verdadero del sistema, este dato debe ser medido por aplicación. En este apartado solo se anotará el nombre de la aplicación, se le asignará un código y su ubicación con su respectivo consumo.

➤ **Consumo eléctrico**

Se realizan las mediciones de campo con respecto al consumo eléctrico.

Evaluación del ítem:

- Se conoce la capacidad de cada uno de los equipos o instrumentos instalados: Para poder calcular un estimado del consumo eléctrico es

necesaria la potencia que requiere cada equipo, por lo cual este factor resulta necesario para determinar el consumo que debería de tener el sistema.

- Los dispositivos de control aparentan funcionar correctamente: al llegar a tomar los datos de los diferentes equipos eléctricos o hidráulicos como lo podrían ser presión, aparentan tener un correcto funcionamiento, en este ítem no se pretende saber si la medición que presentan los elementos de control son correctos si no, si presentan una señal o no cuando deberían de hacerlo.

### 2.5.3. PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

El procesamiento de la información recolectada del sistema de bombeo se realizará por medio de software de computadora después de tener la información requerida en campo. De esta forma resultará más fácil resguardar la información así como elaborar cálculos a través de diferentes softwares de hojas de cálculo.

A continuación se muestra un ejemplo de formato de tabulación de la información.

Tabla 2. Ejemplo de procesamiento de información.

<b>Egresos de usuarios del Hospital Nacional Benjamín Bloom</b>		
<b>Año</b>	<b>Promedio de estancia (días)</b>	<b>Egresos</b>
2014	8.28	12,485
2015	8.22	12,922
2016	8.5	12,361
2017	8.35	12,401
2018	8.73	11,913

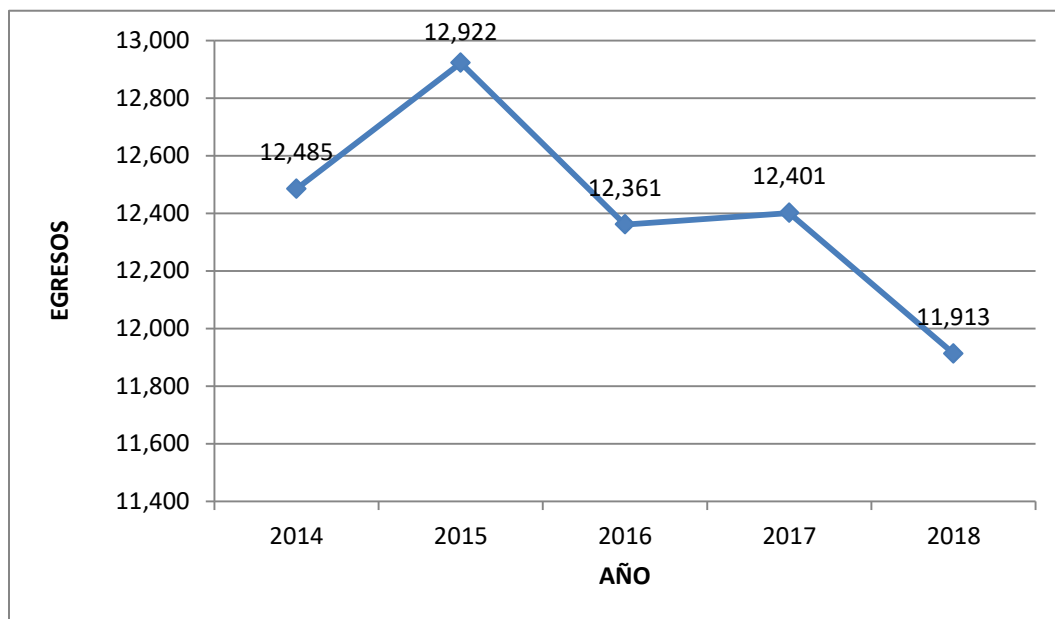


Figura 2. Ejemplo de tabulación de datos para procesamiento de datos.

#### 2.5.4. ANÁLISIS DE DATOS

En este apartado, denominado como análisis de la información y correspondiente al cuarto paso, se procesan los datos que sean necesarios para hacer un análisis respectivo de ello.

A continuación seguiremos la misma estructura ya creada de división de campos, por lo cual tenemos lo siguiente:

➤ Análisis de componentes hidráulicos:

A) Las pérdidas por fricción en la tubería son acorde a las esperadas: En este análisis se realizará el cálculo de las pérdidas teóricas por fricción entre tuberías Para la comparación con los datos reales, no hay forma de medir estas pérdidas, pero si se puede hacer una comparación numérica de los valores que se tienen en las tomas de salida de agua, por ejemplo, y

compararlas con los valores de la red teórica de la simulación. Esto será bueno saberlo para los casos de propuestas de solución o expansión de la red, ya que se tienen los valores reales de las pérdidas mediante la simulación. Además, en sí las pérdidas por fricción en las tuberías no es un campo que se pueda cambiar, a menos que se realice una inversión que probablemente sea innecesaria, por otro lado, si será de mucha duda al evaluar futuras expansiones. Se calculará sencillamente un factor de corrección debido al porcentaje de variación entre las pérdidas reales y las pérdidas teóricas en caso de ser necesario.

- B) La presión es la necesaria para suministrar de forma satisfactoria el sistema: En este caso a partir de datos de campo se puede tener la presión en los puntos de toma de agua potable, y a partir de ellos determinar la continuidad de la red y determinar zonas en donde el sistema falla, además, será posible evaluar diferentes momentos o periodos para evaluar un estado crítico en horas pico y así realizar un análisis de estado permanente.
- C) No se obtienen fallos o paradas en el sistema hidráulico: lo que se pretende evaluar en este campo es un nivel adecuado del mantenimiento de los equipos, por lo cual se necesita un análisis delicado, se necesitará evaluar el número de paradas o fallos del sistema hidráulico de bombeo y determinar si estos corresponden a falta de mantenimiento (ya que en algunos casos las paradas pueden ser originadas por otros factores), a partir de este punto se establece una métrica o indicador con la finalidad de dar un mantenimiento más efectivo, con la visión de mejorar el indicador de paradas por falta de mantenimiento. En el desarrollo del análisis se deberá realizar un estudio para determinar si las paradas del sistema son debidos a falta de mantenimiento, y luego de ello establecer métricas para mejorar en el siguiente periodo. Una métrica puede ser incluso solo el número de paradas por falta de mantenimiento, pero el análisis de este ítem será determinar si es ese el caso.

- D) Se ejecutan acciones para solucionar de forma permanente los problemas recurrentes: Se debe analizar si los problemas o fallos del sistema hidráulico se deben a falta de mantenimiento, estos datos ya deberán estar generados para evaluar el ítem anterior. Aquí se evaluará la frecuencia de una falla, este dato se convertirá en la métrica a analizar, periodo tras periodo con la finalidad de tener la constancia que los problemas son solucionados de forma correcta, y en caso de una recurrencia del mismo fallo, se deberá analizar de mejor forma la solución del problema. El análisis de los datos será establecer los indicadores, cabe destacar que para tener un análisis comparativo de esto se necesita tener el dato de paradas generado en periodos anteriores.
- E) El número de operaciones de mantenimiento correctivo para los elementos hidráulicos disminuyó: En este ítem se pretende una vez más evaluar el sistema de mantenimiento de los equipos, una forma de ellos es evaluar la frecuencia de la realización de mantenimiento correctivo de estos elementos, ya que al tener un buen plan de mantenimiento este deberá ser bajo (por cuestiones fuera del alcance de un plan de mantenimiento) o incluso nulo.
- F) El presupuesto asignado al mantenimiento de los elementos hidráulicos es suficiente para mantener los equipos funcionando correctamente: El análisis de este ítem será evaluar el presupuesto designado hacia este proceso, por lo cual se espera que la entidad tenga un dato conciso sobre este. El análisis de este ítem será sencillo, pues las teorías de mantenimiento de equipos industriales dan un porcentaje de presupuesto según diferentes factores, como por ejemplo ingresos por ventas comerciales (en el caso de prestación de un servicio o plantas industriales) y por precio de los equipos, este último será el más adecuado a utilizar. Para la determinación de dicho dato también se evaluará la antigüedad de los equipos, por lo cual por el momento no se puede establecer un dato conciso hasta la etapa de realización de la metodología, además el procesamiento de datos será

sencillo, ya que sólo se procesará el porcentaje de variación entre dicho % aceptable de gastos de mantenimiento, para mantener el presupuesto dentro de este rango.

➤ Análisis de componentes eléctricos:

- A) Se conoce el factor de potencia: como datos de entrada será necesario tener el factor de potencia del sistema hidráulico, si no se tienen se tendrá que obtenerlo, luego de ello en el análisis se debe de comparar el factor de potencia real de la instalación eléctrica con el esperado, además, se debe mantener el factor de potencia lo más cercano a 0.9 según lo establece la SIGET (SIGET, 2011). Cabe destacar que al evaluar de forma periódica el sistema se conocerá y se tendrá un historial de datos del factor de potencia.
- B) Se identifica de forma certera donde se origina el problema (si existiese): continuando con la evaluación del factor de potencia, al identificar problemas en dicho factor, se deberá analizar las posibles causas, determinando si existe mayor carga inductiva o reactiva en el sistema la cual deberá de disminuirse o aumentarse, en este análisis se debe de identificar el tipo de carga y si estas están balanceadas, en caso que exista problema se debe de identificar cual es el problema con las cargas y balancearlas, con ello se debe de tener realizado al menos una operación de ajuste del factor de potencia en el historial de fallos en el factor de potencia del sistema.
- C) Se identifican los equipos sobredimensionados y sub-dimensionados: En este ítem se evaluará la capacidad de los equipos, por lo cual un dato de entrada serán los datos eléctricos de los equipos interconectados a la red eléctrica del sistema de bombeo, una vez se tienen esos datos, se evaluará si su capacidad instalada es correcta siguiendo las normas NEMA.
- D) Los equipos e instrumentos instalados de la subestación eléctrica están acorde entre ellos y acorde a la demanda real que presenta la instalación: En este ítem se evalúan los instrumentos, ya sean de medición, de

regulación, interconectados en el sistema eléctrico del sistema de bombeo, al igual que en el caso anterior, se evaluará si los equipos están sobredimensionados o subdimensionados según los datos del fabricante de los equipos.

- E) Se identifican los problemas más recurrentes y sus soluciones: En este ítem se evalúa la estabilidad del sistema eléctrico, los datos de entrada serán el historial de los fallos del sistema eléctrico con su frecuencia o concurrencia, se establecerá una métrica para la evaluación en cada problema recurrente, el cual será la frecuencia de la misma falla con la finalidad de reducirla hasta que ya no se posea la misma falla. El análisis en este paso será la determinación de una solución correspondiente al origen de la falla, y para ello se deberá generar un resguardo de las evaluaciones, los problemas recurrentes así como las operaciones que se realizaron para solucionarlo.
- F) Se ejecutan acciones para solucionar de forma permanente los problemas recurrentes: en este ítem se pretende evaluar si las intervenciones de mantenimiento correctivo realizadas en el sistema eléctrica son efectivas al solucionar el problema de forma permanente. Para ello se necesita un historial de las acciones correctivas realizadas así como el problema que se pretendía corregir, y así evitar todas aquellas acciones que sean solo periódicas, ya que el objetivo es corregir de forma permanente todos los problemas posibles.

## **2.6. ELABORACIÓN Y PROPUESTA DE INFORME**

La última etapa corresponde a la realización y presentación del informe técnico a la unidad de mantenimiento. El presente informe tiene la finalidad de informar y dejar por escrito los datos recolectados, las mediciones de campos y el análisis de la información para dejar constancia del estado en el que se encontró el sistema de bombeo para respectivos análisis posteriores. Además

de ello, si el estado del sistema de bombeo resultó ser inferior al mínimo establecido, se deberá dejar constancia en el informe los pasos de la metodología correspondientes (Propuesta de solución y Plan de acción).

El informe técnico no tendrá una forma especificada ya que dependerá del estado del sistema de bombeo y los procedimientos utilizados, pero, deberá de poseer como mínimo los siguientes apartados:

- I. Introducción
- II. Equipo a utilizar
- III. Recursos a utilizar
  - A) Toma de datos
  - B) Mediciones de Campo
    - Metodología de las mediciones de campo
  - C) Análisis Técnico de la Información
  - D) Estado del sistema de bombeo
  - F) Propuesta de Solución (en caso de ser necesario)
    - Formulación de alternativas de solución
    - Selección de la alternativa de solución
  - G) Plan de Acción (en caso de ser necesario)
    - Cronograma
    - Actividades a realizar
    - Asignación de responsables
    - Recursos a utilizar
  - H) Conclusiones y Recomendaciones

## **2.7. FLUJOGRAMA DE LA EVALUACIÓN**

En la figura 3 se muestra de forma esquemática en forma de flujograma la metodología de evaluación para sistemas de bombeo de agua.



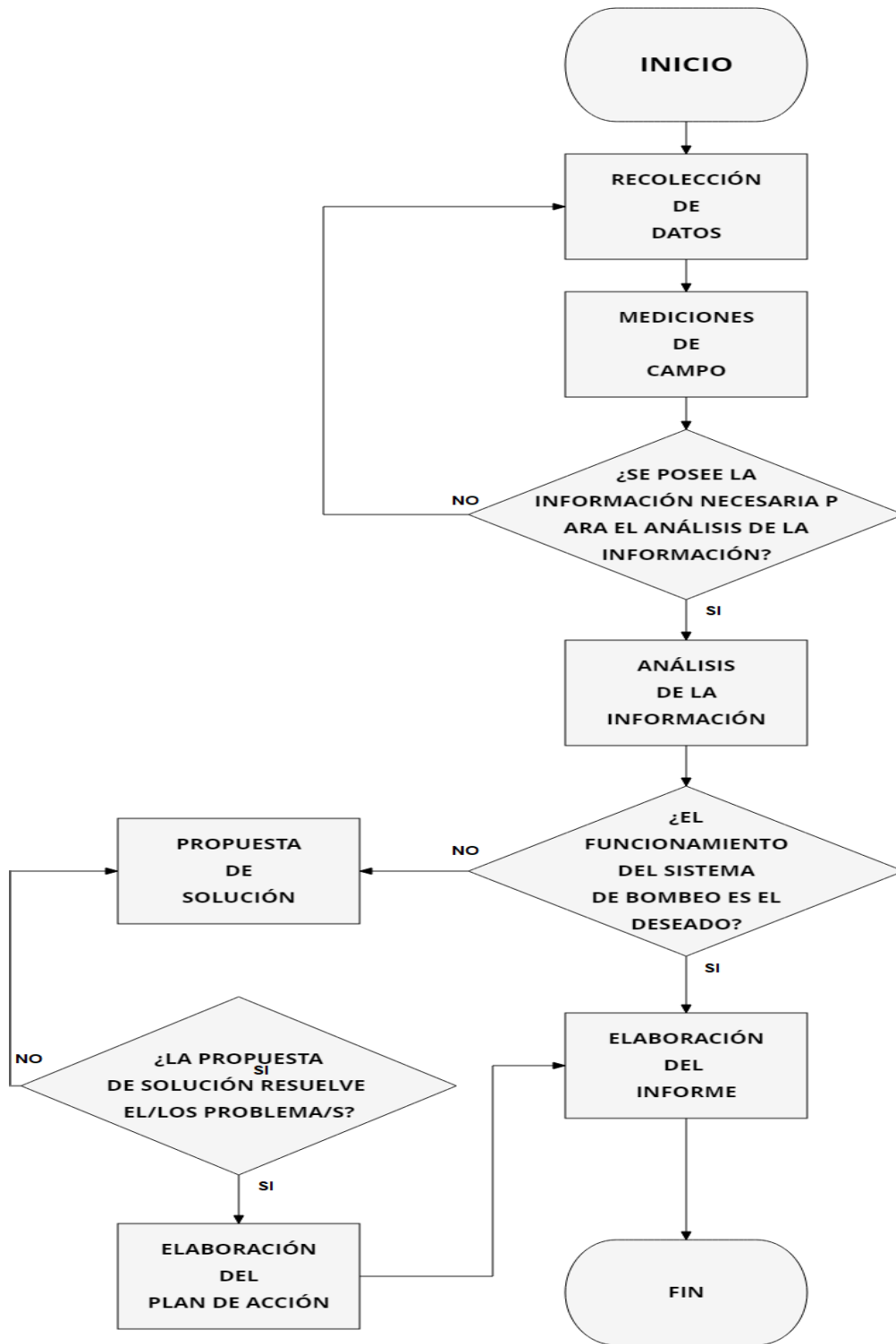


Figura 3. Diagrama de metodología de evaluación.

### **3. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

En este capítulo se da inicio a la metodología de evaluación de sistemas de bombeo, tomando como caso de trabajo el sistema de bombeo de agua potable del Hospital Nacional Benjamín Bloom o también nombrado en este documento como HNBB por sus siglas. La primera etapa de la metodología es la recolección de la diferente información que es útil para el estudio del caso, en el capítulo anterior se definió la información que se busca durante esta etapa.

#### **3.1. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

A continuación se muestra la información recolectada durante la etapa denominada “Recolección de información” dentro de la metodología.

