PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



Plan de Trabajo de Integración Curricular

Tema: Evaluación hidráulica y verificación del dimensionamiento del sistema hidrosanitario del proyecto aula de capacitación, baterías sanitarias, camerinos y biodigestor en el Complejo Deportivo Mirador del Colibrí

AUTOR:

Anderson Juan Chingal Quelal

Jhon Mateo Vivanco Sánchez

TUTOR:

Ing. Verónica Oñate

QUITO DM, 26 DE JUNIO DEL 2026

Agradecimiento

A quienes estuvieron presentes en esta etapa de mi vida, incluso en los momentos donde el esfuerzo parecía superar las fuerzas. A mis padres, por ser el apoyo detrás de cada uno de mis logros, por sus enseñanzas, por su sacrificio y por brindarme las herramientas necesarias para construir mi camino. Gracias por confiar y por convertir cada meta alcanzada en una razón para seguir adelante.

Agradezco a todas las personas que formaron parte del camino que recorrí para alcanzar esta meta. A mis padres, por cuidarme, apoyarme y confiar siempre en mí, incluso en los momentos en los que yo mismo dudaba de mis capacidades. Gracias por enseñarme, con su ejemplo, la importancia de la perseverancia y por motivarme a seguir adelante en cada etapa de este proceso. A mi hermano, por estar siempre a mi lado, cuidarme y brindarme su apoyo incondicional. A mis abuelitos, por su cariño, sus palabras de ánimo y por acompañarme durante toda mi vida, siendo un pilar fundamental en mi formación personal y profesional. Finalmente, agradezco a los compañeros y amigos que conocí a lo largo de este camino, por compartir experiencias, aprendizajes y por demostrarme que nunca estuve solo durante esta etapa.

Dedicatoria

Para la persona que tuvo la valentía de comenzar este camino sin conocer todo lo que encontraría en él, y a quien seré, porque este logro representa una parte de la persona que aún estoy construyendo, Dedico este trabajo a la persona que aprendió que cada esfuerzo deja una huella, que las metas se alcanzan con constancia y resistencia y el verdadero valor de un logro se encuentra en el camino hacia él. Asimismo, lo dedico a quienes han esperado algo de mí y me han apoyado, y también a esas metas que hoy aún son frágiles, pero que con el tiempo deseo forjar hasta convertirlas en una extensión de mí mismo

Dedico este trabajo a mi familia, especialmente a mis padres, por su amor, apoyo incondicional y por impulsarme siempre a seguir mis sueños. También lo dedico al esfuerzo y la constancia que me acompañaron durante cada etapa de este camino, recordándome que los grandes logros se alcanzan con perseverancia, dedicación y compromiso. Dedico este logro a la persona que quiero llegar a ser en el futuro; que nunca pierda sus ideales, mantenga la humildad y continúe esforzándose por alcanzar nuevos objetivos. A quienes me acompañaron a lo largo de este recorrido y, de una u otra manera, hicieron posible que hoy este sueño se convierta en una realidad.

Resumen

En el presente Trabajo de Integración Curricular se realizó la evaluación hidráulica y la verificación del dimensionamiento del sistema hidrosanitario del proyecto aula de capacitación, baterías sanitarias, camerinos y biodigestor del Complejo Deportivo Mirador del Colibrí, ubicado en el cantón Rumiñahui. El objetivo fue verificar las condiciones de funcionamiento de los sistemas de agua potable, alcantarillado sanitario, drenaje pluvial y tratamiento de aguas residuales, considerando los criterios establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2011). Para ello, se analizaron los planos y memorias técnicas del proyecto, determinando caudales de diseño, velocidades de flujo, pérdidas de carga, presiones, pendientes y capacidades hidráulicas de las diferentes unidades del sistema. Los resultados evidenciaron que la red de agua potable requiere la incorporación de un sistema de bombeo y un tanque hidroneumático debido a la insuficiencia de presión de la red pública, obteniéndose una potencia comercial de bomba de 1.5 HP y un tanque hidroneumático de 20 galones. En la red sanitaria se determinaron caudales máximos probables de 0.67 L/s y 0.83 L/s, verificándose velocidades entre 1.00 m/s y 1.41 m/s. Para el sistema pluvial se obtuvo una intensidad de precipitación de 63.01 mm/h y caudales máximos de hasta 1.21 L/s, comprobándose la capacidad hidráulica de bajantes y colectores. Asimismo, se verificó una capacidad requerida de 1040 L para el sistema de tratamiento, seleccionándose un biodigestor comercial de 1300 L.

Palabras clave: sistema hidrosanitario, agua potable, alcantarillado sanitario, drenaje pluvial, biodigestor, verificación hidráulica.

Abstract

This Curricular Integration Project carried out the hydraulic evaluation and verification of the hydrosanitary system sizing for the training classroom, sanitary facilities, locker rooms and biodigester project at the Mirador del Colibri Sports Complex, located in Rumiñahui Canton. The objective was to verify the operating conditions of the potable water supply, sanitary sewer, stormwater drainage and wastewater treatment systems, considering the criteria established in the Ecuadorian Construction Code (NEC, 2011). The study was based on the analysis of the project's technical drawings and design reports, determining design flows, flow velocities, head losses, pressures, slopes and hydraulic capacities of the different system components. The results showed that the potable water network requires the implementation of a pumping system and a hydropneumatic tank due to the insufficient pressure supplied by the public network, resulting in the selection of a 1.5 HP commercial pump and a 20-gallon hydropneumatic tank. The sanitary sewer system presented maximum probable flows of 0.67 L/s and 0.83 L/s, with flow velocities ranging from 1.00 m/s to 1.41 m/s. For the stormwater drainage system, a rainfall intensity of 63.01 mm/h and maximum flows of up to 1.21 L/s were obtained, confirming the hydraulic capacity of the downpipes and collectors. Furthermore, a required treatment capacity of 1040 L was verified, leading to the selection of a 1300 L commercial biodigester.

Keywords: hydrosanitary system, potable water supply, sanitary sewer, stormwater drainage, biodigester, hydraulic verification.

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN. 1

1.1 Justificación. 1

1.2 Planteamiento del problema. 2

1.3 Objetivos general y específicos. 3

Objetivo general. 3

Objetivos específicos. 3

1.4 Alcance. 4

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA. 5

2.1 Sistemas hidrosanitarios en edificaciones 5

2.1.1 Componentes de redes de agua potable 6

2.1.2 Componentes de redes de alcantarillado 8

2.2 Fundamentos de hidráulica aplicada 11

2.2.1 Caudales y dotación 12

2.2.2 Presiones y pérdidas de carga 16

2.2.3 Velocidades y condiciones de flujo 18

2.2.4 Criterios hidráulicos para drenaje pluvial 22

2.2.5 Sistemas de bombeo e hidroneumáticos 24

2.3 Normativa y criterios de diseño 27

2.3.1 Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2011) 28

2.3.2 Normas técnicas complementarias 29
2.4 Tratamiento de aguas residuales 30
2.4.1 Sistemas de tratamiento primario 30
2.4.2 Funcionamiento de biodigestores 31
3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA HIDROSANITARIO DEL PROYECTO 33
3.1 Descripción general del área de estudio 33
3.2 Descripción del sistema de agua potable 35
3.2.1 Componentes del sistema (red de distribución, almacenamiento, conexiones) 37
3.2.2 Aparatos sanitarios y demanda 39
3.3 Descripción del sistema de alcantarillado sanitario 42
3.3.1 Red de recolección y conducción 44
3.3.2 Pendientes, diámetros y condiciones de flujo 46
3.4 Descripción del sistema de tratamiento 47
3.4.1 Características del biodigestor 49
3.4.2 Funcionamiento y capacidad de diseño 51
3.5 Descripción del sistema de alcantarillado pluvial 53
3.5.1 Componentes del sistema pluvial 55
3.5.2 Condiciones de diseño 57
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS 59
4.1 Presentación de resultados. 59

4.2 Análisis del sistema de agua potable 60
4.2.1 Demanda y caudales de diseño. 61
4.2.2 Verificación de pérdidas de carga y presiones. 64
4.2.3 Análisis del tanque hidroneumático. 75
4.2.4 Verificación del sistema de bombeo 78
4.2.5 Verificación del sistema de almacenamiento 84
4.2.6 Análisis de resultados de agua potable 86
4.2.7 Análisis de resultados del tanque hidroneumático 87
4.2.8 Análisis de resultados de la bomba 88
4.3 Análisis del sistema sanitario 89
4.3.1 Caudales y condiciones de flujo. 90
4.3.2 Verificación de pendientes y diámetros. 95
4.3.3 Análisis de resultados de la red sanitaria 100
4.4 Análisis del sistema pluvial 101
4.4.1 Cálculo de caudales de diseño. 102
4.4.2 Verificación hidráulica de las conducciones. 106
4.4.3 Análisis de resultados de la red de alcantarillado pluvial 109
4.5 Análisis del sistema de tratamiento 110
4.5.1 Verificación del biodigestor. 111
4.5.2 Evaluación de la capacidad de diseño. 113

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. 115

5.1 Conclusiones. 116

5.2 Recomendaciones. 117

Bibliografía 120

Anexos 122

Anexo A. Información sector El Colibrí 122

Anexo B. Memoria de cálculo del sistema de agua potable 123

Anexo C. Memoria de cálculo del sistema de agua residual 125

Anexo D. Memoria técnica del sistema de aguas lluvias 125

Anexo E. Detalle de instalación de aparatos sanitarios. 127

Anexo F. Información hidrológica para el cálculo de intensidades de precipitación. 129

Índice de Tablas

Tabla 1. Parámetros de población y dotación adoptados para el diseño. 62

Tabla 2. Caudales de diseño del sistema de agua potable. 64

Tabla 3. Caudales unitarios, presiones y diámetros mínimos de aparatos sanitarios. 65

Tabla 4. Factor F..... 67

Tabla 5. Determinación de los caudales probables del Ramal 1. 68

Tabla 6. Especificaciones técnicas de las tuberías utilizadas en la red de agua potable. 69

