



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO DE UN SISTEMA HIDRÁULICO Y
PLUVIAL, CON ÉNFASIS EN LA CONSERVACIÓN Y
USO EFICIENTE DEL AGUA PARA LAS
INSTALACIONES DE CEDES DON BOSCO
UBICADO EN INMACULADA CONCEPCIÓN DE
ALAJUELITA

Trabajo final de graduación sometido a la consideración de la

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

como parte de los requisitos
para aspirar al título y grado de

LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA

Caleth David Cordero Guerrero B32038

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
Diciembre de 2020



ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
PROYECTO FINAL DE GRADUACION
ACTA 019-2020

El día lunes 07 de diciembre 2020, hacemos constar que el estudiante CALETH DAVID CORDERO GUERRERO carné universitario B32038; estudiante del Programa de Licenciatura en Ingeniería Mecánica,

Aprobó (*) []

Reprobó []

Su trabajo final de graduación con el proyecto titulado: "DISEÑO DE UN SISTEMA HIDRÁULICO Y PLUVIAL, CON ÉNFASIS EN LA CONSERVACIÓN Y USO DEL AGUA PARA LAS INSTALACIONES DE CEDES DON BOSCO EN INMACULADA CONCEPCIÓN DE ALAJUELITA"

(*) Condicionado a que las observaciones indicadas en esta acta sean incorporadas al documento final

TRIBUNAL EXAMINADOR

Table with 3 columns: NOMBRE, FIRMA, CÉDULA. Rows include Lic. Daniel Garbanzo Salas (Asesor Director), M.Sc. Raziel Farid Sanabria Sandí (Asesor Interno), Lic. José Alberto Zeledón Jiménez (Asesor Externo), Ph.D. Pietro Scaglioni Solano (Director de la Escuela), and M.Sc. Juan Gabriel Monge Gapper (Representante Prof. del Curso IM-0418).

Table with 3 columns: NOMBRE, FIRMA, CÉDULA. Row for POSTULANTE: Calet David Cordero Guerrero, Estudiante, with handwritten signature and ID 1-1611-0516.

OBSERVACIONES:

Nota: En cada caso, firmarán el acta solamente los responsables de la actividad descrita.

Hoja de tribunal

Este proyecto de graduación fue aceptado por la Comisión de Trabajos Finales de Graduación de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado y título de Licenciatura en Ingeniería Mecánica.

_____ Director de la Unidad Académica

Dr. Pietro Scaglioni Solano
Director Escuela de Ingeniería Mecánica

_____ Asesor director

Lic. Jose Daniel Garbanzo Salas
Escuela de Ingeniería Mecánica

 _____ Asesor interno

MSc. Raziel Farid Sanabria Sandí
Escuela de Ingeniería Mecánica

_____ Asesor externo

Lic. Jose Alberto Zeledón Jiménez
Comité de construcción y mantenimiento; Cedes Don Bosco

 _____ Representante curso Proyecto II

Mag. Juan Gabriel Monge Gapper
Escuela de Ingeniería Mecánica

_____ Ponente

Caleth David Cordero Guerrero

Agradecimientos

A Dios primeramente por la oportunidad de recibir una formación tan excelente y provechosa de parte de la Universidad de Costa Rica. A mis Padres por su inseparable apoyo y constante ayuda. A todo el personal Docente y Administrativo de la Escuela de Ingeniería Mecánica por brindar una incomparable labor hacia sus estudiantes.

Dedicatoria

A mis seres queridos; Padres, Prometida, Hermanos y Tías, que sin duda fueron las columnas que Dios me dio para llegar hasta aquí.

Índice general

Hoja de tribunal	ii
Agradecimientos	iii
Dedicatoria	iv
Índice de ilustraciones	viii
Índice de cuadros	xi
Resumen	xii
1. Introducción	1
1.1. Descripción general	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos específicos	2
1.3. Justificación	2
1.4. Antecedentes	3
1.5. Metodología	3
1.6. Alcance y limitaciones	6
2. Estudio técnico	8
2.1. Ubicación y Localización	8
2.2. Extensión y topografía del terreno	8
2.3. Clima	9
2.4. Población	10
2.5. Características económicas	11
2.6. Sistemas mecánicos	11
2.6.1. Sistema potable	11
2.6.2. Sistema pluvial	12
3. Marco teórico	14
3.1. Generalidades y normativa para el diseño de un sistema hidráulico	14
3.1.1. Normas de diseño	14
3.1.2. Dotación	14
3.1.3. Sistemas de almacenamiento de agua	14
3.1.4. Presiones y gastos mínimos	16
3.1.5. Velocidades de flujo	16
3.1.6. Sistemas de suministro o aducción	17

3.1.7.	Tipos de tuberías de trasiego de agua	18
3.1.8.	Caudal de diseño	19
3.1.9.	Selección de un sistema de bombeo	23
3.1.10.	Accesorios del sistema de tuberías	28
3.1.11.	Red de distribución	30
3.2.	Generalidades y normativa para el diseño de un sistema de reuso de agua pluvial	31
3.2.1.	Normas de diseño	31
3.2.2.	Desarrollo del sistema	31
3.2.3.	Estimación de la demanda en funciones sanitarias	32
3.2.4.	Precipitación pluvial neta	33
3.2.5.	Área tributaria	33
3.2.6.	Diseño del sistema de conducción del agua captada	34
3.2.7.	Diseño del sistema de almacenamiento	37
3.2.8.	Sistema de filtrado	38
3.2.9.	Sistema de bombeo de agua de reuso	39
3.3.	Generalidades para el diseño y gestión de un sistema de monitoreo y control de flujo	39
3.3.1.	Fundamentos sobre fugas	39
3.3.2.	Clasificación y tipo de fuga	40
3.3.3.	Causas que generan fugas	42
3.3.4.	Gestión de fugas	42
3.3.5.	Equipo de medición de caudal	44
3.3.6.	Instrumento de medida de presión	46
3.3.7.	Indicadores y benchmarking	47
3.3.8.	Método matemático utilizado en la detección de fugas – Análisis de Flujos Mínimos Nocturnos (AFMN)	49
4.	Diseño del sistema Hidráulico-Pluvial	51
4.1.	Diseño y cálculo de la red de distribución de agua potable	51
4.1.1.	Dotación y almacenamiento	51
4.1.2.	Cálculo del sistema de bombeo	55
4.1.3.	Cálculo del caudal de diseño	61
4.2.	Diseño y cálculo del sistema de almacenaje y uso de agua pluvial	65
4.2.1.	Configuración del sistema	65
4.2.2.	Determinación de la demanda	65
4.2.3.	Determinación de la precipitación pluvial neta	66
4.2.4.	Área tributaria	66
4.2.5.	Determinación del Volumen de captación	67
4.2.6.	Determinación del volumen de almacenamiento del tanque elevado del sistema de reuso de agua pluvial	69
4.2.7.	Dimensionamiento de bajantes para cada edificación	72
4.2.8.	Dimensionamiento de colectores horizontales para cada edificación	73
4.2.9.	Cálculo del sistema de bombeo	75

4.3.	Diseño y cálculo del sistema de monitoreo y control de fugas	79
4.3.1.	Desarrollo de la metodología AFMN	80
5.	Análisis y discusión de resultados de cada sistema mecánico	82
5.1.	Evaluación del sistema de agua potable	82
5.2.	Evaluación del sistema de agua filtrada	83
5.3.	Evaluación del sistema de agua pluvial	83
5.4.	Presupuesto de la obra mecánica	84
5.5.	Balance de agua y análisis de consumo	88
5.6.	Análisis de costos y retorno de inversión inicial	89
6.	Conclusiones y Recomendaciones	91
	Bibliografía	95
7.	Anexos	96
7.1.	Manual de Procedimiento del sistema de control y detección de fugas	97
7.1.1.	Secciones y puntos de medición del sistema	97
7.1.2.	Configuración del caudalímetro ultrasónico	98
7.1.3.	Instalación del caudalímetro ultrasónico	98
7.1.4.	Método de instalación del caudalímetro	99
7.1.5.	Instalación de data logger	100
7.1.6.	Procedimiento para desarrollo del método AFMN	102
7.2.	Planos mecánicos	103

Índice de figuras

2.1. Zonificación de la institución (Elaboración propia).	9
2.2. Precipitación media anual de Alajuelita (weatherspark.com, 2016) . . .	10
2.3. Sistema potable de la institución Cedes don Bosco (Departamento de construcción Cedes don Bosco, 2019)	12
3.1. Red cerrada en forma de malla (Castillejos, 2010)	30
3.2. Red cerrada en forma de malla (Castillejos, 2010)	31
3.3. Distribución típica del uso del agua en primaria o secundaria (PUB, 2011)	32
3.4. Filtro tipo Vortex mod. WFF 300. (Rain Harvesting systems.co.uk, 2018)	39
3.5. Clasificación de los tipos de fugas (Mena, 2016)	40
3.6. Relación entre tipos de fuga según caudal y según rentabilidad de reparación (Mena, 2016)	41
3.7. Esquema de la gestión de fugas (Abarca, 2012)	43
3.8. Sectorización de una red de distribución de agua potable (Abarca, 2012)	44
3.9. Caudalímetro ultrasónico DCT 7088 (Abarca, 2012)	45
3.10. Esquema de la configuración del caudalímetro (Polysonics, 1998)	46
3.11. Referencia o similar a medidor de presión Data logger (Abarca, 2012) .	46
4.1. Relación entre tirante hidráulico (h útil) y altura real del tanque de almacenamiento. (Elaboración propia).	53
4.2. Diagrama de tanque enterrado. (Elaboración propia).	54
4.3. Diagrama de tanque elevado. (Elaboración propia).	54
4.4. Diagrama del sistema de tuberías del sistema de bombeo. (Elaboración propia).	57
4.5. Curvas de la bomba. (Grundfos.com).	61
4.6. Esquema del tanque elevado del sistema de reuso de agua pluvial. (Elaboración propia).	71
4.7. Sectorización de las redes de distribución de agua (potable y filtrada en la institución (Elaboración propia)	80
7.1. Sectorización de la redes de distribución de agua (potable y filtrada) y puntos de medición (Elaboración propia).	97
7.2. Posición de transductores; Método Z.(Polysonics, 1998)	99
7.3. Colocación de transductores en tubería.(Polysonics, 1998)	100
7.4. Esquema de instalación del data logger.(Abarca, 2012)	101

Índice de cuadros

2.1. Precipitación mensual promedio en Alajuelita. (weatherspark.com, 2016)	10
2.2. Inventario de piezas sanitarias de la institución (Elaboración propia)	12
3.1. Diámetros internos de tubería de alimentación a tanques elevados (CISHE, 2017)	16
3.2. Diámetros, presiones y caudales mínimos requeridos en los puntos de alimentación de las piezas sanitarias (CISHE, 2017)	16
3.3. Velocidades máximas recomendadas (CISHE, 2017)	17
3.4. Caudal probable como función de las unidades de accesorios (u.a). (CISHE, 2017)	21
3.5. Unidades de carga según Norma INCOTEC 1500 del Código Colombiano. (Pancorbo, 2011)	22
3.6. Relación entre factor de carga y caudal; Método Hunter Colombiano. (Zamora, 2013)	22
3.7. Intensidad de lluvia (mm/h) para un periodo de retorno de 10 Años (CISHE, 2017)	34
3.8. Intensidad de lluvia (mm/h) para un periodo de retorno de 25 Años (CISHE, 2017)	35
3.9. Caudales máximos en bajantes de desagüe de aguas de lluvia (CISHE, 2017)	35
3.10. Ecuaciones para calcular el área mojada y el radio hidráulico en conductos circulares (CISHE, 2017)	36
3.11. Coeficiente de rugosidad de Manning (CISHE, 2017)	37
3.12. Pendiente mínima de los colectores de descarga y colectores (CISHE, 2017)	37
3.13. Constraste entre costo unitario y tamaños posibles de tanques de captación de agua pluvial (Anaya, 2010)	38
3.14. Caudales aproximados según tipo de fuga (Mena, 2016)	41
3.15. Valores de F y G para cálculo de fugas latentes. (Mena, 2016)	50
4.1. Cálculo del volumen útil del tanque enterrado. (Elaboración propia)	52
4.2. Cálculo del volumen útil del tanque elevado. (Elaboración propia)	53
4.3. Dimensiones de los dos tanques de almacenamiento. (Elaboración propia)	54
4.4. Cálculo de tubería de aducción. (Elaboración propia)	55
4.5. Cálculo de diámetro de tubería de impulsión. (Elaboración propia)	56

4.6. Cálculo del diámetro de succión (Elaboración propia).	56
4.7. Cálculo del coeficiente de pérdida por longitud de tubería. (Elaboración propia)	58
4.8. Cálculo de las pérdidas de carga. (Elaboración propia)	59
4.9. Coeficientes de fricción por accesorios en la succión. (Elaboración propia).	59
4.10. Características importantes de la bomba seleccionada. (Grundfos.com)	60
4.11. Unidades accesorios según la pieza sanitaria (IPC, 2018)	62
4.12. Total de unidades accesorios por edificio. (Elaboración propia).	63
4.13. Caudal de diseño para cada edificio (Elaboración propia).	64
4.14. Diámetro de la tubería principal como prevista de agua potable y no potable (Elaboración propia).	65
4.15. Demanda de agua pluvial para funciones sanitarias. (Elaboración propia)	66
4.16. Cálculo de la precipitación neta (Elaboración propia).	66
4.17. Área tributaria de cada edificio. (Elaboración propia).	67
4.18. Volumen de agua pluvial captado en techo diariamente (Elaboración propia).	68
4.19. Volumen de agua pluvial captado en techo diariamente (Elaboración propia). (Continuación)	68
4.20. Volumen de agua pluvial captado en techo diariamente (Elaboración propia).	69
4.21. Volumen total de agua pluvial captada en toda la institución (m ³ /día) (Elaboración propia)	69
4.22. Volumen total de agua potable de reposición al cisterna elevado (m ³ /día) (Elaboración propia)	70
4.23. Características del tanque de geomembrana circular.(Soluciones ambientales integrales S.A, 2017)	72
4.24. Cálculo del diámetro de bajantes por edificación. (Elaboración propia).	73
4.25. Cálculo del diámetro de colector pluvial general por edificación (Elaboración propia).	74
4.26. Cálculo de diámetro de tubería de impulsión del sistema de agua filtrada. (Elaboración propia)	75
4.27. Cálculo del diámetro de succión del sistema de agua filtrada (Elaboración propia).	75
4.28. Cálculo del coeficiente de pérdida por longitud de tubería de agua filtrada para la bomba 1. (Elaboración propia)	77
4.29. Cálculo del coeficiente de pérdida por longitud de tubería de agua filtrada para la bomba 2. (Elaboración propia)	77
4.30. Cálculo del coeficiente de pérdida por longitud de tubería de agua filtrada para la bomba 3. (Elaboración propia)	77
4.31. Pérdidas de carga para cada bomba de agua filtrada. (Elaboración propia)	78
4.32. Cálculo del coeficiente de pérdida para el cálculo del NPSHa. (Elaboración propia)	78
5.1. Presupuesto de obra mecánica. (Elaboración propia)	85

5.2. Presupuesto de obra mecánica. Continúa (Elaboración propia)	86
5.3. Presupuesto de obra mecánica. Continúa (Elaboración propia)	87
5.4. Presupuesto de obra mecánica. Continúa (Elaboración propia)	88
5.5. Análisis de consumo de agua potable (Elaboración propia)	89
7.1. Hoja de datos AFMN. (Elaboración propia)	102

Resumen

El proyecto a continuación contempla una propuesta de solución a la problemática actual que sufre la institución educativa denominada Cedes Don Bosco ubicada en Inmaculada Concepción de Alajuelita, donde la condición del sistema hidráulico sufre complicaciones de origen mecánico y operacional; además se evidencia la inconstancia de abastecimiento del recurso hídrico, que es una realidad nacional. La propuesta consiste en realizar un diseño mecánico del sistema hidráulico y del sistema pluvial, capaz de utilizar eficientemente el agua y reducir el consumo.

Capítulo 1

Introducción

Actualmente, uno de los grandes problemas de Costa Rica es el abastecimiento del agua. Carrillo (2018) menciona que “para una gran parte de los denominados como ”países desarrollados”, abrir el grifo y tomar un poco de agua es una acción tan sencilla que apenas se valora. Sin embargo, aproximadamente una quinta parte de toda la población mundial sufre por la escasez de agua. Así lo indican los informes recolectados durante esta última década por la Organización de las Naciones Unidas (ONU). El líquido es, probablemente, la sustancia más importante para la vida (más que el oxígeno o cualquier nutriente). Por ello, su disponibilidad es la razón de algunas de las guerras más encarnizadas de la historia. Ecología, política, salud... ninguno de estos aspectos queda exento de la influencia del agua y los problemas que causa su falta son profundos y complejos.” (Carrillo, 2018)

Adiciona Carrillo que según informes de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), más de dos mil millones de personas en el mundo se encuentran sin acceso a agua limpia, lo que se estima provocará para el 2030 desplazamientos masivos de cientos de millones de personas. La ironía incide en que la mayoría de la superficie, al parecer se encuentra cubierta de ésta sustancia. Sin embargo, sólo el 3 % del agua total del planeta es potable, y de esa, sólo el 1 % está disponible para su consumo. (Carrillo, 2018).

Esto advierte a cada país a fomentar políticas de conservación del agua, poniendo un mayor enfoque en su administración y consumo para cada comunidad y empresa. Además, desafía a la ingeniería a redirigir su rumbo, desarrollando métodos más eficientes, en construcción, en diseños, sistemas mecánicos, eléctricos, entre otros; dando un gran valor a los recursos como el agua y el medio ambiente.

1.1. Descripción general

A inicios del 2019 Costa Rica posee una alta tasa de tramitación de permisos de construcción, aproximadamente 313 790 metros cuadrados más que en el mismo período del 2018 o lo que implica un crecimiento de 6,95 % con respecto al año anterior. Esto

según informes publicados por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA). No obstante, el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (ICAA) ha manifestado durante los últimos de tres años, mediante informes en el periódico La Nación, sobre la escasez del recurso hídrico en todo el país, generado principalmente por la ausente estima con que las personas valoran éste recurso agotable. Finalmente, la reglamentación del país sobre cómo diseñar un sistema de distribución de agua no ha tenido mayores cambios ni esfuerzos por maximizar el uso del agua ni de disminuir el sobredimensionamiento de las redes de distribución.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Realizar una propuesta de diseño mecánico de un sistema hidráulico-pluvial con énfasis en la conservación y uso eficiente del agua para las instalaciones de Cedes Don Bosco en Inmaculada Concepción de Alajuelita.

1.2.2. Objetivos específicos

- Investigar estrategias de diseño en sistemas de tuberías de instalaciones mecánicas para optimizar el aprovechamiento del agua potable, generar reuso del agua pluvial y desarrollar tratamientos de agua de fuentes no potables.
- Realizar una propuesta de diseño de un sistema hidráulico, mediante criterios o lineamientos actualizados de alto desempeño y eficiencia para la institución de Cedes Don Bosco.
- Realizar una propuesta de diseño de un sistema pluvial que contemple un sistema de captación de agua pluvial, un sistema de filtrado y un sistema de bombeo hacia funciones sanitarias y de riego.
- Realizar una propuesta de diseño de un sistema de monitoreo y control de presión en tubería como detección de fugas para el sistema potable propuesto.
- Realizar un análisis económico y de retorno de inversión para los sistemas hidráulico, pluvial y de monitoreo propuestos para la institución Cedes Don Bosco.

1.3. Justificación

La problemática de la escasez del agua no exime a los países tropicales como el nuestro, ni desplaza su impacto a futuro ya que el cambio climático ha originado grandes alteraciones en la estación seca y lluviosa del país. Siendo así que la temporada seca se torna más intensa y prolongada que años anteriores, generando así una estación lluviosa menos extendida. Además, la población crece y los recursos como el agua comienzan a

regularse de forma más estricta.

Las instalaciones mecánicas en infraestructura que se abastecen del recurso hídrico, como el sistema hidráulico, el sistema de protección contra incendios, entre otros; requieren urgentemente una medida ecológica alternativa que plantee estrategias de diseño en conservación y uso eficiente del agua, para generar una estructura de ciudad más sostenible y con un menor impacto negativo en el medio ambiente. Sin embargo, aunque el país cuente con un código nacional emitido por el CFIA, que establece el diseño y construcción de las instalaciones mecánicas en edificaciones, como el sistema hidráulico y pluvial, éste no presenta una alternativa de diseño en conservación del agua.

Por tanto, se tomará la problemática actual en las instalaciones de Cedes Don Bosco como punto de partida para la investigación y desarrollo de alternativas eficientes y ecológicas que resuelvan su incertidumbre de la condición del sistema hidráulico y la imposibilidad de abastecer a toda su población.

1.4. Antecedentes

La Institución Cedes Don Bosco ubicada en Inmaculada Concepción de Alajuelita, San José, sirve de Escuela y Colegio Vocacional (entre otros campos académicos y técnicos), para aproximadamente 2000 estudiantes entre la comunidad circundante que actualmente se encuentra en depresión económica y estricta regulación del recurso hídrico. La institución se encuentra inmersa en una realidad desfavorable y complicada con respecto a su abastecimiento del agua potable.

La Institución Cedes Don Bosco, es en sus inicios, un terreno habitacional de 8 hectáreas donado por Cafetalera El Patalillo, representada por don Claudio Castro. Por ésta causa sólo posee de parte del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado (ICAA) una tubería de alimentación de agua potable de 38 mm de diámetro. Esto llevó a la institución a implementar un tanque enterrado de 150 m³ de capacidad, con un volumen estimado para abastecer durante 1 día el consumo de agua de la institución. Adicionalmente, luego de varios años de operación, para mejorar la distribución y almacenamiento de agua, se construyó un tanque elevado de capacidad similar al anterior. Sin embargo, en múltiples ocasiones la administración requirió de la compra de camiones cisternas para suministrar el faltante de agua en la institución pues su red principal de abastecimiento de agua potable no lograba solventar el consumo. Además, presenta problemas de altas presiones residuales, fugas e incertidumbre de la condición actual del sistema hidráulico.

1.5. Metodología

El proyecto se desarrolló desde la primera semana de mayo del 2019 y tuvo su finalización en la segunda semana de diciembre del 2020, dónde se realizó la defensa

pública.

A continuación se detalla los segmentos de actividades según la siguiente nomenclatura: (Semana día de inicio - día final / mes):

- (Semana 06-12/05) Se realizó trabajo de campo, con respecto a recopilaciones de información y registros del sistema hidráulico actual, mediante el apoyo del Comité de construcción y mantenimiento, integrado por profesionales que colaboran ad honorem con la institución.
- (Semana 06-12/05) Se realizó trabajo de campo, con respecto al reconocimiento de dimensiones de las edificaciones más relevantes de la institución, mediante planos existentes facilitados.
- (Semana 13-19/05) Se realizó recopilación de la información relevante para el proyecto desde literatura de física elemental hasta reglamentos nacionales e internacionales sobre el diseño y gestión de la ingeniería detrás de los sistemas hidráulicos.
- (Semana 13-19/05) Se realizó una investigación exhaustiva sobre la capacidad actual de la institución según su estructura y topografía, para generar un diseño del sistema hidráulico, o modificaciones al existente.
- (Semana 20-26/05) Se realizó una investigación acerca de la normas que gestionen los lineamiento de eficiencia y conservación del agua a nivel nacional y mundial, como la norma RESET de Inteco, Norma EPA y el apartado de eficiencia del consumo de agua de la Guía de diseño LEED.
- (Semana 20-26/05) Se realizó una investigación de métodos de reuso de agua pluvial, sistema de filtrado, y estrategias de manipulación del aguas no potables para funciones sanitarias o de riego.
- (Semana 27/05-02/06) Se realizó una investigación exhaustiva sobre la capacidad actual de la institución según su estructura y topografía, en generar un diseño del sistema pluvial, con la capacidad de almacenar el agua precipitada y de otras fuentes no potables.
- (Semana 27/05-02/06) Se investigó la manera de generar un sistema de captación de agua de lluvia y un proceso de filtrado mecánico en las instalaciones de Cedes Don Bosco, para finalmente dirigirla a una red paralela del abastecimiento de las funciones sanitarias.
- (Semana 03-09/06) Se realizó una investigación exhaustiva sobre la capacidad actual de la institución según su estructura y topografía, en generar un sistema de monitoreo de presiones en la tubería de agua potable propuesta, con el fin de detección de fugas en el sistema.

- (Semana 03-09/06) Se investigó la manera de desarrollar un diseño de monitoreo de presión fácil de manipular, realizable económicamente, y con la versatilidad de adecuarlo al sistema hidráulico propuesto.
- (Semana 10-16/06) Se elaboró la sección 1 del marco teórico; Agua Potable, del presente trabajo escrito del proyecto final de graduación, junto con la investigación que éste requirió de forma adicional a lo investigado previamente.
- (Semana 17-23/06) Se elaboró el capítulo 2 del marco teórico del presente trabajo escrito del proyecto de graduación, junto con la investigación que éste requirió de forma adicional a lo investigado previamente.
- (Semana 24-30/06) Se elaboró el capítulo 3 del marco teórico del presente trabajo escrito del proyecto de graduación, junto con la investigación que éste requirió de forma adicional a lo investigado previamente.
- (Semana 15-21/07) Se realizó levantamiento de planos, según los datos tomados del sitio, de elementos arquitectónicos y mecánicos, mediante la herramienta de modelado Revit (si es requerido por el usuario final para el acceso de la información generada). De lo contrario se considerará otras herramientas.
- (Semanas 15-28/07) Se realizó el diseño del sistema hidráulico propuesto, generando planos constructivos basados en la herramienta de modelado Revit (si es requerido por el usuario final para el acceso de la información generada). De lo contrario se considera otras herramientas.
- (Semanas 29/07-11/08) Se realizó el diseño del sistema pluvial propuesto, generando planos constructivos basados en la herramienta de modelado Revit (si es requerido por el usuario final para el acceso de la información generada). De lo contrario se considera otras herramientas.
- (Semana 12-31/08) Se realizó el diseño del sistema de detección de fugas, generando planos constructivos basados en la herramienta de modelado Revit (si es requerido por el usuario final para el acceso de la información generada). De lo contrario se considera otras herramientas.
- (Semana 01-08/09) Se realizó un estudio de factibilidad para el sistema hidráulico propuesto, y se dispuso en fases de construcción para su realización.
- (Semana 09-15/09) Se realizó un estudio de factibilidad para el sistema pluvial propuesto, y se dispuso en fases de construcción para su realización.
- (Semana 16-22/09) Se realizó un estudio de factibilidad para el sistema de detección de fugas propuesto, y se dispuso en fases de construcción para su realización.
- (Semana 23-30/09) Se elaboró un manual de mantenimiento y supervisión del sistema de detección de fugas.

- (Mes Octubre-Diciembre-2020) Se prepara la versión escrita, la presentación del proyecto, los planos de los diseños mecánicos propuestos, los estudios de factibilidad de cada uno y el manual de mantenimiento y supervisión del sistema de detección y control de fugas

1.6. Alcance y limitaciones

El Proyecto Final de Graduación tendrá como alcance realizar un diseño mecánico de un sistema hidráulico, específicamente de agua potable fría y un sistema pluvial para las instalaciones de Cedes Don Bosco en Concepción de Alajuelita, cuya categoría de ocupación representa principalmente actividades académicas y administrativas. Los lineamientos seguidos principalmente son los establecidos en: el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en edificaciones publicado en el 2017 por el CFIA (CISHE, 2017) y el Código internacional de Plomería (Plumbing International Code (IPC, 2018)), publicado en el 2018, entre otras normas y códigos mostrados en la bibliografía.

Como parte de cada sistema mecánico se considera principalmente para el sistema hidráulico, un sistema de bombeo, un sistema de almacenamiento y un sistema de monitoreo a presión. Para el sistema pluvial se considera principalmente un sistema de captación, un sistema de filtrado, un sistema de bombeo y un sistema de aprovechamiento de riego, entre otros.