#### **3.2. UNIDAD DE MANTENIMIENTO DEL HNBB**

La evaluación del sistema de bombeo que se realizará estará enfocada en su mantenimiento, es por ello que se debe de realizar esta actividad de la mano con dicho personal para obtener información útil que se ha generado en la actividad del mantenimiento y con la perspectiva de quienes trabajan ahí.

En el Hospital Nacional Benjamín Bloom (HNBB) existe el departamento de mantenimiento cuya jerarquía puede apreciarse en la figura 4<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup>Hospital Nacional de Niños Benjamin Bloom, 2018, “Plan operativo anual 2018”

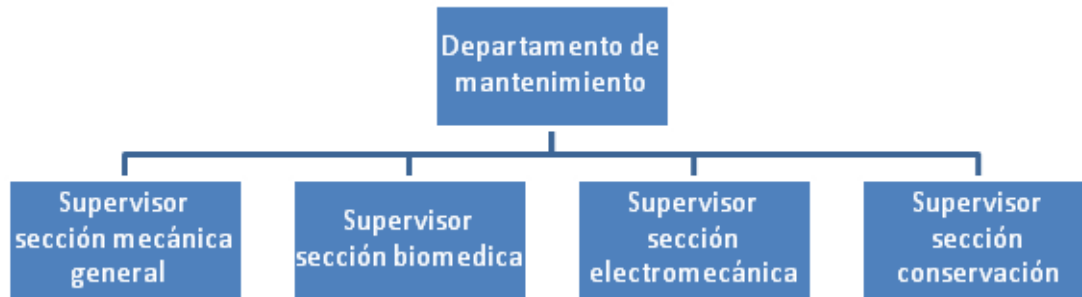


Figura 4. Esquema del departamento de mantenimiento del HNBB.

A partir de este departamento es que dio la tarea de recabar la información que esta unidad había generado a través del tiempo de evaluación.

### **3.2.1. PLAN DE MANTENIMIENTO DEL HNBB**

La investigación realizada reveló que la unidad de mantenimiento del hospital si cuenta con un plan de mantenimiento preventivo la cual se planifica anualmente, y es ejecutada acorde a ella.

Además, las operaciones de mantenimiento correctivo son de forma reactiva en su mayoría, en la cual un equipo se descompone en algún subsistema del hospital, el servicio afectado realiza la petición de reparación, dicha petición llega a la unidad de mantenimiento, en esta su encargado asigna un técnico especializado en el área y este último llena una orden de mantenimiento (OT) después realiza el mantenimiento y el servicio solicitante llena una ficha de satisfacción una vez realizado el mantenimiento. A continuación se muestran las fichas de órdenes de mantenimiento del Hospital Nacional Benjamín Bloom.

HOSPITAL BENJAMIN BLOOM	Dep. : 90	DEPARTAMENTO 90	Pos. : BOMBA AGUA POTABLE
	Amb. : 01	CENTRAL DE GASER	ALTA PRESION
	Tarj. : 9029-1		Tipo : 3B-15 y PEDROLLO
	Sumi. : 170	Grupo : 0	Año : 0
	Job : Mecanica Gral.		Serie: 759E527
PPM (S/M) : M 1/03			

- ✓ Revisar bombas por vibracion o ruido excesivo.
- ✓ Verificar buen funcionamiento de sello mecanico, cambiar si es necesario.
- ✓ Revisar baleros, cambiar si es necesario.
- ✓ Verificar amperaje.
- ✓ Alternar las bombas y verificar el buen funcionamiento de la reguladora de presion.
- ✓ Revisar diafragma, cambiar si es necesario.
- ✓ Verificar buen funcionamiento de lamparas en panel, cambiar si es necesario.

\*Se reviso sistema de baja presión, se tomo lectura de presiones en diferentes puntos; se observa caída de presión en 4º nivel.

→ Se aclara q' en el sistema de baja presión es necesario rediseñar y montar 2 bombas para respaldo y evitar daño a la q' está en uso.

Hateo Hernandez

Fecha 16/3/17	Tiempo 8:15	Nombre	Trabajo Realizado
Tiempo req. 4	Horas	Firma	Repuestos

Figura 5. Fotografía de ficha de mantenimiento preventivo del HNBB.

Fecha

Servicio solicitante

Descripción del trabajo solicitante

Nombre del técnico y horas de trabajo

Reporte técnico del trabajo realizado

**ORDEN DE TRABAJO PARA MANTENIMIENTO: MECANICA** No. 9019563

FECHA: 27/1/11

SERVICIO SOLICITANTE: Mecanica Especial TEL:

DESCRIPCION DEL TRABAJO SOLICITADO: Reparación en tromos de talanías que están en el reinser, de agua fría.

DESCRIPCION DEL EQUIPO:

FABRICANTE:

MODELO:

Nº SERIE:

Nº INVENTARIO:

FECHA	NOMBRE DEL TECNICO	HORAS
25 a 27/1/11	Eduin Barrón Ricardo Comozza.	24 horas
TOTALES		

REPORTE TÉCNICO DEL TRABAJO REALIZADO: se realizaron varios trabajos solicitados así de unas futuras picaduras en las Cañerías, uno provisto que en rigor del 7º nivel Cañerías en malos ejercicios, 3º nivel reinser, pegado a las Chimeneas, 6º nivel reinser en baños del 7º nivel que alumbra al octavo, y otros que se están preparando algunos mancos para ellos a colgar donde están los lugares amovidos con hule. Aste el momento todo está en buenas condiciones.

FIRMA TECNICO: [Firma]

FIRMA SUPERVISOR: [Firma]

EQUIPO RECIBIDO EN BUEN ESTADO Y FUNCIONANDO CORRECTAMENTE

FECHA: 27/1/11

FIRMA:

Figura 6. Fotografía de ficha de OT de mantenimiento del HNBB al frente.



### **3.2.2. INFORMACIÓN RECOLECTADA DE LAS ÓRDENES DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO**

Para poder realizar un diagnóstico correcto con respecto al mantenimiento y a la operatividad de los equipos del sistema de bombeo es esencial la información que la unidad ha generado, a través de los años dicha información se encuentra en la forma de las órdenes de trabajo realizadas por los técnicos de la unidad.

Sin embargo se encontró con una dificultad a la hora de obtener los datos de interés, actualmente la unidad de mantenimiento llena en papel las fichas de órdenes de mantenimiento, estas luego de llenarse son almacenadas en un archivo, dejando esta información sin utilidad a pesar de que se genere, queda entonces sin someterse a ningún tipo de análisis, es por este motivo que para la investigación se realizó una herramienta solo para el ordenamiento de la información generada. Dicha herramienta fue realizada en una tabla de Excel la cual permite clasificar por subsistema las órdenes de mantenimiento de igual manera muestra las fallas más comunes por subsistema y mostrar el costo de las operaciones de mantenimiento.

De los archivos se encontró que se contaban OTs desde el 2006 sin embargo se toma como el lapso de evaluación del 2011 al 2018, estas OT son vaciadas en la tabla de un software de tabulación y programadas de manera tal que automatiza su clasificación por subsistema y brinda varios indicadores que son de interés para la evaluación.

De implementarse de forma cotidiana la tabla por la unidad de mantenimiento automatizar la clasificación de datos y entregaría información útil del historial de fallas de equipo esto para servir como fundamento para la toma de decisiones.

### 3.2.3. CONSUMO DE AGUA DEL HOSPITAL NACIONAL BENJAMIN BLOOM

La finalidad de este estudio tiene como objetivo dos puntos: Disminuir los costos por el consumo de agua y mejorar el servicio de distribución de agua, por lo cual un punto fundamental es de la de caracterizar el gasto de agua a través del tiempo ya que este refleja los gastos que la institución tiene que incurrir en este servicio y puede llegar a evidenciar un mal funcionamiento en el sistema.

A través de las gestiones que se realizaron en el hospital, la unidad financiera extendió las facturas de septiembre de 2013 hasta junio del 2018, se utilizaron únicamente las del contador que alimenta a torre y a los edificios nuevos, las facturas por mes se presentan en la figura 8.

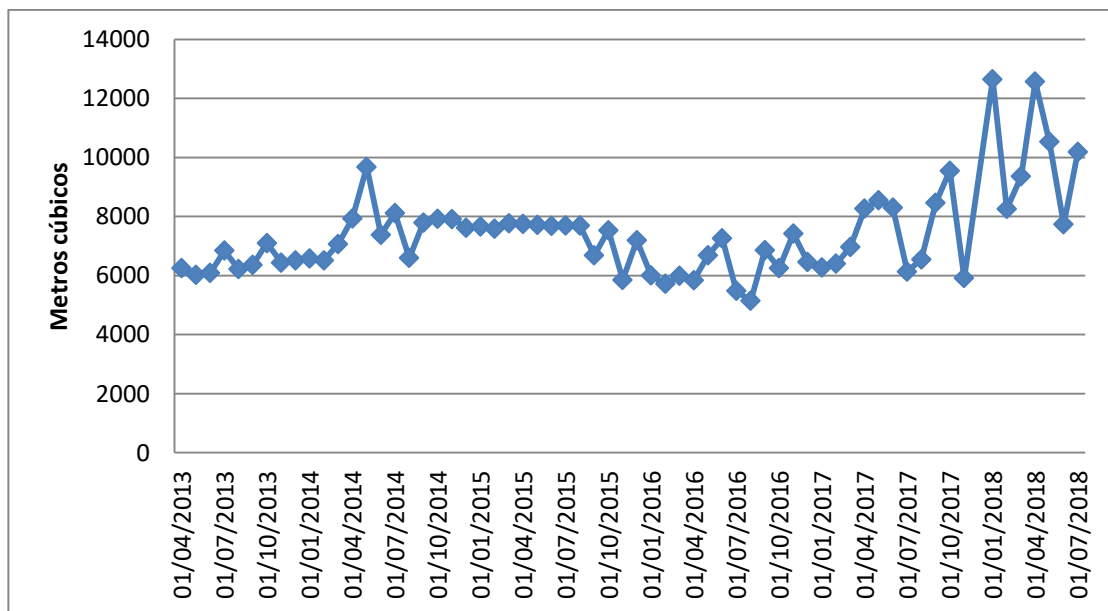


Figura 8. Consumo de agua mensual 04/2013-06/2018.

Para poder visualizar de forma más clara una tendencia entonces se procede a elaborar una gráfica por promedios anuales, como se puede evidenciar en la siguiente figura.



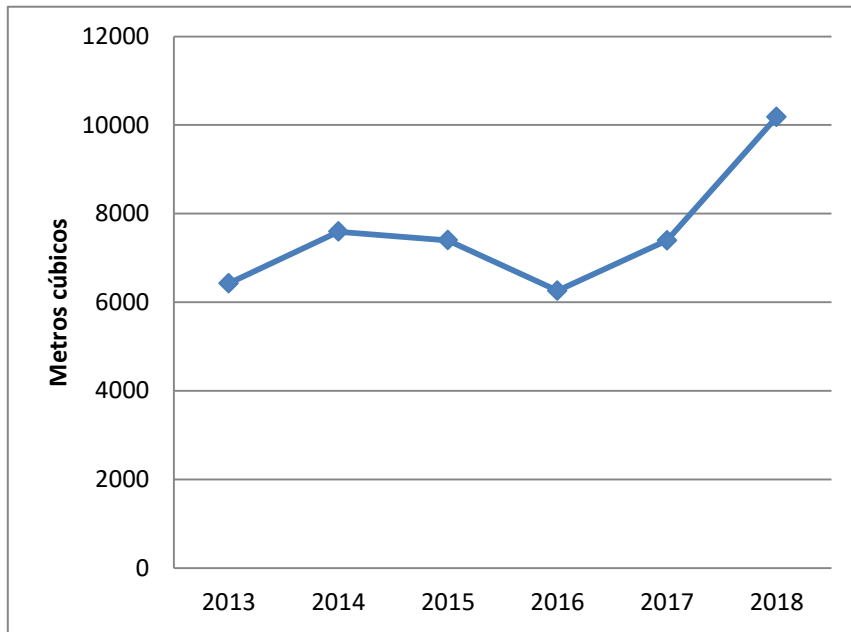


Figura 9. Consumo promedio anual en metros cúbicos de agua.

Es de señalar que la cuota que tiene asignada el hospital Benjamin Bloom es fija y la cual tiene un subsidio, el gasto promedio a través de los años se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3. Costo promedio mensual.

<b>Año</b>	<b>Gasto promedio mensual</b>
2013	\$ 1.287,13
2014	\$ 1.520,31
2015	\$ 1.481,84
2016	\$ 1.253,37
2017	\$ 1.480,93
2018	\$ 2.038,95
Total	\$ 9.062,53

### 3.2.4. CATASTRO Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE EQUIPOS QUE CONSUMEN ENERGÍA ELÉCTRICA DEL SISTEMA DE BOMBEO.

El subsistema de baja presión, consta de tres bombas conectadas en paralelo, las cuales están controladas por un variador de presión, el sistema de baja presión alimenta seis pisos desde el SS hasta el piso cuatro, las especificaciones de los equipos que consumen energía eléctrica puede verse en la siguiente tabla.

Tabla 4. Equipos del sistema de baja presión.

<b>Equipo</b>	<b>Nombre en inventario</b>	<b>Voltaje nominal</b>	<b>Potencia</b>	<b># fases</b>	<b>Estado</b>
Motor de bomba	Bomba 3	220 V	15 HP	3	Operando
Motor de bomba	Bomba 4	220 V	15 HP	3	Operando
Motor de bomba	Bomba 5	220 V	15 HP	3	Inhabilitada

Tabla 5. Equipos del sistema de alta presión.

<b>Equipo</b>	<b>Nombre en inventario</b>	<b>Voltaje nominal</b>	<b>Potencia</b>	<b># fases</b>	<b>Estado</b>
Motor de bomba	Bomba 1	220 V	10 HP	3	Operando
Motor de bomba	Bomba 2	220 V	10 HP	3	Desconocido

A través de la recolección de datos se han encontrado dos principales aplicaciones que tienen una demanda del sistema de bombeo los cuales son:

- Baños: Dispersos alrededor del hospital son la aplicación más numerosa y que sufre mayormente del malfuncionamiento del sistema de bombeo. Los dispositivos que suelen encontrarse en los baños son duchas, lavamanos e inodoros. La contabilización por piso de estas aplicaciones se hace más adelante.

- Lavandería: Localizada en el piso 0 de la torre, alimentada por el sistema de baja presión, cuenta con tres lavadoras que son los únicos dispositivos que demandan del sistema de bombeo en este servicio. En la siguiente tabla se puede observar en detalle las características de este equipo.

Tabla 6. Características técnicas de lavadoras.

<b>Características de lavadoras Laupauw Combi 1000</b>	<b>Valor</b>
Capacidad de carga	100 kg
Volumen del tambor	1061 litros
Potencia del motor	30 kW
Entrada de agua	3.81 cm (1 ½pulg) (DN40)

### **3.2.5. CONSUMO DE ELÉCTRICO DEL HOSPITAL NACIONAL BENJAMIN BLOOM**

Para poder calcular el consumo eléctrico por parte del sistema de bombeo se necesita un marco de referencia del cual partir y trabajar dentro de este, es por ello que se solicitó a la unidad de mantenimiento el consumo eléctrico desde el 2013 al 2017, el promedio por año se puede ver en el siguiente gráfico.

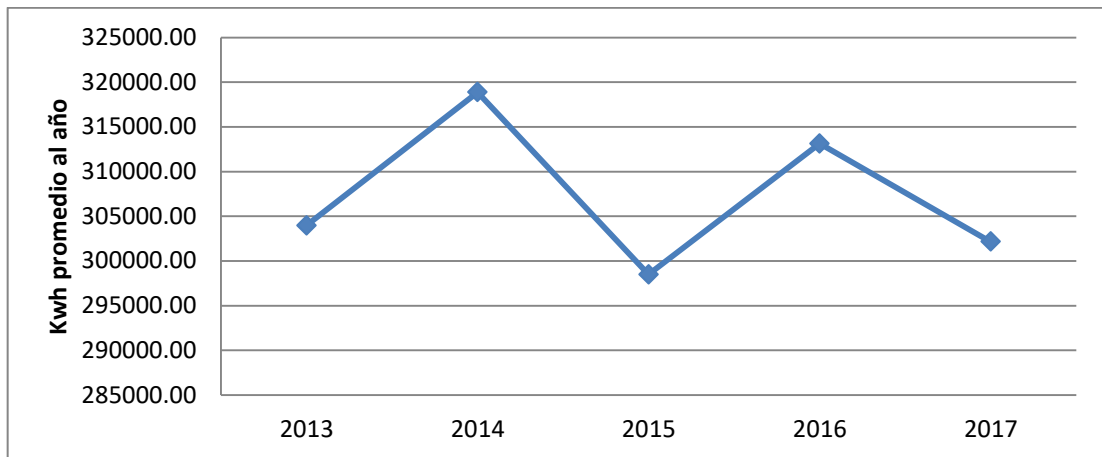


Figura 10. Consumo promedio eléctrico del HNBB.