Tabla 7. Coeficientes de materiales utilizados para el análisis hidráulico. 70

Tabla 8. Velocidades obtenidas en los tramos del Ramal 1. 70

Tabla 9. Distancias verticales estándar consideradas en el análisis hidráulico. 71

Tabla 10. Parámetros utilizados para el cálculo de longitudes equivalentes de accesorios. 72

Tabla 11. Presiones obtenidas en los tramos del Ramal 1..... 74

Tabla 12. Parámetros utilizados para el dimensionamiento del tanque hidroneumático. 76

Tabla 13. Resultados del análisis del tanque hidroneumático. 78

Tabla 14. Parámetros utilizados para la verificación del sistema de bombeo. 80

Tabla 15. Potencia requerida del sistema de bombeo..... 83

Tabla 16. Parámetros utilizados para la verificación de la cisterna. 84

Tabla 17. Unidades Hunter y caudal máximo probable para la Caja de Revisión 1. 92

Tabla 18. Unidades Hunter y caudal máximo probable para la Caja de Revisión 2. 93

Tabla 19. Parámetros hidráulicos utilizados para la verificación del alcantarillado sanitario. 95

Tabla 20. Resultados de la verificación hidráulica de la red sanitaria. 99

Tabla 21. Parámetros hidrológicos adoptados para el cálculo de caudales de diseño..... 103

Tabla 22. Caudales de diseño y selección de bajantes de aguas lluvias (BALL)..... 105

Tabla 23. Verificación hidráulica de las conducciones pluviales..... 108

Tabla 24. Parámetros utilizados para la evaluación de la capacidad del biodigestor..... 113

Tabla 25. Parámetros finales de diseño del biodigestor. 115

Tabla B.1. Cálculo hidráulico de la red de agua potable para el ramal 1..... 123

Tabla B.2. Cálculo hidráulico de la red de agua potable para el ramal 2..... 123

Tabla B.3. Cálculo hidráulico de la red de agua potable para el ramal 3..... 124

Tabla B.4. Cálculo hidráulico de la red de agua potable para el ramal 4..... 124

Tabla B.5. Cálculo hidráulico de la red de agua potable para el ramal 5..... 124

Tabla B.6. Cálculo hidráulico de la red de agua potable para el ramal 6..... 124

Tabla B.7. Cálculo hidráulico de la red de agua potable para el ramal 7..... 125

Tabla C.1. Verificación hidráulica de tuberías sanitarias..... 125

Tabla D.1. Verificación del cálculo del sistema pluvial de los bajantes 4, 5 y 6..... 125

Tabla D.2. Verificación del cálculo del sistema pluvial de los bajantes 1, 2 y 3..... 126

Tabla D.3. Verificación del cálculo del sistema pluvial de la red exterior. 126

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Ecuación del Caudal 12

Ecuación 2. Caudal medio diario 13

Ecuación 3. Caudal máximo diario 13

Ecuación 4. Caudal máximo horario 14

Ecuación 5. Caudal máximo probable 14

Ecuación 6. Coeficiente de simultaneidad 15

Ecuación 7. Pérdida de carga por fricción 16

Ecuación 8. Longitud equivalente del accesorio 17

Ecuación 9. Presión residual disponible 18

Ecuación 10. Velocidad de flujo 19

Ecuación 11. Área parcial 19

Ecuación 12. Relación caudal entre el caudal circulante y el caudal a tubo lleno. 20

Ecuación 13. Perímetro parcial 20

Ecuación 14. Radio hidráulico 21

Ecuación 15. Ecuación de Manning 21

Ecuación 16. Método Racional 22

Ecuación 17. Intensidad de lluvia 23

Ecuación 18. Carga hidráulica total 25

Ecuación 19. Potencia de la bomba 26

Ecuación 20. Volumen total del tanque hidroneumático 27

Ecuación 21. Volumen útil neto..... 32

Índice de Figuras

Figura 1. *Localización del Complejo Deportivo Mirador del Colibrí.* 33

Figura 2. *Croquis de la Zona "El Colibrí"* 34

Figura 3. *Esquema de la Red de Distribución de Agua Potable* 35

Figura 4. *Vista isométrica de la red de distribución de agua potable para el bloque de capacitación y camerinos.* 36

Figura 5. *Esquema general de los componentes del sistema de agua potable.* 39

Figura 6. *Distribución de los aparatos sanitarios del bloque de capacitación y camerinos.* 41

Figura 7. *Isometría del sistema de recolección de aguas servidas (ASS).* 43

Figura 8. *Plano general de la red de recolección y conducción sanitaria.* 45

Figura 9. *Implantación en planta de las cajas de inspección exteriores.* 48

Figura 10. *Esquema constructivo de conexiones hidráulicas* 49

Figura 11. *Esquema constructivo del biodigestor.* 50

Figura 12. *Implantación en planta del sistema de tratamiento por biodigestor y cajas de inspección exteriores.* 52

Figura 13. *Vista en planta del sistema de drenaje pluvial.* 53

Figura 14. *Detalles constructivos de canaletas y soportes* 54

Figura 15. *Componentes del sistema de alcantarillado pluvial* 55

Figura 16. *Esquema de áreas de aporte del sistema pluvial.* 58

Figura 17. *Ramal 1 de la red de distribución de agua potable correspondiente al aula de capacitación.* 66

Figura 18. *Esquema general del sistema de bombeo e hidroneumático.* 79

Figura 19. *Detalle constructivo de la cisterna de almacenamiento de agua potable.* 85

Figura 20. *Distribución de la red sanitaria y ubicación de las cajas de revisión analizadas....* 91

Figura A.1. *Ubicación del Complejo Deportivo Mirador del Colibrí.*..... 122

Figura E.1. *Detalle de instalación lavamanos.*..... 127

Figura E.2. *Detalle de instalación inodoro.* 127

Figura E.3. *Detalle de instalación urinario.*..... 128

Figura E.4. *Detalle de instalación fregadero.* 128

Figura F.1. *Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF).* 129

Figura F.2. *Mapa de intensidades máximas de precipitación.* 130

1. INTRODUCCIÓN.

1.1 Justificación.

El adecuado funcionamiento de los sistemas hidrosanitarios en edificaciones de uso público constituye un elemento esencial para garantizar condiciones apropiadas de salubridad, confort, seguridad y aprovechamiento eficiente del recurso hídrico. En este contexto, el proyecto denominado "Construcción del aula de capacitación, baterías sanitarias, camerinos y biodigestor en el Complejo Deportivo Mirador del Colibrí"**,** ubicado en el cantón Rumiñahui, corresponde a una infraestructura destinada al servicio comunitario cuyo desempeño depende directamente de la correcta operación de las redes de abastecimiento de agua potable, evacuación de aguas residuales y drenaje pluvial. Si bien el sistema hidrosanitario del proyecto fue diseñado y ejecutado conforme a la documentación técnica disponible, resulta necesario efectuar una evaluación hidráulica que permita verificar que sus componentes cumplen las condiciones de funcionamiento previstas. La ausencia de este tipo de análisis puede dificultar la identificación de aspectos relacionados con presiones de servicio, pérdidas de carga, velocidades de circulación, capacidad de conducción y comportamiento del sistema de disposición de aguas residuales, parámetros que inciden directamente en la eficiencia y durabilidad de la infraestructura.

En este sentido, la presente investigación se justifica por la necesidad de analizar y validar el dimensionamiento hidráulico del sistema hidrosanitario construido, mediante la verificación técnica de los elementos que lo integran, empleando la información contenida en los planos del proyecto, la documentación técnica disponible y la normativa aplicable. Para ello, se evaluarán variables hidráulicas fundamentales, tales como caudales, presiones, velocidades y pérdidas de carga, contrastando los resultados obtenidos con los criterios establecidos en la Norma Ecuatoriana

de la Construcción (NEC, 2011), Capítulo 16, así como con las normas técnicas y bibliografía que correspondan al alcance de la investigación.

El desarrollo de este estudio aportará una base técnica para determinar el comportamiento hidráulico del sistema existente y establecer el grado de cumplimiento de los parámetros de diseño y funcionamiento, generando información que contribuya a la adecuada gestión de este tipo de infraestructuras y que pueda servir como referencia para futuras evaluaciones de sistemas hidrosanitarios en edificaciones de características similares.

1.2 Planteamiento del problema.

Las edificaciones destinadas al uso público requieren sistemas hidrosanitarios capaces de garantizar un abastecimiento adecuado de agua potable y una evacuación eficiente de las aguas residuales y pluviales, condiciones que dependen del correcto dimensionamiento y funcionamiento hidráulico de sus componentes. Para ello, es necesario que las redes instaladas cumplan los parámetros técnicos relacionados con caudales de diseño, presiones de servicio, velocidades de circulación y pérdidas de carga, de acuerdo con los criterios establecidos en la normativa y bibliografía técnica aplicable.

El proyecto denominado "Construcción del aula de capacitación, baterías sanitarias, camerinos y biodigestor en el Complejo Deportivo Mirador del Colibrí" dispone de una infraestructura hidrosanitaria ejecutada y de la documentación técnica correspondiente; sin embargo, no se cuenta con un análisis de verificación hidráulica que permita comprobar, a partir de los planos y especificaciones del proyecto, que el dimensionamiento adoptado satisface las condiciones requeridas para su adecuado funcionamiento. La ausencia de esta evaluación técnica limita la posibilidad de identificar el comportamiento hidráulico del sistema frente a variables

fundamentales, tales como las presiones disponibles en los puntos de consumo, las pérdidas de carga generadas en las conducciones, las velocidades de flujo en las tuberías y la capacidad de conducción de las redes sanitarias y pluviales. De igual manera, resulta pertinente verificar que los elementos asociados a la recolección y disposición de las aguas residuales, incluido el biodigestor contemplado en el proyecto, se encuentren acordes con los criterios técnicos considerados en su implementación.

En consecuencia, el problema de investigación se centra en la falta de una verificación hidráulica integral del sistema hidrosanitario construido, que permita establecer si el dimensionamiento de sus componentes cumple con los parámetros técnicos y las disposiciones normativas aplicables, garantizando un funcionamiento adecuado de la infraestructura.

1.3 Objetivos general y específicos.

Objetivo general.