Juntamente al diseño de las instalaciones mecánicas propuestas, se ejecutará un diseño mecánico adicional o adjunto a cada sistema propuesto, con énfasis en la conservación y uso eficiente del recurso hídrico, desarrollando aún más el desempeño y eficiencia del sistema hidráulico y planteando estrategias de reuso del agua pluvial. Los lineamientos sobre los cuales se fundamentará este paso corresponden principalmente al Código internacional de construcciones verdes (International Green Construcción Code (IgCC, 2009)), la Guía técnica para la eficiencia en el uso del agua y energía de las nuevas edificaciones en Costa Rica (2017) publicado por el CFIA y el Manual de Cosecha de agua pluvial; (Sarah Lawson, 2009).

Se plantea la elaboración de propuestas de diseño de los dos sistemas mecánicos, teniendo como limitante la condición actual de la topografía del terreno y estado de las edificaciones en las instalaciones de Cedes Don Bosco. Esto mediante herramientas computacionales de diseño mecánico como la herramienta de modelado Revit y el programa AutoCAD. Con ello se plantea realizar levantamiento de planos de las edificaciones y modelado de cada propuesta de diseño.

No se contemplan simulaciones, instalación, ni trabajo de campo en inspección de las instalaciones mecánicas presentes en la institución. Tampoco se considera propuesta de diseño en reparación de alguna avería en los sistemas existentes. El presente proyecto no contempla construcción ni posee limitaciones por causa de los plazos de implemen-

tación del diseño por parte de la institución Cedes Don Bosco.

El Proyecto Final de Graduación tendrá como etapa final un análisis de costos de implementación, estudios de factibilidad económica por fases de construcción a cada propuesta y un estudio de retorno de inversión. La proyección de la implementación de cada sistema quedaría sujeto a la capacidad económica de la institución, lo que no perjudica la elaboración de los diseños. Además, cada sistema se encontrará sujeto a la reglamentación vigente de la localidad.

Capítulo 2

Estudio técnico

En el presente capítulo se menciona información detallada de la institución, la cual será indispensable para el desarrollo de los diseños mecánicos propuestos, para el análisis de costos y para una mejor comprensión del entorno en cuestión.

2.1. Ubicación y Localización

Las instalaciones de Cedes de Don Bosco se ubican en el sector sur de Inmaculada Concepción arriba del Cantón de Alajuelita, San José; siendo parte del Gran Área Metropolitana. Posee acceso mediante la carretera principal por dos de sus límites colindante, sus demás límites se encuentran inmersos en zonas montañosas.

2.2. Extensión y topografía del terreno

La extensión de la institución corresponden a aproximadamente 8 hectáreas, donde se encuentran distribuidas uniformemente las edificaciones, con una extensión de área libre (zona verde) de aproximadamente 25 000 m². Todo el terreno posee una topografía inclinada que lleva su zona de menor altura de 1154,4 metros sobre el nivel del mar a 1163,7 metros sobre el nivel del mar, su máxima altitud.

La Figura 2.1 muestra la ubicación de las edificaciones más importantes:

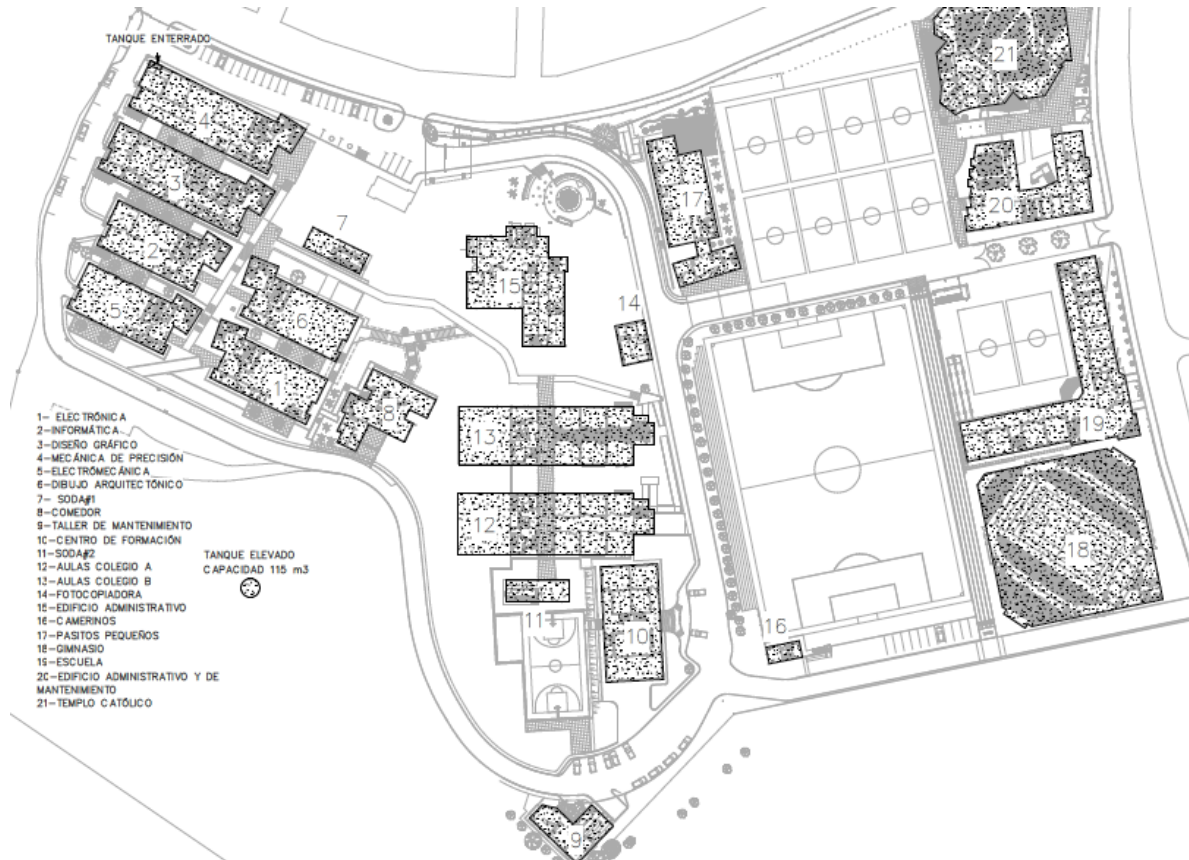


Figura 2.1: Zonificación de la institución (Elaboración propia).

2.3. Clima

En Alajuelita, la temporada de lluvia es húmeda y nublada, la temporada seca es parcialmente nublada y es caliente durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 17°C a 27°C y rara vez baja a menos de 16°C o sube a más de 29°C. (weatherspark.com, 2016)

La temporada más mojada dura 6,9 meses, de 2 de mayo a 29 de noviembre, con una probabilidad de más del 29 % de que cierto día será un día mojado. La probabilidad máxima de un día mojado es del 51 % el 6 de octubre. La temporada más seca dura 5,2 meses, del 29 de noviembre al 2 de mayo. La probabilidad mínima de un día mojado es del 7 % el 15 de marzo. (weatherspark.com, 2016)

La Figura 2.2 muestra la precipitación media anual de la región de Alajuelita:

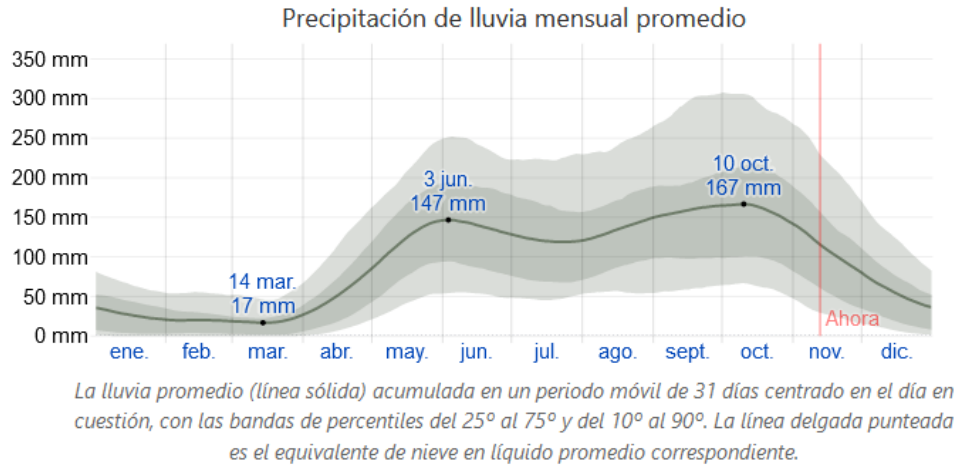


Figura 2.2: Precipitación media anual de Alajuelita (weatherspark.com, 2016)

A partir de la Figura 2.2 se determina, para efecto del presente diseño, la precipitación promedio establecida para cada mes, mostrada en el cuadro 2.1. Esto considerando la línea sólida, que corresponde a la lluvia promedio, juntamente con el promedio de precipitación de cada mes en particular.

Cuadro 2.1: Precipitación mensual promedio en Alajuelita. (weatherspark.com, 2016)

Mes	Precipitación de lluvia mensual promedio (mm)
Enero	27,5
Febrero	20
Marzo	21
Abril	56
Mayo	116,5
Junio	138
Julio	123,5
Agosto	135
Septiembre	157,5
Octubre	155
Noviembre	111
Diciembre	57,5

2.4. Población

La institución posee actualmente un centro infantil (Kinder) que cuenta con 186 niños, una escuela con 376 estudiantes, un colegio técnico profesional con 1277 estudiantes y un centro de formación con 83 personas. Con ello el personal docente y administrativo de toda la institución es de 238 personas dando como resultado un total de 2160 personas, con permanencia en la institución según el horario respectivo al día

de lunes a viernes (aplica para el año 2019). No obstante cabe mencionar que la institución permite el ingreso de vecinos de la comunidad para desempeñar cursos libres, actividades recreativas y deportivas ocasionalmente.

2.5. Características económicas

El perfil de la institución es de un complejo educativo católico, privado y de orientación técnica, administrado por la congregación salesiana, orden religiosa que trabaja por la formación integral de miles de niños y jóvenes, con presencia en 134 países alrededor del mundo. (www.cedesdonbosco.ed.cr (2019))

Con respecto al consumo de agua potable por parte de la institución, se ha realizado un promedio tomando como referencia el historial de facturación emitido por el ICAA, éste a su vez facilitado por la Institución. El cual es de 2 500 000 de colones por un consumo de 2 393 m³ de agua potable por mes.

2.6. Sistemas mecánicos

2.6.1. Sistema potable

El sistema potable de la institución se alimenta de una prevista de agua potable de 38 mm de diámetro nominal, dispuesta por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado. El agua se transfiere directamente a un tanque enterrado de 150 m³ de capacidad, y es llenado regularmente por la noche, dado que durante el día el consumo del sector produce una disminución en el caudal de servicio. De allí un sistema de bombeo con bomba tipo centrífuga impulsa el agua hacia un tanque elevado de 115 m³ de capacidad, hasta una altura de aproximadamente 22 m sobre la toma de agua. Finalmente un sistema de tubería se encarga de distribuir el agua por gravedad a todas las piezas potables y sanitarias de la institución.

El sistema de tubería en su mayoría se encuentra enterrado en los principales tramos y su material es principalmente de PVC. Sólo cuenta con accesorios como válvulas de corte en las previstas de cada edificación y un medidor en la prevista dedicada por el ICAA.

El sistema de potable no cuenta con sistemas de filtrado, medidores de flujo volumétrico, válvulas reguladoras de presión ni manómetros. La Figura 2.3 muestra el plano de conjunto del sistema potable de la institución:

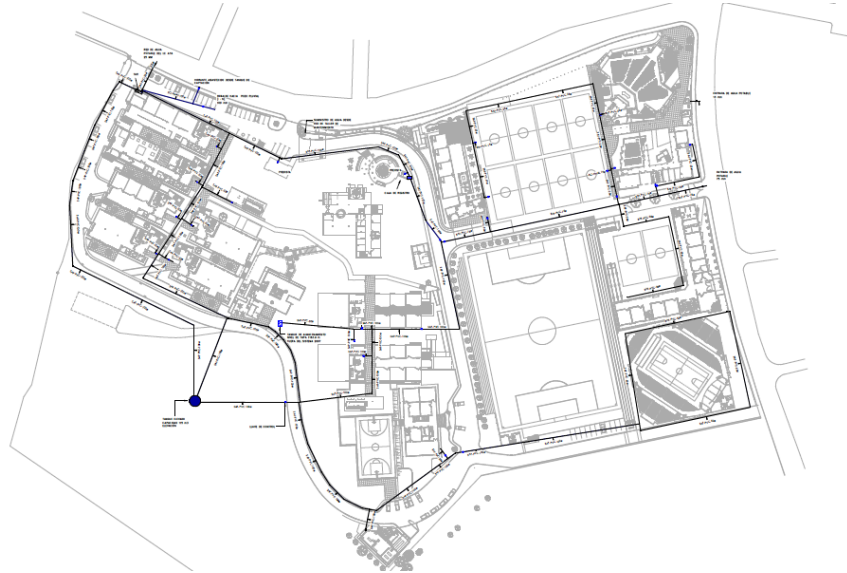


Figura 2.3: Sistema potable de la institución Cedes don Bosco (Departamento de construcción Cedes don Bosco, 2019)

Registro de piezas sanitarias

El cuadro 2.2 muestra el inventario de piezas sanitarias por edificación:

Cuadro 2.2: Inventario de piezas sanitarias de la institución (Elaboración propia)

Edificio	Área m ²	Inodoro	Lavatorio	Ducha	Orinal ecológicos	Orinal convencional	Fregadero	Pileta de limpieza	Fuente de agua	Llave de riego
		#	#	#	#	#	#	#	#	#
Electrónica	596	9	10	3	4	0	0	1	0	0
Informática	597	9	10	0	4	0	0	1	0	0
Diseño gráfico	841	10	9	0	4	0	0	1	0	0
Mecánica de precisión	855	8	9	1	4	0	0	1	0	0
Electromecánica	593	9	10	3	4	0	0	1	0	0
Dibujo arquitectónico	590	11	10	2	4	0	0	1	0	0
Soda#1	158	2	3	0	0	0	3	1	0	0
Comedor	485	2	2	0	0	1	2	2	0	0
Taller/SUM	305	4	4	1	0	0	1	5	0	0
Centro de formación	674	8	6	0	0	2	0	7	6	0
Caseta de seguridad 2	58	2	3	0	0	3	0	0	0	0
Aulas colegio A	1 071	14	16	0	4	0	0	5	2	0
Aulas colegio B	1 000	13	11	0	4	0	0	1	2	0
Fotocopiadora/Librería	111	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Administración	879	17	21	1	7	0	2	0	5	0
Camerinos	59	2	4	4	0	0	0	0	0	0
Pasitos pequeños	686	10	10	0	0	0	2	1	0	0
Gimnasio	2 581	23	21	14	0	12	0	0	0	0
Aulas escuelas	1 298	32	28	4	4	4	0	2	10	0
Iglesia	1 230	2	2	0	0	0	0	2	1	0
Oratorio	1 557	11	9	0	0	4	0	6	1	0
Caseta de seguridad 1	86	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Total	16 310	200	200	33	43	26	10	38	27	0

2.6.2. Sistema pluvial

El sistema pluvial de la institución es el diseño convencional de canoas y bajantes. El tanque de retardo pluvial y captación se consideró en el diseño original, sin embargo no se construyó. El desagüe local se realiza desde los techos hasta las cajas de registro

pluvial por medio de los bajantes. De allí se desplaza por gravedad a zonas inferiores por medio de alcantarillado.

El sistema posee pozos pluviales, éstos se colocan cuando el nivel de fondo de cajas de registro se encuentra muy por debajo del nivel de piso terminado, además cuando se interceptan colectores principales de distintas zonas servidas.

Finalmente, la descarga de aguas recolectadas es descargada al río Cañas a través de la servidumbre de la comunidad.

El sistema de tubería general del sistema pluvial se encuentra enterrado a presión atmosférica. No posee accesorios especiales ni sistema de filtrado o de tratamiento. El material predominante es el PVC.

Capítulo 3

Marco teórico

3.1. Generalidades y normativa para el diseño de un sistema hidráulico

3.1.1. Normas de diseño

El diseño se desarrolla usando el Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias para edificaciones (CIHSE) vigente, emitido por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. Además, se toman alternativas eficientes de códigos internacionales como el Uniform Plumbing Code (UPC), International Plumbing Code (IPC). Entre otros aspectos considerados en legislaciones de otros países que se mencionarán más adelante.

3.1.2. Dotación

La dotación mínima considerada para este proyecto, de acuerdo a los criterios establecidos por la tabla 4.1 del CIHSE, es de 50 litros por persona diarios. Esto debido al considerar la institución como alumnado exterior pues ningún estudiante o personal reside en las instalaciones.

3.1.3. Sistemas de almacenamiento de agua

Son utilizados como medida de asegurar el constante suministro de agua a la población servida, no obstante según el CIHSE. Cuando el abastecimiento público de agua potable no garantice presión suficiente, el sistema de distribución de la edificación deberá utilizar alguno de los sistemas de almacenamiento que se mencionarán a continuación:

Tanque enterrado

Los tanques enterrados se construyen por debajo del nivel de piso terminado de la edificación por alimentar, con el fin de no ocupar espacio en la distribución arquitectóni-

ca de la edificación y evitar riesgos por caída, además que permite una construcción en mampostería más segura y confiable. Deberá tener un registro que permita su inspección, limpieza y eventual reparación (CISHE, 2017).

Tanque elevado

Los tanques elevados se construyen cuando no es posible un tanque superficial o se desea una configuración de distribución de agua por gravedad. La configuración del sistema de tanque elevado contempla la estructura de soporte, el tanque, y la tubería elevadora.

Cuando solo exista tanque elevado, es recomendable que su capacidad sea cuando menos igual al consumo diario total de las instalaciones (CISHE, 2017).

Para el presente proyecto se implementarán los dos sistemas (tanque de captación, bomba de elevación y tanque elevado) operando en conjunto, manteniendo la ubicación y la configuración actual. Por lo tanto, su diseño dependerá de la jornada de bombeo, de la capacidad de las bombas y del patrón de consumo de la edificación. Si no se dispone de estos datos, es recomendable que la capacidad del tanque de captación sea al menos del 75 % del consumo total diario y la del tanque elevado no menor a la mitad de dicho consumo (CISHE, 2017).

Los tanques de almacenamiento estarán dotados de los dispositivos necesarios para su correcta operación, mantenimiento y limpieza, tales como registro, tubería de entrada con válvula de boya u otro mecanismo automático de control, tubería de salida con válvula de compuerta o de paso, tubería de ventilación, tubería de rebalse protegida contra la entrada de insectos y una tubería de limpieza que descargue sin provocar inundaciones. El control de los niveles de agua en los tanques se hará por medio de dispositivos automáticos de control (CISHE, 2017).

La tubería de aducción desde el abastecimiento público hasta el tanque elevado deberá calcularse para suministrar el consumo total diario en un tiempo no mayor a cuatro horas (CISHE, 2017).

Esta tubería deberá estar provista de su correspondiente llave de paso. Cuando se trate de edificios de una o dos plantas, el diámetro de la tubería de aducción al tanque elevado podrá seleccionarse de acuerdo con la dotación diaria y a la capacidad del tanque, según el cuadro 3.1:

Cuadro 3.1: Diámetros internos de tubería de alimentación a tanques elevados (CISHE, 2017)

Consumo diario (m ³)	Capacidad del tanque elevado (m ³)	Diámetro mínimo de tubería de aducción (mm)
Menos 1,5	De 0,5 a 1,5	12
Hasta 2	De 1 a 2	12
Hasta 4	De 2 a 4	18
Hasta 8	De 4 a 8	22
Hasta 15	De 8 a 15	25
Hasta 27,5	De 15 a 27,5	38

Nota:

1. Diámetro interior de la tubería.

Estos diámetros han sido calculados suponiendo un tiempo de cuatro horas para el llenado del tanque elevado.

3.1.4. Presiones y gastos mínimos

Según el CIHSE la presión de servicio después del medidor deberá ser mayor a 98,06 kPa. De igual forma en ningún caso la presión a la entrada de las piezas sanitarias será menor a 19,6 kPa ni mayor a 392,3 kPa (CISHE, 2017). En el cuadro 3.2 se muestra las presiones mínimas por aparato sanitario típico:

Cuadro 3.2: Diámetros, presiones y caudales mínimos requeridos en los puntos de alimentación de las piezas sanitarias (CISHE, 2017)

Accesorio	Diámetro mínimo	Presión mínima	Unidades accesorios (Uso Público)
	mm	kPa	u.a
Ducha	12	19,6	4
Fregadero	12	19,6	4
Inodoro con tanque	12	19,6	5
Inodoro con Fluxómetro	32	68,6 a 137,3	10
Fuente para beber	12	24,5	1
Lavatorio	12	19,6	2
Llave para riego (Jardín)	12	98,1	2
Mingitorios con tanque	18	19,6	3
Mingitorios con Fluxómetro	18	49,0 a 98,1	5
Pileta	12	19,6	4

3.1.5. Velocidades de flujo

Para el dimensionamiento de las tuberías el CIHSE recomienda una velocidad mínima de 0,6 m/s para evitar la sedimentación de partículas y máxima de 2 m/s para evitar ruido excesivo en las tuberías y golpes de ariete. En el cuadro 3.3 se muestra las velocidades máximas según el diámetro de tubería:

Cuadro 3.3: Velocidades máximas recomendadas (CISHE, 2017)

Diámetro nominal	Velocidad máxima		Caudal máximo	
	m/s		L/s	
mm	PVC	HG	PVC	HG
12	1,34	1,3	0,35	0,3
18	1,53	1,47	0,67	0,55
25	1,71	1,67	1,17	1,04
32	1,92	1,91	2,09	2,04
38	2	2	2,85	2,80
50	2	2	4,45	4,58
64	2	2	6,52	6,29
75	2	2	9,66	10,48
100	2	2	15,97	17,65

Notas:

1. Diámetros en PVC estimados para tubería SDR 17.
2. HG: Hierro galvanizado.

3.1.6. Sistemas de suministro o aducción

La tubería de aducción principal es aquella que conecta al sistema potable local con la acometida dedicada por el ICAA, Empresas de servicio público, Asadas, etc.

Cuando el sistema cuenta con un tanque de almacenamiento, la acometida del tanque se debe calcular para un tiempo de llenado no mayor a 12 horas (Vargas, 2016). No obstante se debe estimar éste valor según la experiencia o requerimiento especial de la aplicación.

Los sistemas de suministro de una red potable pueden clasificarse según:

Sistema por gravedad

Son aquellos sistemas donde el agua fluye por una diferencia de altura, del punto más elevado al más bajo. Normalmente se emplea en conjunto con un tanque elevado y/o sobre una extensión inclinada descendente (Castillejos, 2010).

Sistema por bombeo

Son las instalaciones que requieren de un sistema de bombeo para trasegar el agua con el propósito de vencer alguna diferencia de altura, por lo general se emplea al trasegar el agua a un tanque elevado (Castillejos, 2010).

Sistema a presión constante

Son aquellos sistemas que se encuentran a una presión determinada siempre en todos sus tramos de tubería (Sistemas hidro neumáticos)(Castillejos, 2010).

3.1.7. Tipos de tuberías de trasiego de agua

De acuerdo al CIHSE se deberá utilizar para tubería de trasiego de agua únicamente los siguientes materiales:

- PVC
- Hierro galvanizado (HG)
- Cobre (Cu)
- Polietileno de alta densidad (HDPE)
- CPVC
- Polipropileno (PP)
- Hierro negro (HN)

Policloruro de vinilo (PVC)

Las tuberías de PVC deberán cumplir con las siguientes normas (CISHE, 2017):

- ASTM D - 2241 para tuberías de agua potable
- ASTM D - 1785 para tuberías de agua potable
- ASTM D - 2466 accesorios para tuberías de agua potable
- ASTM D - 2464 accesorios para tuberías de agua potable

Los siguientes puntos son las características más importantes sobre el PVC:

- Fácil instalación (no requieren herramientas especiales)
- Peso ligero (1/2 del aluminio y 1/6 del acero)
- Paredes internas con mínima rugosidad y sin costuras
- Múltiples formas de unión (Soldada, Roscada, bridada, etc)
- Inerte (Inocuo)
- Alta resistencia a corrosión

- Alta resistencia a ataque químico
- Alta resistencia a golpes mecánicos
- Bajo costo de instalación y mantenimiento.
- Capacidad de respuesta inmediata ante eventuales sismos.

3.1.8. Caudal de diseño

El caudal con el cual se dimensionará todo el sistema de tubería del sistema mecánico potable se conoce como caudal máximo de diseño probable. Se refiere al máximo consumo que pueda presentarse en una edificación. Es un valor punta que va a definir el requerimiento de demanda de la edificación. El máximo caudal probable se va a producir cuando se encuentre los edificios, con la mayor cantidad de habitantes o usuarios haciendo un uso activo de los mismos (Pancorbo, 2011).

En el mundo a lo largo de los años se han desarrollado múltiples formas para asignar el más adecuado diámetro a las tuberías, no obstante, dar con el valor exacto de diámetro de tubería resulta muy complicado, pues el cálculo debe de considerar el caudal necesario para el aparato sanitario, la frecuencia de uso, la duración del uso y el número de aparatos que debe operar de forma simultáneos en un tiempo determinado.

Así que a continuación se muestra los métodos actualmente utilizados más importantes en el diseño hidráulico:

- **Método empírico**
 - Método británico
- **Método semi empírico**
 - Método Alemana de la raíz cuadrada
 - Método de la Norma francesa
- **Métodos probabilísticos**
 - Método de Hunter
 - Método de Hunter modificado
 - Método de Hunter Colombia

Unidades accesorios; u.a

Las unidades accesorios, también llamadas unidades muebles, es un factor de carga que se le asigna a un aparato sanitario. Tales unidades se han seleccionado de manera que el caudal total de un sistema o subsistema con diferentes clases de accesorios y sus condiciones e servicio, pueda ser aproximado como múltiplo de ese factor (CISHE, 2017).

Método Hunter

Contempla que un pequeño número de piezas sanitarias en conexión a un sistema operarán de forma simultánea un tiempo determinado (Castro, 2006). Se tienen tres factores importantes; i) Caudal de la pieza sanitaria ii) Frecuencia de uso y iii) Duración de uso (Zamora, 2013).

En el cuadro 3.4 se muestra los valores de unidades accesorios para cada pieza sanitaria típica según el método Hunter.

Cabe resaltar que éste método tal cual, corresponde al establecido actualmente en el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en edificaciones (CIHSE) vigente del CFIA.

Por lo tanto al ser la unidad de carga un factor numérico, su valor se relaciona con un determinado caudal. De esta forma para una edificación, se suman todas las unidades de carga y el valor total se evalúa ya sea en una tabla o gráfica en la cual se establezca la relación entre las unidades de carga y la demanda asociada (Zamora, 2013). En el cuadro 3.4 se muestra la relación; unidad de carga y caudal máximo promedio:

Cuadro 3.4: Caudal probable como función de las unidades de accesorios (u.a). (CISHE, 2017)

Unidades accesorios	Sistemas con tanque	Sistemas con fluxómetro	Unidades accesorios	Sistemas con tanque	Sistemas con fluxómetro
u.a	L/s	L/s	u.a	L/s	L/s
6	0,43	1,4	225	4,51	6,01
8	0,52	1,56	250	4,84	6,29
10	0,61	1,71	275	5,16	6,56
12	0,69	1,84	300	5,49	6,84
14	0,76	1,95	350	6,12	7,38
16	0,83	2,06	400	6,74	7,91
18	0,9	2,16	450	7,34	8,42
20	0,96	2,25	500	7,93	8,93
25	1,12	2,46	700	10,15	10,86
30	1,26	2,65	900	12,15	12,61
35	1,4	2,82	1000	13,06	13,42
40	1,53	2,97	1200	14,71	14,91
45	1,66	3,12	1500		17,1
50	1,78	3,25	1750		18,98
60	2,02	3,5	2000		20,78
70	2,23	3,72	2500		24,17
80	2,44	3,92	3000		27,34
90	2,64	4,11	4000		33,22
100	2,81	4,29	5000		38,64
120	3,09	4,62	6000		43,71
140	3,36	4,91	7000		48,52
160	3,64	5,27	8000		53,11
180	3,91	5,5	9000		57,52
200	4,18	5,72	10000		61,77

Método Hunter Modificado

Este método se basa en el anterior, donde el factor de carga (u.a) se calcula de la misma forma (Castro, 2006). El método de Hunter genera datos de simultaneidad un tanto elevados para el medio latinoamericano, lo que ocasiona el sobre dimensionamiento de los diámetros de las tuberías. Esta situación se da debido a que en la actualidad la frecuencia, uso y tecnología de los aparatos sanitarios difieren a las condiciones imperantes en la época en la cual fue desarrollado el método anterior (Pancorbo, 2011). Por lo tanto el método Hunter modificado contempla únicamente un 40% del valor de carga unitaria obtenida con el método anterior, y con este valor reducido se ingresa a las curvas o tablas ya definidas por el método de Hunter (Pancorbo, 2011).