### 3.2.6. INFORMACIÓN POBLACIONAL DEL HNBB

Para determinar la demanda que el hospital necesita para operar con normalidad del sistema de bombeo se encuentran algunos datos de entrada necesarios para el cálculo de los caudales y presiones en los distintos dispositivos, los datos de entrada son:

- Personal: Quienes trabajan en el hospital cuyo número no varía mucho con respecto al tiempo.
- Usuarios: pudiendo también referirse a ellos como pacientes ya que se trata de usuarios de un servicio médico.

Para poder cuantificar la demanda, se necesita la cantidad de personal trabajando en el hospital, tomando en cuenta sus horarios de entrada y salida, para tener en cuenta los altos y bajos de la demanda del sistema de bombeo. En la siguiente tabla se muestra en detalle las características poblacionales del personal.

Tabla 7. Cantidad de personal del HNBB.

<b>Personal</b>	<b>Cantidad de personal</b>	<b>Hora de entrada</b>	<b>Hora de salida</b>
Administrativos	348	8:00 a.m	4:00 p.m
Médicos	192	8:00 a.m	4:00 p.m
Residentes	66	variable	Variable
<b>Total</b>	<b>606</b>		

Entre los datos de entrada necesarios son la cantidad de camas para los pacientes que cuenta el hospital, esto ya que sirve como parámetro al número de usuarios (pacientes) que hacen uso del servicio médico. En la siguiente tabla se muestran el número de camas que hay instaladas en el hospital, se utiliza el término censable para aquellas camas en las que se atenderán a pacientes que estarán ahí por más de 24 horas y no censable a aquellas que estarán haciendo uso del servicio médico por menos de 24 horas.

Tabla 8. Número de camas del HNBB.

<b>Tipo de cama</b>	<b>Número de camas</b>
Cama censable	266
Cama no censable	95
<b>Total</b>	<b>361</b>

La forma en la que los hospitales llevan el control de las personas que utilizan los servicios hospitalarios en las estadísticas de este rubro es determinado por el número de egresos de estos mismos. A continuación se muestran los egresos del Hospital Nacional Benjamín Bloom de los últimos 5 años según las estadísticas declaradas por dicho hospital (Ministerio de Salud, 2014-2018).

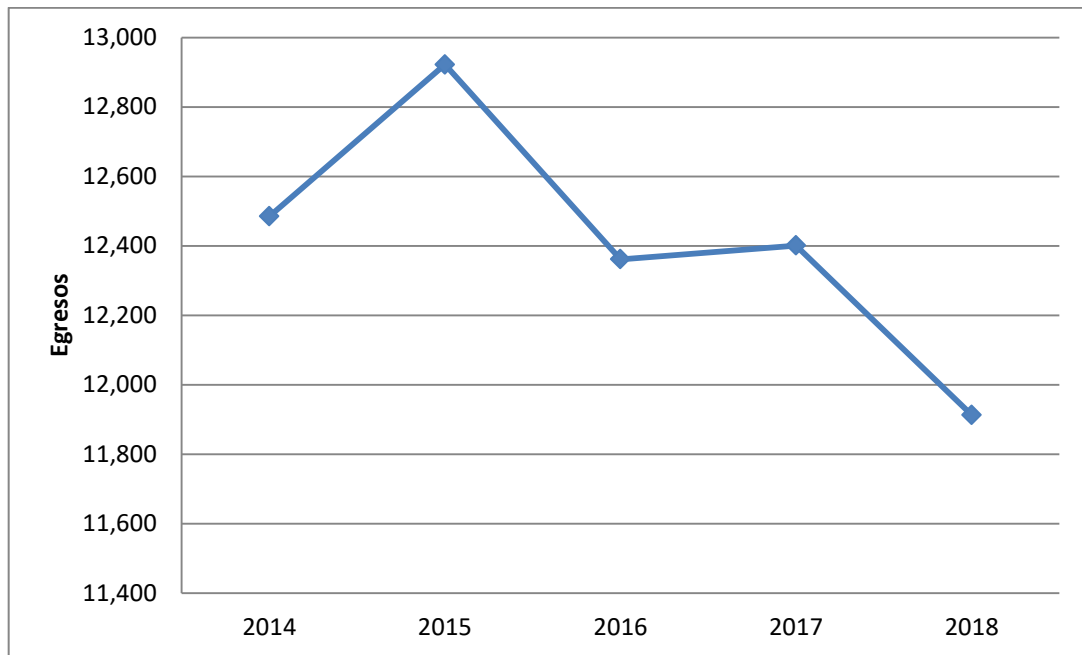


Figura 11. Esquema de egresos de usuarios del HNBB 2014-2018.

### 3.2.7. PLANOS DE LA RED DE AGUA POTABLE

A continuación, en la siguiente tabla se muestra el listado de los planos correspondientes al sistema de agua potable para el abastecimiento de este servicio que la unidad de mantenimiento del hospital mantiene en archivo.

Tabla 9. Planos del HNBB del sistema de bombeo de agua potable.

No.	<b>PLANOS HOSPITAL NACIONAL BENJAMÍN BLOOM SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA POTABLE</b>	
1	Acometida a Cisterna	OTROS
2	Detalles de Distribuidores de Agua Potable de Alta Presión	
3	Detalles de Distribuidores de Agua Potable de Baja Presión	
4	Diagrama de Flujo de Tratamiento y Distribución de Agua	
5	Esquema de Flujo de Tratamiento de Agua	
6	Esquema de Medición y Regulación	
7	Planta de Ubicación de Distribuidores de Agua Potable	
8	Planta General de Tuberías de Agua Potable y contra Incendio	
9	Tubería Subterránea MA-SSC-F-56	TUBERÍA SUBTERRÁNEA
10	Tubería Subterránea Edificio C MA-SSC-F-57	
11	Tubería Subterránea Edificio E MA-SSE-F-58	
12	Nivel SS Instalaciones Sanitarias MS-SSB-F-41	NIVEL SS
13	Nivel SS Instalaciones Sanitarias MS-SSC-F-42	
14	Nivel SS Instalaciones Sanitarias MS-SSE-F-43	
15	Nivel 00 Instalaciones Sanitarias MS-00D-F-22	Nivel 00
16	Nivel 00 Instalaciones Sanitarias MS-00A-F-44	NIVEL 00
17	Nivel 00 Instalaciones Sanitarias MS-00B-F-45	
18	Nivel 00 Instalaciones Sanitarias MS-00C-F-46	
19	Nivel 00 Instalaciones Sanitarias MS-00E-F-47	
20	Nivel 01 Instalaciones Sanitarias MS-01A-F-48	Nivel 01
21	Nivel 01 Instalaciones Sanitarias MS-01B-F-49	
22	Nivel 01 Instalaciones Sanitarias MS-01C-F-50	
23	Nivel 01 Instalaciones Sanitarias MS-01D-F-23	
24	Nivel 01 Instalaciones Sanitarias MS-01E-F-51	

Continúa Tabla 9 en siguiente página

No.	<b>PLANOS HOSPITAL NACIONAL BENJAMÍN BLOOM SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA POTABLE</b>	
25	Nivel 02 Instalaciones Sanitarias MS-02A-F-52	Nivel 02
26	Nivel 02 Instalaciones Sanitarias MS-02B-F-53	
27	Nivel 02 Instalaciones Sanitarias MS-02D-F-24	
28	Nivel 02 Instalaciones Sanitarias MS-02E-F-55	
29	Nivel 02 Instalaciones Sanitarias MS-02C-F-54	
30	Nivel 03 Instalaciones Sanitarias MS-03D-F-25	Nivel 03
31	Nivel 04 Instalaciones Sanitarias MS-04D-F-26	Nivel 04
32	Nivel 05 Instalaciones Sanitarias MS-05D-F-27	Nivel 05
33	Nivel 06 Instalaciones Sanitarias MS-06D-F-28	Nivel 06
34	Nivel 07 Instalaciones Sanitarias MS-07D-F-29	Nivel 07
35	No encontrado	Nivel 08
36	Nivel 09 Instalaciones Sanitarias MS-09D-F-31	Nivel 09
37	Nivel 10 Instalaciones Sanitarias MS-10D-F-32	Nivel 10
38	Nivel 11 Instalaciones Sanitarias MS-11D-F-33	Nivel 11

En el nivel 08 no se encontraron en el archivo todos los planos del sistema. Además durante la actividad o funcionamiento del sistema se han realizado modificaciones, las cuales incluyen desde cambios en el material de diferentes tramos de tubería hasta nuevas instalaciones de lavamanos, servicios u otras posibles aplicaciones. Dichos cambios no han sido representados en los planos, es decir los planos representan el diseño original del hospital y no se ha realizado ninguna actualización de los mismos.



## **4. MEDICIONES DE CAMPO**

En este capítulo se muestra los resultados obtenidos en la etapa de medición de campo realizada durante la metodología de evaluación de sistemas de bombeo.

### **4.1. CONTABILIZACIÓN DE APLICACIONES CONECTADAS AL SISTEMA DE BOMBEO.**

Durante la fase de recolección de datos se obtuvieron los planos del sistema de agua potable del hospital, para el cual se realizaron comparaciones durante las visitas para verificar si la red de tuberías permanecía igual o por el contrario, si esta red había sufrido cambios. Dentro del alcance que se pudo obtener durante esta verificación de la red de tuberías, se observó que se habían realizado cambios significativos en dicha red, además en las órdenes de trabajo de mantenimiento se encontraron cambios de tramos de tuberías en los que incluso, se efectuaron cambios en el material de dichas tuberías.

### **4.2. MEDICIONES DE CAUDAL**

Dentro de las pruebas de campo se deben de realizar mediciones de caudal a lo largo de la red del sistema de bombeo del hospital, en cada uno de los niveles en puntos estratégicos para un mejor análisis de los resultados.

#### **4.2.1. METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE CAUDAL**

Durante las mediciones de campo se realizaron diferentes mediciones de caudal en los diferentes niveles del hospital del sistema de agua potable en aplicaciones de lavamanos en los diferentes niveles del hospital en el cual se estableció una muestra de estos considerando los criterios descritos en el apartado 4.3.1. Además es importante destacar que se suprimieron las mediciones de caudal justo después de la bomba ya que a pesar de ser un punto clave de medición, no se contaba con el equipo necesario para poder realizar estas pruebas.

En la metodología realizada para la toma de caudal se utilizó un envase graduado y un cronómetro, se abrió la llave para permitir el paso del agua potable proveniente del sistema de bombeo y con un cronómetro se tomó la lectura para el llenado de cierto volumen de agua. Se realizaron tres medidas de caudal por aplicación y se obtuvo el promedio de las tres lecturas por cada aplicación.

En la figura 12 se puede ver paso a paso el protocolo para las pruebas realizadas.

#### **4.2.2. HERRAMIENTAS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDAL**

Las herramientas utilizadas fueron:

- a) Tubo de abasto flexible para lavamanos: Para conectar con la válvula de salida de agua potable y dirigir el volumen de agua hacia el depósito graduado. (Ver figura 13).

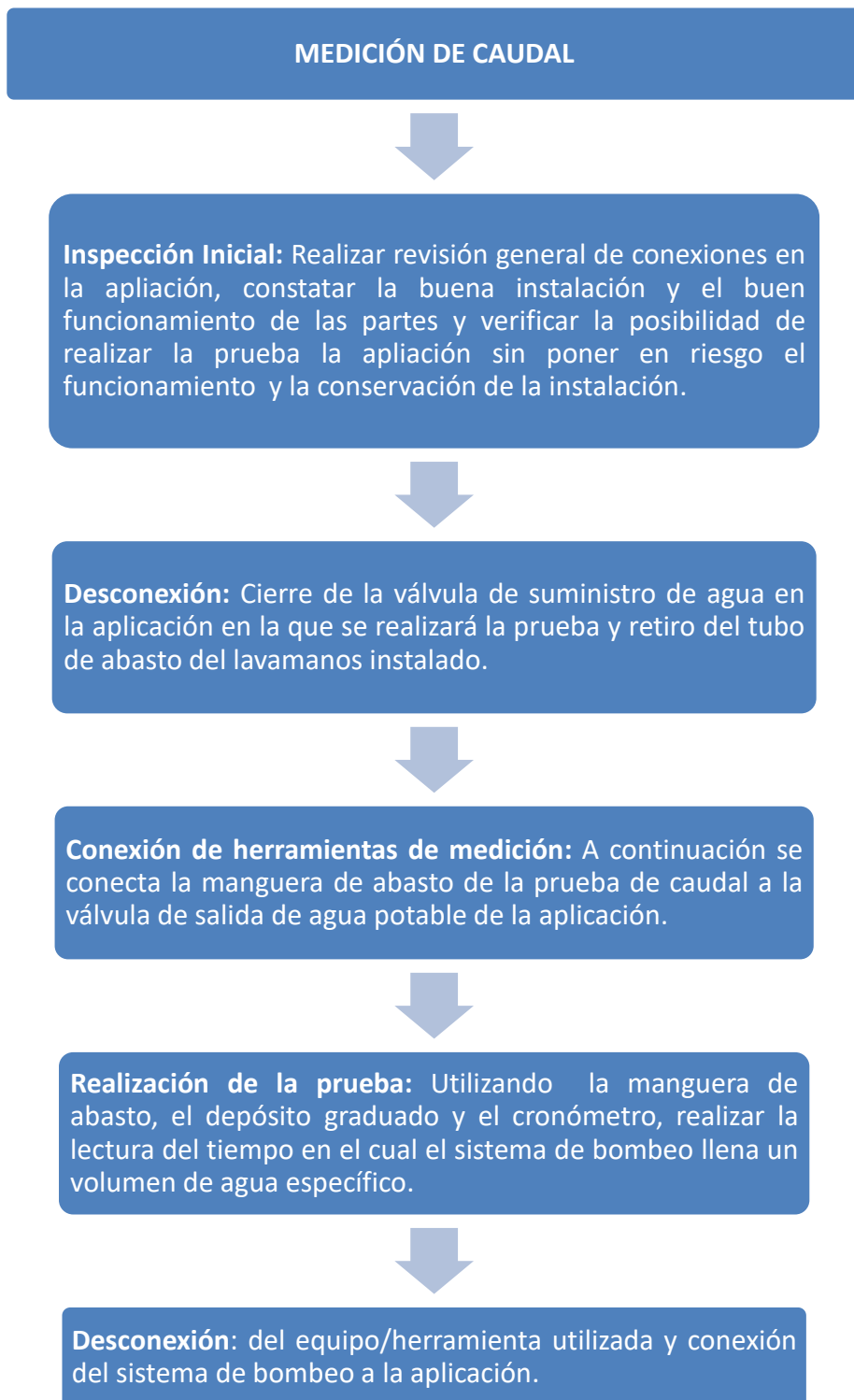


Figura 12. Metodología para la medición de caudal.



Figura 13. Tubo de abasto flexible.

- b) Depósito graduado: El depósito graduado para realizar la lectura de llenado de un volumen específico. El depósito debe ser suficientemente grande para poder realizar las pruebas sin ningún problema considerando el caudal del sistema de bombeo.



Figura 14. Depósito graduado.

- c) Cronómetro: Se utilizó para realizar la medición del tiempo que le tomaba al sistema de bombeo de agua en una aplicación en específico llenar un volumen de agua en específico.



Figura 15. Cronómetro.

#### 4.3. MEDICIONES DE PRESIÓN

Así como es necesario obtener lecturas de caudal que el sistema de bombeo brinda, también es importante conocer la presión del sistema en puntos claves del sistema de bombeo, por eso se realizaron mediciones en campo en las cuales se tomó en diferentes puntos la presión de agua que el sistema brindaba en horarios específicos.

#### 4.3.1. METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE PRESIÓN

De acuerdo con la unidad de mantenimiento del Hospital Benjamín Bloom, se realizaron mediciones de presión en puntos claves de los edificios que conforman el hospital, además de ello también se realizaron las pruebas en el mes de Noviembre, el cual es uno de los meses de mayor demanda debido a las consideraciones de demanda. También se consideraron las medidas en diferentes horarios para realizar un mejor análisis.

Los puntos en que se realizaron las mediciones de presión fue en los servicios sanitarios dispuestos en cada nivel del hospital, de los cuales del total de servicios sanitarios se tomó una muestra considerando los siguientes criterios:

- a) Facilidad de conexión del instrumento de medición: Se realizaron las pruebas en los lavamanos debido a la facilidad de desconectar el tubo de abasto de un lavamanos para así conectar el instrumento de medición.
- b) Cercanía física de la aplicación hasta la casa de máquinas donde se encuentra el sistema de bombeo: Se consideraron puntos alejados del sistema de bombeo para que así se considerarán dentro de las pruebas las pérdidas por fricción en las tuberías. Por ejemplo, en el edificio conocido como “torre” del hospital, se pueden notar dos alas o secciones dispuestas una en cada extremo, por lo que se decidió tomar una medida en cada ala de la torre, ya que estas están alejadas entre sí.
- c) Interrupción de agua potable durante las pruebas con los servicios del hospital: se realizaron mediciones en los servicios sanitarios, ya que estos no representan una interrupción crítica que afecte a los pacientes mientras recibía alguna atención en el hospital.