Evaluar y verificar el dimensionamiento del sistema hidrosanitario del Complejo Deportivo Mirador del Colibrí, mediante el análisis hidráulico de caudales, presiones y pérdidas de carga, así como el cumplimiento de criterios normativos, para garantizar su correcto funcionamiento y eficiencia.

Objetivos específicos.

- Determinar los parámetros de diseño del sistema de agua potable y alcantarillado del proyecto, considerando las condiciones de demanda, servicio y dotación.
- Verificar el dimensionamiento hidráulico de las redes hidrosanitarias mediante el cálculo de caudales, presiones, velocidades y pérdidas de carga, asegurando su adecuado funcionamiento.

- Verificar las condiciones de capacidad y funcionamiento hidráulico del sistema de recolección de aguas residuales y del biodigestor contemplado en el proyecto.
- Validar los resultados obtenidos en el análisis hidráulico con los criterios establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2011, Capítulo 16, y demás bibliografía técnica aplicable.
- Evaluar el sistema de alcantarillado pluvial, verificando su capacidad de conducción, pendientes y funcionamiento hidráulico.

1.4 Alcance.

La presente investigación comprende la evaluación hidráulica y la verificación del dimensionamiento del sistema hidrosanitario del Complejo Deportivo Mirador del Colibrí, mediante el análisis de parámetros como caudales, presiones, pérdidas de carga y eficiencia hidráulica, tanto en la red de agua potable, sistema de alcantarillado sanitario y sistema de drenaje pluvial. El estudio se centra en la revisión técnica del diseño existente, aplicando criterios hidráulicos y normativos, con el propósito de validar su desempeño operativo e identificar posibles mejoras que optimicen su funcionamiento.

El trabajo se limita al análisis teórico y técnico del sistema hidrosanitario; por lo tanto, no incluye la ejecución de obras, estudios de costos, análisis estructurales ni evaluaciones de impacto ambiental. Asimismo, no contempla monitoreo en campo ni ensayos experimentales, basándose exclusivamente en la información disponible del proyecto.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

2.1 Sistemas hidrosanitarios en edificaciones

Los sistemas hidrosanitarios en edificaciones son el conjunto de instalaciones destinadas al abastecimiento de agua potable y a la evacuación de aguas residuales y pluviales. Su función es permitir el suministro y la disposición del agua en condiciones que contribuyan a la salubridad y al funcionamiento de la edificación (López Cualla, 1995).

De acuerdo con López Cualla (1995), estos sistemas están integrados por componentes hidráulicos encargados del transporte, distribución y descarga del agua, los cuales operan bajo determinadas condiciones de presión y caudal para satisfacer las necesidades de los usuarios.

En edificaciones de uso público, como instalaciones deportivas, la demanda de agua varía según el número de usuarios y las actividades que se desarrollan en ellas. Por esta razón, el diseño y la verificación de los sistemas hidrosanitarios deben considerar las condiciones de máxima demanda para evitar problemas relacionados con bajas presiones o deficiencias en la evacuación de las aguas residuales (Crites & Tchobanoglous, 1998).

El análisis hidráulico de los sistemas de abastecimiento de agua se fundamenta en los principios de la mecánica de fluidos. Entre ellos se encuentran la conservación de la masa y la conservación de la energía, representadas mediante la ecuación de continuidad y la ecuación de Bernoulli, herramientas que permiten estudiar el comportamiento del flujo en tuberías a presión (Fox & McDonald, 2012).

En los sistemas de alcantarillado, el flujo se desarrolla generalmente a superficie libre; en estas condiciones intervienen factores como la pendiente hidráulica, la rugosidad de la tubería y la

geometría del conducto, los cuales influyen en la capacidad de transporte y en las condiciones de autolimpieza de la red (Chow, 1994).

La evaluación de los sistemas hidrosanitarios requiere la aplicación de criterios técnicos y normativos que permitan verificar parámetros como caudales, presiones, velocidades de flujo y pérdidas de carga. Estos aspectos constituyen la base para analizar el comportamiento hidráulico de las redes de agua potable, alcantarillado sanitario y drenaje pluvial en una edificación.

2.1.1 Componentes de redes de agua potable

Las redes de agua potable en edificaciones están conformadas por un conjunto de elementos hidráulicos destinados a conducir y distribuir el agua desde la fuente de abastecimiento hasta los diferentes puntos de consumo (López Cualla, 1995). Estos elementos deben operar bajo condiciones adecuadas de caudal y presión para permitir el funcionamiento de los aparatos sanitarios.

El desempeño de una red de agua potable depende de la correcta selección y dimensionamiento de sus componentes. Debido a que el flujo se desarrolla a presión, es necesario verificar que el sistema garantice continuidad del servicio y condiciones hidráulicas apropiadas para su operación (Fox & McDonald, 2012).

Entre los principales elementos que conforman una red de agua potable se encuentran los siguientes:

a) Fuente de abastecimiento

Es el origen del suministro de agua y, en zonas urbanas, generalmente corresponde a la red pública. Esta debe proporcionar disponibilidad del recurso y condiciones adecuadas para el consumo humano (MIDUVI, 2015).

b) Sistema de almacenamiento

Comprende tanques o cisternas destinados a regular el suministro de agua, compensando las variaciones de consumo y permitiendo la disponibilidad del servicio durante períodos de mayor demanda (López Cualla, 1995).

c) Sistema de conducción o impulsión

Está conformado por las tuberías que transportan el agua desde la fuente de abastecimiento o desde el sistema de almacenamiento hacia la red de distribución. Cuando las condiciones topográficas lo requieren, pueden incorporarse equipos de bombeo para proporcionar la energía necesaria al flujo (Fox & McDonald, 2012).

d) Red de distribución interna

Corresponde al conjunto de tuberías que llevan el agua hacia los diferentes puntos de consumo dentro de la edificación. Su dimensionamiento debe permitir que las presiones y pérdidas de carga se mantengan dentro de los límites establecidos para el funcionamiento del sistema (MIDUVI, 2015).

e) Accesorios y válvulas

Incluyen elementos como codos, tees, válvulas de corte y válvulas de control, cuya función es regular el flujo, facilitar el mantenimiento y contribuir a la operación del sistema hidráulico (López Cualla, 1995).

f) Aparatos sanitarios

Son los dispositivos finales de consumo, entre los que se encuentran inodoros, lavamanos, duchas y urinarios. Su funcionamiento depende de las condiciones de presión y caudal disponibles en la red de distribución (Crites & Tchobanoglous, 1998).

El dimensionamiento de una red de agua potable se realiza con base en la demanda de consumo de la edificación. Para estimar esta demanda pueden emplearse métodos probabilísticos, como el método de Hunter, especialmente en edificaciones con varios puntos de utilización simultánea (Crites & Tchobanoglous, 1998).

Asimismo, durante el transporte del agua se producen pérdidas de energía en las tuberías y accesorios, las cuales pueden evaluarse mediante ecuaciones empíricas como la de Hazen-Williams. Este análisis permite verificar las condiciones hidráulicas de funcionamiento de la red (Fox & McDonald, 2012).

En conjunto, los componentes de una red de agua potable trabajan de manera integrada, por lo que el comportamiento del sistema depende de la relación entre caudal, presión y pérdidas de carga (López Cualla, 1995).

2.1.2 Componentes de redes de alcantarillado

Las redes de alcantarillado en edificaciones son el conjunto de elementos destinados a recolectar, conducir y evacuar las aguas residuales generadas por los usuarios. En determinados casos, estas redes también permiten la evacuación de aguas pluviales, contribuyendo a mantener condiciones adecuadas de salubridad y a prevenir la contaminación del entorno (Arocha, 1983).

A diferencia de las redes de agua potable, los sistemas de alcantarillado trabajan generalmente bajo condiciones de flujo a superficie libre, donde el desplazamiento del agua depende de la pendiente

de las tuberías y de la acción de la gravedad. Por esta razón, el diseño hidráulico debe garantizar velocidades que eviten la sedimentación de sólidos y favorezcan las condiciones de autolimpieza de la red (Chow, 1994).

Los principales componentes de una red de alcantarillado en edificaciones son los siguientes:

a) Aparatos sanitarios

Son los elementos que generan las aguas residuales, entre los que se incluyen inodoros, lavamanos, duchas, urinarios y fregaderos. Estos dispositivos descargan el agua utilizada hacia el sistema de drenaje y constituyen el punto inicial del flujo sanitario (López Cualla, 1995).

b) Ramales de descarga

Son tuberías de pequeño diámetro que conectan los aparatos sanitarios con las bajantes o colectores principales. Su función es conducir las aguas residuales hacia la red principal y evitar acumulaciones dentro de la edificación (MIDUVI, 2015).

c) Bajantes sanitarias

Son tuberías verticales destinadas a transportar las aguas residuales desde los niveles superiores hacia los colectores horizontales. Su dimensionamiento debe considerar los caudales de descarga y las condiciones de ventilación del sistema (López Cualla, 1995).

d) Colectores horizontales

Corresponden a las tuberías que conducen las aguas residuales desde las bajantes hacia la red externa o hacia el sistema de tratamiento. Estas trabajan bajo condiciones de flujo a superficie libre y requieren pendientes que permitan velocidades adecuadas para evitar la acumulación de sólidos (Arocha, 1983).

e) Cámaras de inspección (pozos de revisión)

Son estructuras que facilitan las labores de mantenimiento, limpieza y control de la red. Generalmente se ubican en cambios de dirección, cambios de pendiente o intersecciones de tuberías (MIDUVI, 2015).

f) Sistema de ventilación

Está conformado por tuberías destinadas a permitir la circulación de aire dentro de la red sanitaria, evitando la acumulación de gases y la pérdida de los sellos hidráulicos de los aparatos sanitarios (López Cualla, 1995).

g) Sistema de tratamiento (biodigestor u otro)

Cuando una edificación no dispone de conexión a una red pública de alcantarillado, pueden emplearse sistemas de tratamiento primario, como biodigestores o tanques sépticos. Estos sistemas realizan procesos biológicos anaerobios que favorecen la degradación de la materia orgánica antes de la disposición final del efluente (Metcalf & Eddy, 2014).