Método Hunter Colombiano

Para éste método se consideró una reducción de los caudales promedios de los aparatos sanitarios en comparación con el método original, con lo que se busca establecer caudales más cercanos a las demandas de los aparatos actuales (Zamora, 2013).

3.1. GENERALIDADES Y NORMATIVA PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA HIDRÁULICO CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO

En el cuadro 3.5 muestra el factor de carga asignado a las piezas sanitarias típicas según la norma INCOTEC 1500 del Código Colombiano de Fontanería:

Cuadro 3.5: Unidades de carga según Norma INCOTEC 1500 del Código Colombiano. (Pancorbo, 2011)

Aparato sanitario	Ocupación	Unidad de carga
Inodoro con Fluxómetro	Público	10
Inodoro con tanque	Público	5
Orinal con fluxómetro	Público	10
Orinal con tanque	Público	3
Lavamanos	Público	4
Ducha	Público	4
Fregadero de servicio	Comercial	3

En el cuadro 3.6 se muestra además la relación entre el factor de carga y caudal máximo probable:

Cuadro 3.6: Relación entre factor de carga y caudal; Método Hunter Colombiano. (Zamora, 2013)

UA	Caudal (L/s)		UA	Caudal (L/s)		UA	Caudal (L/s)		UA	Caudal (L/s)	
	Fluxómetro	Tanque		Fluxómetro	Tanque		Fluxómetro	Tanque		Fluxómetro	Tanque
1	0,63	0,13	42	1,66	0,5	205	2,75	1,31	1418	9,19	5,08
2	0,67	0,14	44	1,69	0,52	214	2,8	1,34	1500	9,57	5,31
3	0,71	0,15	46	1,71	0,54	223	2,86	1,37	1583	9,94	5,55
4	0,75	0,16	48	1,74	0,55	234	2,92	1,4	1668	10,32	5,78
5	0,78	0,17	50	1,76	0,57	245	2,98	1,44	1755	10,69	6,02
6	0,82	0,18	52	1,78	0,58	270	3,13	1,51	1845	11,08	6,27
7	0,86	0,19	54	1,8	0,6	295	3,28	1,59	1926	11,41	6,49
8	0,89	0,2	57	1,83	0,62	329	3,48	1,69	2018	11,78	6,74
9	0,92	0,21	60	1,86	0,64	365	3,69	1,8	2110	12,14	6,99
10	0,96	0,22	63	1,88	0,66	396	3,87	1,9	2204	12,5	7,24
11	0,99	0,23	66	1,91	0,68	430	4,06	2,01	2298	12,86	7,49
12	1,02	0,24	69	1,93	0,7	460	4,23	2,11	2388	13,18	7,74
13	1,05	0,25	73	1,96	0,72	490	4,4	2,21	2480	13,51	7,98
14	1,08	0,26	76	1,92	0,74	521	4,58	2,32	2575	13,83	8,24
15	1,11	0,27	82	2,02	0,78	559	4,79	2,45	2670	14,15	8,49
16	1,14	0,28	88	2,05	0,82	596	5	2,58	2765	14,45	8,74
18	1,19	0,3	95	2,09	0,86	631	5,19	2,7	2862	14,76	9
20	1,24	0,32	102	2,13	0,89	666	5,38	2,82	2960	15,12	9,26
21	1,27	0,33	108	2,17	0,92	700	5,57	2,93	3080	15,49	9,53
23	1,32	0,34	116	2,21	0,96	739	5,78	3,05	3150	15,82	9,76
25	1,36	0,36	124	2,25	1	775	5,97	3,16	3620	17,61	11,01
26	1,38	0,37	132	2,3	1,04	811	6,17	3,27	4070	19,38	12,18
28	1,42	0,39	140	2,35	1,07	850	6,37	3,39	4480	21,04	13,24
30	1,46	0,41	148	2,39	1,11	931	6,8	3,66	5380	24,69	15,53
31	1,48	0,41	158	2,45	1,15	1009	7,2	3,89	6280	28,13	17,78
33	1,52	0,43	168	2,52	1,18	1091	7,61	4,13	7280	31,65	20,28
35	1,55	0,45	176	2,57	1,21	1173	8,02	4,38	8300	35,21	22,93
37	1,58	0,46	186	2,63	1,25	1254	8,41	4,61	9000	37,81	24,86
39	1,62	0,48	195	2,69	1,28	1335	8,8	4,85	10000	41,52	28,01

3.1.9. Selección de un sistema de bombeo

La selección de un sistema de bombeo conlleva un sin número de teoría y fundamentos básicos de mecánica de fluidos para poder justificar una adecuada selección de una bomba comercial. Por lo tanto, a continuación se definirá el mecanismo específico utilizado en el proyecto y los parámetros importantes para su selección.

Bomba; Definición

Es una máquina generadora, que absorbe energía mecánica y la restituye en energía hidráulica al fluido que la transita; desplazando el fluido de un punto a otro (Rojas, 2017).

Clasificación

La clasificación más común de las bombas son las siguientes:

- Bomba de Volumétricas
- Bombas rotodinámicas
- Bombas centrífugas

Bomba centrífuga

Su componente principal es un impulsor que gira a cierta velocidad dentro de una carcasa y que su movimiento impulsa al fluido en contacto con él, hacia la periferia del mismo con cierta velocidad. La energía de velocidad del fluido se convierte en presión por medio de una voluta interna o mediante un juego de álabes estacionarios llamados difusores, que rodean la periferia del impulsor.

Selección de Bomba centrífuga

La clave para hacer la selección correcta de la bomba radica en el conocimiento del sistema donde ella trabajará. (Rojas, 2017). Por tanto se debe de obtener la siguiente información:

- Tipo y número de bomba
- Características del fluido de trabajo
- Caudal de diseño
- Altura dinámica
- NPSHd
- Accionamiento

- Material del cuerpo
- Posición de la bomba
- Parámetros especiales (eficiencia, accesorios, instalación)

Los diámetros de las tuberías de impulsión de las bombas se determinarán en función del caudal de bombeo y de la carga dinámica total. Los diámetros de las tuberías de succión de las bombas se determinarán de acuerdo con la carga neta de succión requerida de la bomba.

Altura dinámica total

Para obtener la carga dinámica total de un sistema hidráulico se requiere identificar el tipo de sistema requerido por el entorno y sus condiciones.

Para el caso en estudio del presente trabajo, el tipo de sistema es el Clase I, de acuerdo al Libro de Mecánica de Fluidos Aplicada; Mott (2006)

El cálculo comienza con la ecuación de energía:

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_L = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (3.1)$$

Los términos a la izquierda representan la energía que tiene el fluido en el punto 1, así los términos de la derecha para el punto 2. (Mott, 2006)

Donde

P : Presión del fluido (m.c.a)

γ : Peso específico (N/m^3)

z : Elevación (m)

v : Velocidad del fluido (m/s)

g : Aceleración gravitacional (m/s^2)

h_A : Energía que la bomba agrega al sistema (m)

h_L : Energía total que se pierde en el sistema del punto 1 al 2 (m)

La carga total sobre la bomba h_A , se encuentra al despejar la ecuación general de energía:

$$h_A = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + (z_2 - z_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + h_L \quad (3.2)$$

Perdidas de carga

La energía que se pierde en toda la extensión de tubería se le conoce como pérdida de carga. Estas se dividen en dos secciones principales: Pérdidas por longitud de tubería (h_f) y pérdidas por accesorios (h_{ACC}). Para el cálculo de las pérdidas de carga originadas por fricción en las tuberías de distribución y los ramales de alimentación, se

recomienda la utilización de la fórmula de Darcy-Weisbach, dado que presenta la mayor precisión para calcular las pérdidas de carga en tuberías (CISHE, 2017). El método de Darcy- Weisbach se expresa de la siguiente manera:

$$\frac{h_L}{L} = \frac{f V^2}{D 2g} \quad (3.3)$$

Donde

D: Diámetro interno de la tubería (m)

f: factor de fricción

g: Aceleración gravitacional (m/s²)

h_L : Pérdidas de energía (m)

L: Longitud de tubería (m)

V: Velocidad del fluido (m/s)

El coeficiente de fricción depende principalmente del numero de Reynolds,

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (3.4)$$

Donde

ν : Viscosidad cinemática del fluido (m²/s)

V: Velocidad del fluido (m/s)

D: Diámetro de tubería (m)

El numero de Reynolds indica:

- Flujo laminar: $2000 > Re$
- Flujo de transición: $2000 < Re < 4000$
- Flujo turbulento: $4000 < Re$

El coeficiente de fricción se calcula a partir de la fórmula de Colebrook White, o su equivalente gráfico, el diagrama de Moody. La ecuación de Haaland, que se muestra a continuación, es explícita y aproxima la ecuación de Colebrook White, con un error menor del 2% en el cálculo del factor de fricción.(CISHE, 2017)

$$f = \frac{1}{[-1,8 \log_{10}(\frac{6,9}{Re} + (\frac{\epsilon}{3,7D})^{1,11})]^2} \quad (3.5)$$

Donde

D: Diámetro interno de la tubería (mm)

ϵ : Rugosidad absoluta del material de la tubería (mm)

Re : Número de Reynolds en el conducto. (adimensional)

La ecuación (3.5), se es válida bajo las siguientes condiciones:

- $4000 < Re < 1 \times 10^8$
- $1 \times 10^{-6} < \epsilon/D < 0,05$

No obstante para un flujo laminar el coeficiente de fricción se determina con la ecuación 3.6:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (3.6)$$

Para las pérdidas por accesorios el CIHSE indica calcularse tomando un factor de carga (K) según el tipo accesorio y su diámetro mostrado en la tabla 6.7 del CIHSE. La ecuación que determina éste valor es:

$$h_{ACC} = \frac{f \cdot K V^2}{D \cdot 2g} \quad (3.7)$$

Donde

D: Diámetro interno de la tubería (m)

f: factor de fricción

g: Aceleración gravitacional (m/s²)

h_{ACC} : Pérdidas de energía por accesorios (m)

K: Factor de carga (adimensional)

V: Velocidad del fluido (m/s)

Potencia

La potencia del motor deberá estar de acuerdo con los requerimientos de potencia hidráulica del sistema. Podrá calcularse mediante la ecuación 3.8 (CISHE, 2017).

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{1000\eta} \quad (3.8)$$

Donde

P=Potencia absorbida por la bomba (kW)

H=Carga dinámica total (m.c.a)

Q=Caudal que suministra la bomba (L/s)

ρ =Densidad del agua (kg/m³)

g=Aceleración gravitacional (m/s²)

η =Eficiencia de la bomba (%)

NPSH

La Altura Neta Positiva de Aspiración (NPSH, siglas en inglés) es un parámetro que permite saber qué tan cercano se encuentra el sistema de cavitación. Representa la energía, medida en metros de columna de líquido, con el que el fluido entra en la brida de aspiración de la bomba en términos absolutos y por encima de la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo.

Se conocen dos tipos:

- NPSH admisible

El cual es propio del sistema, se determina mediante la ecuación 3.9:

$$NPSH_a = P_{atm} - P_v - P_f - \Delta H \quad (3.9)$$

Donde

P_{atm} =Presión absoluta sobre la superficie del tanque. (Normalmente la presión atmosférica) (kPa).

P_v =Presión de vapor del fluido (kPa)

P_f =Pérdidas por fricción en la succión (kPa)

ΔH =Diferencia de altura (kPa) (Depende del tipo de succión: Si es succión positiva suma, si es succión negativa resta)

- NPSH requerido

El cual es característica propia de la bomba seleccionada. Este valor sólo se puede determinar de forma experimental

La cavitación se da cuando una bomba está operando con un NPSHa más bajo que el requerido por el equipo (NPSHr). Por lo tanto se recomienda que la diferencia entre el NPSHa y el NPSHr sea mayor al 10%. Esto justifica dependiendo del proceso y material. Aunque debido a que se deben considerar otras posibles fuentes de fallas, y para darse un mayor rango de seguridad en el sistema, éste valor NPSHa debe ser aún mayor al 10% dependiendo de cada caso.

Tubería de succión

Cuando se utiliza un sistema de bombeo se tendrá dos tipos de succión:

- Succión negativa: Cuando el nivel del agua se encuentra por debajo del ojo de succión de la bomba.
- Succión positiva: Cuando el nivel del agua se encuentra por encima del ojo de succión de la bomba.

La tubería de succión deberá contar con las siguientes características:

- Diámetro de la tubería de succión, mayor al diámetro de la boca de succión de la bomba.
- Longitud; más corta posible.
- Accesorios; los menos posibles.
- Tramo de tubería horizontal o con una inclinación del 1% (hacia la bomba en caso de succión negativa, o hacia el tanque en caso de succión positiva).
- Velocidad en la succión entre 1,5 m/s a 2,4 m/s.
- Longitud de tubería recta, entre la brida de la bomba y el codo, de entre 5d-10d, (d= diámetro de la boca de succión).

- Válvula de retención con pascón en la entrada de la succión para evitar perder el cebado.
- Soportería, ya que la tubería de succión no se apoya a la bomba.

3.1.10. Accesorios del sistema de tuberías

Los accesorios de tubería son fundamentales, dependiendo de la trayectoria diseñada con el fin de darle dirección conexión y continuidad al sistema. Normalmente se colocan accesorios del mismo material y con las mismas características (Vargas, 2016).

Válvula de retención

Las válvulas de retención tienen el propósito de permitir el flujo en un solo sentido, evitando la inversión del flujo en las tuberías (Vargas, 2016).

Algunas de sus aplicaciones:

- Descarga del sistema de bombeo.

Válvula de corte

Las válvulas de corte permiten el cierre o independizar un subsistema hidráulico. Algunas de sus aplicaciones son (Vargas, 2016):

- Se debe instalar una válvula de corte a la salida de cada medidor hacia la instalación interna.
- La tubería de agua que abastece a más de un edificio se debe equipar con una válvula de corte separada para cada uno, instalada de tal manera que el suministro de agua se pueda abrir o cerrar por separado
- Se debe instalar una válvula de corte en la acometida de tanques de almacenamiento de agua o cerca de éstos.

Válvula reguladora de presión

Las válvulas reguladoras de presión se instalan para reducir la presión de la tubería de suministro de agua a un nivel inferior, deseado por el usuario. El agua que entra en la válvula es limitada dentro del cuerpo de la válvula. Esta acción se controla mediante un diafragma y un disco ajustables con resorte. Incluso si la presión del agua de suministro fluctúa, la válvula garantiza un flujo constante de agua a una presión funcional siempre que la presión de suministro no caiga por debajo de la presión establecida de la válvula (www.watts.com).

Medidores

Existen muchas formas de clasificar un medidor para un sistema hidráulico, por lo que sólo se considerará los tipos de medidores según su principio de funcionamiento (Vargas, 2016):

■ Medidores mecánicos

- Aquellos en los que el dispositivo de medida es accionado directamente por el empuje hidrodinámico (Vargas, 2016).

■ Medidores volumétrico

- Compuesto por cámaras de volumen conocido y por un mecanismo accionado por la presión del flujo, mediante el cual estas cámaras se llenan y vacían sucesivamente con agua. Con base en el conteo del número de los volúmenes que pasan a través de él, el mecanismo registrador totaliza e indica el volumen (Vargas, 2016).

■ Medidores de velocidad

- Dispositivo colocado dentro de un conducto cerrado y compuesto por un elemento móvil accionado directamente por la velocidad del flujo de agua. El movimiento se transmite luego, mediante procedimientos mecánicos o de alguna otra naturaleza, al mecanismo indicador, el cual totaliza e indica el volumen (Vargas, 2016).

Tipo de uniones

■ Unión soldada

- Hermeticidad
- Para PVC (1 in - 4 in de diámetro)
- Bajas presiones (según fabricante)

■ Unión mecánica

- Menor a 4 in; unión roscada
- Mayor a 4 in; unión bridada
- Para PVC (2 in - 20 in de diámetro)
- Altas presiones (según fabricante)

3.1.11. Red de distribución

Clasificación según esquema

La red de distribución de agua potable puede clasificarse según la configuración que unen sus tuberías con el fin de alimentar cada una de las piezas sanitarias. Estas se dividen en:

- Cerrada

La red de distribución no tiene un extremo final, tal como se muestra en la Figura 3.1, las tuberías secundarias se interconectan con la tubería principal, donde el fluido trasegado pueda retornar a su punto inicial.

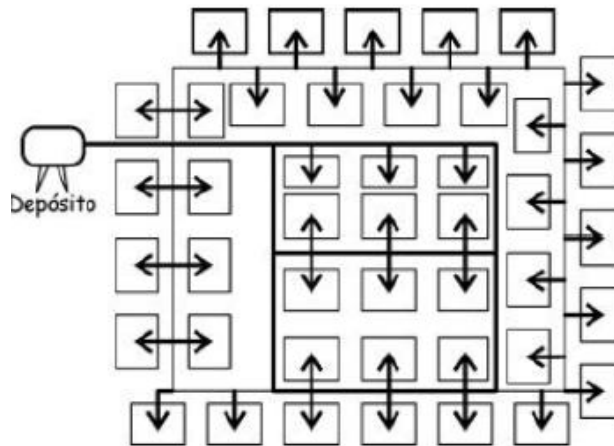


Figura 3.1: Red cerrada en forma de malla (Castillejos, 2010)

- Abierta

La red de distribución posee un origen o inicio desde una tubería principal y se ramifica en secciones secundarias hasta un extremo final, tal como se muestra en la Figura 3.2.

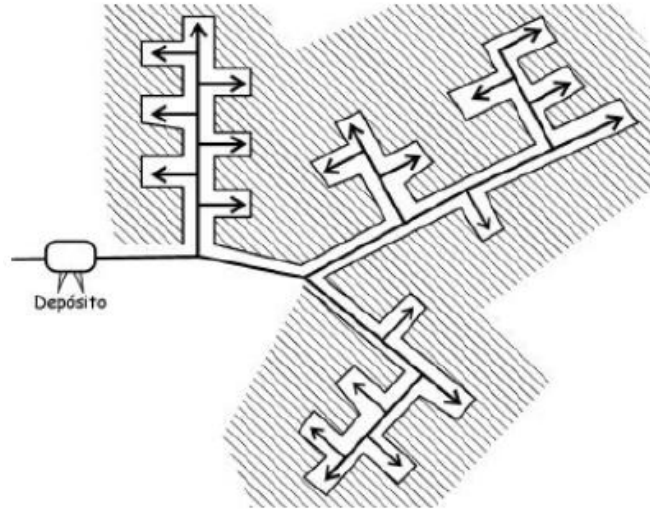


Figura 3.2: Red cerrada en forma de malla (Castillejos, 2010)

- Combinada

La red de distribución posee tanto red abierta como red cerrada.

3.2. Generalidades y normativa para el diseño de un sistema de reuso de agua pluvial

3.2.1. Normas de diseño

El diseño se desarrolla usando el Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias para edificaciones (CIHSE) vigente, emitido por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. Además se toman alternativas eficientes de códigos internacionales tales como el Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia (CIDECALLI-CP), entre otros aspectos considerados en legislaciones de otros países que se mencionarán más adelante.

3.2.2. Desarrollo del sistema

Para desarrollar un sistema de captación de agua pluvial es recomendable seguir los siguientes puntos tal como se mencionan:

- Ubicación del sistema
- Determinación de la demanda
- Cálculo de la precipitación pluvial neta

- Área de captación
- Diseño del sistema de conducción del agua captada
- Diseño del sistema de filtración
- Diseño del sistema de almacenamiento del agua de lluvia captada
- Diseño del sistema de bombeo del agua almacenamiento hacia tanque elevado

3.2.3. Estimación de la demanda en funciones sanitarias

Como parte de las literaturas relevantes a nivel internacional en diseño hidráulico de edificaciones, la República de Singapur ha desarrollado su Guía de diseño de uso eficiente del agua (Water Efficient Building Design), en ella expone un desglose de uso del agua para distintas categorías de ocupación, donde se extrae la distribución típica del uso del agua en escuelas primarias, secundarias y colegios universitarios. Se encuentra que las áreas comunes de uso del agua incluyen baños, riego, lavado y otras comodidades. En la Figura 3.3, se puede ver que las dos áreas principales de uso de agua están en los inodoros y para el aseo general:

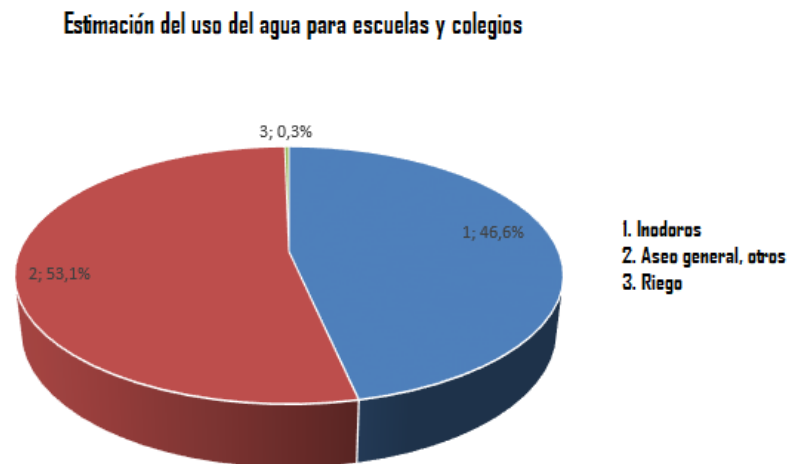


Figura 3.3: Distribución típica del uso del agua en primaria o secundaria (PUB, 2011)

3.2.4. Precipitación pluvial neta

Representa la cantidad de agua de lluvia que queda a disposición del sistema sistema de captación, una vez habiendo descontado las pérdidas por factores como salpicamiento, velocidad del viento, evaporación, fricción, tamaño de la gota, efectos contemplados en la eficiencia de captación (CIDECALLI-CP, 2007).

Eficiencia de captación

De acuerdo a la experiencia desarrollada por CIDECALLI-CP la eficiencia de captación se ha planteado en un 90 %. A su vez la eficiencia de captación depende del coeficiente de escorrentía.

Coeficiente de escorrentía

El CIHSE recomienda para un tipo de superficie equivalente a techo de lámina, un valor de coeficiente de escorrentía entre 0,8 a 0,95 (CISHE, 2017).

Por lo tanto la precipitación pluvial neta se obtiene según la siguiente ecuación:

$$P_N = P \cdot \eta \cdot C \quad (3.10)$$

Donde

PN: Precipitación neta (diaria, mensual, anual) (mm)

P: Precipitación (diaria, mensual, anual) (mm)

η : Eficiencia de captación (%)

C: Coeficiente de escorrentía (adimensional)

Cuando las precipitaciones medias mensuales sean menores de 40 mm-50 mm y de baja intensidad (mm/h), se recomienda no considerarlas, sobre todo si se presentan durante las épocas secas, ya que la cantidad y calidad del agua de lluvia no será de consideración para su almacenamiento (Anaya, 2010).

3.2.5. Área tributaria

El área tributaria es la superficie sobre la cual cae la lluvia. Se utilizan para este fin los techos de casas, escuelas, bodegas, invernaderos y laderas revestidas o tratadas con materiales que la impermeabilizan (Anaya, 2010).

Para determinar el área tributaria existen muchos coeficientes de ponderación que modifican el enunciado anterior debido a las pérdidas en las superficies de captación causadas por el rebote del agua al caer, la absorción, evaporación del agua y la pendiente de las superficies. No obstante para efectos del presente proyecto dichos coeficientes se contemplarán en la eficiencia de captación. Es importante mencionar que solo se debe considerar la proyección horizontal del área de captación y expresarla en m²(Anaya, 2010).

3.2.6. Diseño del sistema de conducción del agua captada

El sistema de conducción se define como el conjunto de conductos, accesorios y uniones utilizados para coleccionar las aguas pluviales vertidas en el área efectiva de captación, para dirigir las hacia los puntos de tratamiento y almacenamiento para su posterior utilización.

Los elementos de conducción consisten normalmente en canoas, bajantes y colectores horizontales. Los cuales se dimensionan según el caudal de diseño.

Caudal de diseño

Para la determinación de los caudales de diseño de los sistemas de desagüe de aguas pluviales en las edificaciones se recomienda el uso del método racional (CISHE, 2017):

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{3600} \tag{3.11}$$

Donde

Q: Caudal de diseño de la tubería, bajante o canal de desagüe (L/s)

i: Intensidad de la lluvia (mm/h)

A: Área de drenaje tributaria (m²)

C: Coeficiente de escorrentía (Adimensional)

Intensidad de lluvia

La intensidad de la lluvia es función de la frecuencia o periodo de retorno de la tormenta o aguacero de diseño y de su duración. En el caso crítico, la duración de la lluvia se toma igual al tiempo de concentración del área tributaria. La intensidad de la precipitación se estimará a partir de la curva de intensidad-duración-frecuencia (curva IDF) correspondiente a la estación meteorológica que el profesional responsable del diseño del sistema de desagüe pluvial, a través del estudio hidrológico correspondiente, considere como representativa para el área del proyecto. En caso de que las curvas IDF de la estación no estén disponibles se podrán utilizar los valores que se indican en los cuadros 3.7 y 3.8 (CISHE, 2017).

Cuadro 3.7: Intensidad de lluvia (mm/h) para un periodo de retorno de 10 Años (CISHE, 2017)

Región climática	5 minutos	10 minutos	15 minutos	30 minutos
Caribe	240	185	175	140
Norte	200	175	160	130
Valle Central	265	210	180	140
Pacífico Norte	285	200	180	135
Pacífico Central	275	220	200	150
Pacífico Sur	285	225	190	145

Cuadro 3.8: Intensidad de lluvia (mm/h) para un periodo de retorno de 25 Años (CISHE, 2017)

Región climática	5 minutos	10 minutos	15 minutos	30 minutos
Caribe	275	205	190	160
Norte	235	200	185	150
Valle Central	310	245	210	160
Pacífico Norte	340	235	205	160
Pacífico Central	320	250	225	170
Pacífico Sur	335	255	215	165

Periodo de retorno y tiempo de concentración

El periodo de retorno y tiempo de concentración del aguacero considerado para el diseño, se determinará de acuerdo con los daños, perjuicios o molestias que inundaciones periódicas puedan ocasionar a los ocupantes de la edificación. Se recomienda utilizar como mínimo un periodo de retorno de 10 años y tiempo de concentración de 5 minutos. (CISHE, 2017)

Dimensionamiento de tubería o canales

■ Bajantes pluviales

Para determinar el dimensionamiento de los bajantes pluviales se utilizará la tabla siguiente juntamente con el caudal de diseño de la ecuación 3.11.

Cuadro 3.9: Caudales máximos en bajantes de desagüe de aguas de lluvia (CISHE, 2017)

Diámetro (mm)	Caudal máximo L/s
50	0,90
64	1,65
75	2,50
100	5,10
125	8,95
150	14,10
200	28,95

Notas:

1. Para bajantes no circulares se puede utilizar un área equivalente.
2. Caudales estimados suponiendo control a la entrada del bajante, y sin obstrucciones.

Como regla práctica se puede utilizar un centímetro cuadrado de área transversal de bajante por cada metro cuadrado de área de techo.