En el siguiente diagrama se puede observar paso a paso el protocolo utilizado para la realización de las pruebas:

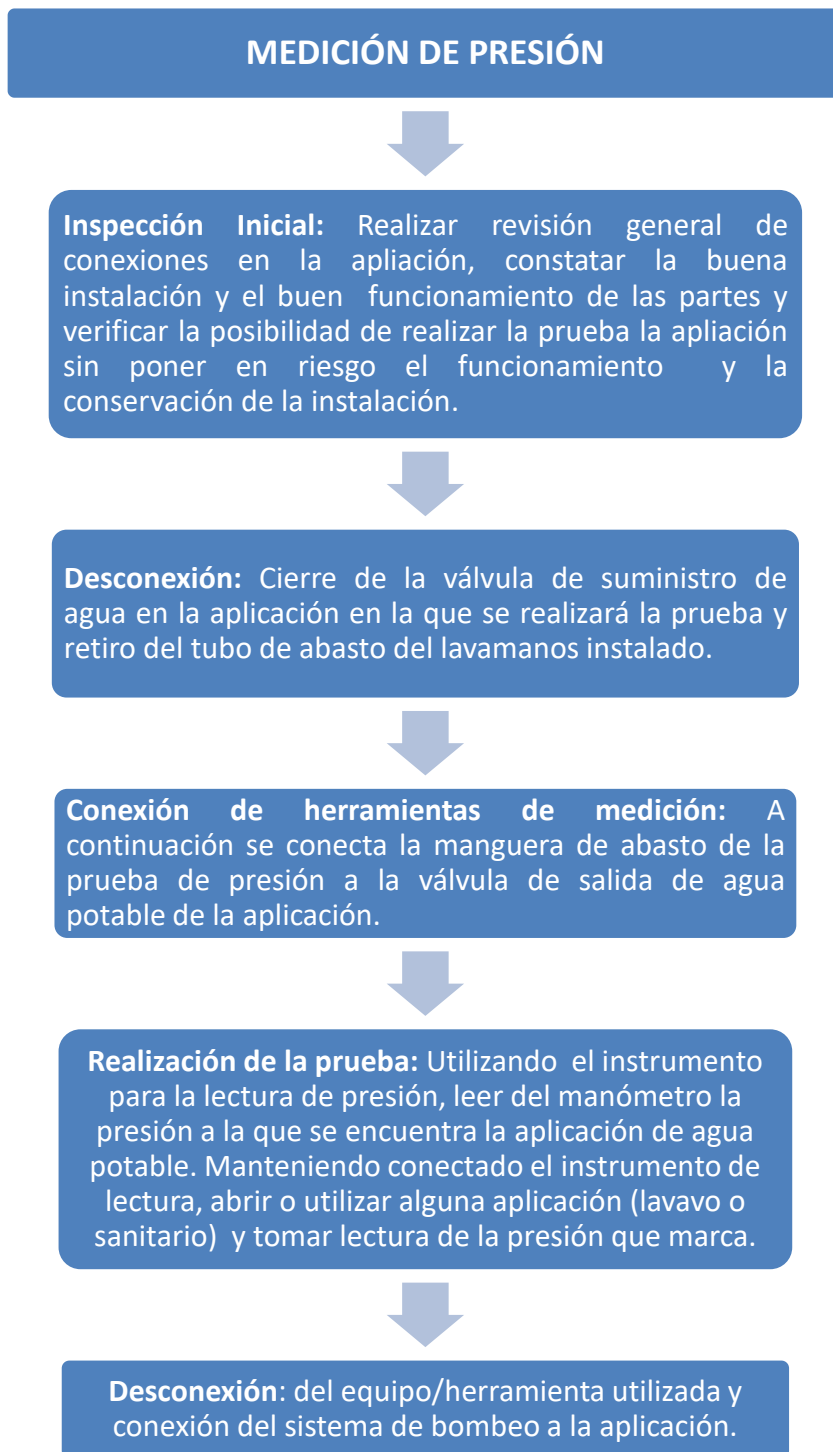


Figura 16. Diagrama de metodología de toma de presión.

## **5. ANÁLISIS DE DATOS**

En este capítulo se presenta la etapa del análisis de datos correspondiente a la metodología de evaluación.

### **5.1. IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS RECURRENTE**

A partir de la extracción de información de las órdenes de mantenimiento, se tabularon los datos más importantes, de esos datos que se cuentan desde el año 2012 hasta noviembre de 2018, se tabularon y graficaron dichos valores separando las operaciones a tres categorías principales con las que cuenta el sistema de bombeo las cuales son:

- Operaciones en la red de distribución: las cuales son tuberías, accesorios dentro de estas y operaciones de fugas en aplicaciones grandes y pequeñas.
- Operaciones en la casa de bombas: siendo estas operaciones en los conjuntos motor-bomba, en esta categoría suelen ser desde cambios de baleros a reparaciones del motor eléctrico.
- Operaciones en las cisternas: en esta categoría se restringen a operaciones rutinarias de limpieza de la cisterna o algunas veces a cambios de válvulas de nivel.

Habiendo vaciado todos los datos en las tablas diseñadas para el procesamiento de datos de las OT, se procedió a realizar el análisis general a través de los años.



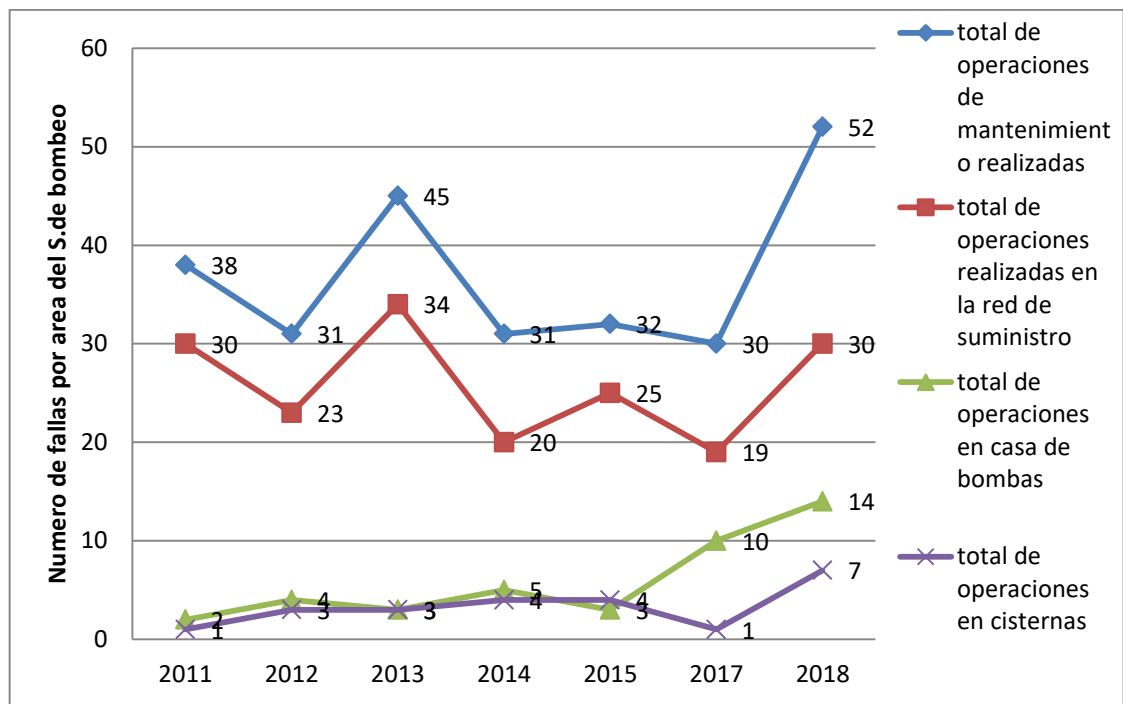


Figura 17. Frecuencia de operaciones de mantenimiento en el HNBB.

Para el año 2015 se encontraron únicamente las OT de Enero a Mayo por tanto se completó extrapolando la tendencia establecida por los primeros meses.

El año 2016 fue suprimido completamente por que no se encontraron operaciones para el sistema de bombeo también encontrándose incompletas la documentación.

Ya dirigiéndonos meramente al análisis de los datos, podemos observar tendencias e incidencias por lo cual de ese gráfico extraemos los siguientes análisis:

- En el año 2018 se han generado la mayor cantidad de operaciones en el sistema de los últimos 8 años con un margen de siete operaciones sobre el segundo año con más operaciones el cual fue el 2013, considerando también que el año 2018 no se había terminado al momento del vaciado de datos faltando todo el mes de diciembre

- Se reportaron el mayor número de operaciones en la casa de bombas en el mismo año del 2018, habiendo una tendencia en el aumento a través de los años, este dato será útil para determinar la viabilidad de la compra de nuevos equipos.
- Las operaciones en la red hidráulica son casi a su totalidad dirigidas a fugas de agua, el 2018 empata en segundo lugar con el 2011 con 30 operaciones realizadas siendo el 2013 el año en el que se dieron el mayor número de operaciones con 34 operaciones, este dato servirá como marco de comparación en el gasto de agua anual.

### **5.1.1. HORAS DE OPERACIONES POR CATEGORÍA EN EL SISTEMA DE BOMBEO**

Es importante tener en cuenta que cuantificar el número de operaciones que se han requerido para mantener el sistema de bombeo es importante y un parámetro de igual importancia es el número de horas invertidas por los operadores, ya que este valor se traduce al costo que representa en materia de salarios o dicho de otra forma cuánto cuesta mantener el sistema de bombeo. En la figura 18 se observa un claro salto de horas invertidas en la casa de bomba del año 2018 siendo la diferencia con el segundo mayor de 272.5.

Entonces evidenciando esta inversión excesiva de horas en el mantenimiento de la casa de bombas, analizando varios reportes de mantenimiento realizados por los operarios y finalmente basándonos en la normativa de ANDA que dicta que un proyecto de sistema de bombeo tiene una vida útil de 20 años (ANDA, 1998) se concluye que los equipos de la maquinaria de la casa de bombas del hospital Benjamín Bloom ha sobrepasado su vida útil.

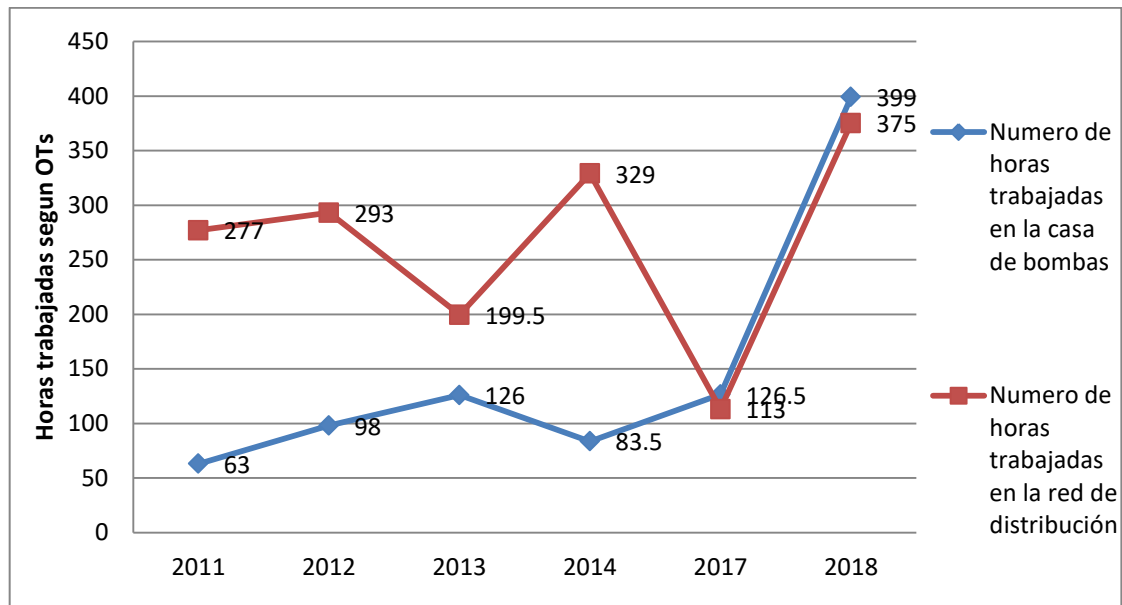


Figura 18. Horas trabajadas anualmente en el sistema de bombeo por categorías.

Según el portal de transparencia del Hospital Nacional para niños Benjamín Bloom, el salario mínimo que un técnico de mantenimiento II puede devengar es de \$370.00 y el salario máximo que puede adquirir por escalafón que sería de \$1627.00<sup>4</sup>, para este análisis se utilizará el límite inferior el cual consistiría en \$2.10 la hora.

Estos valores de horas y más importante de costos que el hospital invierte en la reparación del sistema de bombeo servirá como base para la toma de decisiones para escoger, ya que se tiene que demostrar la factibilidad invertir en la compra de nuevo equipo para reemplazar al obsoleto.

A continuación en la tabla 10 se puede ver el número de horas trabajadas al año por la unidad de mantenimiento del HNBB en la casa de bombas y en la red de distribución. Junto a ello al lado se designa el valor del costo anual por mano de obra de acuerdo con el salario mínimo mensual que un trabajador técnico del hospital puede devengar.

<sup>4</sup>Hospital Nacional Benjamin Bloom, 2012, Ley de Salarios o Contrataciones

Tabla 10. Número de horas trabajadas y su costo de mano de obra en casa de bombas y red de distribución (2011-2018).

Años	Número de horas trabajadas en la casa de bombas		Número de horas trabajadas en la red de distribución	
	Horas	Costo	Horas	Costo
2011	63	\$132.44	277	\$582.33
2012	98	\$206.02	293	\$615.97
2013	126	\$264.89	199.5	\$419.40
2014	83.5	\$175.54	329	\$691.65
2017	126.5	\$265.94	113	\$237.56
2018	399	\$838.81	375	\$788.35

## 5.2. ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES DE CAMPO

A continuación, en este apartado se muestran las gráficas de las mediciones de campo presentadas en el capítulo anterior con su respectivo análisis sobre los problemas que se tienen en el sistema.

En el siguiente gráfico se muestra la presión estática del sistema de agua potable por nivel, se puede observar que en cada nivel existe una caída de presión, esto debido a las pérdidas estáticas del sistema las cuales teóricamente corresponden a las pérdidas existentes en la red de tubería con el cambio de altura de los diferentes niveles. Este fenómeno es normal si se cumple con la condición que la caída de presión es igual a las pérdidas estáticas mencionadas anteriormente, de no ser así, esto es debido a la existencia de algún fenómeno en la red y que esto está afectando al sistema. Como podemos observar en el gráfico la caída de presión promedio está entre 5 y 6 psi entre cada nivel y presenta la misma caída incluso para los dos sistemas (sistema de alta presión y de baja presión) a excepción de lo que ocurre del nivel 0 al nivel 1, dicho fenómeno es inesperado y representa un

comportamiento anormal, ya que como se ha dicho antes el efecto debería de ser el mismo para todos los niveles. Sin embargo, se conoce que en el nivel 0 es donde existe una mayor concentración de aplicaciones de alta demanda de agua potable y por un lado esto puede explicar esta caída de presión.

Actualmente la presión de suministro a la salida de las bombas se ha configurado a una alta presión para un sistema de bombeo, pero esto lo han ejecutado de esta forma para poder suministrar hasta el último piso del sistema de baja presión (4to nivel) una presión suficiente para soportar el comportamiento estático y con flujo de la red. Más adelante podremos ver el comportamiento bajo flujo de la red de baja y alta presión. De acuerdo con la norma técnica para abastecimiento de agua potable de ANDA (ente rector de estos sistemas en El Salvador) la presión estática mínima para garantizar un buen servicio es de 15 psi, podemos observar que en base a lo anterior, el sistema tanto de baja presión (del nivel SS nivel 4) como de alta presión (nivel 5 al 11) si está en concordancia con la norma. Cabe destacar que en el gráfico se observa un incremento de presión entre el nivel 5 y 6 esto es debido al cambio del sistema entre el sistema de baja presión y sistema de baja presión.

A continuación se muestra el cálculo de las pérdidas estáticas por altura (pérdidas piezométricas), el cual debe de ser igual a las caídas de presión encontradas en cada nivel:

$$\Delta P = \rho g \Delta H$$

$$\Delta P = \left(1000 \frac{kg}{m^3}\right) \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) (3.5 m) = 34,335 \frac{kg}{ms^2}$$

$$\Delta P = 34,335 Pa = 4.69 psi$$

Por lo tanto la diferencia de presión entre cada nivel debe de ser de 4.69 psi.