El dimensionamiento hidráulico de las redes de alcantarillado considera el caudal generado, las condiciones de flujo y la capacidad de conducción de las tuberías. Para este análisis es común utilizar la ecuación de Manning, la cual relaciona la velocidad del flujo con la pendiente hidráulica, la rugosidad y el radio hidráulico del conducto (Chow, 1994).

Asimismo, es recomendable que las tuberías trabajen dentro de límites adecuados de llenado para favorecer la ventilación del sistema y evitar condiciones de flujo presurizado (Arocha, 1983).

En conjunto, los componentes de una red de alcantarillado funcionan de manera integrada, por lo que su comportamiento depende del adecuado diseño hidráulico y de la correcta interacción entre sus diferentes elementos (MIDUVI, 2015).

2.2 Fundamentos de hidráulica aplicada

Los fundamentos de la hidráulica aplicada constituyen la base para el análisis y la verificación de los sistemas hidrosanitarios, ya que permiten describir el comportamiento del flujo de agua tanto en tuberías a presión como en conductos a superficie libre. Asimismo, proporcionan los criterios necesarios para el estudio de parámetros como caudales, presiones, pérdidas de carga y velocidades de flujo dentro de una red hidráulica (Fox & McDonald, 2012).

El análisis hidráulico de estos sistemas se sustenta en principios físicos relacionados con la conservación de la masa y la conservación de la energía. Estos principios permiten evaluar el comportamiento del flujo y constituyen la base para el dimensionamiento y la comprobación del funcionamiento de las redes de abastecimiento y evacuación de agua (Fox & McDonald, 2012).

En los sistemas de agua potable, el flujo se desarrolla generalmente bajo condiciones de presión, por lo que las variables hidráulicas dependen de la energía disponible dentro de la red. Factores como la rugosidad de las tuberías, la longitud de conducción y las pérdidas de carga influyen directamente en el comportamiento hidráulico del sistema (Fox & McDonald, 2012).

Por otra parte, en los sistemas de alcantarillado, el flujo se presenta normalmente a superficie libre, donde la gravedad constituye el principal mecanismo de transporte del agua. En estas condiciones, parámetros como la pendiente hidráulica y la geometría del conducto influyen en la capacidad de conducción de la red (Chow, 1994).

2.2.1 Caudales y dotación

El caudal constituye una de las variables fundamentales en el análisis hidráulico, ya que se define como el volumen de fluido que atraviesa una sección transversal por unidad de tiempo, expresándose comúnmente en litros por segundo (L/s). Este parámetro permite evaluar la capacidad de conducción y distribución de agua dentro de los sistemas hidrosanitarios (Chow, 1994). En este sentido, el caudal de diseño depende de la demanda generada por los usuarios y de la simultaneidad en el uso de los aparatos sanitarios, factores que influyen directamente en el comportamiento hidráulico de la red (Crites & Tchobanoglous, 1998).

El caudal se relaciona con el área de la sección transversal y con la velocidad del flujo, mediante la siguiente expresión:

Ecuación 1. Ecuación del Caudal

$$Q = A * V \quad (1)$$

Donde

Q = caudal (m^3/s o L/s).

A = área de la sección (m^2)

V = velocidad del flujo (m/s)

La dotación representa el volumen de agua asignado por usuario durante un período determinado y constituye uno de los parámetros básicos para el cálculo de la demanda total de agua dentro de una edificación. Su valor depende del tipo de infraestructura, del número de usuarios y de las actividades desarrolladas en la instalación (López Cualla, 1995).

Para estimar el caudal medio diario del sistema se emplea la siguiente relación:

Ecuación 2. Caudal medio diario

$$Q_{md} = \frac{P_f * D_f}{86400} \quad (2)$$

Donde:

Q_{md} = Caudal medio diario en (L/s)

P_f = Población en habitantes (hab)

D_f = Dotación futura en (L/hab.d)

A partir del caudal medio diario, es posible determinar el caudal máximo diario mediante la siguiente expresión:

Ecuación 3. Caudal máximo diario

$$Q_{máx.d} = k1 * Q_{md} \quad (3)$$

Donde:

$Q_{máx.d}$= Caudal máximo diario en (L/s)

Q_{md} = Caudal medio diario en (L/s)

$k1$ = coeficiente máximo diario de 1.3 a 1.5

Posteriormente, el caudal máximo horario puede obtenerse mediante la siguiente relación:

Ecuación 4. Caudal máximo horario

$$Q_{máx.h} = k2 * Q_{max.d} \quad (4)$$

Donde:

$Q_{máx.h}$= Caudal máximo horario en (L/s)

$Q_{máx.d}$= Caudal máximo diario en (L/s)

$k2$ = coeficiente máximo horario de 2 a 2.3

En edificaciones con varios puntos de consumo es necesario considerar la simultaneidad en el funcionamiento de los aparatos sanitarios, con el fin de estimar la demanda real del sistema durante las condiciones de operación. Para ello, el caudal máximo probable puede obtenerse mediante la ecuación (5), tomada de la (NEC, 2011), en la que consiste en la aplicación de un coeficiente de simultaneidad sobre la suma de los caudales unitarios de los diferentes puntos de consumo.

Ecuación 5. Caudal máximo probable

$$Q_{mp} = k_s * \sum q_i \quad (5)$$

Donde:

Q_{mp}= Caudal máximo probable (L/s)

k_s= coeficiente de simultaneidad, entre 0.2 y 1.0

$\sum q_i$= caudal mínimo de los aparatos suministrados (L/s)

Coeficiente de simultaneidad

La simultaneidad de uso de los aparatos sanitarios se representa mediante el coeficiente Ks, el cual permite considerar que no todos los puntos de consumo funcionan al mismo tiempo. Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2011), se calcula mediante la ecuación (6).

Ecuación 6. Coeficiente de simultaneidad

$$k_s = \frac{1}{\sqrt{\mathrm{n} - 1}} + F * (0.04 + 0.04 * \log\,(\log(\mathrm{n})) \tag{6}$$

Donde:

k_s= coeficiente de simultaneidad.

n = número total de aparatos servidos

F = factor de ocupación de la edificación.

De acuerdo con la NEC (2011), el valor del factor F depende del tipo de edificación, adoptándose valores específicos para viviendas, oficinas, edificios académicos, hospitales y otras instalaciones. El coeficiente de simultaneidad generalmente toma valores comprendidos entre 0.2 y 1.0, permitiendo representar condiciones reales de consumo dentro de la red de distribución.

La determinación del caudal máximo probable permite estimar la demanda hidráulica de la red interna bajo condiciones de uso simultáneo, constituyendo un parámetro fundamental para la verificación del dimensionamiento de las tuberías y el comportamiento del sistema bajo condiciones reales de operación.

2.2.2 Presiones y pérdidas de carga

La presión en un sistema hidráulico representa la energía disponible para transportar el agua a través de las tuberías y garantizar el adecuado funcionamiento de los diferentes puntos de consumo (López Cualla, 1995).

Durante el recorrido del agua por las conducciones se producen pérdidas de energía debido a la fricción entre el fluido y las paredes internas de la tubería. Estas pérdidas dependen principalmente de la longitud de la conducción, el diámetro de la tubería, la velocidad del flujo y las características del material empleado (Fox & McDonald, 2012).

Para la determinación de las pérdidas de carga por fricción se emplea la ecuación (7) tomada de la NEC (2011) mediante la siguiente expresión:

Ecuación 7. Pérdida de carga por fricción

$$h_f = m * L * (\frac{V^{1.75}}{D^{1.25}}) \quad (7)$$

Donde:

h_f = pérdida de carga por fricción (m)

m = coeficiente del material

L = longitud de la tubería (m)

V = velocidad del flujo (m/s)

D = diámetro interno de la tubería (m)

El coeficiente de Manning depende del material de la tubería empleada, para tuberías de PVC se adopta un valor de 0.00054, el cual permite representar la rugosidad característica del material y su influencia sobre las pérdidas de carga.

Además de las pérdidas por fricción, los accesorios presentes en la red generan perdidas adicionales, las cuales se incorporan mediante una longitud efectiva. Para incorporar estos efectos al análisis hidráulico se utiliza el concepto de longitud equivalente mediante la ecuación (8) tomada de NEC (2011), mediante el cual cada accesorio se reemplaza por una longitud ficticia de tubería que produce una pérdida de energía equivalente.

Ecuación 8. Longitud equivalente del accesorio

$$L_e = \left(A * \left(\frac{d}{25.4}\right) \pm B\right) * \left(\frac{120}{C}\right)^{1.8519} \quad (8)$$

Donde:

L_e= longitud equivalente del accesorio (m)

A, B= coeficientes que dependen del tipo de accesorio

d = diámetro interno de la tubería (mm)

C = coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams.

La longitud total utilizada en el análisis hidráulico corresponde a la suma de la longitud real de la tubería y las longitudes equivalentes asociadas a los accesorios presentes en cada tramo.

Por otra parte, la presión residual corresponde a la presión disponible en un punto de la red una vez descontadas las pérdidas de carga generadas durante el recorrido del agua. Este parámetro

permite verificar si la energía disponible es suficiente para garantizar el adecuado funcionamiento de los aparatos sanitarios ubicados en los puntos más desfavorables del sistema.

La presión residual se determina mediante la siguiente relación:

Ecuación 9. Presión residual disponible

$$P_{residual} = P_{red} - P_{sistema} \quad (9)$$

Donde:

$P_{residual}$ = presión residual disponible (m.c.a.)

P_{red} = presión disponible de la red de abastecimiento (m.c.a.)

$P_{sistema}$= pérdidas acumuladas del sistema (m.c.a.)

La evaluación de la presión residual permite verificar el comportamiento hidráulico de la red y determinar la necesidad de incorporar sistemas complementarios de bombeo o equipos hidroneumáticos cuando la presión disponible no resulta suficiente para satisfacer las condiciones de servicio requeridas.