■ **Canoas y colectores horizontales**

Para el dimensionamiento de los conductos y canaletas horizontales se deberán considerar los siguientes puntos:

- Pendiente uniforme. Ver Cuadro 3.12
- El caudal de diseño llene como máximo 3/4 partes de la altura del colector o canal.
- Velocidades de flujo entre 0,6 m/s y 2,5 m/s.

Para la estimación del diámetro y pendiente requeridos, se recomienda la fórmula de Manning:

$$Q = \frac{1000}{n} A_M (R_H)^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (3.12)$$

Donde

Q: Caudal de diseño del colector (L/s)

n: Coeficiente de rugosidad de Manning. Ver Cuadro 3.11.

Am: Área mojada (m²)

Rh: Radio hidráulico (m)

$$R_H = \frac{A_m}{P_m} \quad (3.13)$$

S: Pendiente del conducto (m/m)

Para el cálculo del área mojada y del radio hidráulico para las dos condiciones de flujo, se podrán utilizar las ecuaciones del cuadro 3.10.

Cuadro 3.10: Ecuaciones para calcular el área mojada y el radio hidráulico en conductos circulares (CISHE, 2017)

Para sistemas donde la descarga alcanza la mitad del tubo	
AM	$A_M = \frac{\pi \cdot d^2}{8}$
RH	$R_H = \frac{d}{4}$
Para sistemas donde la descarga alcanza 3/4 partes del diámetro del tubo	
A_M	$A_M = \frac{d^2}{2} \left(\frac{\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{8} \right)$
R_H	$R_H = \frac{d}{4} \left(1 + \frac{3\sqrt{3}}{\pi 8} \right)$

Nota:

Donde, d es el diámetro interno de la tubería (m).

Cuadro 3.11: Coeficiente de rugosidad de Manning (CISHE, 2017)

Material	Coeficiente de Manning		
	Mínimo	Medio	Máximo
Hierro fundido	0,011	0,014	0,016
PVC y PE	0,009	0,01	0,012
Hierro Galvanizado	0,013	0,016	0,017
Concreto	0,011	0,013	0,014
Tubería ADS (PE corrugado) (75 mm a 250 mm)	0,015	0,16	0,017
Tubería ADS (PE corrugado) (300 mm a 600 mm)	0,018	0,019	0,02

Cuadro 3.12: Pendiente mínima de los colectores de descarga y colectores (CISHE, 2017)

Diámetro (mm)	Pendiente (%)
50	2
75	2
100	1,5
150	1
200	1

3.2.7. Diseño del sistema de almacenamiento

El almacenamiento del agua de lluvia consiste en depositarla dentro de cisternas durante un tiempo determinado de tal forma que la precipitación alcance cumplir con la demanda del momento inmediato y del tiempo de sequía.

Tipos de tanques

- **Tanques de ferrocemento**
 - Bajo costo relativo
 - Fácil construcción local
 - Fácil reparación
 - Posibles filtraciones
 - Riesgo de fractura ante sismos
- **Tanques de concreto**
 - Similar al anterior con posibles mejoras en acabados
 - Fabricación comercial
- **Tanques de geomembranas de PVC**

- Impermeables, no presentan fugas, filtraciones o contaminación del agua almacenada.
 - Fácil construcción local
 - Enlongación de hasta 200 %
 - Tres a cuatro veces más económica que el tanque de ferrocemento.
 - La membrana tiene una garantía de 10 años y una durabilidad de 25
 - Fácil reparación
- **Tanques de polietileno**
- Similar al anterior
 - Fabricación comercial
 - Acabados sanitarios

Contraste entre tanques de captación

Los tanques de captación pueden variar sus características respecto al material de fabricación, por lo tanto resulta importante analizar un comparativo entre éstas, según el cuadro 3.13.

Cuadro 3.13: Constraste entre costo unitario y tamaños posibles de tanques de captación de agua pluvial (Anaya, 2010)

Material	Intervalo de volumen (m ³)	Características importantes	Intervalo de Costos (Colones/m ³)
Fibra de vidrio	2 a 8	Puede durar por varias décadas. Las reparaciones son fáciles	78 000 a 300 000
Concreto	40 a Según fabricante	Con el tiempo pueden aparecer grietas; además el olor y el sabor del agua cambian.	42 000 a 186 000
Metal	0,6 a 10	Es de peso ligero y de fácil transportación	78 000 a 228000
Polipropileno	1,2 a 40	Es de peso ligero; el agua se calienta al estar expuesta a la luz del sol.	54 000 a 150000
Geomembrana	Según fabricante a 4000	Flexible, durable y recomendable para zonas sísmicas	6 000 a Según fabricante
Polietileno	1,2 a 20	Es de peso ligero, la radiación solar puede provocarle daños.	114 000 a 252 000
Acero soldado con autógena	120 a 4000	Es resistente y durable.	120 000 a 600 000

3.2.8. Sistema de filtrado

La filtración es el proceso para separar sólidos del líquido en el que están suspendidos, al hacerlos pasar, a través de un medio poroso (filtro) y por el cual el líquido puede pasar fácilmente (Anaya, 2010).

La función más importante de cualquier filtro de agua de lluvia es la eliminación de la mayor cantidad de contaminantes en el flujo de agua. Si se permite que la materia orgánica se acumule en la pantalla del filtro, o peor aún en el fondo de un sumidero, esto

será perjudicial para la calidad del agua. La materia orgánica en descomposición elimina el oxígeno del agua, dejándola rancia y con mal olor (Rain Harvesting systems.co.uk, 2018).

Filtro tipo Vortex

El filtro tipo Vortex funciona mediante el principio de adhesión. Este proceso hace que el agua "arrastre" a través de la capa interna de malla fina, dejando atrás cualquier hoja, insecto y cualquier otra partícula con un diámetro mayor al especificado según el producto. Los desechos filtrados caen directamente a través del centro del filtro o son eliminados por la acción del agua que fluye. Su diseño asegura que se incorpore oxígeno adicional durante la filtración, lo que resulta en agua limpia, clara e inodoro (Rain Harvesting systems.co.uk, 2018). En la Figura 3.4 se muestra un ejemplo de un filtro tipo Vortex:



Figura 3.4: Filtro tipo Vortex mod. WFF 300. (Rain Harvesting systems.co.uk, 2018)

3.2.9. Sistema de bombeo de agua de reuso

El sistema de bombeo del agua captada puede ser dimensionado siguiendo los aspectos y recomendaciones de la sección anterior 3.1.9 en el apartado del sistema hidráulico.

3.3. Generalidades para el diseño y gestión de un sistema de monitoreo y control de flujo

3.3.1. Fundamentos sobre fugas

Las fugas en un sistema de distribución de agua potable representan la diferencia que existe entre la medición de la cantidad de agua suministrada (volumen producido) y el volumen de agua tomada en cuenta para la facturación y cobro del servicio (volumen facturado). (Mena, 2016)

3.3.2. Clasificación y tipo de fuga

Existen muchas clasificaciones para definir o cuantificar las fugas en sistemas hidráulicos, no obstante para este trabajo se tomarán la clasificación mostrada en la Figura 3.5:

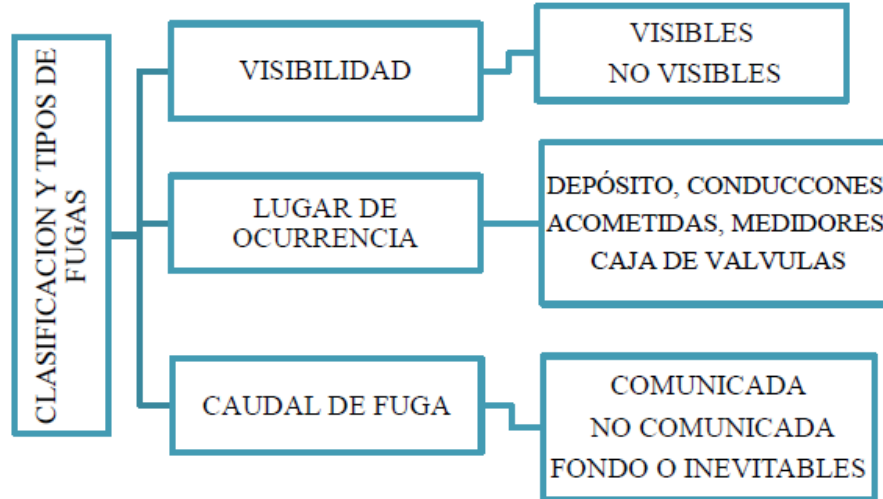


Figura 3.5: Clasificación de los tipos de fugas (Mena, 2016)

Lambert, Mayers y Trow (Mena, 2016), definen la clasificación según caudal de fuga de la siguiente manera:

■ Fugas comunicadas

- Son de elevado caudal con períodos de duración cortos, son visibles ya que emergen a la superficie y son fáciles de detectar (Mena, 2016).

■ Fugas No comunicadas

- No son visibles, el caudal es moderado y su duración depende principalmente del método de control activo de fugas que se aplica (Mena, 2016).

■ Fugas de fondo

- Se caracterizan por su bajo caudal, se necesita la aplicación de métodos acústicos para su detección y localización, ocurren en juntas, accesorios y agujeros pequeños que se producen por la corrosión (Mena, 2016).

Mediante la anterior clasificación se tiene un estimado de magnitud de caudal para cada tipo. En el cuadro 3.14 se muestra algunos valores aproximados típicos de caudales de fuga:

Cuadro 3.14: Caudales aproximados según tipo de fuga (Mena, 2016)

Tipo de fuga	Caudal	
	L/s	gpm
Fuga de fondo (inevitable)	0,003-0,08	0,05-1,27
Fuga no comunicada (no fácilmente detectable)	<0,14	<2,22
Fuga no comunicada (fácilmente detectable)	>0,14	>2,22
Fuga comunicada	0,14-14	2,22-221,9

Con el fin de expresar la clasificación anterior en proporciones de costo, Hirner W.H.(1998), propone una clasificación adicional que considera qué tipos de fugas se pueden reparar para ser económicamente rentables (Abarca, 2012):

■ **Pérdidas inevitables**

- No resulta económico repararlas, ya que son de bajo caudal y no se las puede detectar. Se las considera a las fugas de fondo como pérdidas inevitables.

■ **Pérdidas tolerables**

- Este tipo de fuga es detectable, y se encuentra en un rango entre las inevitables y las recuperables.

■ **Pérdidas recuperables**

- Se las considera como grandes pérdidas, y es económico repararlas.

La Figura 3.6 muestra la relación entre la clasificaciones consideradas para éste proyecto:

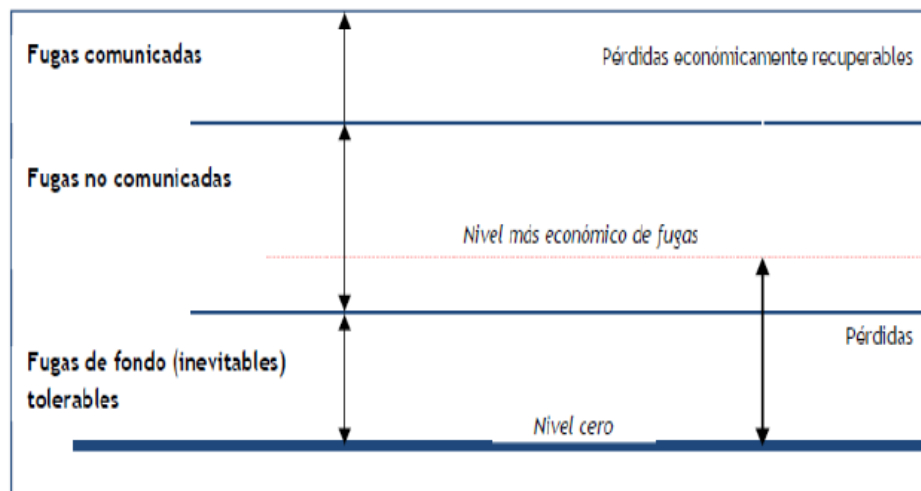


Figura 3.6: Relación entre tipos de fuga según caudal y según rentabilidad de reparación (Mena, 2016)

3.3.3. Causas que generan fugas

Entre las múltiples causas que originan una fuga en un sistema de tuberías se muestran a continuación las más relevantes:

- Altas presiones
- Corrosión
- Carga vehicular
- Propiedades indeseables de tubería y/o accesorios
- Deficiente mano de obra
- Sismos
- Golpes de ariete
- Vida útil

3.3.4. Gestión de fugas

Son aquellas funciones que buscan alcanzar y mantener un nivel de desperdicio del agua que sean lo mínimo posible en condiciones de viabilidad técnica, económica, financiera, institucional, política y social. (Mena, 2016)

Es por ello que el Water Loss Group de la International Water Association (IWA) propone 4 actividades para disminuir el nivel de pérdidas de agua en la red. (Abarca, 2012).

Las mismas se muestran en la Figura 3.7. Cabe resaltar que las siglas mostradas en el centro de la figura son: Volumen anual de pérdidas reales (VAPR) y Volumen anual de pérdidas inevitables (VAPI).

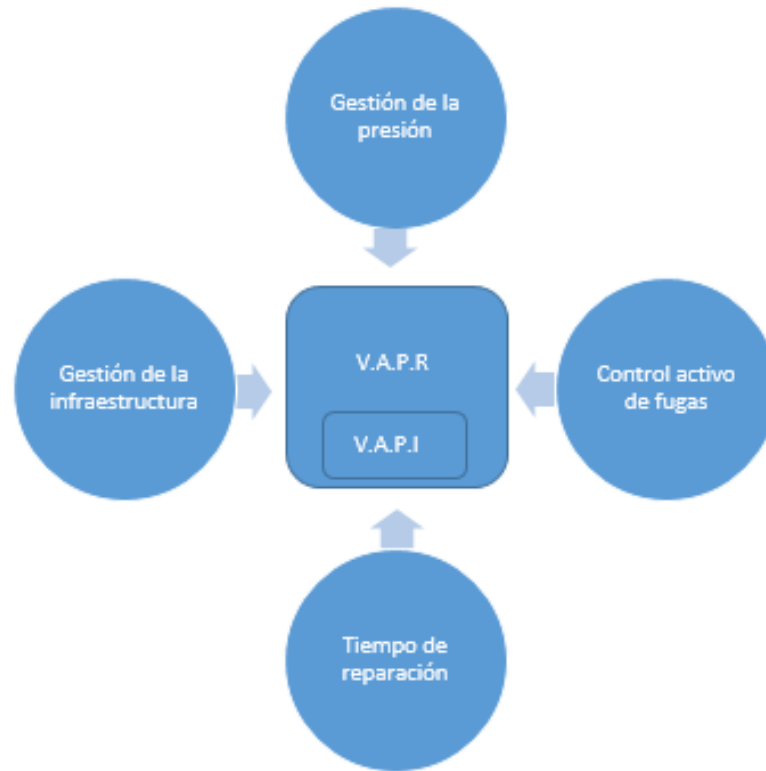


Figura 3.7: Esquema de la gestión de fugas (Abarca, 2012)

Control activo de fugas

El control activo de fugas empieza cuando el personal encargado realiza trabajos de detección y localización de fugas de agua las cuales no son reportadas, por lo que es obligatorio realizar la medición y sectorización de la red, esto con el objetivo de controlar, registrar y finalmente conocer qué acciones se deben tomar para lograr un bajo nivel de fugas, y mantenerlo a lo largo del tiempo. (Mena, 2016)

Los métodos para realizar un control activo de fugas pueden ser:

- Método indirecto o volumétrico

Mediciones de caudal de manera continua con el propósito de identificar qué caudal se asigna a las fugas, para ello se utiliza un caudalímetro o medidor de caudal.

- Método de detección y localización directa

Se pueden detectar la presencia de fugas gracias a las alteraciones que éstas crean en el terreno inmerso.

Sectorización

La sectorización es una estrategia de reducción y control de fugas de agua en un sistema de distribución, con el fin de obtener información de la red tanto de su funcionamiento como de su estado, ya que cualquier variación de este puede indicar presencia de fugas o consumos exagerados. (Mena, 2016)

Algunos aspectos a conocer sobre la sectorización de una red de tuberías son:

- La colocación de válvulas es la forma más común de aislar un sector.
- Se recomienda que el sector aislado tenga una sola entrada de alimentación.
- La entrada deberá contar con un medidor.
- La entrada deberá contar con un manómetro.

En la Figura 3.8 se ilustra una red hidráulica con sectores y subsectores:

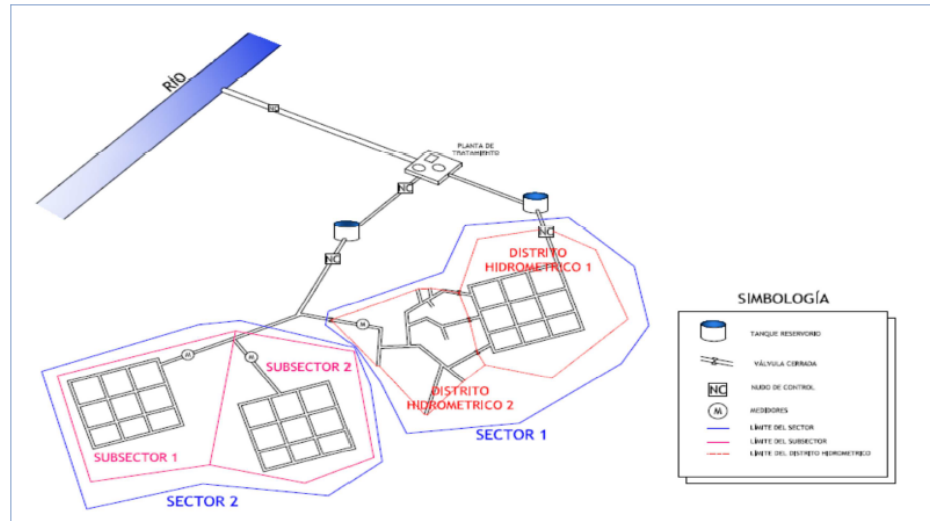


Figura 3.8: Sectorización de una red de distribución de agua potable (Abarca, 2012)

3.3.5. Equipo de medición de caudal

Se registra el caudal que ingresa al sistema de distribución ya sea a la salida del tanque de distribución, o en la impulsión de una bomba, mediante estos registros de caudal se puede interpretar las variaciones que se presentan en el sistema durante un período de tiempo e identificar eventualidades como consumos elevados, usos nocturnos, o cortes del servicio. (Mena, 2016).

Como referencia de medidor de caudal para efectos del presente diseño se menciona el Caudalímetro ultrasónico DCT 7088, mostrado en la Figura 3.9.



Figura 3.9: Caudalímetro ultrasónico DCT 7088 (Abarca, 2012)

Las indicaciones de uso del caudalímetro antes mostrado se expresa en el Manual de Procedimiento del sistema de control y detección de fugas presente en la sección de Anexos.

Principio de funcionamiento del caudalímetro ultrasónico

“Las ondas sonoras viajan en los fluidos a una velocidad específica según el tipo de fluido, si el fluido está en movimiento, la onda de sonido viaja a una velocidad igual a la suma de la velocidad del sonido en el fluido y la velocidad del propio fluido en relación con el transductor.

Una onda de sonido viaja en la misma dirección que el flujo de líquidos (aguas abajo) llegará antes de lo que una onda de sonido viaja en contra de la corriente (aguas arriba)”. (Abarca, 2012)

El caudalímetro ultrasónico funciona midiendo el tiempo que demora en viajar la onda sonora desde el transductor que se instala aguas arriba hacia el segundo transductor puesto aguas abajo (Figura 3.10), en función del tiempo que transcurre el equipo calcula la velocidad media del fluido.

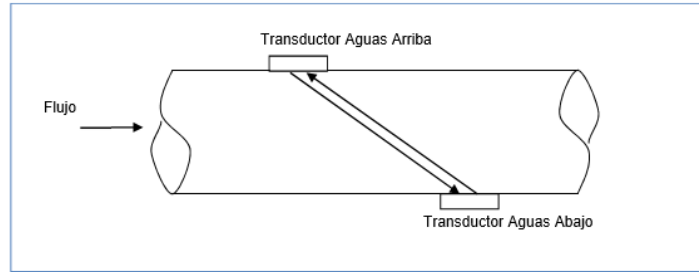


Figura 3.10: Esquema de la configuración del caudalímetro (Polysonics, 1998)

3.3.6. Instrumento de medida de presión

Equivalente a la definición u/o aplicación de un manómetro, un data logger (Figura 3.11) es un equipo que permite medir y registrar datos de presión que se presenten en la red de distribución durante períodos de estudio o constantemente, pueden ser colocados en redes directoras (macromedición) o en las acometidas particulares (micromedición). (Mena, 2016)



Figura 3.11: Referencia o similar a medidor de presión Data logger (Abarca, 2012)

Las indicaciones de uso del medidor de presión antes mostrado se expresa en el Manual de Procedimiento del sistema de control y detección de fugas presente en la sección de Anexos.

3.3.7. Indicadores y benchmarking

Para establecer el nivel de pérdidas que se presenta en la red de distribución de agua es necesario determinar los diferentes indicadores que se utilizan en la gestión activa de fugas (IFE, IANC, índice de consumos, entre otros).

Mediante los cuales se puede conocer el estado de la red y permiten comparar con otros sistemas de distribución (benchmarking). Tal como el método propuesto por Lambert (1997), el cual permite modelar y estimar volúmenes correspondientes a los diferentes componentes de pérdidas técnicas por medio de los conceptos denominados BABE (Burst and Background Estimates) las cuales en su análisis consideran las fugas de fondo, fugas comunicadas y fugas no – comunicadas.

Los conceptos BABE consideran que las roturas se derivan de las fugas comunicadas y no – comunicadas, las cuales son generadas por fugas indetectables individuales que pueden ser consideradas como grupos de sucesos con frecuencias, caudales y duraciones típicas diferentes. Las cuales son obtenidas a partir del análisis del volumen anual de pérdidas técnicas (VAPR) .

Las fugas de fondo conforman el nivel medio de fugas inevitables (VAPI), en función de condiciones particulares ya sea longitud de la red, longitud promedio de acometida, número de acometidas y presiones de servicio se puede fijar las pérdidas técnicas en el sistema. (Abarca, 2012)

Las VAPI se pueden determinar de la siguiente forma:

$$VAPI = (L_n \cdot 18 + N_a \cdot 0,8 + L_p \cdot 25) \cdot P \quad (3.14)$$

Donde

$VAPI$: Volumen anual de pérdidas inevitables (L/día)

L_n : Longitud total de tubería de distribución de la red (km)

L_p : Longitud promedio de tubería hasta la acometida (km)

N_a : Número total de acometidas existentes

P : Presión promedio del sistema (m.c.a)

Indicadores de desempeño

Para la representación del nivel de pérdidas físicas existentes en una red de distribución de agua potable, la IWA recomienda la utilización de indicadores de desempeño del sistema de distribución, que relacionen el volumen perdido a través de fugas con factores como la longitud y presión de la red, tiempo de servicio, número de acometidas y número de usuarios; todos ellos fácilmente determinables.

Los indicadores de pérdidas técnicas que se utilizan son aquellos que están en función del:

- Porcentaje del caudal promedio diario, o indicadores porcentuales.

- Volumen por usuario por unidad de tiempo, expresado en litros/usuario/hora.
- Volumen por conexión de servicio por unidad de tiempo, expresado en litros/acometida/hora.
- Volumen por longitud de tuberías del sistema por unidad de tiempo, expresado en m^3/km de redes del sistema/hora. (Abarca, 2012)

Indicadores porcentuales

Estos indicadores se calculan a través del estudio proveniente de la medición y monitoreo (en intervalos de 24 horas) de caudales mínimos nocturnos generados en un sector hidráulico. Entre los indicadores de mayor uso se consideran el índice de agua no contabilizada (IANC), índice de consumo no – doméstico, el índice lineal de fugas y los coeficientes de consumo. (Abarca, 2012)

Índice de agua no contabilizada (IANC)

Es un indicador del porcentaje de pérdidas en un sistema de distribución de agua potable, que sirve para diagnosticar la eficiencia general de la entidad encargada de la distribución, la disminución del IANC es el principal objetivo en una empresa de agua potable, lo cual es difícil de conseguir (se puede definir un nivel máximo aceptable de 25 %). (Abarca, 2012)

La ecuación que permite calcular el IANC es:

$$IANC = \left(1 - \frac{V_f}{V_i}\right) * 100 \quad (3.15)$$

Donde

V_f : Volumen facturado en un período. (L)

V_i : Volumen inyectado al sistema en un período. (L)

Índice de consumo

Permiten un conocimiento “a priori” del estado de la red de distribución mediante valores orientadores de la existencia de fugas, su cálculo se hace a partir de los consumos horarios que se obtienen a través del análisis gráfico y estadísticos de los datos que se registran durante la medición del caudal suministrado a la red de distribución, se realiza de manera continua durante un tiempo mínimo de 24 horas. (Abarca, 2012)

Para realizar la metodología del índice de consumo se deberá seguir los siguientes pasos:

- Sectorizar hidráulicamente
- Medición de caudales y presiones

- Tabulación de datos de caudal y presión
- Análisis de datos obtenidos en el período de registro
- Evaluación y puesta en marcha de la reparación

El coeficiente por considerar dentro de los índices de consumo será el índice de consumo horario, el cual tiene la siguiente expresión:

$$ICH = \frac{CMH}{CMN} \quad (3.16)$$

Donde

$CMH/CMN > 3$ a 7 indica bajo nivel de fugas.

$CMH/CMN < 3$, nivel de fugas considerable.

CMH: Consumo máximo horario. (m^3/s)

CMN: Consumo mínimo nocturno. (m^3/s)

Índice lineal de fugas

También conocido como consumo específico nocturno (CEN), expresado en (L/s) por longitud de tubería, se lo calcula como el cociente entre el CMN determinado en el registro de datos con el caudalímetro ultrasónico y la longitud de la red de distribución. (Mena, 2016)

Índice de fugas estructurales (IFE)

El IFE es un valor adimensional, y su cálculo se basa en la relación entre el CARL y UARL, que se calculan en función de las presiones existentes para cada sistema y su continuidad de servicio; por lo que puede utilizarse efectivamente como factor de comparación entre diferentes sistemas de abastecimientos.

3.3.8. Método matemático utilizado en la detección de fugas – Análisis de Flujos Mínimos Nocturnos (AFMN)

Se aplica en redes sectorizadas debido a que en estas se puede caracterizar la curva de caudal de cada sector, y por lo tanto se logra determinar el caudal mínimo nocturno (QMN).

Una variación de este caudal indica presencia de fugas en la red de distribución. Con el desarrollo de este análisis se puede cuantificar que parte del caudal mínimo nocturno es el que realmente fuga en la red de distribución.

El caudal mínimo nocturno se conforma por dos principales elementos, un caudal de fuga que se pierde en la red de distribución y un caudal que se entrega a los consumidores. (Mena, 2016).

Pérdidas en la red de distribución

Son aquellas que ocurren en la red de distribución y en función del lugar donde se producen se distinguen las roturas en tuberías de distribución y en acometidas y por otro lado las pérdidas generadas por fugas latentes.

Las pérdidas que se presentan por roturas en tuberías de distribución y acometidas, se las puede calcular a partir de información acerca de la frecuencia de aparición, el caudal característico y el tiempo que transcurre desde su aparición hasta el momento que es reparada.

Para obtener información acerca de estos aspectos, es necesario llevar un registro de las fugas reparadas identificando el origen de la misma, causas que la provocaron, estimar el caudal de fuga, el tipo de material y diámetro de la tubería, la forma de la rotura, entre otras, a través de estos parámetros se organiza una base de datos la cual permita calcular el volumen que se pierde debido a roturas.