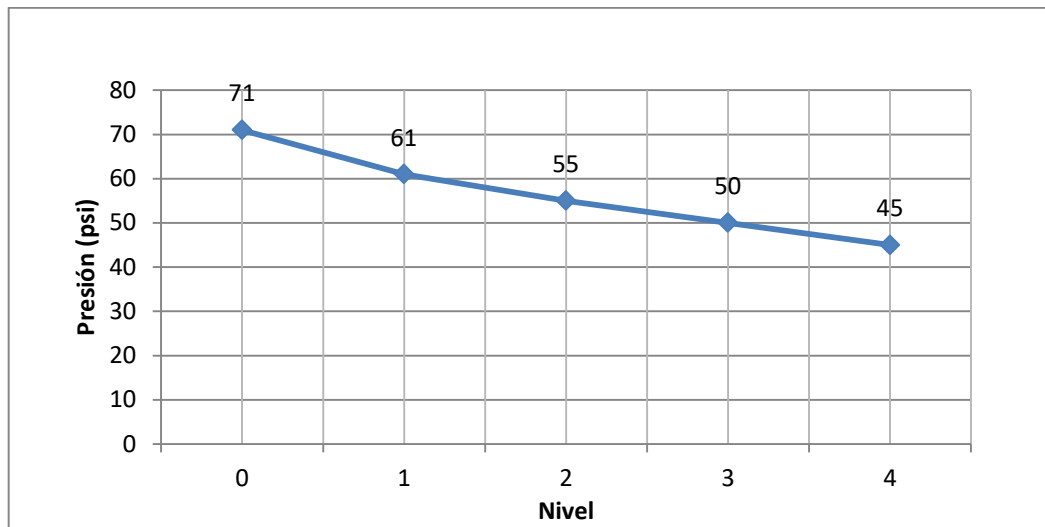


Figura 19. Presión estática por niveles en sistema de baja presión.

En el gráfico que se muestra en la figura 19 se presenta la presión estática del sistema de bombeo de baja presión del HNBB para el turno matutino. Como se puede observar en la gráfica el comportamiento estático de la red de este sistema posee una caída de presión debido incremento de altura en cada nivel del edificio, dicho decremento varía entre 5 a 6 psi. La disminución de presión es la esperada de acuerdo a los cálculos realizados en la página anterior. Sin embargo se observa que la presión en el nivel 0 es muy alta llegando o pasando los límites de presión máxima establecidos por ANDA (ANDA, 1998).

En la figura 20 se observa que la red de bombeo de alta presión que distribuye agua potable desde el nivel 5 hasta el nivel 11 se encuentra con una caída de presión debido al cambio de altura similar al caso del sistema de baja presión, con valores entre 5 y 6 psi de caída de presión entre cada nivel, este valor de caída de presión es la esperada, por lo tanto no se observa ningún problema en la presión estática del sistema de bombeo. Se debe tener en cuenta que este sistema de bombeo suministra a una red de 7 niveles, por lo que la caída de presión entre el nivel inferior y nivel superior esperada es significativa (35 psi).

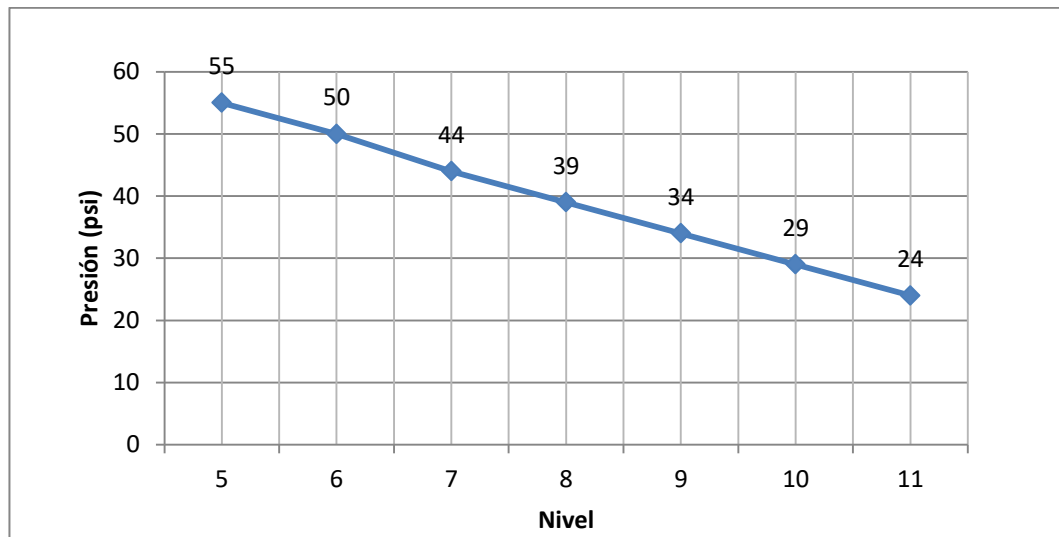


Figura 20. Presión estática por niveles en sistema de alta presión.

En la figura 21 se muestra el comportamiento de la presión estática y la presión estática con flujo del sistema de bombeo de baja presión para el turno matutino. Como se puede observar en el turno matutino la diferencia de presión existente entre la presión estática y la presión estática con flujo es significativa, llegando incluso en algunos niveles hasta 40 psi de diferencia. Esta diferencia de presión es muy crítica, como se observa en el nivel 4 de forma más clara ya que dicha presión cae hasta 2 psi con lo cual es posible que exista con frecuencia servicio discontinuo en este sistema. Se debe notar que la presión estática en el nivel 0 es alta y sobrepasa el límite establecido como presión máxima.

En la figura 22 se presenta el comportamiento de la presión estática y presión estática con flujo del sistema de bombeo de alta presión en turno matutino. Como se observa en dicha figura la diferencia de presión existente entre la presión estática y presión estática con flujo es despreciable, se ve un comportamiento muy similar de la presión de servicio en la red hidráulica en ambas condiciones. Aparentemente no existe ningún problema en el sistema de alta presión en el turno matutino.

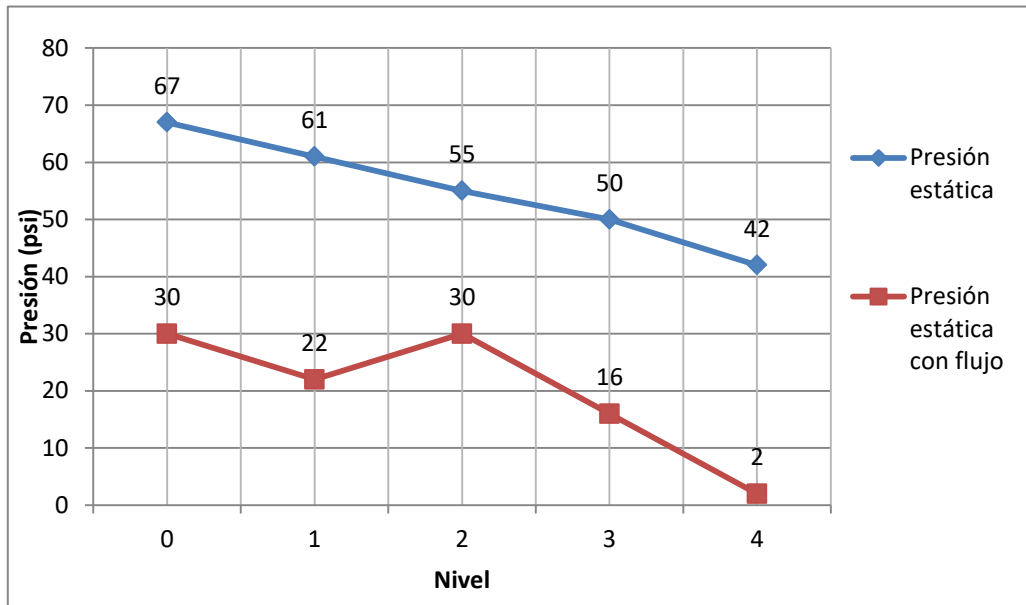


Figura 21. Presión estática y presión estática con flujo del sistema de bombeo de baja presión, turno matutino.

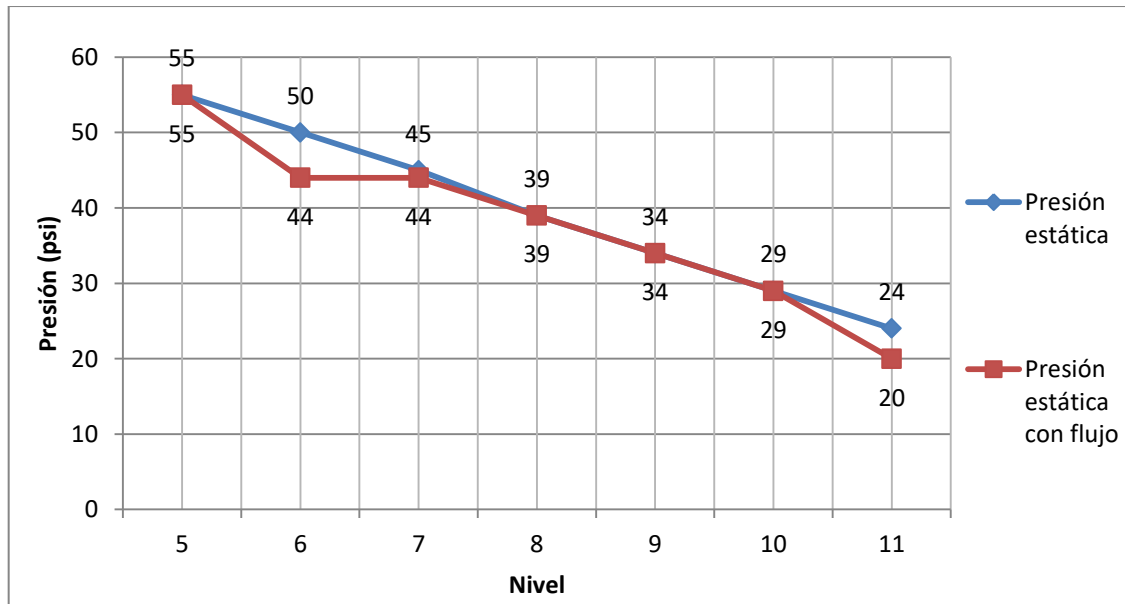


Figura 22. Presión estática y presión estática con flujo en sistema de alta presión en turno matutino.



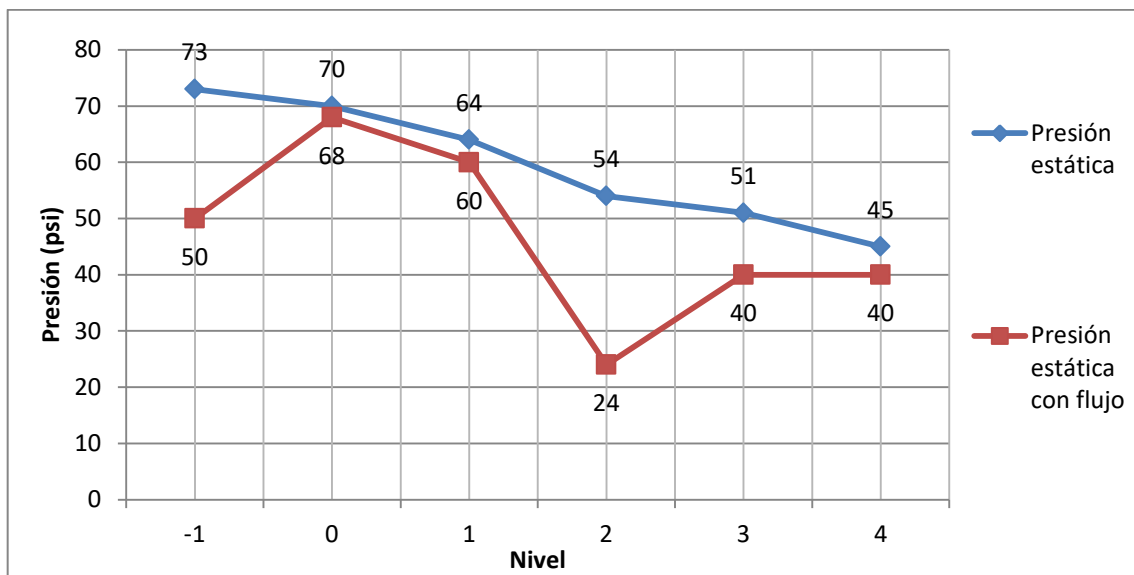


Figura 23. Presión estática y presión estática con flujo del sistema de baja presión en turno vespertino.

En la figura 23 se muestra el comportamiento de la presión estática y la presión estática con flujo del sistema de baja presión para el turno vespertino. Se observa que en horas vespertinas la presión estática de la red en comparación con la presión estática con flujo posee en algunos niveles una diferencia casi despreciable y en otros niveles significativa o crítica llegando esta diferencia a un valor máximo de 30 psi, lo que pone en duda el buen funcionamiento de la red sobre todo en condiciones desfavorables como las que en algún momento pueda tener los niveles superiores de dicha red. Se observa presiones altas en la presión estática del nivel inferior, lo cual también ocasiona incidentes no esperados en la red como fugas por rotura de tuberías, golpe de ariete, etc. Por lo tanto se siguen observando condiciones críticas para este sistema en este horario.

En la figura 24 se muestra el comportamiento de la presión estática y presión estática con flujo del sistema de alta presión en turno vespertino. Se observa en la gráfica que la diferencia de presión existente entre ambas condiciones (condición de presión estática y presión estática con flujo) es casi

despreciable en la mayoría de niveles del edificio que son alimentados por la red de alta presión. No se observan valores críticos mínimos o máximos de la red, por lo tanto no se considera que esta red pueda tener problemas en este turno bajo las condiciones anteriores.

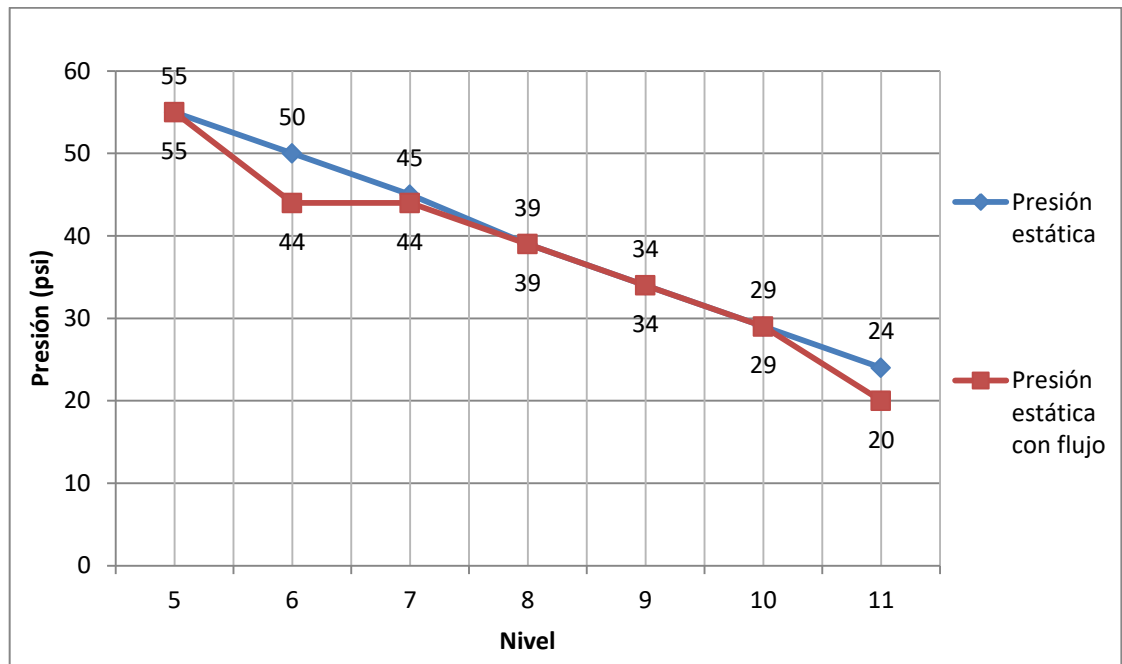


Figura 24. Presión estática y presión estática con flujo del sistema de alta presión en turno vespertino.

En la figura 25 se muestra el comportamiento de la presión estática y presión estática con flujo del sistema de baja presión en el horario de visita de pacientes. Dicho horario es de 12 a 2 pm en los días hábiles y es considerado como horario crítico por la unidad de mantenimiento del HNBB. En este horario además de que el hospital posee dentro de sus instalaciones al personal administrativo y al personal médico, se incrementa el número de personas dentro de las instalaciones ya que puede ingresar la visita de los pacientes, incrementando así la carga que pueda tener el sistema de agua potable de baja presión. Se puede observar en el gráfico que se presentan diferencias entre las

condiciones de presión estática y presión estática con flujo, con una diferencia máxima de 30 psi. Como se determinó anteriormente esta diferencia es crítica y puede ocasionar incidentes no esperados como suministros discontinuos en diferentes puntos de la red, siendo los niveles superiores los que posean una mayor probabilidad de incidentes no esperados. Se observa nuevamente presiones altas en la presión estática del nivel inferior, lo cual también ocasiona incidentes no esperados en la red como fugas por rotura de tuberías, golpe de ariete, etc.