2.2.3 Velocidades y condiciones de flujo

La velocidad del flujo constituye uno de los parámetros fundamentales en el análisis hidráulico de los sistemas hidrosanitarios, debido a que influye en la capacidad de conducción, las peridas de carga y el funcionamiento de las redes hidrosanitarias. Se determina a partir de la relación entre el caudal que circula por la tubería y el área de la sección transversal del conducto (Chow, 1994).

La velocidad del flujo se expresa mediante la siguiente relación:

Ecuación 10. Velocidad de flujo

$$V = \frac{Q}{A} \quad (10)$$

Donde:

V= velocidad del flujo (m/s).

Q = caudal (m^3/s o L/s).

A = área de la sección transversal de la tubería (m^2).

En redes de agua potable es importante mantener velocidades dentro de rangos adecuados, para evitar acumulación de sedimentos, perdidas excesivas de energía y desgaste de las tuberías, constituyendo uno de los principales criterios de verificación durante el diseño hidráulico de las conducciones (López Cualla, 1995).

En los sistemas de alcantarillado sanitario y drenaje pluvial, las conducciones operan generalmente a superficie libre, por lo que su análisis requiere considerar las características geométricas de la sección hidráulica y las condiciones de llenado de la tubería.

Para una sección circular operando parcialmente llena, el área hidráulica puede determinarse mediante la siguiente expresión:

Ecuación 11. Área parcial

$$A_{parcial} = \frac{D^2 * (Rel.Q - Sen(Rel.Q)}{8} \quad (11)$$

Donde:

$A_{parcial}$= Área parcial (m^2).

D= diámetro de la tubería en (m).

$Rel\ .Q$= Relación caudal entre el caudal circulante y el caudal a tubo lleno.

La relación de caudal se expresa como:

Ecuación 12. Relación caudal entre el caudal circulante y el caudal a tubo lleno.

$$Rel.Q = \frac{Qr}{Qlleno} \tag{12}$$

Donde:

$Rel\ .Q$= Relación caudal entre el caudal circulante y el caudal a tubo lleno.

Qr= Caudal residual en (L/s).

$Qlleno$ = Caudal a tubería llena en (L/s).

Asimismo, el perímetro mojado parcial puede obtenerse mediante:

Ecuación 13. Perímetro parcial

$$P_{parcial} = \frac{D * Rel.Q}{2} \tag{13}$$

Donde:

$P_{parcial}$= Perímetro parcial en (m).

$Rel\ .Q$= Relación caudal entre el caudal circulante y el caudal a tubo lleno.

D= diámetro de la tubería en (m).

A partir del área hidráulica y del perímetro mojado se determina el radio hidráulico, parámetro utilizado para evaluar el comportamiento del flujo a superficie libre:

Ecuación 14. Radio hidráulico

$$R = \frac{\mathrm{A}}{\mathrm{P}} \tag{14}$$

Donde:

R = Radio hidráulico (m).

A = Área mojada del flujo (m²).

P = Perímetro mojado del conducto (m).

Finalmente, la velocidad del flujo en conducciones que operan a superficie libre puede determinarse mediante la ecuación de Manning:

Ecuación 15. Ecuación de Manning

$$V = \frac{1}{\mathrm{n}} * R^{2/3} * S^{1/2} \tag{15}$$

Donde:

V= Velocidad del flujo (m/s).

R = Radio hidráulico (m)

S = Pendiente hidráulica del conducto (m/m).

n = coeficiente de rugosidad de Manning.

La ecuación de Manning permite determinar la velocidad de flujo en conducciones a superficie libre y verificar que las condiciones hidráulicas sean adecuadas para transportar el caudal y el funcionamiento de las redes sanitarias y pluviales.

2.2.4 Criterios hidráulicos para drenaje pluvial

El drenaje pluvial en edificaciones tiene como finalidad recolectar y conducir de manera segura las aguas provenientes de las precipitaciones, evitando acumulaciones superficiales que puedan afectar el funcionamiento de la infraestructura o generar procesos de erosión e inundación. Para ello, el dimensionamiento hidráulico de estos sistemas debe considerar las características de la precipitación, el área de aporte y las condiciones de escurrimiento de la superficie (Chow, 1994).

En proyectos de pequeña y mediana extensión, el caudal de diseño puede estimarse mediante el método racional, el cual relaciona el coeficiente de escurrimiento, la intensidad de precipitación y el área tributaria. Este método es ampliamente utilizado debido a su simplicidad y a su aplicación en el diseño de sistemas de drenaje urbano.

La expresión del método racional es la siguiente:

Ecuación 16. Método Racional

$$Q = \frac{C * I * A}{0.36} \quad (16)$$

Donde:

Q= caudal máximo de diseño (L/s).

c = coeficiente de escurrimiento.

I = intensidad de precipitación (mm/h).

A = área de aporte (ha).

La intensidad de precipitación constituye uno de los parámetros más importantes en el análisis hidráulico del drenaje pluvial, ya que representa la cantidad de lluvia que ocurre durante un intervalo de tiempo determinado. Su determinación se realiza a partir de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), desarrolladas con base en registros históricos de estaciones pluviográficas y asociadas a un período de retorno previamente establecido.

La expresión para la intensidad de lluvia es:

Ecuación 17. Intensidad de lluvia

$$i = 160.9162 * T^{0.2407} * t^{-0.4893} \quad (17)$$

Donde:

i= Intensidad de lluvia en mm/hora

T= Período de retorno en años

t= Tiempo de concentración en minutos

Asimismo, el área de aporte corresponde a la superficie que contribuye al escurrimiento hacia un determinado tramo de la red pluvial. En sistemas con varios puntos de captación, el análisis puede realizarse considerando áreas parciales acumuladas, permitiendo determinar progresivamente el caudal de diseño en cada sección del sistema.

Una vez determinado el caudal de diseño, es necesario verificar la capacidad hidráulica de las conducciones, evaluando las condiciones de flujo y las velocidades alcanzadas. Este análisis permite comprobar que las tuberías poseen capacidad suficiente para transportar el caudal

generado y que las velocidades de circulación favorecen el adecuado funcionamiento del sistema, evitando procesos de sedimentación o erosión interna.

En conjunto, la aplicación de estos criterios hidráulicos permite evaluar el desempeño del sistema de drenaje pluvial y verificar que las condiciones de funcionamiento sean compatibles con los requerimientos de la infraestructura analizada.

Para el análisis del flujo a superficie libre es necesario considerar el radio hidráulico que permite representar la eficiencia hidráulica de la sección de conducción, parámetro que representa la relación entre el área y el perímetro mojados del conducto, mostrado en la ecuación 14.

Por otra parte, para determinar el área hidráulica que corresponde a la sección transversal efectiva ocupada, se considera la relación entre el caudal transportado y el caudal a sección llena de la tubería, permitiendo establecer el porcentaje de ocupación de la conducción, en la que el área se obtiene con la ecuación 11. Por otro lado, la condición de funcionamiento de la tubería se establece la relación entre el caudal que circula por el conducto y el caudal máximo que puede transportar a sección llena se establece con ecuación 12. A partir de aquí se procede a determinar el perímetro parcial, que representa la longitud de la tubería que mantiene contacto directo con el agua al momento de circulación del flujo con la ecuación 13.

Finalmente, se determina la velocidad de flujo a partir de la ecuación de Manning, que relaciona a la pendiente del conducto, el radio hidráulico y la pendiente. Se verifica la velocidad mediante la expresión con la ecuación 15.

2.2.5 Sistemas de bombeo e hidroneumáticos

Los sistemas de bombeo e hidroneumáticos son elementos utilizados en instalaciones de abastecimiento de agua potable cuando la presión disponible en la red pública no es suficiente para

garantizar el suministro adecuado en todos los puntos de consumo de una edificación. Estos sistemas permiten incrementar la presión de servicio mediante la impulsión del agua desde un tanque de almacenamiento hacia la red interna, asegurando condiciones apropiadas de funcionamiento para los aparatos sanitarios (López Cualla, 1995).

Un sistema de bombeo está conformado generalmente por una bomba, tuberías de impulsión y accesorios de control, cuya función es proporcionar la energía necesaria para vencer las diferencias de nivel, las pérdidas de carga por fricción y las presiones requeridas en los puntos de consumo. La capacidad de la bomba depende principalmente del caudal de diseño y de la carga hidráulica total que debe superar durante su operación (Fox & McDonald, 2012).

La carga hidráulica total corresponde a la suma de las diferentes cargas que intervienen en el sistema, incluyendo la altura estática, las pérdidas de carga por fricción y accesorios, las presiones requeridas en los puntos de consumo y las condiciones particulares de operación. Puede expresarse mediante la siguiente relación:

Ecuación 18. Carga hidráulica total

$$H_{dt} = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 \tag{18}$$

Donde:

H_1 = altura estática

H_2 = pérdidas por fricción y accesorios

H_3 = presión requerida en el aparato más desfavorable

H_4 = altura de succión

A partir de la carga hidráulica total y del caudal de diseño es posible determinar la potencia requerida por el equipo de bombeo mediante la siguiente expresión:

Ecuación 19. Potencia de la bomba

$$P = \frac{Q * Hdt\ con\ presion\ hidroneumatico}{75 * \frac{n}{100}} \quad (19)$$

Donde:

P = potencia de la bomba (HP)

Q = caudal de diseño (L/s)

$Hdt\ con\ presion\ hidroneumatico$ = carga hidráulica total (m)

n = rendimiento de la bomba (%)

Sistemas hidroneumáticos

Por otra parte, los sistemas hidroneumáticos permiten mantener una presión relativamente constante dentro de la red mediante la utilización de un tanque presurizado que almacena agua y aire comprimido. Su función principal es reducir la frecuencia de arranque de la bomba y estabilizar las condiciones de presión en la instalación hidráulica.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (2011) establece que el volumen total del tanque hidroneumático puede determinarse mediante la siguiente expresión:

Ecuación 20. Volumen total del tanque hidroneumático

$$W_{thn} = \frac{19 * R_{aire} * Q_b * (P_{OFF} + 10.33)}{N_{bombas} * N_{ciclos} * (P_{OFF} - P_{ON})} \quad (20)$$

W_{thn} = volumen total del tanque hidroneumático (L)

Q_b= caudal medio de bombeo (L/min)

N_{bombas}= número de bombas en funcionamiento

N_{ciclos}= número de ciclos por hora

P_{ON}= presión de arranque

P_{OFF}= presión de parada

R_{aire}= coeficiente de renovación de aire

El adecuado dimensionamiento y verificación de los sistemas de bombeo e hidroneumáticos permite garantizar presiones suficientes dentro de la red de distribución, mejorar la continuidad del servicio y optimizar la operación hidráulica de las instalaciones de abastecimiento de agua potable (Fox & McDonald, 2012).