Mientras más completa y detallada sea la base de datos resultara más fiable y sencillo correlacionar las variables que se presentan, por ejemplo se puede relacionar el caudal de fuga con el diámetro de la tubería, el cual está relacionado directamente, es decir mientras el diámetro de la tubería sea mayor el caudal de fuga aumentará. (Mena, 2016)

Las fugas latentes, por tener un caudal bajo son difíciles de detectar y localizar, el cálculo de estas fugas se lo puede realizar a través de la ecuación 3.16. No obstante existe otra forma para determinarse la cual viene dada por la siguiente expresión:

$$VAPI = F * N_a + G * L_n \quad (3.17)$$

Donde

$VAPI$: Volumen anual de pérdidas inevitables (L/día)

L_n : Longitud total de tubería de distribución de la red (km)

N_a : Número total de acometidas existentes

Los coeficientes F y G pueden variar en función del estado de la red de distribución y de las acometidas según el cuadro 3.15:

Cuadro 3.15: Valores de F y G para cálculo de fugas latentes. (Mena, 2016)

Condiciones	Tuberías (L/km/h) (G)	Acometidas (L/vivienda/h) (F)
Bueno	20	2
Medio	40	4
Malo	60	6

Capítulo 4

Diseño del sistema Hidráulico-Pluvial

A continuación se desarrollan los criterios de diseño en instalaciones mecánicas, investigados y mencionados anteriormente, con el fin de cumplir con las reglamentaciones vigentes en Costa Rica juntamente con la elaboración de alternativas ecológicas. El desarrollo general de diseño consta de dos sistema principales: Sistema de agua potable y Sistema de reúso de agua pluvial.

Se detallará el diseño de los subsistemas requeridos juntamente con algunas recomendaciones al respecto. Finalmente se expresa el desarrollo del sistema de monitoreo y control de fugas como parte del sistema agua potable.

4.1. Diseño y cálculo de la red de distribución de agua potable

4.1.1. Dotación y almacenamiento

El sistema de agua potable de la institución requiere la presencia de un cisterna que albergue la dotación diaria de agua potable según el CIHSE vigente. Por lo tanto, se detalla a continuación el diseño y pautas respectivas para su construcción.

Un tanque o cisterna de almacenamiento de agua potable debe cumplir con los siguientes requerimientos:

1. Compuerta de acceso 60 cm x 60 cm. (si el tanque es elevado la compuerta debería colocarse para un acceso horizontal, no obstante si el tanque es enterrado la compuerta quedaría en su zona superior).
2. Tubería de aducción (dimensionado más adelante).
3. Válvula de boya u otro sistema de control para detener el agua cuando el tanque ha llegado a su máxima capacidad.

4. Tubería de desagüe
5. Cárcamo donde se colocaría la toma de succión. La succión deberá colocarse a no menos de 10 cm del fondo del tanque, con ello el nivel mínimo del tanque deberá ser no menor a 20 cm del fondo.
6. Sistema de control que interrumpa la succión del sistema de bombeo cuando el tanque ha llegado a su mínima capacidad.
7. El fondo del tanque deberá tener una pendiente no menor a 1 % hacia el cárcamo.
8. El nivel máximo del tanque deberá alcanzar no menos de 30 cm por debajo de la compuerta de registro.
9. Volumen adicional para atender eventuales sismos.

Volumen útil del tanque de almacenamiento

- Tanque enterrado

El volumen útil de un tanque enterrado se encuentra determinado según la dotación diaria de la institución (sección 3.1.2) y se calcula según la ecuación 4.1:

$$V_T = D \cdot p \cdot d \cdot 75 \% \quad (4.1)$$

Donde

D : Dotación diaria (L/persona)

V_T : Volumen útil del tanque enterrado (L)

p : Numero de personas

d : Días de reserva

Según la ecuación 4.1, se tienen los resultados mostrados en el cuadro 4.1:

Cuadro 4.1: Cálculo del volumen útil del tanque enterrado. (Elaboración propia).

Categoría de ocupación	Dotación diaria (l/personas)	Numero de personas	Días de reserva	Dotación total diaria (75 %)	
				L	m ³
Alumnado exterior	50	2160	1	81 000	81

- Tanque elevado

El volumen útil de un tanque elevado se encuentra determinado según la dotación diaria de la institución (sección 3.1.2) y se calcula según la ecuación 4.2:

$$V_T = D \cdot p \cdot d \cdot 50 \% \quad (4.2)$$

Donde

V_T : Volumen útil del tanque elevado (L)

D : Dotación diaria (L/persona)
 p : Numero de personas
 d : Días de reserva

Según la ecuación 4.2, se tienen los siguientes resultados mostrados en el cuadro 4.2:

Cuadro 4.2: Cálculo del volumen útil del tanque elevado. (Elaboración propia).

Categoría de ocupación	Dotación diaria (l/personas)	Numero de personas	Días de reserva	Dotación total diaria (50%)	
				L	m ³
Alumnado exterior	50	2160	1	54 000	54

Dimensiones del tanque de almacenamiento

Las dimensiones reales que abarca un tanque de almacenamiento de agua se determinan considerando la siguiente imagen:

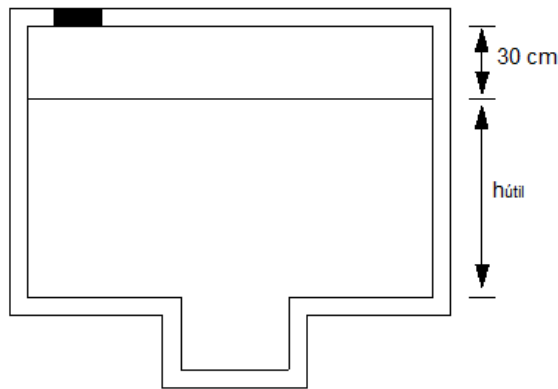


Figura 4.1: Relación entre tirante hidráulico (h útil) y altura real del tanque de almacenamiento. (Elaboración propia).

Los pasos para definir las dimensiones reales del tanque son:

- Establecer el área disponible ó la altura disponible para el tanque.
- Considerar el espacio entre límite máximo del nivel del agua y el acceso (se recomienda 30 cm).
- Altura real del tanque: $H_t = h_{util} + 30$ cm
- Área real del tanque: $A_t = V_{util} / H_t$.

Por lo tanto las dimensiones de los dos tanques de almacenamiento de agua se muestran en el cuadro 4.3:

4.1. DISEÑO Y CÁLCULO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE CAPÍTULO 4. DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO-PLUVIAL

Cuadro 4.3: Dimensiones de los dos tanques de almacenamiento. (Elaboración propia).

Tanque	Volumen útil (m ³)	Área de huella (m ²)	Altura total (m)
Tanque enterrado	81	25	3,24 m + 0,30 m=3,54 m
Tanque elevado	54	20	2,7 m + 0,30 m=3,00 m

Las Figuras 4.2 y 4.3 muestran una diagrama general del sistema de almacenamiento del tanque enterrado y del tanque elevado:

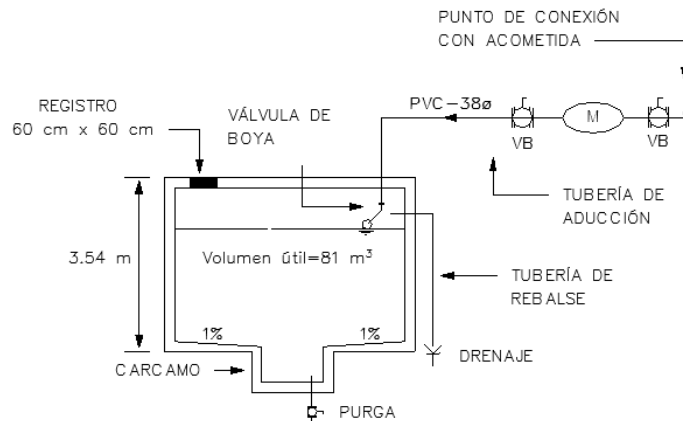


Figura 4.2: Diagrama de tanque enterrado. (Elaboración propia).

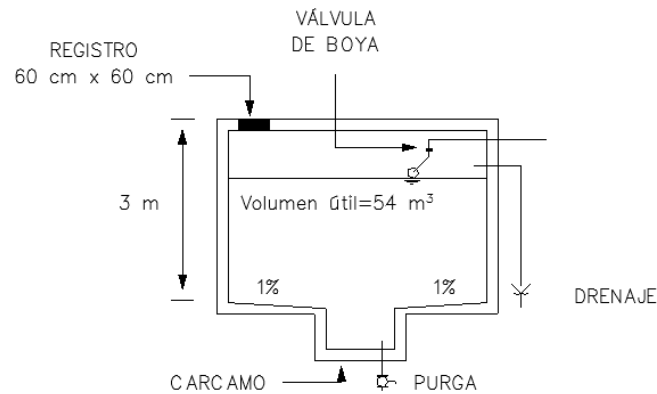


Figura 4.3: Diagrama de tanque elevado. (Elaboración propia).

Donde
M: Medidor
VB: Válvula de bola

Tubería de aducción

La tubería que alimenta el primer tanque (tanque enterrado), debe cumplir con los criterios que dicta el CIHSE (sección 3.1.6 y cuadro 3.3). La ecuación 4.3 permite corroborar que la velocidad de flujo cumple con lo dicho en los puntos anteriores:

$$V = \frac{Q \cdot 4}{\pi \cdot D^2} \quad (4.3)$$

Donde

V: Velocidad (m/s)

D: Diámetro interno de tubería (m)

Q: Caudal (m³/s)

El procedimiento para determinar el caudal es el siguiente:

- Determinar el volumen del tanque enterrado (V_t).
- Establecer el tiempo de llenado (t) (no mayor a 12 horas)
- Calcular mediante lo siguiente: $Q = V_t/t$

El cuadro 4.4 muestra los resultados del procedimiento anterior:

Cuadro 4.4: Cálculo de tubería de aducción. (Elaboración propia)

Volumen de tanque (m^3)	Tiempo de llenado (s)	Caudal (m^3/s)	Diámetro de tubería de aducción (mm)	Velocidad del fluido (m/s)
81	43 200	0,001 875	38	1,65

4.1.2. Cálculo del sistema de bombeo

Antes de desarrollar la selección de la bomba se debe establecer los siguientes aspectos:

Tubería de aducción a tanque elevado

Para determinar el diámetro de la tubería de aducción al tanque elevado se debe tener claro el caudal requerido por trasegar. Éste se determina según los siguiente pasos:

- Volumen considerado será el de dotación diaria y no el volumen del tanque elevado.
- El tiempo de llenado no será mayor a 4 horas (CISHE, 2017).
- Calcular mediante lo siguiente: $Q = V_t/t$

La ecuación que dimensiona el diámetro de aducción al tanque elevado es equivalente a la ecuación 4.3. El cuadro 4.5 muestra los resultados:

Cuadro 4.5: Cálculo de diámetro de tubería de impulsión. (Elaboración propia)

Dotación diaria (m ³)	Tiempo de llenado (s)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad de fluido (m/s)	Diámetro de tubería comercial (mm)
108	14 400	0,0075	1,7	75

Tubería de succión

La ecuación que dimensiona el diámetro de succión es equivalente a la ecuación 4.3, el cuadro 4.6 muestra los resultados:

Cuadro 4.6: Cálculo del diámetro de succión (Elaboración propia).

Caudal (m ³ /s)	Velocidad del fluido (m/s)	Diámetro comercial de tubería (mm)
0,0075	0,95	100

La Figura 4.4 muestra un diagrama general del sistema de tuberías presente en el sistema de bombeo:

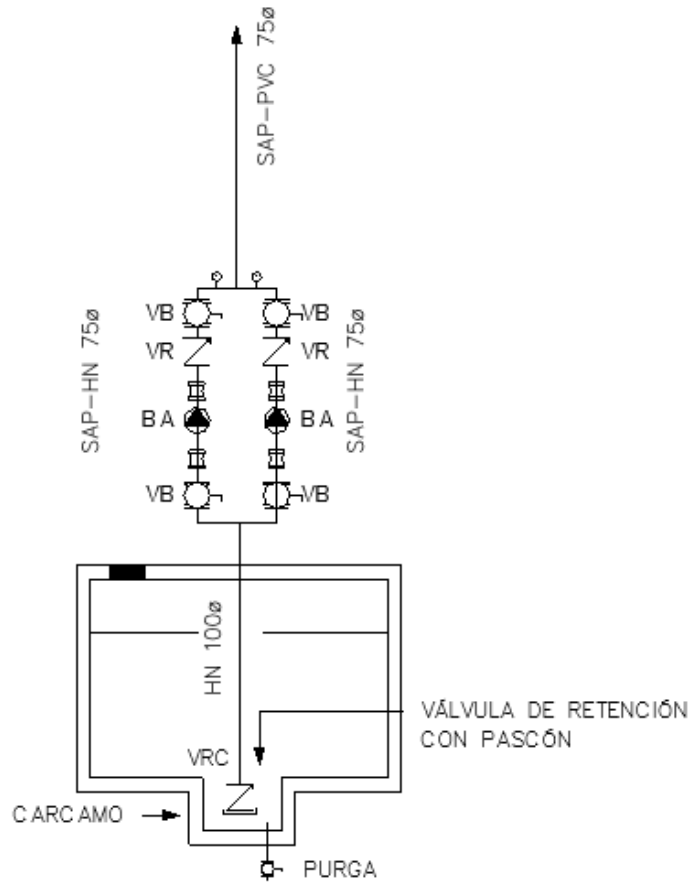


Figura 4.4: Diagrama del sistema de tuberías del sistema de bombeo. (Elaboración propia).

Donde

VR: Válvula de retención

VB: Válvula de bola

BA: Bomba centrífuga

Altura dinámica total

Considerando la ecuación 3.2, se menciona que las componentes por diferencia de presiones y de velocidades en los tanque resultan cero, ya que los tanque se encuentran a presión atmosférica y velocidades muy semejantes. Esto simplifica la ecuación 3.2 a la ecuación 4.4:

$$h_A = (z_2 - z_1) + h_f + h_{Acc} \quad (4.4)$$

No obstante se deben determinar los siguientes parámetros importantes:

- Número de Reynolds

De la ecuación 3.4, considerando una viscosidad cinemática de $1,011 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (Zuñiga, 2018), velocidad del agua de $1,7 \text{ m/s}$ y diámetro de 75 mm :

$$Re = \frac{1,7 \cdot 0,075}{1,011 \times 10^{-4}} = 1261 \quad (4.5)$$

- Factor de fricción

Dado que el flujo del agua es laminar:

$$f = \frac{64}{1261} = 0,05 \quad (4.6)$$

- Pérdidas por longitud de tubería

De la ecuación 3.3, considerando una longitud de tubería aproximada de 240 m , y una aceleración gravitacional de $9,81 \text{ m/s}^2$, resulta en mca:

$$h_f = \frac{0,05 \cdot 240}{0,075} \frac{1,7^2}{2 \cdot 9,81} = 23,57 \quad (4.7)$$

- Pérdidas por accesorios

El cuadro 4.7 muestra el registro de accesorios en la tubería:

Cuadro 4.7: Cálculo del coeficiente de pérdida por longitud de tubería. (Elaboración propia)

Cantidad	Accesorio	Coefficiente (Ko)	Valor total por accesorios
6	Codo roscado 90	0,79	4,74
4	Codo roscado 45	0,29	1,16
1	Válvula de pie con colador 100 mm	1,39	1,39
1	Válvula de retorno roscada 100 mm	2,59	2,59
1	Válvula de retorno roscada 75 mm	2,98	2,98
1	Válvula de corte 100 mm	0,08	0,08
2	Válvula de corte 75 mm	0,1	0,2
8	Acoples o uniones	0,04	0,32
Total (K)			13,46

Usando la ecuación 3.7 se determina en mca, la pérdida por accesorios en la tubería:

$$h_f = \frac{13,46}{0,075} \frac{1,7^2}{2 \cdot 9,81} = 26,43 \quad (4.8)$$

Por tanto el resultado de las pérdidas de carga es:

Cuadro 4.8: Cálculo de las pérdidas de carga. (Elaboración propia)

Pérdidas de carga	kPa
Pérdida por longitud de tubería	231
Pérdida por accesorios	259
Diferencia de altura	216
Total	706

Altura Neta Positiva de Aspiración; NPSHa

Mediante la ecuación 3.9 se obtiene el NPSH admisible del sistema, para ello es necesario determinar todas la variantes que participan en la ecuación.

- Presión atmosférica

La presión atmosférica en Alajuelita es de 101,7 kPa. (worldmeteo.info, 2020)

- Presión de vapor del agua

La presión de vapor del agua para una temperatura de 23 °C es de 2,8 kPa (Sienko, 2010).

- Pérdidas por fricción en la succión

Para determinar las pérdidas por fricción en mca según la longitud de tubería en la succión, se desarrolla la ecuación 3.3, considerando una longitud de tubería de 5 m.

$$h_f = \frac{0,05 \cdot 5}{0,1} \frac{0,95^2}{2 \cdot 9,81} = 0,115 \quad (4.9)$$

Para determinar las pérdidas por fricción según los accesorios presentes en la succión se desarrolla la ecuación 3.7, considerando las siguientes caídas por accesorios:

Cuadro 4.9: Coeficientes de fricción por accesorios en la succión. (Elaboración propia).

Cantidad	Accesorio	Coefficiente (K _o)	Valor total por accesorio
1	Válvula de pie con colador 100 mm	1,39	1,39
1	Válvula de corte 100 mm	0,08	0,08
2	Codo 90 radio estándar 100 mm	0,66	1,32
2	Acoples y uniones	0,04	0,08
Total			2,87

$$h_{ACC} = \frac{2,87}{0,1} \frac{0,95^2}{2 \cdot 9,81} = 1,32 \quad (4.10)$$

Por tanto el total de pérdidas en kPa por fricción en la succión es de:

$$h_f = 1,1 + 13 = 14,1 \quad (4.11)$$

- Diferencia de altura

La diferencia de altura se considera desde la toma de succión hasta el ojo de succión de la bomba. Dada la configuración del sistema la altura resultante es de aproximadamente 4 m.

Finalmente se determina en kPa el NPSH admisible del sistema de bombeo según la ecuación 3.9:

$$NPSH_a = 101,7 - 2,8 - 14,1 - 39,2 = 45,6 \quad (4.12)$$

Selección de la bomba centrífuga

Para seleccionar la bomba centrífuga se hace uso de la herramienta en Línea del Fabricante de bombas Grundfos. Allí se indica el caudal, el TDH y la aplicación correspondiente.

La aplicación del presente trabajo resulta ser de suministro de agua subterránea, con una configuración tipo N+1.

A continuación se muestra el cuadro 4.1 y la Figura 4.5 con los datos más importantes de la bomba seleccionada.

Cuadro 4.10: Características importantes de la bomba seleccionada. (Grundfos.com)

Fabricante	Grundfos
Modelo	CRE 20-6A-F-A-E-HQQE
Velocidad del impulsor	3529 rpm
Caudal de operación	7,5 L/s
Altura de la bomba	72 mca
Altura máxima	128 mca
Etapas	6
Orientación de bomba	vertical
Eficiencia	91 %
Características eléctricas	480 V/3 fases/60 Hz
NPSHr	45,6 kPa
Potencia	7 685 kW

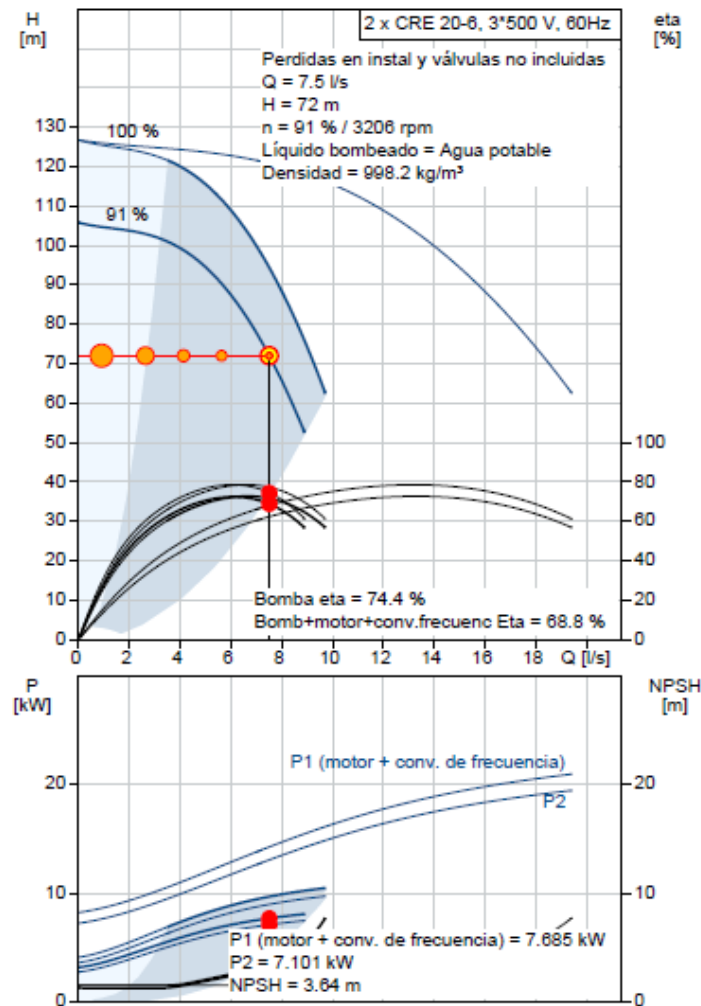


Figura 4.5: Curvas de la bomba. (Grundfos.com).

4.1.3. Cálculo del caudal de diseño

La Escuela de Ingeniería en Construcción del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) realizó una evaluación de los métodos para el cálculo de caudales máximos probables instantáneos en edificaciones. Donde se realizó una comparación del consumo reportado para los aparatos sanitarios en los modelos teóricos versus aforos medidos en ciertas edificaciones. Allí se obtuvo que el método Hunter Colombiano generó los valores más cercanos a los valores aforados con porcentajes de error del 6,9 % para un Centro educativo. (Zamora, 2013).

Por lo tanto para el cálculo del caudal de diseño en la Institución CEDES Don Bosco, se desarrollará dicho método (Método Hunter Colombiano) ya que comparte la misma categoría de ocupación.

Dado que la base del diseño del presente trabajo resulta en un reuso del agua pluvial

(No potable), se dividirá el conteo de unidades accesorios según el tipo de alimentación requerida (Potable-No potable) con el fin de generar una tubería en paralelo hacia las funciones no potables.

La asignación del tipo de alimentación (potable o no potable) a las piezas sanitarias, se realizará bajo el criterio de no alimentar con agua no potable a las piezas sanitarias que intervengan un contacto con las manos o ingesta.

Primeramente se toma el registro de piezas sanitarias del cuadro 2.1 y el valor correspondiente de unidades accesorio por pieza sanitaria, la cual se muestra en el cuadro 4.11:

Cuadro 4.11: Unidades accesorios según la pieza sanitaria (IPC, 2018)

Pieza sanitaria	u.a
Inodoro Fluxómetro	10
Lavatorio	2
Ducha	4
Orinal	5
Fregadero	4
Pileta	3
Fuentes de agua	0,25
Llave de riego	2

El resultado de la sumatorio de unidades accesorios por edificio, según la cantidad y tipo de piezas sanitarias presentes se muestra en el cuadro 4.12:

Cuadro 4.12: Total de unidades accesorios por edificio. (Elaboración propia).

Edificio	U.A Potable	U.A No Potable
Electrónica	35	90
Informática	23	90
Diseño gráfico	21	100
Mecánica de precisión	25	80
Electromecánica	35	90
Dibujo arquitectónico	31	110
Soda#1	21	20
Comedor	18	25
Taller/SUM	31	40
Centro de formación	34,5	90
Caseta de seguridad 2	6	35
Aulas colegio A	47,5	140
Aulas colegio B	25,5	130
Fotocopiadora/Librería	2	10
Administración	55,25	170
Camerinos	24	20
Pasitos pequeños	31	100
Gimnasio	98	290
Aulas escuelas	80,5	340
Iglesia	10,25	20
Oratorio	36,25	130
Caseta de seguridad 1	2	10
Total	693	2.130

Seguidamente, se determina el caudal de diseño máximo probable que requiere el sistema potable y el no potable de cada edificación mediante el cuadro 3.6. El resultado obtenido se muestra en el cuadro 4.13:

Cuadro 4.13: Caudal de diseño para cada edificio (Elaboración propia).

Edificio	Caudal Potable	Caudal no potable
	(L/s)	(L/s)
Electrónica	0,45	2,09
Informática	0,34	2,09
Diseño gráfico	0,33	2,13
Mecánica de precisión	0,36	2,02
Electromecánica	0,45	2,09
Dibujo arquitectónico	0,41	2,21
Soda#1	0,33	1,24
Comedor	0,30	1,36
Taller/SUM	0,41	1,66
Centro de formación	0,45	2,09
Caseta de seguridad 2	0,18	1,55
Aulas colegio A	0,55	2,35
Aulas colegio B	0,37	2,30
Fotocopiadora/Librería	0,14	0,96
Administración	0,62	2,57
Camerinos	0,36	1,24
Pasitos pequeños	0,41	2,13
Gimnasio	0,89	3,28
Aulas escuelas	0,78	3,55
Iglesia	0,23	1,24
Oratorio	0,46	2,30
Caseta de seguridad 1	0,14	0,96
Total	2,93	12,30

Finalmente, se dimensiona el diámetro de tubería que tendrá las previstas de cada edificio para alimentar funciones potables y no potables, tomando en cuenta las presiones máximas y mínimas, así como velocidades máximas y mínimas para una red de distribución de agua. Para esto se utiliza la Figura 5.5 mostrada en Anexos tomado del IPC.

El método para dimensionar un diámetro de tubería a partir de un valor de caudal requerido según el procedimiento mostrado en el IPC, consiste en determinar un valor de diámetro de tubería tal que cumpla con el caudal requerido, una velocidad entre la mínima y máxima permitida y una caída de presión por longitud de tubería específica (ésta según ASHRAE no debería ser mayor a 490 Pa por metro de tubería.

Con ello el diámetro para cada prevista se muestra en el cuadro 4.14:

Cuadro 4.14: Diámetro de la tubería principal como prevista de agua potable y no potable (Elaboración propia).

Edificio	Caudal Potable		Diámetro potable	Caudal no potable		Diámetro no potable
	(L/s)	gpm	mm	(L/s)	gpm	mm
Electrónica	0,45	7,13	18	2,09	33,13	50
Informática	0,34	5,39	18	2,09	33,13	50
Diseño gráfico	0,33	5,23	18	2,13	33,76	50
Mecánica de precisión	0,36	5,71	18	2,02	32,02	38
Electromecánica	0,45	7,13	18	2,09	33,13	50
Dibujo arquitectónico	0,41	6,50	18	2,21	35,03	50
Soda#1	0,33	5,23	18	1,24	19,65	32
Comedor	0,30	4,76	18	1,36	21,56	32
Taller/SUM	0,41	6,50	18	1,66	26,31	38
Centro de formación	0,45	7,13	18	2,09	33,13	50
Caseta de seguridad 2	0,18	2,85	12	1,55	24,57	38
Aulas colegio A	0,55	8,72	25	2,35	37,25	50
Aulas colegio B	0,37	5,86	18	2,30	36,46	50
Fotocopiadora/Librería	0,14	2,22	12	0,96	15,22	32
Administración	0,62	9,83	25	2,57	40,74	50
Camerinos	0,36	5,71	25	1,24	19,65	32
Pasitos pequeños	0,41	6,50	18	2,13	33,76	50
Gimnasio	0,89	14,11	32	3,28	51,99	50
Aulas escuelas	0,78	12,36	25	3,55	56,27	50
Iglesia	0,23	3,65	18	1,24	19,65	32
Oratorio	0,46	7,29	18	2,30	36,46	50
Caseta de seguridad 1	0,14	2,22	12	0,96	15,22	32
Total	2,93	46,44	50	12,30	194,96	100

4.2. Diseño y cálculo del sistema de almacenaje y uso de agua pluvial

4.2.1. Configuración del sistema

El sistema de reuso de agua pluvial tendrá una configuración equivalente al sistema potable, con el fin de desarrollar un sistema en paralelo de alimentación a cada edificación.

El agua de lluvia tomada de los techos será conducida por gravedad hacia tanques de captación. De allí el agua pluvial será bombeada hacia un tanque elevado que distribuirá por gravedad el agua a cada edificación en paralelo con la red potable.