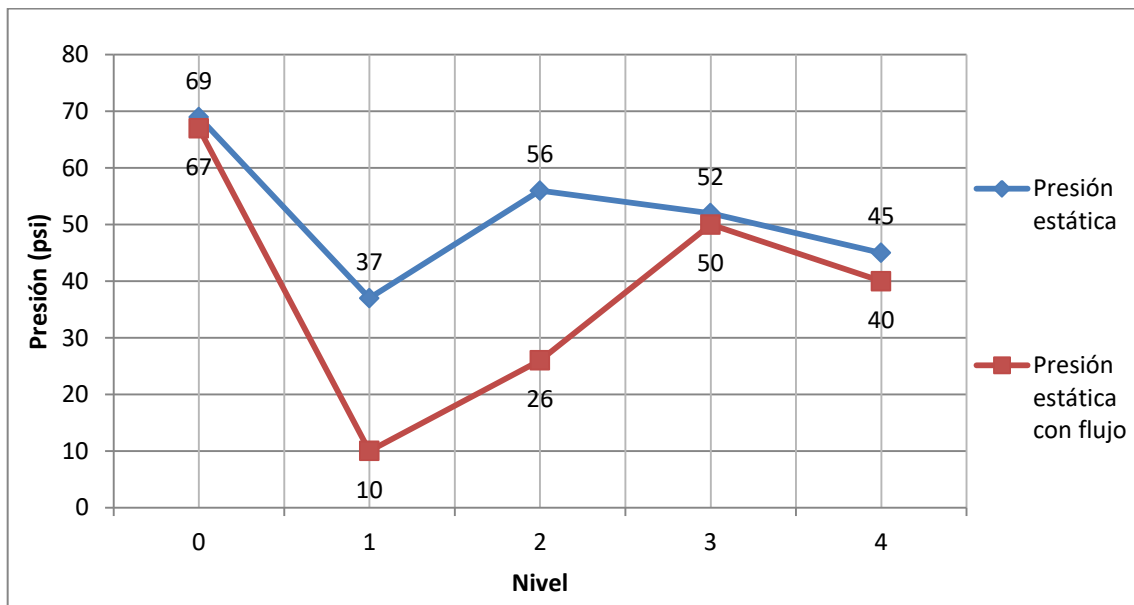


Figura 25. Presión estática y presión estática con flujo del sistema de baja presión en horario de visita de pacientes.

En la figura 26 se muestra el comportamiento de la presión estática y presión estática con flujo en el sistema de alta presión en horario de visitas. Se observa en la gráfica la existencia de diferencia de presión entre ambas condiciones (condición de presión estática y presión estática con flujo), esta diferencia de presiones que poseen los diferentes niveles de esta red varía desde 3 psi en su menor valor hasta 15 psi en su mayor valor. Dicha diferencia

de presión no se considera crítica, podemos ver que incluso en los niveles superiores de la red como en el nivel 10 y nivel 11 se poseen presiones de trabajo aceptables para las condiciones que se han descrito. Además los valores de presión estática se califican como adecuados y no se prevee ningún problema a partir de la información que presenta la figura.

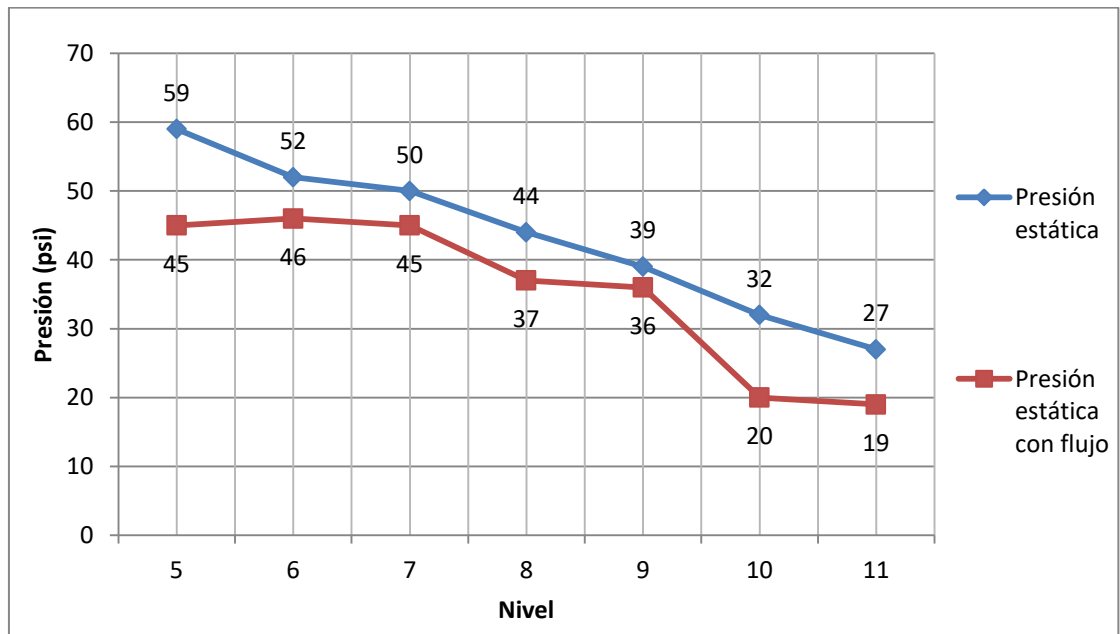


Figura 26. Presión estática y presión estática con flujo en sistema de alta presión en horario de visitas.

En la figura 27 se muestra el comportamiento de la presión estática y la presión estática con flujo del sistema de bombeo de baja presión en horario nocturno. Está contemplado como horario nocturno entre las 6 p.m. y 6 a.m. En dicho horario dentro del HNBB se encuentra la menor demanda de agua potable ya que solamente se encuentra personal de medicina residente, de enfermería y los pacientes. Como se ve en el gráfico existe una diferencia entre la presión estática y la presión estática con flujo en todos los niveles, sin embargo se estas diferencias de presión varían entre 1 psi a 5 psi de forma tal que se caracteriza con una fluctuación pequeña. Para estas condiciones en el

sistema de bombeo de la red de baja presión no se prevén incidentes no esperados como discontinuidad de suministro u otros. Además se espera un buen funcionamiento de red bajo estas condiciones. Se observa una presión estática en el nivel 0 menor que la presión estática del mismo nivel pero en horario diurno.

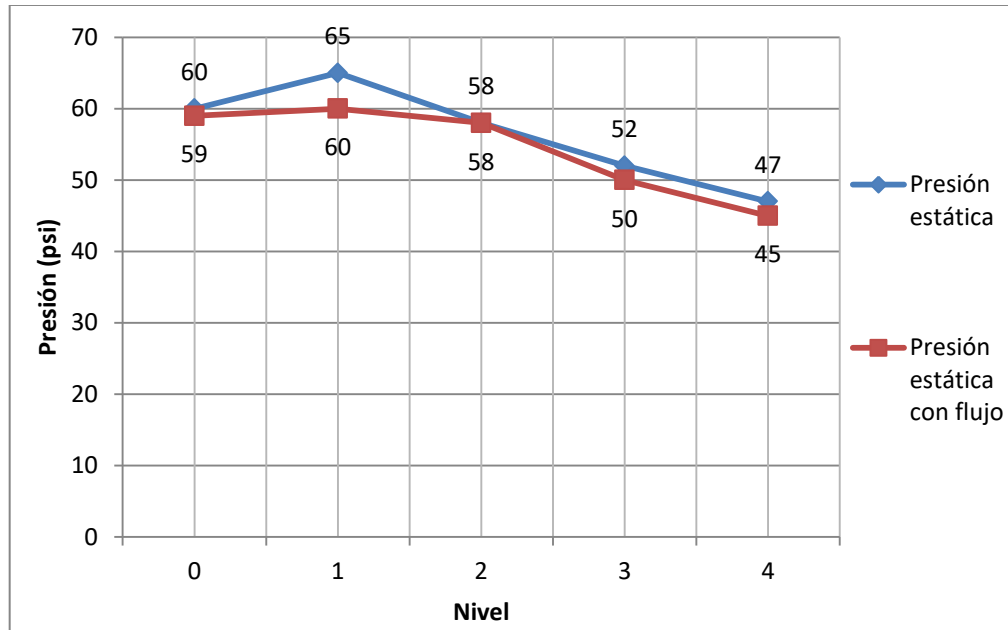


Figura 27. Presión estática y presión estática con flujo del sistema de bombeo de baja presión en horario nocturno.

En la figura 28 se muestra el comportamiento de la presión estática y la presión estática con flujo del sistema de bombeo de alta presión durante el turno nocturno. Se puede observar que en este horario existe una diferencia entre la presión estática y la presión estática con flujo, esta diferencia oscila entre 1 psi y 13 psi, a pesar de que esta diferencia es mayor de la que se presenta en el sistema de baja presión no se considera una diferencia crítica para el sistema de bombeo teniendo en cuenta los bajos niveles de presión en comportamiento estático, ya que estos pueden incrementarse más para poder corregir cualquier posible situación no esperada. A pesar de lo anterior no se

prevee ninguna situación no esperada y en caso que suceda se podría solucionar incrementando la presión estática de salida del equipo de bombeo de alta presión evitando siempre llegar a la presión máxima establecida para una red de agua potable.

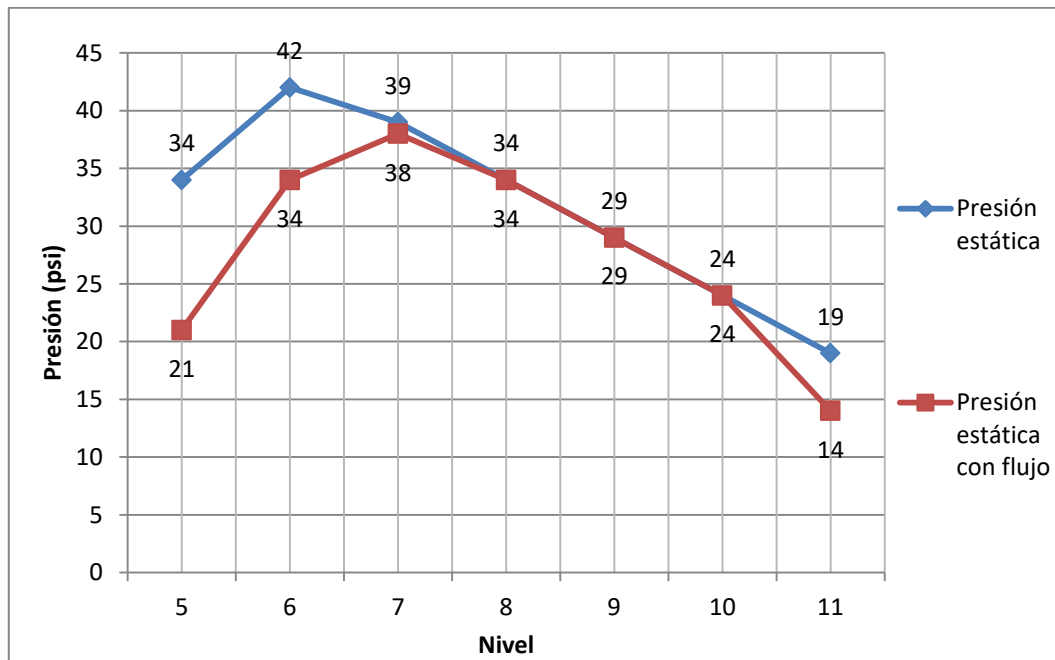


Figura 28. Presión estática y presión estática con flujo del sistema de alta presión en turno nocturno.

En la figura 29 se muestra el comportamiento del caudal para el sistema de baja presión del HNBB. En el gráfico se observan los valores de caudal de cada nivel, en todo el gráfico se observa cierta tendencia entre los valores mínimos y máximos reportados en esta red a pesar de que el patrón cambia en el nivel 2 y se observan los valores mínimos de caudal en los niveles 0 y 3. A pesar que no se debería esperar los caudales más bajos de la red en el nivel 0 este efecto se presenta debido a que en este nivel es el cual tiene una mayor carga para el sistema de bombeo de baja presión, ya que se encuentran las aplicaciones más grandes como es lavandería y cocina. De acuerdo con la norma de ANDA (ANDA, 1998) el caudal para un hospital debe de ser de 600

L/cama/día. Para el HNBB cuyo número de camas es de 361, el caudal mínimo debe ser: 0.003 m<sup>3</sup>/s, de esta forma se comprueba que de acuerdo a la norma técnica para abastecimiento de agua potable de ANDA, se cumple con el caudal mínimo y este no es un problema en los sistemas de bombeo de agua de baja presión.

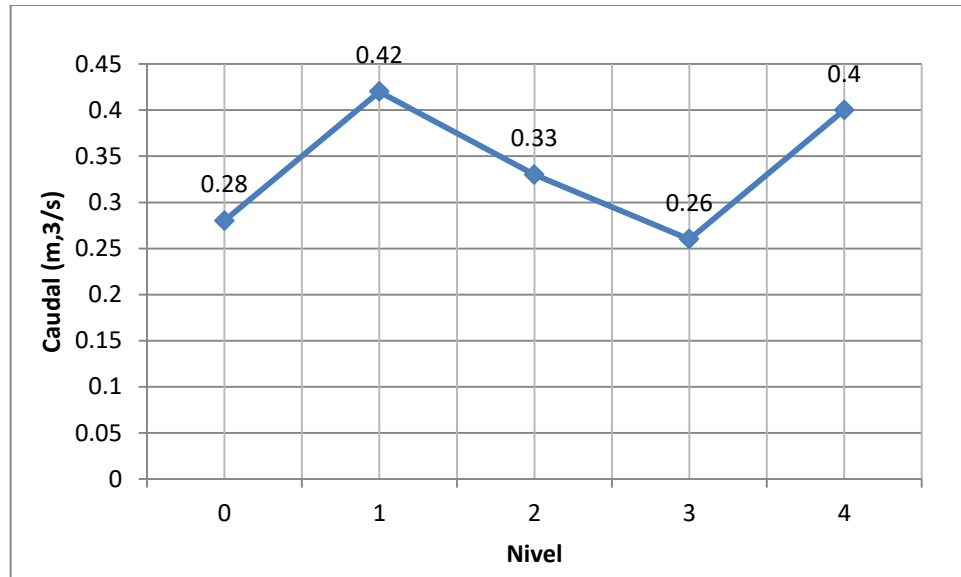


Figura 29. Caudal en metros cúbicos en sistema de baja presión.

En la figura 30 se muestra el comportamiento del caudal en metros cúbicos por nivel del sistema de alta presión del HNBB. Se observa una red con un caudal más estable que el caso del sistema de agua de baja presión. Como es de esperarse los menores valores de caudal aparecen en los niveles superiores. Se observa que el caudal en el nivel inferior de esta red es bajo, dicho fenómeno rompe una posible tendencia que pueda tener el gráfico sin embargo no se ven valores críticos que puedan dar posibilidad de algún incidente no esperado en los caudales para resta red.

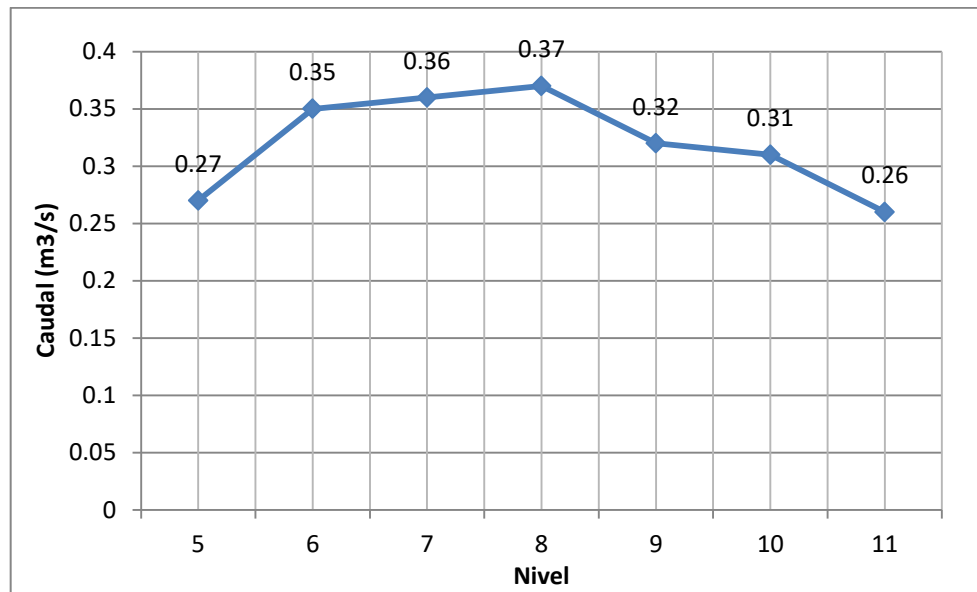


Figura 30. Caudal en metros cúbicos en sistema de alta presión.

### 5.3. ANÁLISIS DE LOS DATOS HISTÓRICOS

Según lo recolectado y tabulado en el capítulo tres sobre el consumo de agua se determinó que el consumo de agua se había convertido excesivo de lo que llevaba el año 2018 a esa fecha.

Sin embargo según los datos recolectados la razón de esta pronunciada alza resulta inconclusa, ya que según la frecuencia de fallas y horas trabajadas en la red de distribución, no refleja la tendencia del consumo promedio de agua como lo podemos ver en la única tendencia que aumenta similarmente a la del consumo de agua es el mantenimiento invertido en la casa de bombas, por lo cual la única conjetura que se podría realizar en base a la información dispuesta sería que existen fugas ocultas sin detectar y que el sistema de bombeo está constantemente tratando de compensar esta pérdida de presión lo que somete a las bombas a una sobrecarga lo que se traduce en un aumento de fallas en un equipo que ya ha sobrepasado su vida útil.