2.3 Normativa y criterios de diseño

El análisis y la verificación de los sistemas hidrosanitarios en edificaciones requieren la aplicación de criterios técnicos que permitan evaluar su funcionamiento hidráulico y las condiciones de operación de sus componentes. Para ello, es necesario considerar disposiciones normativas que establezcan parámetros relacionados con el abastecimiento de agua potable, la evacuación de aguas

residuales y el drenaje pluvial, con el propósito de garantizar condiciones adecuadas de servicio, salubridad y seguridad para los usuarios.

En el contexto de la presente investigación, la evaluación hidráulica del sistema hidrosanitario se fundamenta principalmente en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2011), complementada con bibliografía técnica especializada aplicable al análisis de redes de agua potable, alcantarillado sanitario y drenaje pluvial. La aplicación de estos criterios constituye el marco de referencia para la verificación de los parámetros hidráulicos desarrollados en los capítulos posteriores.

2.3.1 Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2011)

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2011), constituye el principal referente técnico para el análisis de las instalaciones hidrosanitarias en edificaciones. Su finalidad es establecer criterios generales relacionados con el abastecimiento de agua potable, la evacuación de aguas residuales y el drenaje pluvial, proporcionando parámetros que permitan garantizar condiciones adecuadas de funcionamiento y salubridad.

En las redes de agua potable, la normativa contempla criterios asociados al dimensionamiento de las conducciones, las condiciones de presión de servicio y el comportamiento hidráulico de las tuberías, aspectos que permiten verificar la capacidad del sistema para abastecer los diferentes puntos de consumo de la edificación. Asimismo, considera la influencia de las pérdidas de carga y de las características propias de los materiales utilizados en la red.

Para los sistemas de alcantarillado sanitario, la NEC (2011) establece criterios relacionados con la conducción de las aguas residuales, las pendientes hidráulicas, las condiciones de flujo y la disposición de elementos de inspección y ventilación. Estos parámetros contribuyen a mantener

un funcionamiento adecuado de la red y a reducir la posibilidad de sedimentación o problemas operativos durante su servicio.

En cuanto al drenaje pluvial, la normativa contempla lineamientos para la evacuación de las aguas lluvias mediante la consideración de las áreas de aporte, las condiciones hidrológicas y la capacidad hidráulica de las conducciones. La aplicación de estos criterios permite verificar que el sistema pueda transportar los caudales generados sin afectar la funcionalidad de la infraestructura.

En la presente investigación, la NEC (2011), constituye el marco normativo principal para la evaluación hidráulica de los sistemas de agua potable, alcantarillado sanitario, drenaje pluvial y tratamiento de aguas residuales analizados en el proyecto, sirviendo como referencia para las verificaciones desarrolladas en el Capítulo IV.

2.3.2 Normas técnicas complementarias

La evaluación hidráulica de los sistemas hidrosanitarios puede apoyarse en bibliografía técnica especializada que desarrolla los fundamentos aplicables al abastecimiento de agua potable, la evacuación de aguas residuales y el drenaje pluvial. Estas referencias proporcionan criterios para el análisis de caudales, presiones, pérdidas de carga, velocidades de flujo y capacidad de conducción de las tuberías.

En el ámbito de la hidráulica aplicada, autores como Chow (1994), Fox y McDonald (2012) y López Cualla (1995) presentan metodologías ampliamente utilizadas para el estudio del comportamiento del flujo en tuberías a presión y conductos a superficie libre. De igual manera, Arocha (1983) desarrolla criterios técnicos relacionados con el funcionamiento de las redes de alcantarillado sanitario, mientras que Crites y Tchobanoglous (1998) y Metcalf & Eddy (2014)

aportan fundamentos para el análisis de los sistemas de saneamiento y tratamiento de aguas residuales.

La utilización conjunta de la NEC (2011) y de la bibliografía técnica especializada proporciona el sustento teórico necesario para la evaluación hidráulica y la verificación del dimensionamiento del sistema hidrosanitario objeto de estudio.

2.4 Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales comprende el conjunto de procesos destinados a reducir la concentración de contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua utilizada. Su finalidad es disminuir el impacto ambiental asociado a su descarga, contribuyendo a la protección de los recursos naturales y de la salud pública. En edificaciones que no disponen de conexión a redes públicas de alcantarillado, estos sistemas constituyen una alternativa para el manejo adecuado de los efluentes generados (Metcalf & Eddy, 2014).

Las aguas residuales contienen materia orgánica, sólidos suspendidos y microorganismos que, sin un tratamiento adecuado, pueden ocasionar procesos de contaminación del suelo y de los cuerpos receptores de agua. Por esta razón, la evaluación y el funcionamiento de los sistemas de tratamiento deben considerar aspectos como el caudal generado, las características del afluente y la capacidad operativa de las unidades que conforman el sistema, con el propósito de favorecer una adecuada remoción de contaminantes (Crites & Tchobanoglous, 1998).

2.4.1 Sistemas de tratamiento primario

El tratamiento primario tiene como finalidad reducir la cantidad de sólidos sedimentables y parte de la materia orgánica presente en las aguas residuales mediante procesos físicos, principalmente la sedimentación. Durante esta etapa, el agua residual permanece en condiciones que favorecen la

separación de los sólidos de mayor densidad, los cuales se depositan en el fondo, mientras que materiales de menor densidad, como grasas y espumas, tienden a acumularse en la superficie (Metcalf & Eddy, 2014).

Entre las unidades más utilizadas para el tratamiento primario se encuentran los tanques sépticos y los biodigestores, sistemas que permiten disminuir la concentración de sólidos suspendidos y parte de la carga orgánica contenida en el afluente antes de su disposición o tratamiento posterior (Crites & Tchobanoglous, 1998).

2.4.2 Funcionamiento de biodigestores

Los biodigestores son unidades de tratamiento que operan mediante procesos biológicos anaerobios, en los cuales microorganismos degradan la materia orgánica en ausencia de oxígeno, permitiendo reducir parcialmente la carga contaminante presente en las aguas residuales y favoreciendo la estabilización de los lodos generados (Metcalf & Eddy, 2014).

El proceso anaerobio comprende diferentes etapas biológicas, entre las que se encuentran la hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. Durante estas fases, la materia orgánica se transforma progresivamente en compuestos más simples, favoreciendo la estabilización de los residuos presentes en el agua residual (Crites & Tchobanoglous, 1998).

El funcionamiento de un biodigestor depende de factores como el caudal de ingreso, el volumen útil disponible, el tiempo de permanencia del efluente y las condiciones generales de operación del sistema. Estos parámetros influyen directamente en la capacidad de tratamiento y en el comportamiento hidráulico de la unidad (Metcalf & Eddy, 2014).

En la presente investigación, el análisis del biodigestor tiene como propósito verificar que la capacidad de la unidad sea compatible con el caudal generado por la edificación y con las

condiciones de funcionamiento del sistema hidrosanitario construido. Esta evaluación constituye un elemento importante para el análisis técnico del sistema de saneamiento del proyecto (Crites & Tchobanoglous, 1998).

Volumen útil neto del biodigestor

Para garantizar un tiempo de permanencia adecuado del agua residual dentro de la unidad de tratamiento, es necesario determinar el volumen útil neto requerido del biodigestor. Este parámetro se relaciona con el caudal residual generado y el tiempo de retención hidráulica adoptado para el sistema, mediante la siguiente expresión:

Ecuación 21. Volumen útil neto

$$V_{UN} = Q_r * TRH \tag{21}$$

Donde:

V_{UN} = volumen útil neto (L)

Q_r = caudal residual diario (L/día)

TRH = tiempo de retención hidráulica (días)

La determinación del volumen útil neto permite verificar que la unidad de tratamiento disponga de la capacidad suficiente para recibir el caudal generado y desarrollar adecuadamente los procesos de sedimentación y digestión anaerobia (Crites & Tchobanoglous, 1998).

El efluente es sometido a un proceso de digestión biológica en el que los sólidos sedimentables tienden a estabilizarse en el fondo del tanque, mientras el líquido tratado continúa su recorrido hacia la descarga correspondiente.

3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA HIDROSANITARIO DEL PROYECTO

3.1 Descripción general del área de estudio

El área de estudio corresponde al proyecto denominado "Construcción del aula de capacitación, baterías sanitarias, camerinos y biodigestor en el Complejo Deportivo Mirador del Colibrí", localizado en la parroquia Sangolquí, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha, República del Ecuador.

Desde el punto de vista territorial, la provincia de Pichincha forma parte de la región Interandina del país y concentra una importante infraestructura urbana, administrativa y de servicios. En la Figura 1 se presenta la ubicación de la provincia dentro del territorio ecuatoriano.



Figura 1. *Localización del Complejo Deportivo Mirador del Colibrí.*

Nota. Imagen obtenida de Google Earth (2026).

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui (2024), el cantón Rumiñahui constituye uno de los principales sectores

de expansión urbana del valle de Los Chillos, presentando un crecimiento sostenido de infraestructura residencial, comercial y comunitaria. Dentro de este territorio se encuentra la parroquia Sangolquí, cabecera cantonal, caracterizada por una dinámica de desarrollo que ha impulsado la ejecución de equipamientos destinados a actividades deportivas, recreativas y de servicio público.

El proyecto objeto de estudio se emplaza en el sector Mirador del Colibrí, dentro de un entorno urbano en proceso de consolidación, donde predominan áreas residenciales y espacios destinados al equipamiento comunitario. Las características topográficas del sector presentan variaciones de nivel que influyen en el comportamiento hidráulico de las redes de abastecimiento de agua potable, alcantarillado sanitario y drenaje pluvial.