4.2.2. Determinación de la demanda

La demanda de agua pluvial para inodoros y orinales se determina considerando la figura 3.3 juntamente con la dotación diaria de agua potable para la institución de 108

000 litros diarios, calculada en la sección anterior. Aplicando el porcentaje a la dotación diaria se obtienen los resultados presentados en el cuadro 4.15:

Cuadro 4.15: Demanda de agua pluvial para funciones sanitarias. (Elaboración propia)

Dotación diaria (m ³)	108
Porcentaje estimado de funciones sanitarias	46,6 %
Demanda de agua pluvial (m ³)	50,5

4.2.3. Determinación de la precipitación pluvial neta

La precipitación neta o efectiva se calcula según la ecuación 3.10, la precipitación anual promedio de la localidad de Alajuelita se muestra en la figura 2.1. La eficiencia de captación será del 90 % y el coeficiente de escorrentía, será de 0,9. Con estos valores se obtiene lo siguiente:

Cuadro 4.16: Cálculo de la precipitación neta (Elaboración propia).

Mes	Precipitación de lluvia mensual promedio (mm)	Precipitación de lluvia mensual efectiva (mm)
Enero	27,5	22,28
Febrero	20	16,20
Marzo	21	17,01
Abril	56	45,36
Mayo	116,5	94,37
Junio	138	111,78
Julio	123,5	100,04
Agosto	135	109,35
Septiembre	157,5	127,58
Octubre	155	125,55
Noviembre	111	89,91
Diciembre	57,5	46,58

4.2.4. Área tributaria

El área tributaria por cada edificación se muestra en el cuadro 4.17:

Cuadro 4.17: Área tributaria de cada edificio. (Elaboración propia).

Edificio	Área (m²)
Electrónica	596
Informática	597
Diseño gráfico	841
Mecánica de precisión	855
Electromecánica	593
Dibujo arquitectónico	590
Soda#1	158
Comedor	485
Taller/SUM	305
Centro de formación	674
Caseta de seguridad 2	58
Aulas colegio A	1 071
Aulas colegio B	1 000
Fotocopiadora/Librería	111
Administración	879
Camerinos	59
Pasitos pequeños	686
Gimnasio	2 581
Aulas escuelas	1 298
Iglesia	1 230
Oratorio	1 557
Caseta de seguridad 1	86

4.2.5. Determinación del Volumen de captación

La capacidad útil de agua pluvial captada en los techos de las edificaciones, se determina aplicando la precipitación neta al área tributaria. Los cuadros 4.18, 4.19 y 4.20 muestran el resultado:

Cuadro 4.18: Volumen de agua pluvial captado en techo diariamente (Elaboración propia).

Mes	Volumen de agua en el techo diarios (m ³ /día)					
	Electrónica	Informática	Diseño gráfico	Mecánica de precisión	Electro-mecánica	Dibujo arquitectónico
Enero	0,44	0,44	0,62	0,63	0,44	0,44
Febrero	0,32	0,32	0,45	0,46	0,32	0,32
Marzo	0,34	0,34	0,48	0,48	0,34	0,33
Abril	0,90	0,90	1,27	1,29	0,90	0,89
Mayo	1,87	1,88	2,65	2,69	1,87	1,86
Junio	2,22	2,23	3,13	3,18	2,21	2,20
Julio	1,99	1,99	2,81	2,85	1,98	1,97
Agosto	2,17	2,18	3,07	3,12	2,16	2,15
Septiembre	2,53	2,54	3,58	3,63	2,52	2,51
Octubre	2,49	2,50	3,52	3,58	2,48	2,47
Noviembre	1,79	1,79	2,52	2,56	1,78	1,77
Diciembre	0,92	0,93	1,31	1,33	0,92	0,92

Cuadro 4.19: Volumen de agua pluvial captado en techo diariamente (Elaboración propia). (Continuación)

Mes	Volumen de agua en el techo diarios (m ³ /día)							
	Soda#1	Comedor	Taller de Mantenimiento	Centro de formación	Soda#2	Aulas colegio A	Aulas colegio B	Fotocopiadora/Librería
Enero	0,12	0,36	0,23	0,50	0,04	0,80	0,74	0,08
Febrero	0,09	0,26	0,16	0,36	0,03	0,58	0,54	0,06
Marzo	0,09	0,28	0,17	0,38	0,03	0,61	0,57	0,06
Abril	0,24	0,73	0,46	1,02	0,09	1,62	1,51	0,17
Mayo	0,50	1,53	0,96	2,12	0,18	3,37	3,15	0,35
Junio	0,59	1,81	1,14	2,51	0,22	3,99	3,73	0,41
Julio	0,53	1,62	1,02	2,25	0,19	3,57	3,34	0,37
Agosto	0,57	1,77	1,11	2,46	0,21	3,90	3,65	0,40
Septiembre	0,67	2,06	1,30	2,87	0,25	4,55	4,25	0,47
Octubre	0,66	2,03	1,27	2,82	0,24	4,48	4,19	0,46
Noviembre	0,47	1,45	0,91	2,02	0,17	3,21	3,00	0,33
Diciembre	0,24	0,75	0,47	1,05	0,09	1,66	1,55	0,17

Cuadro 4.20: Volumen de agua pluvial captado en techo diariamente (Elaboración propia).

Mes	Volumen de agua en el techo diarios (m ³ /día)							
	Administración	Camerinos	Pasitos pequeños	Gimnasio	Aulas escuelas	Iglesia	Oratorio	Caseta de seguridad
Enero	0,65	0,04	0,51	1,92	0,96	0,91	1,16	0,06
Febrero	0,47	0,03	0,37	1,39	0,70	0,66	0,84	0,05
Marzo	0,50	0,03	0,39	1,46	0,74	0,70	0,88	0,05
Abril	1,33	0,09	1,04	3,90	1,96	1,86	2,35	0,13
Mayo	2,77	0,18	2,16	8,12	4,08	3,87	4,90	0,27
Junio	3,28	0,22	2,56	9,62	4,83	4,58	5,80	0,32
Julio	2,93	0,20	2,29	8,61	4,33	4,10	5,19	0,29
Agosto	3,20	0,21	2,50	9,41	4,73	4,48	5,67	0,31
Septiembre	3,74	0,25	2,92	10,98	5,52	5,23	6,62	0,37
Octubre	3,68	0,25	2,87	10,80	5,43	5,15	6,52	0,36
Noviembre	2,63	0,18	2,06	7,74	3,89	3,69	4,67	0,26
Diciembre	1,36	0,09	1,06	4,01	2,01	1,91	2,42	0,13

Por lo tanto, el total de agua pluvial captada mediante el área tributaria (techos) por día en cada mes del año en toda la institución se muestra en el cuadro 4.21:

Cuadro 4.21: Volumen total de agua pluvial captada en toda la institución (m³/día) (Elaboración propia)

Mes	Total de agua captada en el día para toda la institución (m ³ /día)
Enero	12,11
Febrero	8,81
Marzo	9,25
Abril	24,66
Mayo	51,30
Junio	60,77
Julio	54,39
Agosto	59,45
Septiembre	69,36
Octubre	68,26
Noviembre	48,88
Diciembre	25,32

4.2.6. Determinación del volumen de almacenamiento del tanque elevado del sistema de reuso de agua pluvial

En el cuadro 4.15 se muestra la demanda estimada de agua pluvial para funciones sanitarias en la institución la cual es de aproximadamente 50,5 m³. Esta capacidad es posible captarlo para los meses de Mayo a Noviembre según se muestra en el cuadro 4.21. Para los demás meses se debe de determinar el volumen de agua que deberá suplir el sistema de agua potable al tanque elevado del sistema no potable para tener así un

sistema de agua no potable autónomo.

Por lo tanto el cuadro 4.22 muestra el volumen de reposición de agua potable, con el fin de que el sistema de agua filtrada siempre cuente con la dotación diaria requerida.

Cuadro 4.22: Volumen total de agua potable de reposición al cisterna elevado ($\text{m}^3/\text{día}$) (Elaboración propia)

Mes	Volumen de agua de reposición para el sistema no potable ($\text{m}^3/\text{día}$)
Enero	38,39
Febrero	41,69
Marzo	41,25
Abril	25,84
Mayo	0
Junio	0
Julio	0
Agosto	0
Septiembre	0
Octubre	0
Noviembre	1,62
Diciembre	25,18

Por lo tanto se establece utilizar un tanque elevado para el sistema de reuso de agua pluvial con una capacidad de aproximadamente 50 m^3 , el cual, con ayuda de un volumen de reposición para los meses secos, pueda suministrar sin problemas la dotación diaria de agua de reuso para todos los meses del año.

Los pasos para definir las dimensiones del tanque pluvial elevado se determinan de forma similar a las definidas en el sistema potable.

Primeramente se establece el tipo de tanque por utilizar y los componentes importantes para el correcto funcionamiento. En este caso se contará con un tanque de geomembrana de PVC, con forma circular y apoyado sobre el terreno (no enterrado). La Figura 4.6 muestra un esquema del mismo:

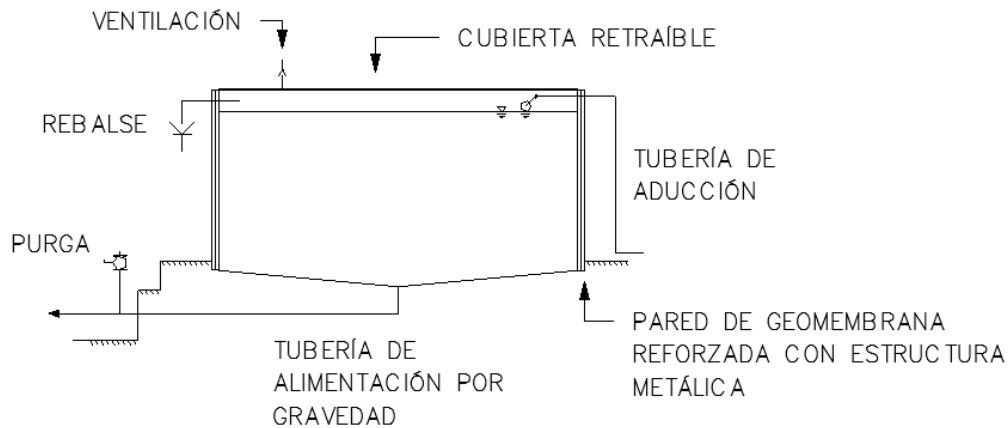


Figura 4.6: Esquema del tanque elevado del sistema de reuso de agua pluvial. (Elaboración propia).

Para determinar las dimensiones del tanque elevado se debe ajustar a las características nominales que ofrece los distintos fabricantes. Por lo tanto se tomará como referencia los productos ofrecidos por la marca "Soluciones ambientales integrales S.A (www.geosai.com) (Soluciones ambientales integrales S.A, 2017) . Las características de estos tanques son las siguientes:

- Geomembrana de Alta densidad con 1mm de espesor, color negro, garantía de vida útil expuesta a los rayos solares de un mínimo de 10 años.
- Estructura metálica en electro malla de cal. 66 / 44 (con aplicación de primer y pintura alquidálica).
- Poste de 11/2 cal 20 galvanizado.
- Cincho de cable acerado y galvanizado de 1/8 ó 1/4, construcción 7 x 7, dependiendo el diámetro del estanque.
- Sujeto con pernos de 1/8 ó 1/4.
- Los datos geométricos se muestran en el cuadro 4.23:

Cuadro 4.23: Características del tanque de geomembrana circular.(Soluciones ambientales integrales S.A, 2017)

Características de tanques circulares					
Diámetro	Altura	Volumen máximo	Volumen Real	Área	Diámetro de tubería de drenaje
m	m	m ³	m ³	m ²	mm
1,5	0,9	1,59	1,33	1,77	50
2,5	0,9	4,4	3,68	4,9	50
3	1,05	7,42	6,36	7,07	50
3	1,2	8,48	7,42	7,1	50
4	1,2	15,08	13,19	12,56	100
5	1,2	23,56	20,52	19,64	100
6	1,2	33,93	29,69	28,28	150
7	1,2	46,18	40,41	38,48	150
8	1,2	60,32	52,78	50,26	150
9	1,2	76,34	66,8	63,61	150
10	1,2	94,25	82,47	78,54	150
12	1,2	135,71	118,75	113,09	150
16	1,2	241,27	211,12	201,06	150
20	1,2	376,99	329,87	314,16	150

Por lo tanto, dado que el volumen requerido de almacenamiento de agua de reuso es de 50,5 m³, el tanque seleccionado será el de un diámetro de 8 m con una altura de 1,2 m, el cual puede albergar como máximo un volumen de 52,78 m³.

4.2.7. Dimensionamiento de bajantes para cada edificación

Para determinar el diámetro de cada bajante según el área tributaria de cada edificación, se debe tomar en cuenta el cuadro 3.9. El caudal de diseño de cada área tributaria se determina según la ecuación 3.11. Para ello se debe establecer los parámetros a utilizar.

La intensidad de lluvia se determinará tomando la recomendaciones del CIHSE, haciendo uso del cuadro 3.7. Primero se verifica la región climática, que según el caso aplicaría el Valle Central. Seguidamente el periodo de retorno y el tiempo de concentración, según las recomendación del CIHSE, se tomará de 10 años y 5 minutos respectivamente. Por lo tanto la intensidad de lluvia considerado será de 265 mm/h.

El área tributaria presente en cada edificación (cuadro 4.17) se dividirá en cuatro por la premisa de existir techos a dos aguas, considerando 2 bajantes a cada lado. Además el coeficientes de Manning ya se consideró anteriormente, donde según el tipo de techo (lámina de hierro galvanizado) es de 0,9.

El cuadro 4.24 muestra el diámetro nominal de cada bajante por edificación:

Cuadro 4.24: Cálculo del diámetro de bajantes por edificación. (Elaboración propia).

Edificaciones	Área tributaria	Caudal de diseño		Diámetro requerido
	m ²	m ³ /s	L/s	mm
Electrónica	149	0,0099	9,87	150
Informática	149	0,0099	9,89	150
Diseño gráfico	210	0,0139	13,93	150
Mecánica de precisión	214	0,0142	14,16	200
Electromecánica	148	0,0098	9,83	150
Dibujo arquitectónico	148	0,0098	9,77	150
Soda#1	39	0,0026	2,61	100
Comedor	121	0,0080	8,03	150
Taller/SUM	76	0,0050	5,05	100
Centro de formación	168	0,0112	11,16	150
Soda#2	15	0,0010	0,96	75
Aulas colegio A	268	0,0177	17,74	200
Aulas colegio B	250	0,0166	16,57	200
Fotocopiadora	28	0,0018	1,83	75
Administración	220	0,0146	14,56	200
Camerinos	15	0,0010	0,97	75
Pasitos pequeños	171	0,0114	11,36	150
Gimnasio	645	0,0428	42,75	N/A
Aulas escuelas	324	0,0215	21,49	200
Administración escuela	308	0,0204	20,38	200
Recinto devocional	389	0,0258	25,79	200
Soda #3	22	0,0014	1,43	75

4.2.8. Dimensionamiento de colectores horizontales para cada edificación

Para determinar la estimación del cálculo del diámetro de los colectores horizontales que realizan el desagüe de los bajantes pluviales se debe establecer un valor de diámetro interno de tubería de carácter preliminar o iterativo con el fin de calcular un caudal de diseño mediante la ecuación 3.12. Con el fin de verificar el cumplimiento de una velocidad de flujo uniforme entre 0,6 m/s y 2,5 m/s, juntamente con una descarga que llene como máximo 3/4 partes de la altura del colector, en régimen de flujo uniforme.

La pendiente mínima considerada será de 1,5 %, según el cuadro 3.12. También se considera un coeficiente de rugosidad de Manning (cuadro 3.11), según el material por utilizar el cual es tubería de PVC y lo más rugoso posible; 0,012.

Ahora, se empieza iterando con el valor del diámetro determinado anteriormente para el bajante de cada edificación y con ello se calcula el radio hidráulico y el área mojada según el cuadro 3.10, ya que se establece que los conductos por utilizar serán circulares.

Seguidamente se calcula el caudal de diseño según la ecuación 3.12 y con ello se determina la velocidad de flujo según la ecuación 4.13:

$$V = Q/A_u \tag{4.13}$$

Donde

V: Velocidad de flujo (m/s)

A_M : Área mojada (m²)

Q: Caudal de diseño (m³/s)

Finalmente el procedimiento termina verificando que el caudal de diseño calculado con las condiciones respectivas logra cumplir con el área tributaria a la cual está sirviendo. Este procedimiento se realiza con la ecuación 3.12.

El cuadro 4.25 muestra el tamaño del colector pluvial resultante capaz de realizar el drenaje de toda el área tributaria por edificación:

Cuadro 4.25: Cálculo del diámetro de colector pluvial general por edificación (Elaboración propia).

Edificaciones	Diámetro requerido	Radio hidráulico	Área mojada	Caudal de diseño	Velocidad de flujo	Área de techo cubierta
	mm	m	m ²	L/s	m/s	m ²
Electrónica	200	0,0603	0,0253	39,68	1,57	599
Informática	200	0,0603	0,0253	39,68	1,57	599
Diseño gráfico	250	0,0754	0,0395	71,95	1,82	1086
Mecánica de precisión	250	0,0754	0,0390	71,95	1,82	1086
Electromecánica	200	0,0603	0,0253	39,68	1,57	599
Dibujo arquitectónico	200	0,0603	0,0250	39,68	1,57	599
Soda#1	150	0,0453	0,0142	18,43	1,30	278
Comedor	200	0,0603	0,0253	39,68	1,57	599
Taller/SUM	200	0,0603	0,0253	39,68	1,57	599
Centro de formación	250	0,0754	0,0395	71,95	1,82	1086
Soda#2	100	0,0302	0,0063	6,25	0,99	94
Aulas colegio A	250	0,0754	0,0395	71,95	1,82	1086
Aulas colegio B	250	0,0754	0,0395	71,95	1,82	1086
Fotocopiadora	150	0,0453	0,0142	18,43	1,30	278
Administración	250	0,0754	0,0395	71,95	1,82	1086
Camerinos	100	0,0302	0,0063	6,25	0,99	94
Pasitos pequeños	250	0,0754	0,0395	71,95	1,82	1086
Gimnasio	350	0,1056	0,0774	176,48	2,28	2664
Aulas escuelas	300	0,0905	0,0569	117	2,06	1766
Administración escuela	300	0,0905	0,0569	117	2,06	1766
Recinto devocional	300	0,0905	0,0569	117	2,06	1766
Soda #3	100	0,0302	0,0063	6,25	0,99	94

4.2.9. Cálculo del sistema de bombeo

Aspectos generales

La configuración de diseño del sistema de reuso de agua pluvial consiste en la incorporación de un red de recolección de agua pluvial directamente del área tributaria (techos), exceptuando cualquier otra fuente de agua no potable, que por medio de dispositivos de filtrado llegan hasta 3 tanques enterrados (dimensionados anteriormente).

De allí se bombea el agua por medio una bomba centrífuga (una cada tanque) hasta un único tanque elevado (dimensionado anteriormente). Finalmente el agua es distribuida por gravedad por medio de un sistema de tuberías hasta las edificaciones correspondientes.

Dado que la presente sección es análoga a la sección 4.1.2 del sistema potable, se hará uso de las consideraciones de diseño allí mencionadas, por lo tanto el desarrollo de ésta sección sera más simplificada.

Tubería de impulsión

Primeramente se determina el tiempo de llenado al tanque elevado de 30 minutos, tomando como referencia la sección 9.4-5 del CIHSE. Luego, con el volumen de cada tanque enterrado se determina mediante la ecuación 4.3 y $Q = V_t/t$, el caudal que cada bomba deberá trasegar, juntamente con el diámetro de la tubería:

Cuadro 4.26: Cálculo de diámetro de tubería de impulsión del sistema de agua filtrada. (Elaboración propia)

Dotación diaria (m ³)	Tiempo de llenado (s)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad de fluido (m/s)	Diámetro de tubería comercial (mm)
26	3 600	0,0072	1,53	75

Tubería de succión

Según se recomienda en la sección 7.9-7 inciso d. del CIHSE, para una tubería de succión la velocidad del fluido no debe ser mayor a 1,5 m/s y su diámetro no menor a 100 mm; por lo tanto, haciendo uso de la ecuación 4.3 se tiene los resultados mostrados en el cuadro 4.27:

Cuadro 4.27: Cálculo del diámetro de succión del sistema de agua filtrada (Elaboración propia).

Caudal (m ³ /s)	Velocidad del fluido (m/s)	Diámetro comercial de tubería (mm)
0,0072	0,87	100

Altura dinámica total

Como se menciona en la sección 4.1.2, para determinar la altura dinámica total presente para cada bomba se desarrolla la siguiente ecuación:

$$h_A = (z_2 - z_1) + h_f + h_{Acc} \quad (4.14)$$

Primeramente se desarrollan la ecuación 3.4, con una velocidad general del agua de 1,53 m/s y un diámetro interno de tubería de 150 mm:

$$Re = \frac{1,53 \cdot 0,15}{1,011 \times 10^{-4}} = 2270 \quad (4.15)$$

Dado que el flujo es laminar el factor de fricción es:

$$f = \frac{64}{2270} = 0,028 \quad (4.16)$$

El cálculo de las pérdidas por longitud para cada bomba se calculará independientemente ya que las longitudes de tubería que cada bomba debe solventar son distintas entre sí.

Por tanto, de acuerdo al diseño propuesto se consideran las siguientes longitudes de tubería:

- Bomba 1: L=157 m
- Bomba 2: L=232 m
- Bomba 3: L=412 m

Dadas las longitudes anteriores y mediante la ecuación 3.3, las pérdidas por longitud de tubería para cada bomba son:

- Bomba 1: $h_f = 3,5 \text{ mca} = 34,3 \text{ kPa}$
- Bomba 2: $h_f = 5,17 \text{ mca} = 50,7 \text{ kPa}$
- Bomba 3: $h_f = 9,2 \text{ mca} = 90,2 \text{ kPa}$

De la misma forma que en el cálculo anterior, para determinar las pérdidas por accesorios se debe realizar de forma independiente para cada bomba. Los cuadros 4.28, 4.29 y 4.30 muestran el registro propuesto de accesorios:

Cuadro 4.28: Cálculo del coeficiente de pérdida por longitud de tubería de agua filtrada para la bomba 1. (Elaboración propia)

Cantidad	Accesorio	Coefficiente (Ko)	Valor total por accesorios
8	Codo roscado 90 de 150 mm	0,55	5,28
2	Codo roscado 90 de 100 mm	0,66	1,32
4	Codo roscado 45 de 150 mm	0,28	1,12
1	Válvula de pie con colador 150 mm	1,14	1,14
1	Válvula de retorno roscada 100 mm	2,59	2,59
2	Válvula de corte 150 mm	0,06	0,12
2	Válvula de corte 100 mm	0,08	0,16
10	Acoples o uniones en 150 mm	0,03	0,3
5	Acoples o uniones en 150 mm	0,03	0,15
Total (K)			12,18

Cuadro 4.29: Cálculo del coeficiente de pérdida por longitud de tubería de agua filtrada para la bomba 2. (Elaboración propia)

Cantidad	Accesorio	Coefficiente (Ko)	Valor total por accesorios
8	Codo roscado 90 de 150 mm	0,55	5,28
4	Codo roscado 90 de 100 mm	0,66	2,64
4	Codo roscado 45 de 150 mm	0,28	1,12
1	Válvula de pie con colador 150 mm	1,14	1,14
1	Válvula de retorno roscada 100 mm	2,59	2,59
2	Válvula de corte 150 mm	0,06	0,12
2	Válvula de corte 100 mm	0,08	0,16
10	Acoples o uniones en 150 mm	0,03	0,3
8	Acoples o uniones en 100 mm	0,03	0,24
Total (K)			13,59

Cuadro 4.30: Cálculo del coeficiente de pérdida por longitud de tubería de agua filtrada para la bomba 3. (Elaboración propia)

Cantidad	Accesorio	Coefficiente (Ko)	Valor total por accesorios
8	Codo roscado 90 de 150 mm	0,55	5,28
12	Codo roscado 90 de 100 mm	0,66	7,92
4	Codo roscado 45 de 150 mm	0,28	1,12
1	Válvula de pie con colador 150 mm	1,14	1,14
1	Válvula de retorno roscada 100 mm	2,59	2,59
2	Válvula de corte 150 mm	0,06	0,12
2	Válvula de corte 100 mm	0,08	0,16
10	Acoples o uniones en 150 mm	0,03	0,3
16	Acoples o uniones en 100 mm	0,03	0,48
Total (K)			19,11

Por tanto según la ecuación 3.7, las pérdidas por accesorios para cada bomba son:

- Bomba 1: $h_{acc} = 14,16 \text{ mca} = 138,8 \text{ kPa}$
- Bomba 2: $h_{acc} = 15,8 \text{ mca} = 154,8 \text{ kPa}$
- Bomba 3: $h_{acc} = 22,22 \text{ mca} = 217,8 \text{ kPa}$

Finalmente la pérdida de carga total para cada bomba se muestra en el cuadro 4.31:

Cuadro 4.31: Pérdidas de carga para cada bomba de agua filtrada. (Elaboración propia)

Bomba	Pérdidas de carga			
	Longitud de tubería (kPa)	Accesorios (kPa)	Diferencia de altura (kPa)	Total (kPa)
1	34,3	138,8	215,6	388,7
2	50,7	154,8	215,6	421,1
3	90,2	217,8	235,2	543,2

Altura Neta Positiva de Aspiración; NPSHa

Para determinar el NPSH admisible según la ecuación 3.9, se considera los parámetros mencionados en la sección 4.1.2:

- $P_{atm} = 10,35 \text{ mca} = 101,4 \text{ kPa}$
- $P_v = 0,29 \text{ mca} = 2,8 \text{ kPa}$
- $P_f = (\text{ecuación 3.3}) + (\text{ecuación 3.7})$
- $\Delta H = 4 \text{ mca} = 39,2 \text{ kPa}$

Para determinar la componente de pérdidas por fricción en mca de la succión por longitud de tubería se considerará una longitud de tubería de 4 metros.

$$h_L = \frac{0,035 \cdot 4}{0,15} \frac{0,82^2}{2 \cdot 9,81} = 0,032 \quad (4.17)$$

Para determinar la componente de pérdidas por fricción en la succión por accesorios se considerará el siguiente listado de accesorios:

Cuadro 4.32: Cálculo del coeficiente de pérdida para el cálculo del NPSHa. (Elaboración propia)

Cantidad	Accesorio	Coeficiente (K _o)	Valor total por accesorios
4	Codo roscado 90 de 150 mm	0,55	2,2
1	Válvula de pie con colador 150 mm	1,14	1,14
1	Válvula de corte 150 mm	0,06	0,06
5	Acoples o uniones en 150 mm	0,03	0,15
Total (K)			3,7

Con ello la pérdida por accesorios en mca es:

$$h_{acc} = \frac{3,7}{0,15} \frac{0,82^2}{2 \cdot 9,81} = 0,85 \quad (4.18)$$

Por tanto las pérdidas por fricción es de 8,6 kPa.

Finalmente se termina el NPSH admisible en kPa de la siguiente forma:

$$NPSHa = 101,4 - 2,8 - 8,6 - 39,2 = 50,8 \quad (4.19)$$

Selección de las bombas para agua filtrada

De igual forma que para el caso del sistema de agua potable, se hace uso de la herramienta en Línea del Fabricante de bombas Grundfos. Allí se indica el caudal, el TDH y la aplicación correspondiente. La aplicación del presente trabajo resulta ser de suministro de agua pluvial hacia tanque elevado con una configuración tipo N.

4.3. Diseño y cálculo del sistema de monitoreo y control de fugas

El presente trabajo busca desarrollar sobre la instalación de agua potable y la de agua filtrada, una Gestión de fugas. La figura 3.8 muestra las partes que conlleva un desarrollo adecuado para efectos de cumplir el menor volumen de agua desperdiciada posible por año en la institución. El cual considerará una clasificación de fugas según su caudal, realizando esfuerzos por solventar las fugas comunicadas y las no comunicadas hasta su punto más bajo en cuanto a rentabilidad económica.