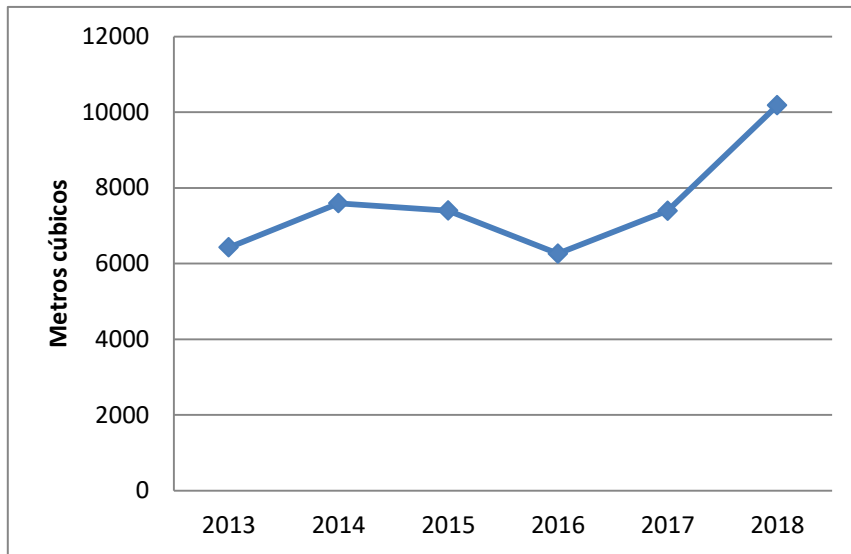


Figura 31: Consumo promedio en metros cúbicos por año.

En la figura 31 se muestra el consumo promedio en metros cúbicos por año en el periodo 2013-2018. Se puede observar en el gráfico que en el año 2018 se reporta un gran aumento de consumo de agua.

### 5.3.1. AUTONOMÍA DEL SISTEMA DE BOMBEO

Dentro del HNBB se encuentran dos cisternas denominadas como cisterna oriente y cisterna poniente. Se desconocen las dimensiones de ambas cisternas debido a que la información descrita se encuentra en los planos hidráulicos, los cuales son manuscritos y actualmente se encuentran ilegibles. Sin embargo en las visitas técnicas realizadas al hospital no se presenciaron problemas por abastecimiento de agua y la unidad de mantenimiento del hospital no posee documentación de cortes de agua potable por corte del proveedor del servicio.

A continuación se muestra el cálculo de consumo diario promedio basándose en el consumo que el hospital tuvo en el año 2018.

$$\text{Consumo diario maximo} = \frac{10,100m^3}{30 \text{ dias}} = 336.67 \frac{m^3}{\text{dia}}$$

De acuerdo con el cálculo anterior, el HNBB necesitaría que el volumen que las cisternas puedan almacenar  $340 m^3$  para obtener un día de autonomía. Sin embargo no se encontró ninguna norma o documento que establezca el volumen mínimo de un sistema de cisternas y dicho valor depende del criterio técnico del diseñador del proyecto de agua potable para cada edificio.

#### **5.4. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN POBLACIONAL DEL HOSPITAL NACIONAL BENJAMÍN BLOOM**

De acuerdo con los datos recolectados acerca de la situación poblacional del hospital que se pueden visualizar en el capítulo anterior, podemos concluir que la demanda del recinto médico no se encuentra en aumento o disminución, si no que ha permanecido estable en los últimos 5 años, este comportamiento es característico del hospital debido a que la demanda que puede atender está en concordancia con la planificación del GOES, el diseño y la capacidad máxima del hospital. Mediante este comportamiento de la población usuaria no se puede predecir un aumento o una disminución de usuarios, sin embargo, si se puede predecir un buen funcionamiento del servicio del agua potable para mantener la calidad del servicio en situaciones similares, es decir para la demanda promedio de los últimos 5 años. Además mediante esta información queda demostrado que un aumento de fallas en los equipo de bombeo de agua potable no es causado debido a un aumento en la demanda de estos servicios, si no que el equipo de bombeo mismo no da abasto para dicha demanda o que el equipo está siendo mal utilizado. Cualquiera de las dos opciones válidas representan un incremento en el coste de mantenimiento para este servicio, de tal forma que año con año este problema representará un coste alto para el

hospital debido a las intervenciones de mantenimiento correctivas o preventivas necesarias para poder mantener los equipos funcionando y así poder seguir prestando este servicio que tiene la característica de no poder ser interrumpido.

## **5.5. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS**

En esta sección se plantean los problemas que poseen la red de bombeo de baja presión como la red de bombeo de alta presión, esto con la información recolectada por la metodología de evaluación hasta este momento. Por lo tanto:

En la tabla 11 se muestra de forma ordenada los problemas recurrentes que han sido encontrados en el sistema de bombeo de agua potable, tanto en el sistema de baja presión como en el sistema de alta presión dentro del Hospital Nacional Benjamín Bloom.

En la figura 32 se muestra de forma esquemática los problemas encontrados en la red de agua potable, en la cual dichos problemas están entrelazados y en la cual la solución realizada de regular la presión de suministro de agua a valores no recomendados forma una parte crítica de los problemas que se presentan, ya que esto ocasiona fatiga en las tuberías generando así fugas. Si bien es cierto, la solución realizada soluciona el problema en un corto periodo de tiempo, se debe de realizar una solución a largo plazo y que no dañe el sistema en su conjunto.

Tabla 11. Planteamiento de problemas.

<b>Problema</b>	<b>Análisis del problema</b>
Fugas recurrentes en tuberías	A partir de los datos generados por la unidad de mantenimiento se detectó que existe una gran frecuencia de fugas de agua dispersas por la torre a través de los años, sin embargo debido a la falta de información en las OTs no se puede zonificar el problema con exactitud, pero si se puede asegurar que dichas fugas se encuentran en el sistema de baja presión.
Deficiencia en el servicio continuo de agua potable	Se presenta discontinuidad del servicio cuando demandan consumo de agua las aplicaciones críticas (aplicaciones de gran demanda) como lavandería. Por ello la unidad de mantenimiento del hospital ha realizado configuración de presión a la planta de bombeo, incrementando la presión de suministro de la bomba para contrarrestar esta situación.
Disminución de presión por niveles	Es natural esperar que exista disminución de presión a medida que la altura aumenta, y según lo calculado la pérdida no es fuera de lo ordinario, sin embargo el edificio presenta un problema denominado desequilibrio hidráulico. El personal encargado para evitar este problema ha incrementado la presión de suministro de la bomba.
Excesivo consumo para el año 2018	Según el análisis sobre las facturas del periodo del 2013 al 2018 en el último año (2018) se han reportado los aumentos de consumo más altos en los últimos años, que incluso no sigue la tendencia incremental anual de este servicio. Sin embargo no ha habido un aumento del servicio hospitalario para contrastar esto y según las OT no parece reflejar una similar tendencia en lo que respecta a la reparaciones de fugas de agua, tanto en las horas invertidas como frecuencia de fallas en dicha categoría la única tendencia que se asemeja al aumento del consumo es el del mantenimiento realizado a la casa de bombas tanto en frecuencia como en horas invertidas, sin embargo no son datos concluyentes.

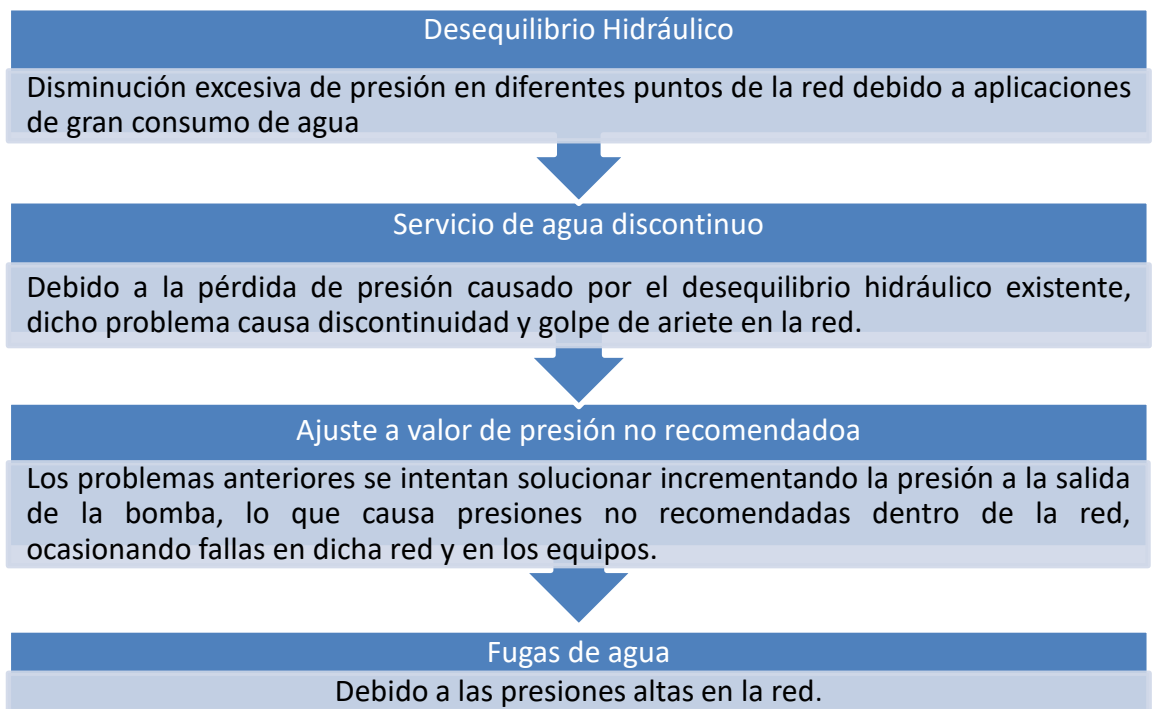


Figura 32: Esquema de relaciones de problemas existentes.

Se puede notar que se presenta una situación no esperada en el año 2018, pues en este año se observa un excesivo consumo de agua potable para, en el cual habría que realizar un estudio más específico utilizando equipos especializados para determinar si el consumo excesivo no es debido a una gran fuga de agua y que hasta la fecha aún se encontraría oculta.

## 6. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

En este capítulo se desarrolla la propuesta de solución para el sistema de bombeo de agua potable del HNBB.

### 6.1. PARÁMETROS DE DISEÑO

Tabla 12. Datos extraídos de norma técnica de ANDA.

Parámetro	Valor normado
Caudal	$600 \frac{L/cama}{día}$
Periodo establecido para atender el caudal máximo por bomba	10 años con 20 horas/día
Presión estática máxima	50 m.c.a
Presión estática con flujo máxima	10 m.c.a

Para poder contar con una homogeneización entre los proyectos de sistemas de bombeo, se tienen que regir bajo ciertas normativas, acá en El Salvador todo aquel que diseñe uno de estos sistemas se rige bajo la norma de ANDA “NORMAS TÉCNICAS PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADOS DE AGUAS NEGRAS”, esta establece lineamientos que el sistema debe cumplir, la norma lo explica de la siguiente manera; *“Las Normas ordenan un conjunto de requisitos que deben satisfacer los proyectos de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado de Aguas Negras, los puntos esenciales a incluir en su nivel de precisión, los valores de coeficientes y parámetros básicos, fórmulas, procesos de cálculo y diseño y algunas veces sugieren alternativas”* (ANDA, 1998). En la tabla 12 se muestra los distintos valores que ANDA establece en sus normas y que resultan de interés para esta evaluación.

## 6.2. ANÁLISIS DE SITUACIÓN ACTUAL

A continuación en la siguiente tabla se muestra el análisis y planteamiento de problemas del sistema de bombeo del hospital.

Tabla 13. Planteamiento de solución a los problemas.

<b>Problemática</b>	<b>Planteamiento de solución</b>	<b>Resultado esperado</b>
Desequilibrio hidráulico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Equilibrar el sistema centralizando el sistema de lavandería con un sistema de bombeo aparte.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El sistema no tendrá problemas de presión.</li> </ul>
Servicio de agua discontinuo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Equilibrar el sistema descentralizando el sistema de lavandería con un sistema de bombeo aparte.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Servicio continuo en la red de agua potable.</li> </ul>
Ajuste a valor no recomendado de la presión	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presentar la calibración de presión recomendado para las soluciones propuestas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reducción de circuitos de red hidráulica sometidos a presión excesiva.</li> </ul>
Fugas de agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presentar la calibración de presión recomendado para las soluciones propuestas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reducción de apareamiento de nuevas fugas por rotura o falla de tuberías.</li> </ul>
Excesivo consumo de agua en el año 2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se plantea la siguiente hipótesis: “El aumento del consumo de agua tiene semejanza con el aumento de operaciones en la casa de bombas, lo que podría indicar de que existe una fuga oculta aún no detectada probablemente en el subsuelo del hospital lo que significa una pérdida de presión permanente, sobrecargando aún más a las bombas que ya se encuentran pasadas sus vidas útiles y así incrementando la frecuencia de fallas”.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No se profundizará más en el análisis de esta problemática, sin embargo si se le hará saber a la unidad de mantenimiento de la posible problemática.</li> </ul>

### **6.3. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN**

Una vez se ha determinado bien el problema se procede al planteamiento de la solución, la cual involucra el cálculo para la selección de los equipos que sean necesarios.

#### **6.3.1 PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN**

A partir de la tabla 13 se logra discernir de los problemas a los padecimientos, siendo así como situaciones van a ser abordadas. Esto sería de la siguiente manera:

- a) Descentralizar el sistema de agua potable de las aplicaciones grandes como lavandería.
- b) Una vez teniendo el nuevo sistema, re calibrar los antiguos sistemas a una presión de suministro de la bomba adecuada para la conservación de la red de tuberías.

#### **6.3.2. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN SELECCIONADA**

Realizado el análisis se puede observar que la causa más notoria para diferentes problemas que padece el sistema de bombeo de agua potable de baja presión del hospital es la existencia de la gran demanda. Esto provoca una presión estática bajo flujo desfavorable para el sistema, debido a este padecimiento el personal responsable de mantenimiento ha establecido la presión a la salida del equipo de bombeo a valores máximos. Esto provoca un desequilibrio hidráulico, dicho desequilibrio en la red ocasiona otros problemas como fugas debido a fallas por altas presiones en las diferentes tuberías del



sistema. La solución principal deberá reducir o eliminar por completo el problema principal, el cual es el exceso de demanda, por tanto el sistema de lavandería del hospital será descentralizado. Se optaría por un propio sistema de bombeo para lavandería, con el objetivo de reducir la carga más grande o más exigente que tiene el sistema de bombeo de baja presión actualmente y así garantizar el funcionamiento del sistema antiguo y el nuevo sistema. Si se le coloca su propio sistema de bombeo a lavandería se podría tener el caso similar al sistema de bombeo de baja presión en horas nocturnas, en la cual lavandería no se encuentra en operaciones y dicho sistema funciona perfectamente (Ver análisis de datos). El sistema de alta presión se encuentra en buen estado y puede seguir funcionando así como lo hace actualmente como se puede observar en el análisis de datos.

### **6.3.3. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN**

Primeramente hay que plantear la solución, la cual consiste en anular del sistema de baja presión la alimentación a lavandería y una vez anulada se le acopla la alimentación de una o más bombas para alimentar esta aplicación, por lo tanto es de calcular los parámetros de la bomba que son presión total, caudal de operación y potencia real de la bomba. Se calcula lo siguiente:

#### **➤ Caudal de la bomba.**

El caudal de la bomba será definido con respecto a la demanda de la aplicación a suplir, para ello debemos de conocer la capacidad de las lavadoras, consultando con el manual de dichas maquinas muestra que cada lavadora a capacidad máxima demanda de  $1 m^3$  siendo cuatro lavadoras instaladas en lavandería y asumiendo que cada lavadora deberá de llenarse en cuatro minutos, tenemos entonces lo siguiente:

$$Q = \frac{1m^3 * 4}{4.5 \text{ min}} = 1 \frac{m^3}{\text{min}} = 0.0148 \frac{m^3}{s}$$

El diámetro de la tubería que alimenta directamente a lavandería es de 3 pulgadas con este dato procedemos a calcular la velocidad promedio en la tubería, para ellos se despejara el valor de velocidad de la siguiente ecuación.

$$Q = v * A$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} * D^2} = \frac{0.0148}{\frac{\pi}{4} * ((3 * 2.54)/100)^2} = 3.25 \frac{m}{s}$$

Los valores de caudal y velocidad promedio nos servirán para cálculos posteriores.

### ➤ **Presión total**

Para calcular la presión total para la selección de la bomba se utilizará la siguiente fórmula:

$$P_{total} = P_h + P_{friccion} + P_{accesorios}$$

En la cual:

- $P_{total}$  = Presión total ejercida para la bomba para llevar agua al punto de consumo.
- $P_h$  = la diferencia en metros desde el punto de salida del fluido desde la bomba y el punto de consumo de agua.
- $P_{friccion}$ : Las pérdidas de presión por fricción debido a la conducción de agua desde el punto de salida del fluido desde la bomba hasta el punto

consumo de agua. Para este dato se utilizará la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$P_{friccion} = \frac{f * L * v^2}{2 * g * D}$$

donde:

- $f$ : Coeficiente de fricción
- $L$ : Longitud de la tubería
- $v$ : Velocidad promedio en la sección transversal del tubo
- $g$ : Aceleración de la gravedad
- $D$ : Diámetro interno de la tubería.