La localización específica del Complejo Deportivo Mirador del Colibrí se presenta en la Figura 2.



Figura 2. *Croquis de la Zona "El Colibrí"*

Nota. Adaptado de Factibilidad de servicios del proyecto Aula de capacitación, baterías sanitarias y camerinos, Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui (2024).

Con el propósito de facilitar la comprensión de la distribución de las obras que conforman el proyecto, en la Figura 3 se muestra la implantación general del conjunto, donde se identifican las principales edificaciones y los elementos que integran el sistema hidrosanitario analizado en la presente investigación.



Figura 3. *Esquema de la Red de Distribución de Agua Potable*

Nota. Distribución del sistema de tuberías a presión para el abastecimiento del aula de capacitación y baterías sanitarias. (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui, 2024.)

3.2 Descripción del sistema de agua potable

El sistema de abastecimiento de agua potable del proyecto ubicado en el Complejo Deportivo Mirador del Colibrí, en el cantón Rumiñahui, ha sido diseñado para abastecer de agua potable al aula de capacitación, baterías sanitarias y camerinos. El abastecimiento se realiza mediante una conexión a la red pública, considerando los criterios establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2011).

La conexión conduce el caudal requerido hacia la red interna del proyecto, asegurando condiciones adecuadas de funcionamiento para los diferentes puntos de consumo. La red de distribución está conformada por tuberías de 1/2", 3/4" y 1", cuyos diámetros fueron seleccionados de acuerdo con los requerimientos hidráulicos del sistema y las demandas de servicio (López Cualla, 1995). La disposición espacial de las tuberías, accesorios y puntos de abastecimiento se presenta en la Figura 4.

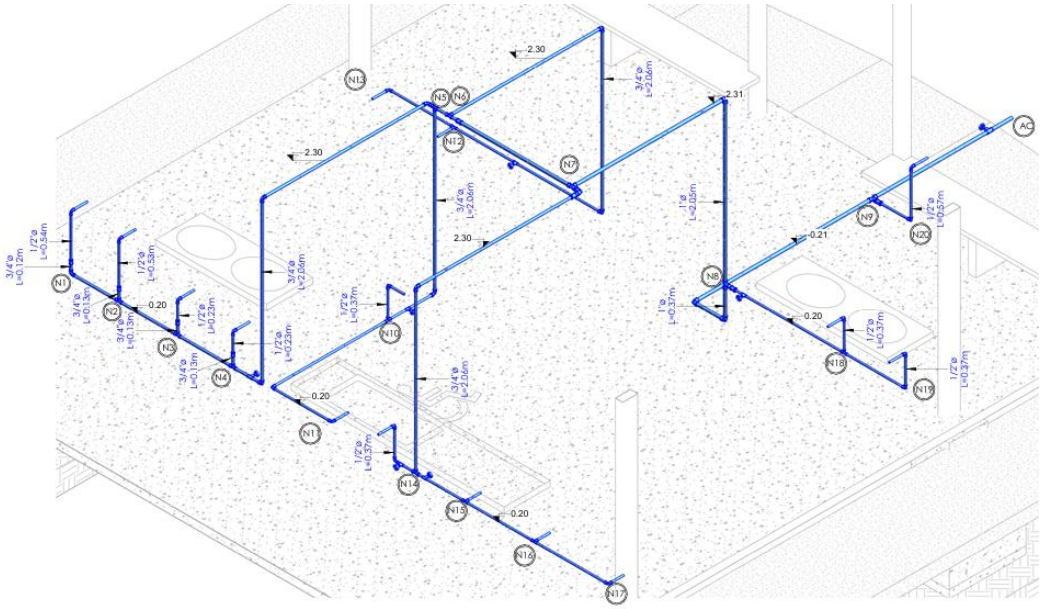


Figura 4. *Vista isométrica de la red de distribución de agua potable para el bloque de capacitación y camerinos.*

Nota. Vista isométrica de la red de distribución de agua potable para el aula de capacitación, baterías sanitarias y camerinos. Planos Hidrosanitarios: Lámina H4 (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui, 2024.)

El diseño de la red considera los criterios establecidos en la NEC (2011), relacionados con el caudal de diseño, la simultaneidad de uso, las velocidades de circulación y las pérdidas de carga, con el propósito de garantizar un funcionamiento hidráulico adecuado del sistema.

El proyecto contempla una cisterna de almacenamiento destinada a regular el abastecimiento de agua hacia la red interna, así como un sistema hidroneumático que proporciona la presión necesaria para el funcionamiento de las instalaciones sanitarias. Estos elementos fueron dimensionados de acuerdo con los requerimientos hidráulicos del proyecto, permitiendo mantener condiciones adecuadas de servicio en los diferentes puntos de consumo.

3.2.1 Componentes del sistema (red de distribución, almacenamiento, conexiones)

El sistema de agua potable se conforma por un conjunto de elementos que permiten la conducción, almacenamiento y distribución del recurso hídrico hacia los diferentes puntos de consumo del proyecto (López Cualla, 1995).

a) Red de distribución

La red de distribución interna constituye el conjunto de tuberías y accesorios encargados de transportar el agua potable desde el sistema de abastecimiento hacia los diferentes puntos de consumo. La red está conformada por tuberías de 1/2", 3/4" y 1", dispuestas en una configuración ramificada de acuerdo con las necesidades del proyecto.

El diseño de la red responde a los criterios establecidos en la NEC (2011), considerando aspectos como el caudal de diseño, la simultaneidad de uso, la presión mínima en los puntos de consumo y las velocidades admisibles en las tuberías. Asimismo, la red incorpora accesorios como codos, tees, uniones y reductores, los cuales permiten realizar cambios de dirección, derivaciones y adaptaciones de diámetro según los requerimientos del sistema (Fox & McDonald, 2012).

Además, se dispone de válvulas de paso ubicadas en puntos estratégicos de la instalación, cuya función es controlar el flujo y facilitar las labores de mantenimiento mediante la sectorización de la red.

b) Sistema de almacenamiento y presurización

El sistema contempla una cisterna destinada al almacenamiento de agua potable, cuya función es regular el suministro y garantizar la disponibilidad del recurso ante posibles variaciones de presión o interrupciones temporales del servicio de la red pública. Su dimensionamiento considera la demanda estimada y las condiciones de operación del proyecto (López Cualla, 1995).

De igual manera, el sistema dispone de un equipo hidroneumático encargado de proporcionar la presión necesaria para el abastecimiento de los diferentes puntos de consumo, permitiendo mantener condiciones adecuadas de funcionamiento dentro de la red interna.

c) Conexiones y puntos de consumo

Las conexiones corresponden a los elementos que vinculan la red de distribución con los diferentes aparatos sanitarios del proyecto. Estas instalaciones se ejecutan principalmente mediante tuberías de 1/2", adecuadas para el abastecimiento individual de cada dispositivo sanitario.

Cada punto de consumo cuenta con elementos de control que permiten regular el flujo y realizar intervenciones de mantenimiento sin afectar el funcionamiento general del sistema. Asimismo, la disposición de las conexiones ha sido planteada de acuerdo con la ubicación de los aparatos sanitarios, optimizando el recorrido de las tuberías y reduciendo pérdidas de carga innecesarias (Fox & McDonald, 2012).

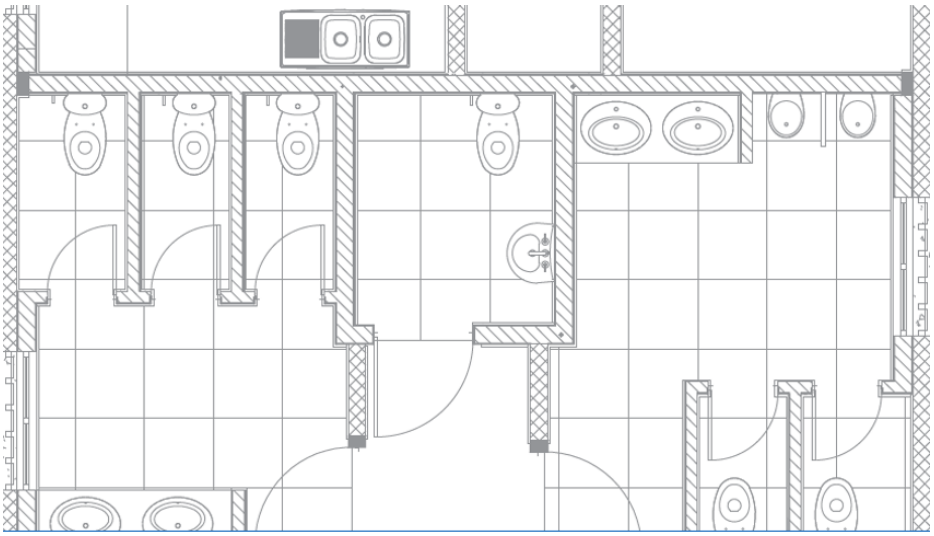


Figura 5. *Esquema general de los componentes del sistema de agua potable.*

Nota. Detalles geométricos y dimensiones mínimas para las cámaras de inspección. Planos Hidrosanitarios: Lámina H4 (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui, 2024.)

3.2.2 Aparatos sanitarios y demanda

El sistema de agua potable del Complejo Deportivo Mirador del Colibrí ha sido diseñado considerando los requerimientos de consumo generados por los diferentes aparatos sanitarios previstos en las edificaciones del proyecto, de acuerdo con los criterios establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2011) y la bibliografía técnica aplicable (López Cualla, 1995).

a) Aparatos sanitarios

El proyecto contempla la instalación de diversos aparatos sanitarios destinados a satisfacer las necesidades de los usuarios, entre los cuales se encuentran:

- Lavamanos.

- Inodoros.
- Urinarios.
- Fregaderos.

La ubicación y disposición de estos elementos responden a los requerimientos funcionales de la edificación y a los criterios técnicos establecidos para las instalaciones hidrosanitarias, garantizando condiciones adecuadas de servicio, salubridad y eficiencia en el uso del agua (López Cualla, 1995).