Como esfuerzos por desarrollar cada parte se menciona o siguiente:

- Gestión de la infraestructura:

Se colocan válvulas reguladoras de presión en zonas específicas de la red de agua potable y filtrada.

- Gestión de la presión:

Mediante las válvulas reguladoras de presión se limita las elevadas presiones en la zona más bajas de la institución y se controla la presión a nivel general.

- Tiempo de reparación:

Se adecua un Manual de uso o manipulación de los equipos respectivos para desarrollar un mantenimiento preventivo y así evitar tiempo de reparación durante el horario de ocupación de la instalación.

- Control activo de fugas:

Se desarrolla la sectorización de las redes de distribución de agua (potable y filtrada) con el fin de desarrollar mediciones de caudal y presión en cada sección de la red según el método indirecto o volumétrico.

4.3.1. Desarrollo de la metodología AFMN

Sectorización de los sistemas hidráulicos

La Figura 4.7 muestra las secciones de las redes de distribución de agua, siguiendo las recomendaciones de la sección 3.3.4:

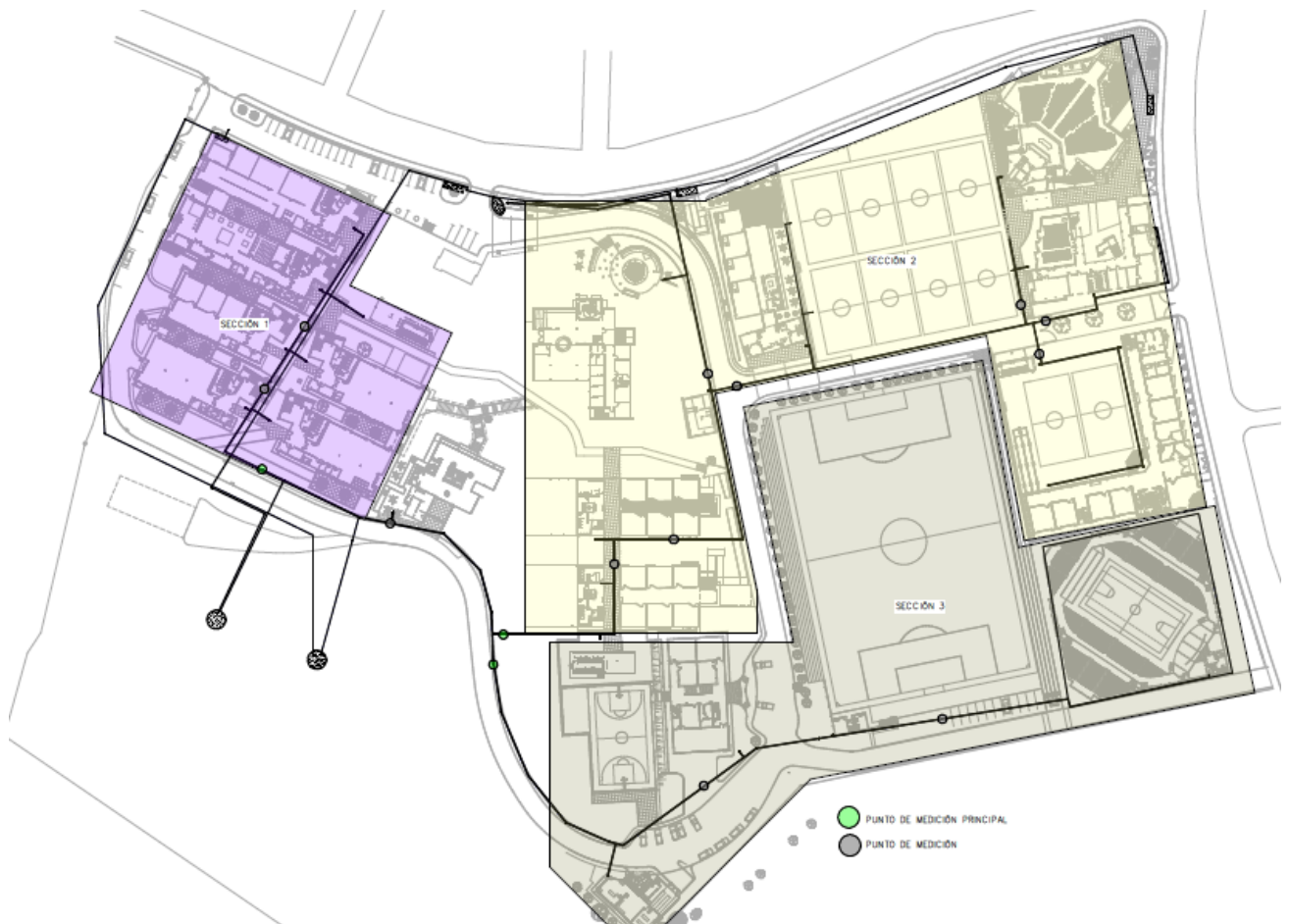


Figura 4.7: Sectorización de las redes de distribución de agua (potable y filtrada en la institución (Elaboración propia)

Medición de caudal y presión de las redes

Mediante el caudalímetro y el medidor de presión, haciendo uso del Manual de manipulación del sistema de monitoreo de fugas, presente en Anexos, se tomarán mediciones

en los puntos o nodos mostrados en la imagen anterior.

Tabulación de datos de caudal y presión

Los datos tomados se descargan de cada equipo y se tabulan según el cuadro 5.1 "Hoja de datos AFMN", mostrada en el Manual de procedimientos del sistema de monitoreo de fugas presente en Anexos.

Seguidamente se representa gráficamente el caudal y la presión en función del tiempo. El propósito de esto es de poder identificar las variaciones del caudal en ciertas horas de la madrugada, éstas indicarán existencia de fugas en la red de distribución. (Mena, 2016).

Mediante la variación de la presión durante el estudio se logra identificar la presión máxima o picos de presión que se generan cuando el caudal disminuye, o en su defecto determinar las presiones mínimas o bajas de presión que se presenten en la red de distribución cuando el caudal aumenta.

Es de gran importancia combinar en una sola gráfica el caudal y la presión, con la intención de establecer algunos parámetros importantes tales como caudales mínimos, elevación de presiones, presencia de caudales máximos, o alguna disminución excesiva de presión, al analizar todos éstos se logra identificar la existencia de posibles fugas, consumos exagerados, fallas en la infraestructura de la red, etc. (Mena, 2016).

Análisis de datos

Dentro de los datos tomados se determina el caudal mínimo como el caudal mínimo nocturno (QMN) y se manifiesta cuando la presión en la red de distribución es la máxima registrada, es decir cuando los consumos disminuyen en el sector, juntamente se identifican caudales máximos y presiones mínimas y máximas. (Mena, 2016).

En el Manual de procedimientos de sistema de monitoreo y control de fugas detalla los procedimientos necesarios para desarrollar un análisis de datos que permita identificar las fugas que deberán ser reparadas.

Evaluación y comparación de índices de pérdidas:

Mediante el uso de los índices mencionados en la sección 3.3.7, se debe establecer el estado en el que se encuentra la red en estudio y determinar qué medidas correctivas se tienen que ejecutar para mejorar el estado de la misma. (Mena, 2016).

Capítulo 5

Análisis y discusión de resultados de cada sistema mecánico

5.1. Evaluación del sistema de agua potable

El sistema potable propuesto ha sido desarrollado tomando como base el sistema potable existente, tal forma que la distribución de tuberías y la lógica de funcionamiento son similares. Con la diferencia en que éste sistema potable propuesto no alimentará inodoros ni mingitorios.

Como parte del esfuerzo por disminuir los costos de implementación del sistema potable propuesto se evaluará qué elementos existentes del sistema potable de la institución tendrán características físicas y técnicas que resulten suficientes para sustituir aquellos elementos equivalentes de sistema potable propuesto.

Por lo tanto, haciendo el contraste entre sistema potable propuesto y existente se determina que los siguientes elementos conllevan las características suficientes para remplazar a los elementos del sistema propuesto:

- Cisterna enterrado
- Cisterna elevado
- Sistema de bombeo (incluyendo tuberías, válvulas y demás accesorios de casa de maquinas).
- Tubería de impulsión a cisterna elevado.

Todos los elementos restantes del sistema potable propuesto, tales como la distribución de tuberías por gravedad hacia cada edificio, entre otros, tendrán que ser considerados en el presupuesto de la obra.

5.2. Evaluación del sistema de agua filtrada

El sistema de agua filtrada propuesto se se distribuye de forma paralela al sistema de agua potable propuesto, y cuenta con la misma lógica de funcionamiento.

De igual forma que la sección anterior, se evaluará el sistema de agua filtrada con el fin de disminuir los costos de implementación y aprovechar los elementos existentes con que cuenta la institución.

Como parte del análisis anterior, se ha identificado que el sistema de distribución de agua potable existente de la institución, el cual será remplazado por el sistema potable propuesto, cuenta con las características físicas y técnicas para sustituir a la distribución por gravedad del sistema de agua filtrada propuesto.

Por lo tanto del sistema de agua filtrada sólo se considerará en el presupuesto de la obra los siguientes elementos:

- Cisterna elevado
- Sistema de bombeo (incluyendo tuberías, válvulas y demás accesorios de casa de maquinas).
- Tubería de impulsión a cisterna elevado.

Además, como el sistema de distribución de agua potable por gravedad de la institución contiene diámetros de tubería mayores a las calculas en el diseño del sistema de agua filtrada. La implementación de válvulas reductoras de presión no serán necesarias, dado que ante un diámetro mayor la presión resulta disminuir en un sistema de distribución por gravedad.

5.3. Evaluación del sistema de agua pluvial

El sistema de agua pluvial propuesto se ha diseñado en paralelo al sistema de agua pluvial existente, no obstante sólo conllevará el agua captada de los techos de las edificaciones, no así la captada por aceras, calle y predios en general. Con el fin de disminuir la presencia de partículas de gran tamaño.

En presente diseño del sistema de agua pluvial mostrado en la sección 4.2 muestra el dimensionamiento de colectores y bajantes para cada edificación en la secciones 4.2.7 y 4.2.8, no obstante se hará uso de los existentes hasta la caja de registro o pozo pluvial correspondiente. Por lo tanto los colectores y bajantes individuales de cada edificio no se considerarán en el presupuesto de la obra.

Las cajas de registro y los pozos pluviales del sistema pluvial existentes, serán el punto de conexión del sistema pluvial existente y el propuesto mediante un Filtro tipo vortex. Donde se conectará el colector que viene del edificio al sistema propuesto.

Así, el agua desechada por el filtro tipo vortex es introducida en el sistema pluvial existente y el agua filtrada se desvía al sistema de agua pluvial propuesta hasta los tanques de captación.

5.4. Presupuesto de la obra mecánica

Como parte del análisis del presente trabajo se desarrolla un estudio económico sobre el diseño del sistema de agua potable, el sistema de agua filtrada, el sistema de agua pluvial y el sistema de monitoreo y control de fugas.

El análisis se dirige desde los costos de la inversión inicial, tomando en consideración costos directos e indirectos mencionados por reglones unitarios y totales en los siguientes cuadros.

Los costos directos (tales como materiales, mano de obra, transporte, etc), así como los costos indirectos (Gastos administrativa, utilidad, etc) fueron generados gracias al apoyo de la Compañía constructura Carlos Solano S.A, donde los precios aplican para 2019.

Por lo tanto se muestra el presupuesto por sistemas a continuación:

CAPÍTULO 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE CADA SISTEMA
5.4. PRESUPUESTO DE LA OBRA MECÁNICA **MECÁNICO**

Cuadro 5.1: Presupuesto de obra mecánica. (Elaboración propia)

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA					
FACULTAD DE INGENIERÍA					
PRESUPUESTO DE MATERIALES E INSTALACIÓN DE LOS SISTEMAS MECANICOS					
PROYECTO: Diseño de un sistema hidráulico y pluvial, con énfasis en la conservación y uso eficiente del agua					
PROPIETARIO: Cedes Don Bosco					
UBICACIÓN: Inmaculada Concepción de Alajuelita					
1	INSTALACION AGUAS PLUVIALES	CANT.	UNID.	P/UNIT. (Colones)	PRECIO TOTAL (Colones)
1.1	Tanques de concreto 26 m ³ para captación de agua filtrada	3	UNID	500 000	1 500 000
1.2	Tubo PVC SDR32,5 75mm	2	UNID	25 682	51 364
1.3	Tubos PVC SDR 32,5 100mm	13	UNID	42 229	548 977
1.4	Tubo PVC SDR32,5 150mm	2	UNID	99 672	199 344
1.5	Tubo PVC SDR32,5 200mm	67	UNID	170 244	11 406 348
1.6	Tubo PVC Rib Loc 250 mm	41	UNID	235 527	9 656 608
1.7	Tubo PVC Rib Loc 300 mm	45	UNID	308 734	13 893 034
1.8	Tubo PVC Rib Loc 350 mm	40	UNID	407 379	16 295 142
1.9	Tubo PVC Rib Loc 400 mm	35	UNID	585 304	20 485 634
1.10	Tubo PVC Rib Loc 450 mm	18	UNID	585 304	10 535 469
1.11	Tubo PVC Rib Loc 500 mm	2	UNID	678 520	1 357 040
1.12	Codos DWV PVC 45° 200mm	14	UNID	14 743	206 402
1.13	Codos DWV PVC 90° 200mm	8	UNID	18 950	151 600
1.14	Unión con rosca interior PVC 200mm	35	UNID	5 870	205 450
1.15	Unión con rosca interior PVC 150mm	4	UNID	3 778	15 112
1.16	Pegamento 1/4 Gal	6	UNID	5 000	30 000
1.17	Mecha por kilo	4	UNID	958	3 833
1.18	Filtro tipo Vortex	18	UNID	350 000	6 300 000
SUBTOTAL					92 841 357
2	INSTALACION AGUA POTABLE	CANT.	UNID.	P/UNIT. (Colones)	PRECIO TOTAL (Colones)
Casa de máquinas de agua potable					
2.1	Sistema de 2 bombas sumergible 105 psi, agua potable 60 gpm (control incluido)				
2.2	Tanque de concreto 81 m ³ para agua potable (enterrado)				
2.3	Tanque de concreto 54 m ³ para agua potable (elevado)				
2.4	Tubo cobre tipo L Mueller 100 mm				
2.5	Tubo cobre tipo L Mueller 75 mm				
2.6	Codo 90 cobre 100 mm				
2.7	Codo 90 cobre 75 mm				
2.8	Tee cobre 100 mm				
2.9	Tee cobre 75 mm				
2.10	Adaptador Macho cobre 100 mm				
2.11	Adaptador Macho cobre 75 mm				
2.12	Adaptador Hembra cobre 75 mm				
2.13	Válvula de compuerta, Bronce roscable, clase 125 100 mm				
2.14	Válvula de compuerta, Bronce roscable, clase 125 75 mm				
2.15	Válvulas de retención Bronce roscable, clase 125 75 mm				
2.16	Válvulas de retención Bronce roscable, clase 125 100 mm con pascón				
Elementos existentes satisfactorios					
Sistema de tuberías de Agua potable					
2.15	Tubo PVC SCH40 12mm	35	UNID	6 822	238 763
2.16	Tubo PVC SDR17 18mm	26	UNID	11 768	305 963
2.17	Tubo PVC SDR17 25mm	31	UNID	11 450	354 950
2.18	Tubo PVC SDR17 32mm	106	UNID	17 893	1.896.658
2.19	Tubo PVC SDR17 38mm	28	UNID	23 558	659 631
2.20	Tubo PVC SDR17 50mm	29	UNID	35 947	1 042 472
2.21	Tubo PVC SDR17 75mm	54	UNID	70 430	3 803 194
2.22	Codos 90 liso PVC 12mm	4	UNID	197	786
2.23	Codos 90 liso PVC 18mm	3	UNID	393	1 180
2.24	Codos 90 liso PVC 32mm	5	UNID	1 505	7 526
2.25	Codos 90 liso PVC 38mm	2	UNID	1 780	3 560
2.26	Codos 90 liso PVC 50mm	5	UNID	2 732	13 661
2.27	Codos 90 liso PVC 75mm	4	UNID	8 982	35 929
2.28	Codos 45 liso PVC 12mm	1	UNID	363	363
2.29	Codos 45 liso PVC 32mm	5	UNID	1 516	7 582
2.30	Codos 45 liso PVC 50mm	4	UNID	2 385	9 542
2.31	Codos 45 liso PVC 75mm	4	UNID	9 538	38 153
2.32	Tees lisa PVC 12mm	1	UNID	199	199

CAPÍTULO 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE CADA SISTEMA
5.4. PRESUPUESTO DE LA OBRA MECÁNICA MECÁNICO

Cuadro 5.2: Presupuesto de obra mecánica. Continúa (Elaboración propia)

2	INSTALACIÓN AGUA POTABLE	CANT.	UNID.	P/UNIT. (Colones)	PRECIO TOTAL (Colones)
Sistema de tuberías de agua potable (Continúa)					
2.33	Tees lisa PVC 18mm	1	UNID	424	424
2.34	Tees lisa PVC 25mm	9	UNID	1 019	9 173
2.35	Tees lisa PVC 32mm	11	UNID	1 790	19 689
2.36	Tees lisa PVC 38mm	3	UNID	2 305	6 916
2.37	Tees lisa PVC 50mm	4	UNID	3 096	12 385
2.38	Reducciones liso PVC 12-18mm	1	UNID	235	235
2.39	Reducciones liso PVC 18-25mm	8	UNID	523	4 186
2.40	Reducciones liso PVC 12-25mm	5	UNID	494	2 469
2.41	Reducciones liso PVC 25-32mm	6	UNID	888	5 329
2.42	Reducciones liso PVC 19-32mm	6	UNID	883	5 295
2.43	Reducciones liso PVC 12-32mm	1	UNID	873	873
2.44	Reducciones liso PVC 32-38mm	2	UNID	1 103	2 206
2.45	Reducciones liso PVC 25-38mm	2	UNID	1 098	2 197
2.46	Reducciones liso PVC 19-38mm	1	UNID	1 093	1 093
2.47	Reducciones liso PVC 38-50mm	1	UNID	2 077	2 077
2.48	Reducciones liso PVC 32-50mm	2	UNID	2 242	4.484
2.49	Reducciones liso PVC 18-50mm	1	UNID	2 237	2 237
2.50	Adaptador macho roscado/liso PVC 12 mm	20	UNID	163	3 254
2.51	Adaptador macho roscado/liso PVC 18 mm	30	UNID	319	9 560
2.52	Adaptador macho roscado/liso PVC 25 mm	10	UNID	619	6 192
2.53	Adaptador macho roscado/liso PVC 32 mm	8	UNID	873	6 988
2.54	Adaptador macho roscado/liso PVC 38 mm	4	UNID	1 044	4 176
2.55	Adaptador macho roscado/liso PVC 50 mm	8	UNID	1 567	12 538
2.56	Adaptador macho roscado/liso PVC 75 mm	4	UNID	5 686	22 745
2.57	Unión de tope liso PVC 12 mm	30	UNID	1 287	38 610
2.58	Unión de tope liso PVC 18 mm	22	UNID	1 614	35 508
2.59	Unión de tope liso PVC 25 mm	28	UNID	2 167	60 676
2.60	Unión de tope liso PVC 32 mm	102	UNID	4 385	447 270
2.61	Unión de tope liso PVC 38 mm	25	UNID	4 989	124 725
2.62	Unión de tope liso PVC 50 mm	24	UNID	6 481	155 544
2.63	Unión de tope liso PVC 75 mm	51	UNID	15 406	785 706
2.64	Teflón	15	UNID	195	2 925
2.65	Pegamento 1/4 GAL	4	UNID	5 000	20 000
2.66	Mecha por kilo	3	UNID	953	2 859
2.67	Válvula de bola cierre de 1/4, Nibco T-111 12 mm	10	UNID	11 085	110 850
2.68	Válvula de bola cierre de 1/4, Nibco T-111 18 mm	15	UNID	17 280	259 200
2.69	Válvula de bola cierre de 1/4, Nibco T-111 25 mm	5	UNID	24 465	122 325
2.70	Válvula de bola cierre de 1/4, Nibco T-111 32 mm	2	UNID	28 070	56 140
2.71	Válvula de bola cierre de 1/4, Nibco T-111 38 mm	1	UNID	45 550	45 550
2.72	Válvula de bola cierre de 1/4, Nibco T-111 50 mm	4	UNID	61 090	244 360
2.73	Válvula de bola cierre de 1/4, Nibco T-111 75 mm	1	UNID	91 700	91 700
2.74	Válvula reguladora de presión, 32 mm	2	UNID	54 790	109 580
2.75	Válvula reguladora de presión, 38 mm	1	UNID	62 580	62 580
2.76	Válvula de boya, Bronce roscada, 32 mm	1	UNID	38 520	38 520
2.77	Válvula de boya, Bronce roscada, 75 mm	1	UNID	111 480	111 480
SUBTOTAL					11 492 941
3	INSTALACION AGUA FILTRADA	CANT.	UNID.	P/UNIT. (Colones)	PRECIO TOTAL (Colones)
Casa de máquinas de agua filtrada					
3.1	Sistema de 1 bomba sumergible 80 psi, agua filtrada 115 gpm (control incluido)	1	UNID	1 400 000,00	1 400 000,00
3.2	Sistema de 1 bomba sumergible 60 psi, agua filtrada 115 gpm (control incluido)	2	UNID	1 200 000,00	2 400 000,00
3.3	Tanque de Geomenbrana 50 m3 para almacenamiento de agua filtrada	1	UNID	600 000,00	600 000,00
3.4	Tubo cobre tipo L Mueller 150 mm	1,5	UNID	360 680,00	541 020
3.5	Tubo cobre tipo L Mueller 100 mm	1,2	UNID	280 024,00	336 029
3.6	Codo 90 cobre 150 mm	3	UNID	30 104,00	90.312
3.7	Codo 90 cobre 100 mm	6	UNID	22 328,00	133 968
3.8	Adaptador Macho cobre 150 mm	3	UNID	37 485,00	112 455
3.9	Adaptador Macho cobre 100 mm	6	UNID	21 726,00	130 356
3.10	Válvula de compuerta, Bronce roscable, clase 125 100 mm	3	UNID	45 300,00	135 900
3.11	Válvula de compuerta, Bronce roscable, clase 125 150 mm	3	UNID	67 090,00	201 270
3.12	Válvulas de retención Bronce roscable, clase 125 100 mm	3	UNID	71 900,00	215 700
3.13	Válvulas de retención Bronce roscable con pascón, clase 125 150 mm	3	UNID	107 800,00	323 400

CAPÍTULO 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE CADA SISTEMA
5.4. PRESUPUESTO DE LA OBRA MECÁNICA **MECÁNICO**

Cuadro 5.3: Presupuesto de obra mecánica. Continúa (Elaboración propia)

3	INSTALACIÓN AGUA FILTRADA	CANT.	UNID.	P/UNIT. (Colones)	PRECIO TOTAL (Colones)	
Sistema de tuberías de Agua Filtrada						
3.14	Tubo PVC SCH40 12mm				Elementos existentes satisfactorios	
3.15	Tubo PVC SDR17 18mm					
3.16	Tubo PVC SDR17 25mm					
3.17	Tubo PVC SDR17 32mm					
3.18	Tubo PVC SDR17 38mm					
3.19	Tubo PVC SDR17 50mm					
3.20	Tubo PVC SDR17 64mm					
3.21	Tubo PVC SDR17 75mm					
3.22	Tubo PVC SDR17 100mm					
3.23	Tubo PVC SDR17 150mm					
3.24	Codos 90 liso PVC 12mm					Elementos existentes satisfactorios
3.25	Codos 90 liso PVC 25mm					
3.26	Codos 90 liso PVC 32mm					
3.27	Codos 90 liso PVC 38mm					
3.28	Codos 90 liso PVC 50mm					
3.29	Codos 90 liso PVC 64mm					
3.30	Codos 90 liso PVC 75mm					
3.31	Codos 90 liso PVC 100mm					
3.32	Codos 90 liso PVC 150mm					
3.33	Codos 45 liso PVC 25mm				Elementos existentes satisfactorios	
3.34	Codos 45 liso PVC 50mm					
3.35	Codos 45 liso PVC 64mm					
3.36	Codos 45 liso PVC 75mm					
3.37	Codos 45 liso PVC 100mm					
3.38	Codos 45 liso PVC 150mm					
3.39	Tees lisa PVC 32mm					
3.40	Tees lisa PVC 38mm					
3.41	Tees lisa PVC 50mm					
3.42	Tees lisa PVC 64mm					
3.43	Tees lisa PVC 75mm					
3.44	Tees lisa PVC 100mm					
3.45	Tees lisa PVC 150mm				Elementos existentes satisfactorios	
3.46	Reducciones liso PVC 12-32mm					
3.47	Reducciones liso PVC 18-38mm					
3.48	Reducciones liso PVC 18-50mm					
3.49	Reducciones liso PVC 25-50mm					
3.50	Reducciones liso PVC 32-50mm					
3.51	Reducciones liso PVC 38-50mm					
3.52	Reducciones liso PVC 38-64mm					
3.53	Reducciones liso PVC 50-64mm					
3.54	Reducciones liso PVC 32-75mm					
3.55	Reducciones liso PVC 50-75mm				Elementos existentes satisfactorios	
3.56	Reducciones liso PVC 64-75mm					
3.57	Reducciones liso PVC 32-100mm					
3.58	Reducciones liso PVC 64-100mm					
3.59	Reducciones liso PVC 75-100mm					
3.60	Reducciones liso PVC 100-150mm					
3.61	Adaptador macho roscado/liso PVC 12 mm					
3.62	Adaptador macho roscado/liso PVC 18 mm					
3.63	Adaptador macho roscado/liso PVC 25 mm					
3.64	Adaptador macho roscado/liso PVC 32 mm					
3.65	Adaptador macho roscado/liso PVC 38 mm					
3.66	Adaptador macho roscado/liso PVC 50 mm					
3.67	Adaptador macho roscado/liso PVC 64 mm					
3.68	Adaptador macho roscado/liso PVC 75 mm					
3.69	Adaptador macho roscado/liso PVC 100 mm				Elementos existentes satisfactorios	
3.70	Adaptador macho roscado/liso PVC 150 mm					
3.71	Unión de tope liso PVC 12 mm					
3.72	Unión de tope liso PVC 18 mm					
3.73	Unión de tope liso PVC 25 mm					
3.74	Unión de tope liso PVC 32 mm					
3.75	Unión de tope liso PVC 38 mm					
3.76	Unión de tope liso PVC 50 mm					
3.77	Unión de tope liso PVC 64 mm					
3.78	Unión de tope liso PVC 75 mm					
3.79	Unión de tope liso PVC 100 mm					
3.80	Unión de tope liso PVC 150 mm					

Cuadro 5.4: Presupuesto de obra mecánica. Continúa (Elaboración propia)

3	INSTALACIÓN AGUA FILTRADA	CANT.	UNID.	P/UNIT. (Colones)	PRECIO TOTAL (Colones)
Sistema de tuberías de Agua Filtrada (Continúa)					
3.81	Teflón				Elementos existentes satisfactorios
3.82	Pegamento 1/4 GAL				
3.83	Mecha por kilo				
3.84	Válvula de bola cierre de 1/4, Nibco T-111 12 mm				
3.85	Válvula de bola cierre de 1/4, Nibco T-111 18 mm				
3.86	Válvula de bola cierre de 1/4, Nibco T-111 25 mm				
3.87	Válvula de bola cierre de 1/4, Nibco T-111 32 mm				
3.88	Válvula de bola cierre de 1/4, Nibco T-111 38 mm				
3.89	Válvula de bola cierre de 1/4, Nibco T-111 50 mm				
3.90	Válvula de bola cierre de 1/4, Nibco T-111 64 mm				
3.91	Válvula de bola cierre de 1/4, Nibco T-111 75 mm				
3.92	Válvula de boya, Bronce roscada, 150 mm				
SUBTOTAL					
4	SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE FUGAS	CANT.	UNID.	P/UNIT. (Colones)	PRECIO TOTAL (Colones)
4.1	Caudalímetro ultrasónico	1	UNID	500 000,00	500 000,00
4.2	Medidor de presión	1	UNID	350 000,00	350 000,00
SUBTOTAL					850 000
5	GASTOS DE CONSTRUCCIÓN	CANT.	UNID.	P/UNIT. (Colones)	PRECIO TOTAL (Colones)
5.1	SUBTOTAL DE MATERIALES				111.804.708
5.2	MANO DE OBRA Y MONTAJE DE LOS ACCESORIOS Y SISTEMAS (30% DE SUBTOTAL DE MATERIALES)				33.541.413
5.3	EXTRAS DE OBRA (3% DE SUBTOTAL DE MATERIALES)				4 360 384
5.4	EXTRAS DE DISEÑO (3% DE SUBTOTAL DE MATERIALES)				4 360 384
SUBTOTAL (SIN 5.1)					42 262 180
5.5	UTILIDAD Y ADMINISTRACIÓN (10% SUBTOTAL DE MATERIALES Y ANTERIOR)				15 406 689
TOTAL GENERAL					169 473 577
NOTA:	Referencia de precios: Durman Esquivel S.A y Constructora Carlos Solano S.A (Precios aplican para 2019). Otros productos fueron considerados según precio mostrado en la Web.				