Para calcular la presión total se tienen dos incógnitas que deben de encontrarse, las cuales se encuentran generadas en los planos del hospital Benjamín Bloom dichas incógnitas son la longitud de tubería desde la casa de bombas hasta lavandería y el número de accesorios (codos, Tes y otros) instalados a lo largo de la tubería.

Haciendo uso de los planos hidráulicos del piso 0 y conociendo donde se encuentra tanto lavandería como la casa de bombas, se rastrean las tuberías que alimentan lavandería luego haciendo uso del plano general hidráulico se trazan esas tuberías en dicho plano como se muestra en Anexo 2, luego se imprime dicho plano y se mide la longitud de la tubería haciendo la conversión con la escala. Siendo dicha longitud de **105.2 metros**.

De igual forma haciendo uso de los planos se cuenta la cantidad de accesorios a lo largo de la tubería, los cuales son 13 codos y 9 T.

Con estos datos se procede entonces a calcular  $P_{friccion}$ : y  $P_{accesorios}$ .

$$P_{friccion} = \frac{64}{2300} * \frac{105.2 * 3.25^2}{2 * 9.81 * 0.0762} = 20.68 m$$

Las pérdidas de presión ocasionadas por el flujo de agua a través de los accesorios de tubería. Para este dato se utilizará la ecuación de pérdidas singulares:

$$P_{\text{accesorios}} = K_S * \frac{v^2}{2 * g}$$

donde:

- $K_S$ : Coeficiente de pérdidas singulares
- $v$ : Velocidad promedio en la sección transversal del tubo
- $g$ : Aceleración de la gravedad

Utilizando un valor de  $K_S = 0.6$  sustituimos los valores y tenemos entonces:

$$P_{\text{accesorios}} = K_S * \frac{v^2}{2 * g} = 0.6 * \frac{3.25^2}{2 * 9.81} = 0.323 \text{ m}$$

Se calcula entonces presión total sacando de planos una inclinación entre ambos puntos de

$$P_{\text{total}} = 2\text{m} + 20.68\text{m} + 0.323\text{m} = 23.003\text{m} = 225,576.22 \text{ Pa}$$

### ➤ **Potencia de la bomba**

Tendiendo los valores de caudal y de altura se puede calcular la potencia de la bomba, asumiendo una eficiencia mecánica y eléctrica del 90% y un factor de seguridad de 1.25.

$$Potencia \text{ real} = \frac{P_{\text{total}} * Q}{\eta_{\text{mecánica}} * \eta_{\text{eléctrica}}} * n = \frac{225,576.22 * 0.0148}{0.9 * 0.9} * 1.25$$

$$Potencia \text{ real} = 5,152.05 \text{ Watts} = 5.15\text{kW} = 6.91 \text{ HP}$$

Por lo tanto se debe de seleccionar una bomba de 7.5 HP de potencia, que brinde un caudal de por lo menos 0.0148 metros cúbicos por segundo.

### 6.3.4 VIABILIDAD DE LA SOLUCIÓN

Para poder presentar lo planteado anteriormente como una solución, debe de determinarse su viabilidad como inversión dentro del hospital para ello se plantea un análisis de periodo de recuperación de la inversión (PRI). Para este análisis se establece que los flujos de efectivo positivo sería el monto ahorrado en sueldo de mano de obra del mantenimiento del sistema el cual se espera que disminuya en un 50%, si nos basamos en la tabla 10 que muestra una inversión total en mano de obra de \$1,627.16 y se considera que una bomba centrífuga de 7.5 HP tiene un valor en el mercado de no más \$2,000 y lo invertido en su instalación en materiales y mano de obra es de aproximadamente \$200.00. Se plantea la viabilidad en la Tabla 14

Tabla 14. Análisis del Periodo de recuperación de la inversión.

	Inversión Inicial	Año 1	Año 2	Año 3
Flujo de caja	\$2,000	\$813.58	\$813.58	\$813.58
Flujo acumulado	----	\$1,386.42	\$572.84	-\$240.74

Se determina entonces que la recuperación se encuentra entre el año 2 y 3, esto presenta para el proyecto una gran viabilidad ya que en este análisis no ha sido tomado en cuenta el costo de los materiales o repuestos utilizados en los mantenimientos del sistema.

## CONCLUSIONES

- La metodología diseñada contiene muchos aspectos a evaluar, sin embargo se necesita que se tenga información ordenada en los lugares que se quieran implementar, para así poder completar todos los aspectos a evaluar, o realizar una implementación recurrente de implementación de la metodología para recabar toda la información necesaria.
- El problema principal de los sistemas de bombeo de agua potable en el Hospital Nacional Benjamín Bloom se encuentra en el sistema de baja presión, el cual tiene un exceso de demanda, más notorio durante el funcionamiento de flujo en movimiento de la red.
- El sistema de bombeo de alta presión funciona de forma aceptable, de forma tal que puede poseer problemas, pero estos son de carácter no recurrentes, además estos problemas no implican problemas significativos para dicha red.
- La propuesta de solución para el manejo de la problemática es la centralización de un sistema de bombeo solamente para lavandería, dicha propuesta evitará la problemática que posee actualmente la institución.

## RECOMENDACIONES

- Se determina que las deficiencias que presenta el sistema de bombeo hidráulico del hospital no es un caso aislado sino que varios sistemas se presentan en este estado, es por ello que se recomienda que exista un seguimiento de los equipos para poder determinar la viabilidad para el hospital de seguirlos manteniendo y de esta manera encontrar cuando se necesita un cambio de equipo, dicho seguimiento puede ser realizado por un pasante de ingeniería mecánica de cuarto o quinto año que entre sus funciones sería utilizar la tabla llamada: “Control general de órdenes de mantenimiento” y de esta manera generar reportes detallando el estado de los sistemas.
- Realizar un estudio adecuado para la detección de fugas no reportadas u ocultas en el sistema de agua potable.
- Realizar una revisión del sistema de red de tuberías para ubicar y especificar a las tuberías dependiendo del material.
- Se recomienda actualizar el sistema y organización de mantenimiento, para obtener mejores resultados en el mantenimiento de los diferentes equipos.

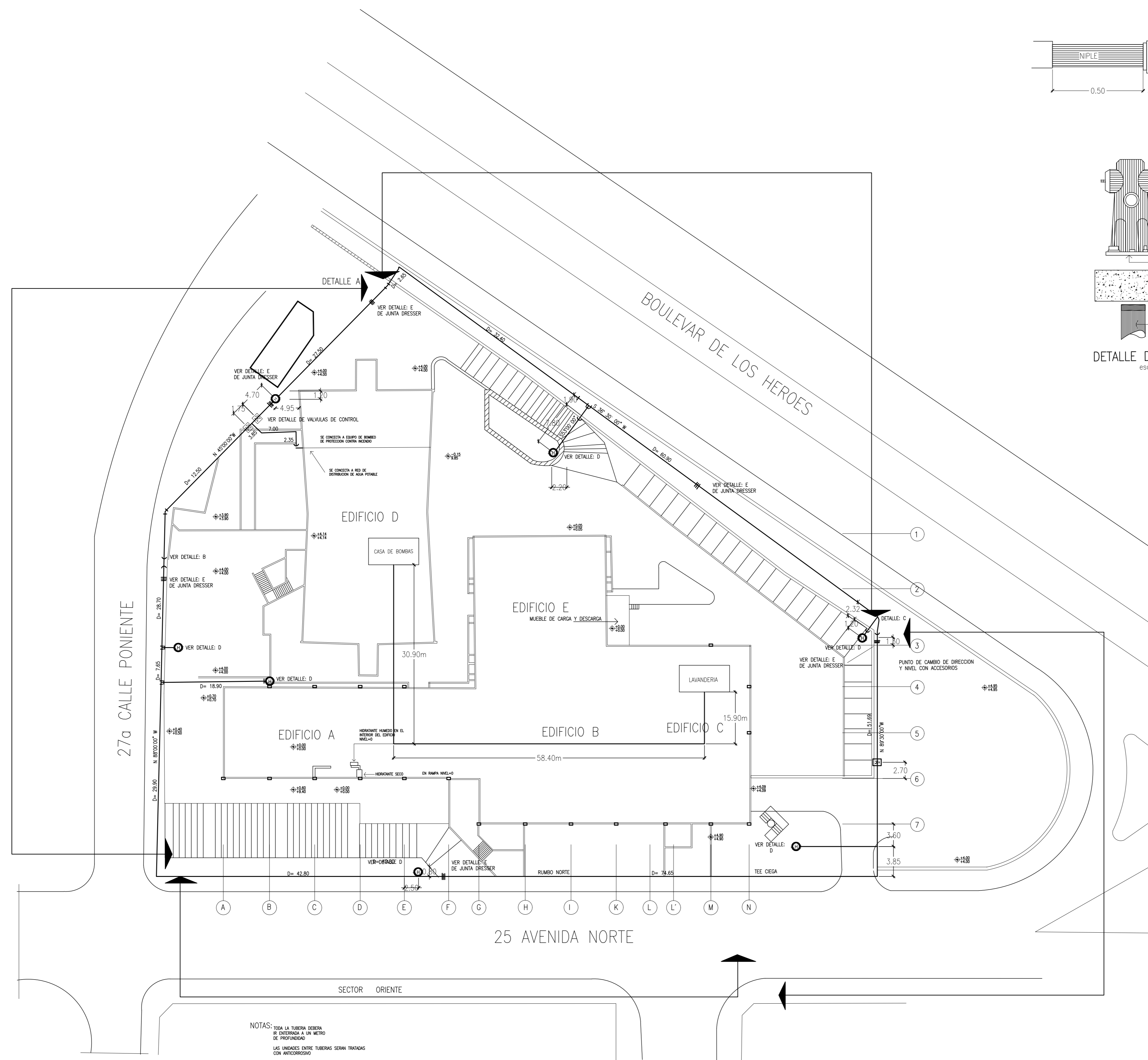
## BIBLIOGRAFÍA

- ANDA. (1998). *Normas técnicas para abastecimiento de agua potable y alcantarillados de aguas negras*. San Salvador.
- Dorado, F. (5 de Diciembre de 2011). *FisicaHidraulica,blogspot*. Recuperado el 18 de Marzo de 2018, de <http://fisicahidraulica.blogspot.com/>
- Ministerio de Salud. (2014-2018). *Egresos y muertes registrados según hospitales*. San Salvador.
- Moya, I. R. (2016). Implementación de eficiencia energética en sistemas de bombeo para lograr ahorros en la industria. *Tercer congreso regional de energía 2016*, (pág. 6). San Salvador.
- Organización Panamericana de la Salud. (2005). *Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental*. Recuperado el Marzo de 2018, de Guía para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable:  
[http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/023\\_Disenostaciones\\_bombeo/Dise%C3%B1o%20estaciones%20de%20bombeo.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/023_Disenostaciones_bombeo/Dise%C3%B1o%20estaciones%20de%20bombeo.pdf)
- SIGET. (2011). Art. 53. *TÉRMINOS Y CONDICIONES GENERALES*. San Salvador, El Salvador.
- UNICEF, OMS. (2019). *Progress on drinking water, sanitation and hygiene: Special focus on inequalities, 2000-2017*. New York.
- Valdés, Y. M., & Huguet Esteve, R. (2010). Estaciones de Bombeo, Evolución y Futuro. *Revista Ciencias técnicas Agropecuarias*, 1.



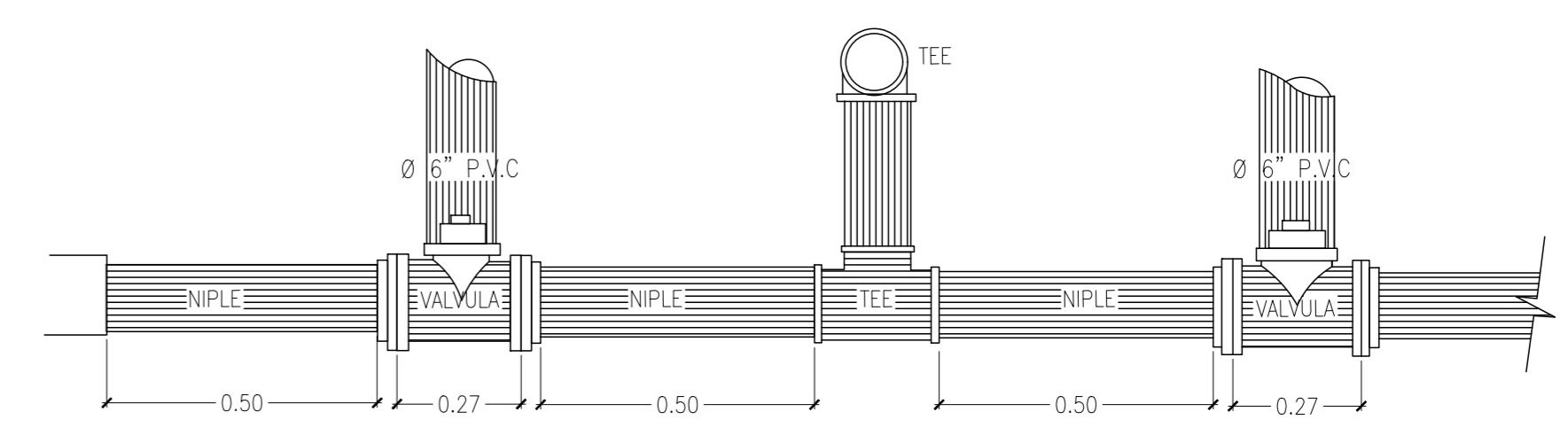


**ANEXO 2. PLANO DE PLANTA HNBB, UBICACIÓN DE CASA DE BOMBAS  
Y LAVANDERÍA.**

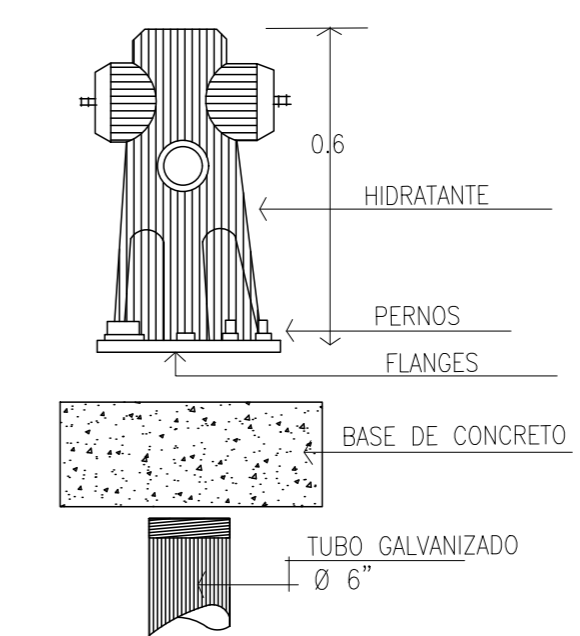


NOTAS: TODA LA TUBERIA DEBERA  
# ENTRAR A UN METRO  
DE PROFUNDIDAD  
LAS UNIDADES ENTRE TUBERIAS SERAN TRAZADAS  
CON ANTICORROSIVO

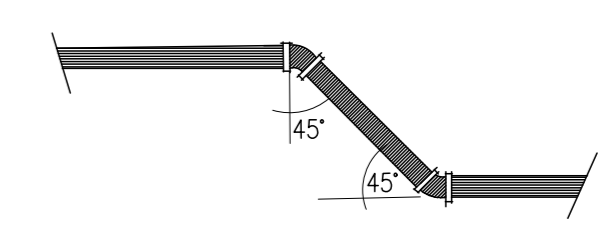
PLANTA GENERAL, RED DE DISTRIBUCION AGUA POTABLE  
Y TUBERIA DE PROTECCION CONTRA INCENDIO



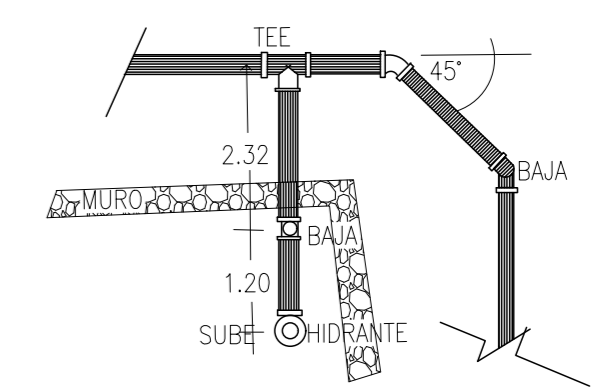
DETALLE DE VALVULAS DE CONTROL  
esc: 1:10



DETALLE D  
esc: 1:10



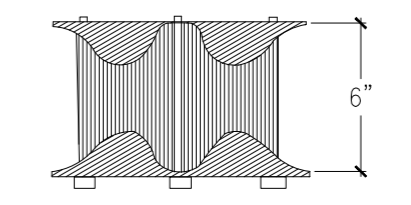
DETALLE A Y B



PLANTA DE DETALLE C



DETALLE E



PLANTA DE ELEVACION  
DE JUNTA DRESSER esc: 1:5