Por lo tanto, el costo de implementación de la obra propuesta en el presente trabajo tiene un presupuesto total de 170 000 000 de colones aproximadamente.

5.5. Balance de agua y análisis de consumo

Como se indica en la sección 2.5, la institución consume en promedio 2 393 m³ al mes (considerando un mes convencional de clases presenciales). No obstante, con la introducción de un sistema de reuso de agua pluvial, el consumo del agua potable se ve reducido drásticamente.

En el siguiente cuadro se muestra el balance de aguas resultante con la implementación de los diseños propuestos, considerando 22 días (con clases presenciales) activos por mes, ya que los días sábado y domingo de cada mes no estarían tomados en cuenta.

CAPÍTULO 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE CADA SISTEMA
5.6. ANÁLISIS DE COSTOS Y RETORNO DE INVERSIÓN INICIAL MECÁNICO

Cuadro 5.5: Análisis de consumo de agua potable (Elaboración propia)

Mes	Condición actual		Condición de diseño			Ahorro (Condición Actual vs Condición de Diseño)	
	Consumo promedio (m^3)	Facturación promedio (Colones)	Consumo de agua filtrada (m^3)	Consumo de agua potable (m^3)	Facturación promedio (Colones)	Agua potable (m^3)	Facturación (Colones)
Enero	2 393,0	2 500 000	266,4	2 109,6	2 203 907	283,4	296 093
Febrero	2 393,0	2 500 000	193,8	2 182,2	2.279.753	210,8	220 247
Marzo	2 393,0	2 500 000	203,5	2 172,5	2 269 641	220,5	230 359
Abril	2 393,0	2 500 000	542,5	1 833,5	1 915 462	559,5	584 538
Mayo	2 393,0	2 500 000	1 111,0	1 265,0	1 321 563	1 128,0	1 178 437
Junio	2 393,0	2 500 000	1 111,0	1 265,0	1 321 563	1 128,0	1 178 437
Julio	2393,0	2 500 000	1 111,0	1 265,0	1 321 563	1 128	1 178 437
Agosto	2 393,0	2 500 000	1 111,0	1 265,0	1 321 563	1 128,0	1 178 437
Septiembre	2 393,0	2 500 000	1 111,0	1 265,0	1 321 563	1 128,0	1 178 437
Octubre	2 393,0	2 500 000	1 111,0	1 265,0	1 321 563	1 128,0	1 178 437
Noviembre	2393,0	2 500 000	1 075,4	1 300,6	1 358 796	1 092,4	1 141 204
Diciembre	2 393,0	2 500 000	557,0	1 819,0	1 900 293	574,0	599 707
Total al año	28 716,0	30 000 000	9 504,7	19 007,3	19 857 229	9 708,7	10 142 771

Por lo tanto se determina que, gracias a la incorporación de los diseños propuestos en el presente trabajo, se tendría un ahorro en el consumo de agua potable de aproximadamente 9700 m^3 anuales (34% del consumo anual en la condición actual de la institución). Lo que representa a los costos actuales un aproximado de 10 140 000 colones.

5.6. Análisis de costos y retorno de inversión inicial

Los sistemas mecánicos propuestos en el presente trabajo son considerados como un proyecto de carácter social donde la inversión inicial es aportada como donación por una institución pública o privada en su totalidad. Por lo tanto el beneficio generado por la incorporación de los sistema propuestos vendrían a favorecer directamente a la institución y no se consideraría, para efectos del análisis del retorno de inversión, un valor de tasa de interés, siendo la inversión una donación y no un préstamo.

Los costos de operación adicionales por la implementación de los sistemas propuestos no se tomarán en cuenta para el análisis de retorno de inversión. Éstos se designarían como gastos particulares de la institución.

Por lo tanto, la información mostrada en el cuadro anterior, el ahorro que la institución estaría percibiendo por la implementación de los diseños propuestos, será el ahorro final de todo el proyecto, el cual sería de 10,14 millones de colones al año.

Considerando que el presupuesto total por la implementación de todos los sistemas mecánicos propuestos es de aproximadamente 170 millones de colones, como lo muestra

CAPÍTULO 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE CADA SISTEMA
5.6. ANÁLISIS DE COSTOS Y RETORNO DE INVERSIÓN INICIAL MECÁNICO

el cuadro 5.4. El retorno de la inversión inicial de la obra (RII) se determina de la siguiente forma:

$$RII = \frac{170}{10,14} = 16,77 \quad (5.1)$$

Por lo tanto, la inversión inicial se recuperaría aproximadamente a los 17 años de funcionamiento de los sistemas propuestos.

Capítulo 6

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

1- Se generó una reducción del consumo de agua potable y en costos de materiales al implementar el método Hunter colombiano, lo que implica una alternativa económica y ecológica para el abastecimiento de agua en una edificación.

2- Se realizó el sistema de agua potable en cumplimiento al CIHSE así como de las estrategias de ahorro y aprovechamiento del agua en sistemas hidráulicos, permitiendo verificar que el sistema de bombeo, la tubería de impulsión, el tanque elevado y el tanque enterrado del sistema potable existente cumplían perfectamente con lo calculado y diseñado. Generando así una simplificación del diseño potable propuesto y una reducción del presupuesto de la obra.

3-Se realizó el sistema de reúso de agua pluvial en cumplimiento al CIHSE juntamente con estrategias de ahorro y aprovechamiento del agua permitiendo verificar que el sistema de distribución de agua potable existente, cumplía perfectamente para ser utilizado por el sistema de agua filtrada. También se determinó que los bajantes pluviales propuestos pueden ser simplificados por los existentes.

4-Se realizó el sistema de monitoreo y control de fugas, mediante la metodología de análisis de flujos mínimos nocturnos, con la manipulación de un caudalímetro ultrasónico juntamente con un instrumento de medición de presión. Esto, guiado con el manual de procedimientos y ejecución del sistema.

5-Los sistemas mecánicos propuestos juntamente con las simplificaciones evaluadas para cada subsistema implican un presupuesto general de aproximadamente 170 millones de colones. Con ello se determina que, la implementación de los sistemas mecánicos de Agua potable en paralelo con el sistema de agua filtrada permiten una reducción en el consumo de agua potable de la institución de aproximadamente 9700 m³ anuales, siendo el costo de ésta reducción de unos 10 140 000 colones aproximadamente.

Finalmente, se determina que el ahorro mencionado anteriormente permitirá un retorno de la inversión inicial, a los 17 años aproximadamente de funcionamiento de los sistemas propuestos.

Recomendaciones

1- Las estrategias ecológicas y de eficiencia energética que giran alrededor de la maximización del uso del agua, cada día crecen y se profundizan más. Por lo que se recomiendan aplicar esta metodología a las nuevas formas y códigos de diseño hidráulico en aplicaciones residenciales, comerciales e industriales, entre otros.

2- El presente trabajo obtiene un resultado de ahorro económico y reducción del consumo de agua potable, no obstante carece de un análisis por parte de la norma LEED u otra norma que garantice o califique la mejora desarrollada por parte de la implementación de los sistemas propuestos.

3- El sistema de reúso de agua pluvial sólo hace uso de la lluvia que se precipita en los techos, no obstante la que cae en aceras, calles y demás predios no se consideran. Por lo que resulta una oportunidad de mejora, la inclusión de más fuentes donde captar el agua pluvial y con ello poder disponer de más aplicaciones como el riego o tanques de lavado, los cuales no se pudo incluir en el presente diseño, ya que no se disponía de la suficiente agua filtrada.

4- Los sistemas de tuberías presentes en los sistemas de agua potable y de agua filtrada del presente trabajo se encuentran conformados principalmente por tubería de material PVC. Dado que, uno de los principales problemas con que lidiaba la institución eran fugas, se recomienda el mantenimiento preventivo de éstos sistemas de tuberías, principalmente en zonas verdes donde predominan raíces.

5- El presupuesto de la obra determinado anteriormente se realizó según la estimación de precios que aplicaban al 2019. Por lo tanto, se recomienda un análisis actual del presupuesto con el fin de garantizar un valor más exacto y cercano al mercado actual de Costa Rica.

Bibliografía

- Abarca, V. D. (2012). *Técnicas de detección y localización de fugas de agua en redes de distribución*. Universidad técnica particular de Loja, Loja; Ecuador.
- Anaya, G. M. (2010). *Diseño de sistemas de captación del agua de lluvia*. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.
- Carrillo, S. (2018). *El gran problema al que se enfrenta el planeta es el problema del agua*. Xataka.com, www.xataka.com/medicina-y-salud/el-gran-problema-del-agua.
- Castillejos, J, R. (2010). *Diseño y selección de una red hidráulica a presión o gravedad para el abastecimiento de agua potable a una unidad habitacional*. Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica., Instituto politécnico nacional.
- Castro, N., G. J. E. (2006). *Aplicación de los métodos para el cálculo de caudales máximos probables instantáneos, en edificaciones de diferente tipo*. Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua, SEREA, Joao Pessoa, Brasil.
- CIDECALLI-CP (2007). *DISEÑO DE SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUAS DE LLUVIA*. Centro internacional de demostración y capacitación en Aprovechamiento del agua de lluvia, www.ecotec.unam.mx.
- CISHE, . (2017). *Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en edificaciones*. Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, Costa Rica.
- Departamento de construcción Cedes don Bosco, . (2019). *Plano de conjunto potable*. Departamento de construcción de Cedes don Bosco, Cedes don Bosco.
- Guía técnica para la eficiencia en el uso del agua y energía de las nuevas edificaciones en Costa Rica, . (2017). Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, Costa Rica.
- IgCC, . (2009). *International Green Construction Code*. International Association of Plumbing and Mechanical Officials, American National Standard.
- IPC, . (2018). *International Plumbing Code*. International Code Council, International Code.

Mena, C. Maria, J. (2016). *Diseño de la red distribución de agua potable de la parroquia El Rosario del cantón de San Pedro de Pelileo, provincia de Tugurahua*. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Universidad Técnica de Ambato.

Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos*. Pearson Education, Mexico, sexta edition.

Pancorbo, F, J. (2011). *Coeficiente de simultaneidad en las instalaciones de agua en las edificaciones*.

Polysonics (1998). *User Manual-Portable Digital correlation transit time Ultrasonic Flowmeter*. Software version 3.23.

PUB, T. n. w. a. (2011). *Water Efficient Building Design; Guide Book*. PUB, The national water agency., <http://www.pub.gov.sg/conserves/CommercialOperatorsAndOther/tenpercent/Pages/default.aspx>

Rain Harvesting systems.co.uk, . (2018). *Wispy Vortex Filters*. www.rainharvesting.co.uk/.

Rojas, P. D. E. (2017). *DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO PARA EL ABASTECIMIENTO OPTIMO DE AGUA POTABLE DEL DISTRITO DE HUANCÁN-HUANCAYO*. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional del centro de Perú, tesis edition.

Sarah Lawson, P. O. (2009). *Manual de cosecha de agua de lluvia*. Cabell Brand Center, Virginia, second edition.

Sienko, M., J. P. R. A. (2010). *Química*. Editorial Aguilar, Barcelona.

Soluciones ambientales integrales S.A, . (2017). *Estanques de geomembrana*. Soluciones ambientales integrales S.A, www.geosai.com.

Vargas, R, C. (2016). *Consideraciones de diseño y cálculo de las instalaciones hidráulicas en una red de distribución de agua potable*. Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito, Especialización en recursos hidráulicos y medio ambiente; Colombia.

weatherspark.com (1 de enero de 1980 al 31 de diciembre de 2016). *Clima promedio en Alajuelita Costa-Rica durante todo el año*. es.weatherspark.com, <https://es.weatherspark.com/y/15502/Clima-promedio-en-Alajuelita-Costa-Rica-durante-todo-el-año>.

worldmeteo.info (2020). *El tiempo en Alajuelita, Costa Rica*. ww.weatherspark.info, <https://www.worldmeteo.info/es/america-central/costa-rica/alajuelita/tiempo-136660/>.

www.cedesdonbosco.ed.cr (2019). *Acerca de Cedes Don Bosco*. Cedes Don Bosco; Página Web, www.cedesdonbosco.ed.cr.

Zamora, A. R. A. (2013). *Evaluación de los métodos para el cálculo de caudales máximos probables instantáneos en edificaciones*. Escuela de Ingeniería en Construcción, Instituto tecnológico de Costa Rica.

Zuñiga, P. (2018). *Viscosidad cinématica del aire y agua*. www.es.slideshare.net.

Capítulo 7

Anexos

7.1. Manual de Procedimiento del sistema de control y detección de fugas

7.1.1. Secciones y puntos de medición del sistema

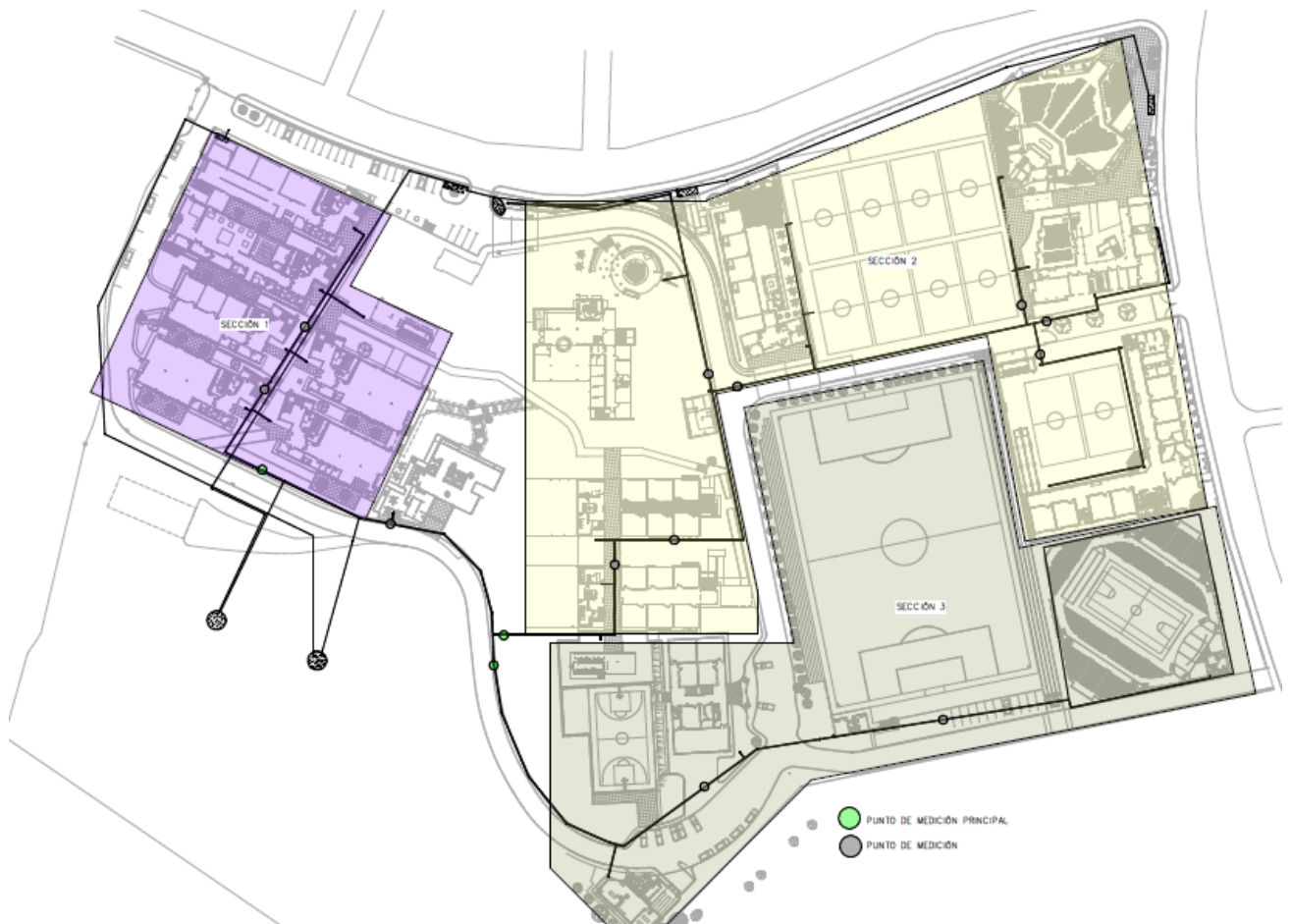


Figura 7.1: Sectorización de la redes de distribución de agua (potable y filtrada) y puntos de medición (Elaboración propia). 97

7.1.2. Configuración del caudalímetro ultrasónico

Al configurar correctamente el caudalímetro (ingresar parámetros de la tubería, tipo de fluido, la unidad de medida en que el equipo registra los datos, entre otros) los efectos del perfil de flujo se toman en cuenta al momento de calcular la velocidad media del fluido, el equipo para obtener el flujo volumétrico (caudal) multiplica la velocidad del fluido por el área transversal de la tubería.

La configuración del caudalímetro ultrasónico consiste en:

- Determinar el sitio adecuado para la instalación de los transductores, considerando que los tramos de tubería donde se vaya a instalarlos tengan un tramo recto equivalente de por lo menos 10 diámetros aguas arriba y 5 diámetros aguas abajo de cualquier codo, tee, válvula, orificios, secciones reducidas, u otras perturbaciones de flujo.
- Acceder al submenú tubería, en el cual se asigna algunos parámetros de la tubería como el diámetro interno y externo, y material de la tubería.
- Acceder al menú tipo de fluido, y escoger el tipo de fluido que circula por la tubería.
- Acceder al menú tipo de transductor, en el cual se selecciona el tipo de transductor por lo general se selecciona por defecto “estándar”.
- Acceder al menú montaje de transductores, en donde se selecciona el método de montaje de los transductores (V, Z, W, WV, WW).
- Luego de seleccionar el método de montaje seleccionar ver espaciamiento de transductores y el equipo automáticamente presentara el espaciamiento entre transductores que debe existir.
- Acceder al menú unidades de flujo y escoger en que unidades volumétricas el equipo registra los datos (litros o metros cúbicos), luego bajar en el menú y seleccionar la unidad de tiempo (segundos, minutos, horas).
- Finalmente instalar los transductores en el sitio que se escoge, colocándolos de acuerdo al método de montaje seleccionado y el espaciamiento entre ellos que el equipo calcula. (Abarca, 2012).

7.1.3. Instalación del caudalímetro ultrasónico

Para la instalación del caudalímetro se debe considerar lo siguiente:

- El sitio de medición debe ser de fácil acceso, ya sea para la instalación o inspección.
- El lugar donde se va a instalar los transductores debe estar lo más alejado posible de válvulas y accesorios, para evitar turbulencias las cuales interfieren con las señales que envían estos hacia el equipo. Como se indicó anteriormente el lugar

donde van a instalarse tiene que tener un tramo recto equivalente de por lo menos 10 diámetros de tubería aguas arriba y 5 diámetros de tubería aguas abajo. Medir con precisión la distancia entre los sensores para su instalación. El punto seleccionado para la instalación, debe trabajar a tubo lleno.

- En lugares donde no se brinde la seguridad para el equipo, se realiza una calicata de dimensiones 1,10 m x 1,10 m, y de profundidad necesaria hasta donde se encuentre la tubería dejando libre unos 20,00 cm en la parte inferior de la misma, esto para dar facilidad en el momento de la instalación de los sensores del equipo (transductores), no se tendrá profundidades mayores a 2,50 m. (Mena, 2016)

7.1.4. Método de instalación del caudalímetro

Existen varios métodos para el montaje del caudalímetro ya sea V, W, Z, WV o WW, la diferencia entre ellos es el tipo de montaje de los transductores y la exactitud de la medida.

En este caso se ha optó por utilizar el denominado método Z el cual utiliza una transmisión directa, o sea que la trayectoria de medida es más larga y por ende la lectura es más exacta, es muy fiable en tuberías de diámetros mayores.

La principal ventaja que tiene este método es que tiene menos interferencias, ya que la señal es enviada de transductor a transductor atravesando el fluido una sola vez dando como resultado una medición más precisa. (Abarca, 2012)

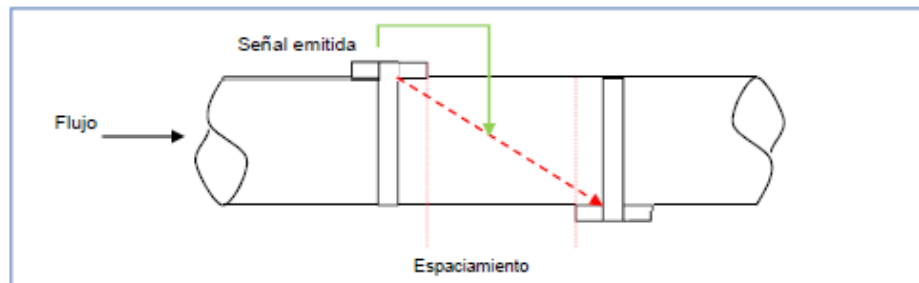


Figura 7.2: Posición de trasductores; Método Z.(Polysonics, 1998)

Para instalar el caudalímetro se debe proceder como sigue:

1. Limpiar la superficie donde se van a colocar los transductores, removiendo polvo, pintura floja, etc.
2. Aplicar el gel, sobre las caras de los transductores y en la tubería.
3. Como para este método no se puede utilizar la riel calibrada, se debe establecer una referencia en posiciones equivalentes a las manecillas del reloj en las 3 y en

las 9 para lo cual se envuelve en un papel medido (papel milimetrado) alrededor del tubo, marcando el punto de referencia en ambos lados del tubo.

4. Determinar la longitud de separación (S) de los transductores, esta longitud nos la da el caudalímetro, ingresando datos como: diámetro de tubería, tipo de fluido, espesor del material y el método que se va a utilizar.
5. Con la medida de separación de los transductores dado por el equipo y las marcas donde van a ir se los coloca y se los asegura ya sea con las correas de acero u otra forma como se le facilite a la persona que está instalando.
6. Una vez que se instalan los transductores en la tubería, en el equipo fijamos la frecuencia de registro de datos ya sea cada 15 min, 30 min, o 60 min.(Mena, 2016)

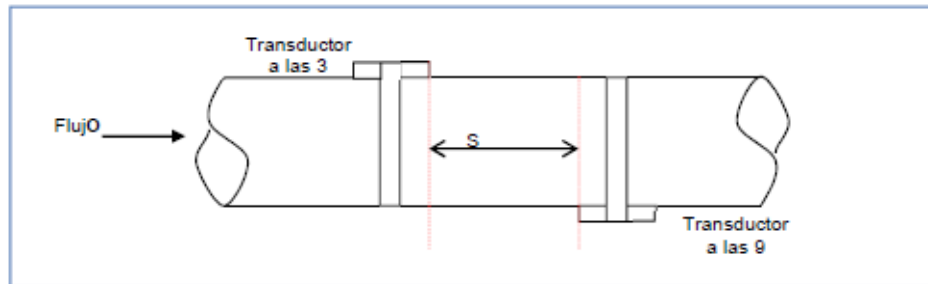


Figura 7.3: Colocación de transductores en tubería.(Polysonics, 1998)

7.1.5. Instalación de data logger

Al momento de la instalación de estos dispositivos se debe considerar que:

1. La cámara donde se va instalar sea segura, y presente las condiciones óptimas para conservar el equipo.
2. La tubería debe tener una salida de presión la cual es un acople tipo hembra, consta de un pequeño tramo de tubo con un llave de bola con esto se consigue tener un mecanismo tipo fuga el cual solo cuando se lo necesite se lo destapa.
3. Realizar maniobras de válvulas, ya sea abriendo o cerrando según se disponga para la instalación.
4. Colocar el logger en un lugar alto y asegurarlo dentro de la cámara, con el propósito de evitar que sufra algún daño, y se pierda la información.
5. Chequear el equipo y confirmar que se encuentre registrando datos.

Una vez considerado los aspectos anteriores se procede a la instalación del equipo en el sitio escogido, de la siguiente manera:

1. Ubicarse en el sitio donde se va a instalar los dispositivos, chequear si la cámara no se encuentra inundada o si tiene algo extraño.
2. Cerrar la o las válvulas que sean necesarias y permita instalar el equipo.
3. Retirar el tapón del acople hembra y colocar el acople macho del data logger.
4. Purgar si es necesario antes de instalar el equipo.
5. Instalar el logger con cuidado
6. Asegurar y colocar el logger en un lugar alto para evitar inconvenientes.
7. Chequear que el equipo registre correctamente los datos.
8. Asegurar la cámara.



Figura 7.4: Esquema de instalación del data logger.(Abarca, 2012)

7.1.6. Procedimiento para desarrollo del método AFMN

Se debe llenar la siguiente joja con los datos respectivos, con el fin de desarrollar el análisis respectivo.

Cuadro 7.1: Hoja de datos AFMN. (Elaboración propia)

Día	Hora	Caudal		Presión	
		m^3/s	GPM	kPa	kpsi
1	// // 24:00:00				
	// // 0:30				
	// // 1:00				
	// // 1:30				
	// // 2:00				
	// // 2:30				
	// // 3:00				
	// // 3:30				
	// // 4:00				
	// // 4:30				
	// // 5:00				
	// // 5:30				
	// // 6:00				
	2	// // 24:00:00			
// // 0:30					
// // 1:00					
// // 1:30					
// // 2:00					
// // 2:30					
// // 3:00					
// // 3:30					
// // 4:00					
// // 4:30					
// // 5:00					
// // 5:30					
// // 6:00					
Caudal Mínimo					
Caudal Máximo					
Presión Mínima					
Presión Máxima					

Tabulación y análisis de datos

El procedimiento para desarrollar un análisis ordenado y correctamente dirigido hacia solventar aquellas fugas que su reparación y mantenimiento sea económicamente rentable es:

1. Descargar los valores de caudal y presión de los equipos.

2. Tabular datos según la hoja anterior.
3. Identificar el QMN registrado en las lecturas, y reconocer la presión máxima que se registra cuando se presenta este caudal.
4. Identificar valores máximos, medios y mínimos de caudal y presión.
5. Graficar la variación de caudal y presión.
6. Extrapolar los caudales.
7. Determinar el caudal que se entrega a los consumidores, para conseguirlo se realiza una resta entre el caudal registrado y el caudal fugado calculado.
8. Graficar el caudal registrado, caudal entregado y caudal fugado.
9. Se establece un caudal de fuga inevitable. Para efectos de éste trabajo se tomará en consideración el cuadro 3.13

Evaluación de fugas

Si el caudal mínimo nocturno supera los 2,22 gpm, el tramo de tubería en estudio deberá ser designado al personal respectivo para su reparación.

De igual forma se puede llegar a una conclusión mediante la siguiente ecuación.

$$ICH = \frac{QMH}{QMN} \quad (7.1)$$

Donde

$QMH/QMN > 3$ a 7 indica bajo nivel de fugas.

$QMH/QMN < 3$, nivel de fugas considerable.

CMH: Consumo máximo horario.

CMN: Consumo mínimo nocturno.

7.2. Planos mecánicos