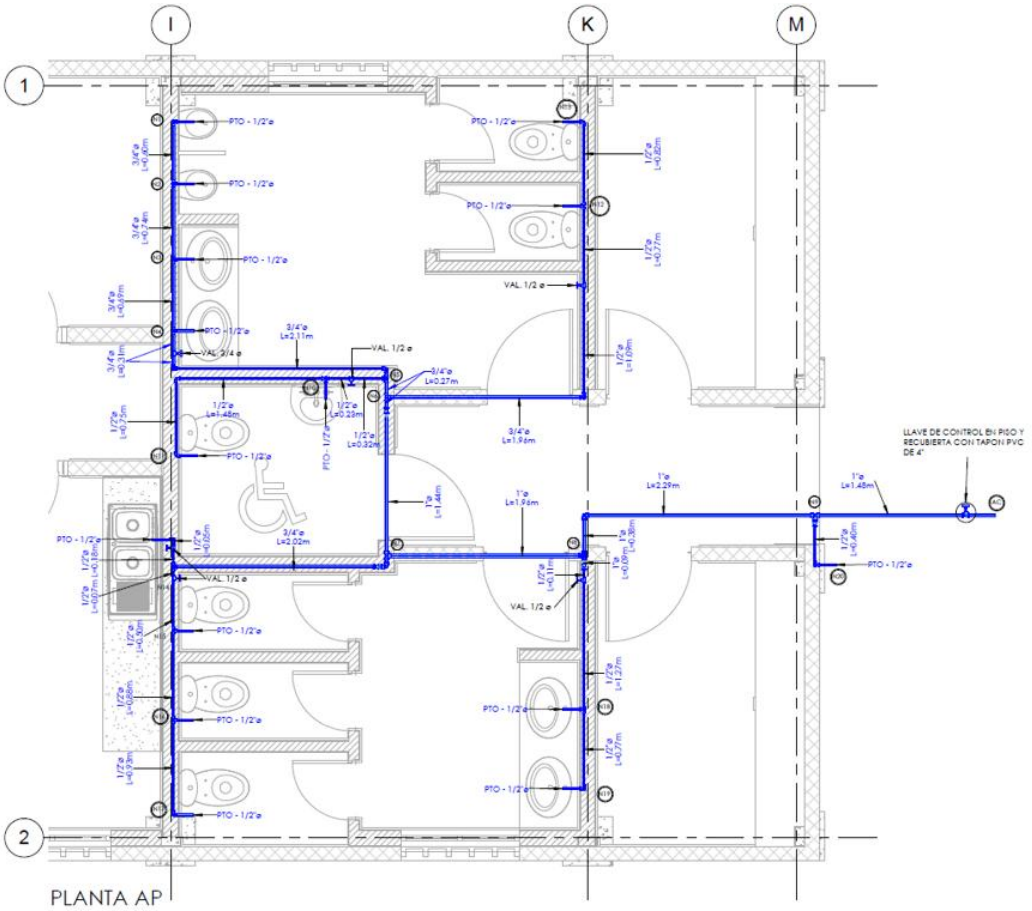


Figura 6. *Distribución de los aparatos sanitarios del bloque de capacitación y camerinos.*

Nota. Isométrico y despiece del equipo hidroneumático y tanque de presión. Planos Hidrosanitarios (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui, 2024.)

b) Demanda de agua potable

La demanda del sistema se determina en función del número y tipo de aparatos sanitarios, así como del uso previsto de las instalaciones. Para ello, se emplea el criterio de unidades de consumo establecido en la normativa técnica, permitiendo estimar el caudal máximo probable mediante la consideración de la simultaneidad de uso de los diferentes dispositivos (López Cualla, 1995).

Cada aparato sanitario posee una unidad de consumo asignada, utilizada para el cálculo de la demanda hidráulica del sistema y para la verificación del dimensionamiento de las tuberías de distribución. En el caso del presente proyecto, al tratarse de una instalación de uso público, la demanda se establece considerando la ocupación prevista y las condiciones normales de funcionamiento.

Para la evaluación hidráulica del sistema se consideran los siguientes parámetros:

- **Demanda promedio diaria:** volumen de agua requerido en condiciones normales de operación, calculado a partir de la población de diseño y la dotación correspondiente (MIDUVI, 2015).
- **Demanda máxima diaria:** caudal obtenido mediante la aplicación de un factor de variación sobre la demanda promedio diaria, permitiendo considerar las fluctuaciones del consumo (Arocha, 1983).

- **Demanda máxima horaria:** caudal correspondiente a las condiciones de mayor consumo dentro del período de operación, calculado a partir de la demanda máxima diaria (Fox & McDonald, 2012).

Estos parámetros constituyen la base para la determinación de los caudales de diseño y la verificación del adecuado funcionamiento del sistema de abastecimiento de agua potable.

3.3 Descripción del sistema de alcantarillado sanitario

El sistema de alcantarillado sanitario tiene como objetivo recolectar, conducir y evacuar de manera eficiente las aguas residuales generadas en las edificaciones del proyecto, garantizando condiciones adecuadas de funcionamiento y salubridad (Arocha, 1983). El sistema está conformado por una red de tuberías que transportan las aguas servidas desde los diferentes aparatos sanitarios hasta el sistema de tratamiento, siguiendo los criterios establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2011), que regula el diseño e instalación de sistemas de evacuación de aguas residuales.

La red sanitaria del proyecto está constituida principalmente por tuberías de 50 mm y 110 mm de diámetro, permitiendo la conducción de las aguas residuales provenientes de los distintos puntos de consumo. La disposición de las tuberías se desarrolla de manera ramificada, optimizando el transporte del flujo hacia los colectores principales.

Para el diseño hidráulico del sistema se consideraron pendientes aproximadas entre el 1 % y el 2 %, con el propósito de mantener velocidades adecuadas de circulación que eviten la sedimentación de sólidos y el taponamiento de las tuberías, de acuerdo con los criterios de diseño para redes de alcantarillado sanitario (López Cualla, 1995).

Adicionalmente, se han dispuesto cajas de revisión con dimensiones aproximadas de 0,60 × 0,60 m, las cuales permiten realizar labores de inspección, limpieza y mantenimiento del sistema, facilitando su operación y prolongando la vida útil de la infraestructura. Estas estructuras cumplen una función importante, ya que permiten controlar posibles obstrucciones y verificar el comportamiento hidráulico de la red (López Cualla, 1995).

El desalojo de las aguas residuales domésticas se realiza aprovechando la topografía del terreno mediante flujo a gravedad, conforme a la distribución de la red y su correspondiente representación isométrica, las cuales se presentan en la Figura 7.

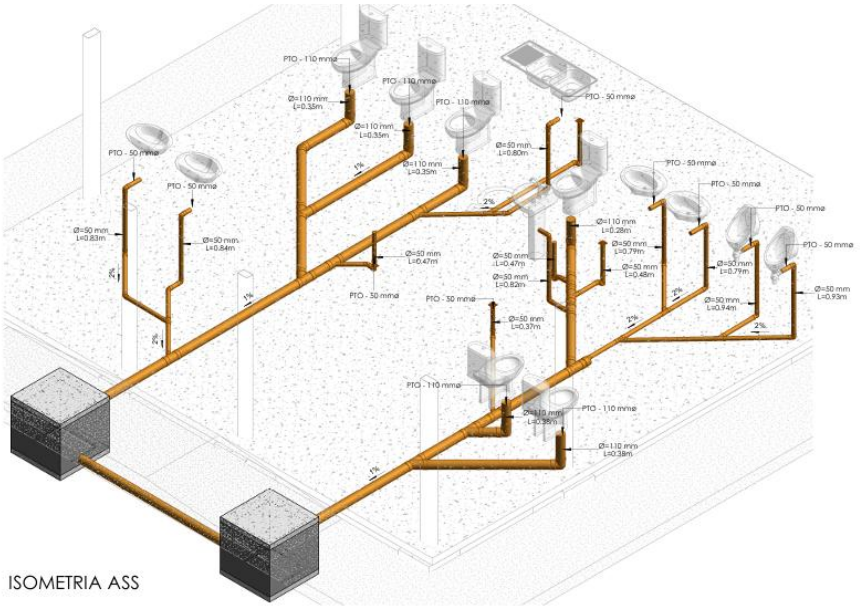


Figura 7. *Isometría del sistema de recolección de aguas servidas (ASS).*

Nota. Distribución tridimensional y en planta de las tuberías de desagüe, ramales de descarga y bajantes sanitarias para los camerinos y el aula de capacitación. Diseño del Componente Hidrosanitario: Memoria Técnica (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui, 2024.)

Las aguas residuales recolectadas son conducidas hacia el sistema de tratamiento previsto para el proyecto, constituido por un biodigestor, cuya capacidad fue determinada a partir de los caudales de diseño y de las condiciones hidráulicas de operación. Este sistema permite realizar un tratamiento primario del efluente antes de su disposición final, contribuyendo al adecuado manejo sanitario y ambiental del proyecto.

3.3.1 Red de recolección y conducción

La red de recolección y conducción del sistema de alcantarillado sanitario tiene la finalidad de captar y transportar las aguas residuales generadas en los diferentes aparatos sanitarios del Complejo Deportivo Mirador del Colibrí hasta el sistema de tratamiento, garantizando condiciones adecuadas de funcionamiento hidráulico y salubridad (Arocha, 1983).

La red está conformada por tuberías sanitarias de diámetros de 50 mm y 110 mm, seleccionadas de acuerdo con el tipo de descarga y el caudal estimado en cada tramo. Las tuberías de menor diámetro se utilizan para la evacuación de aguas provenientes de lavamanos, fregaderos y otros aparatos sanitarios, mientras que las tuberías de mayor diámetro corresponden a las descargas de inodoros y a los colectores principales del sistema (López Cualla, 1995).

La configuración hidráulica de la red es de tipo ramificada, permitiendo que las descargas individuales se incorporen progresivamente a colectores de mayor capacidad hasta conducir las aguas residuales hacia el sistema de tratamiento. Esta disposición favorece un comportamiento hidráulico adecuado, evitando sobrecargas y acumulaciones dentro de las tuberías. La distribución general de la red y su esquema de conducción se presentan en la Figura 8.

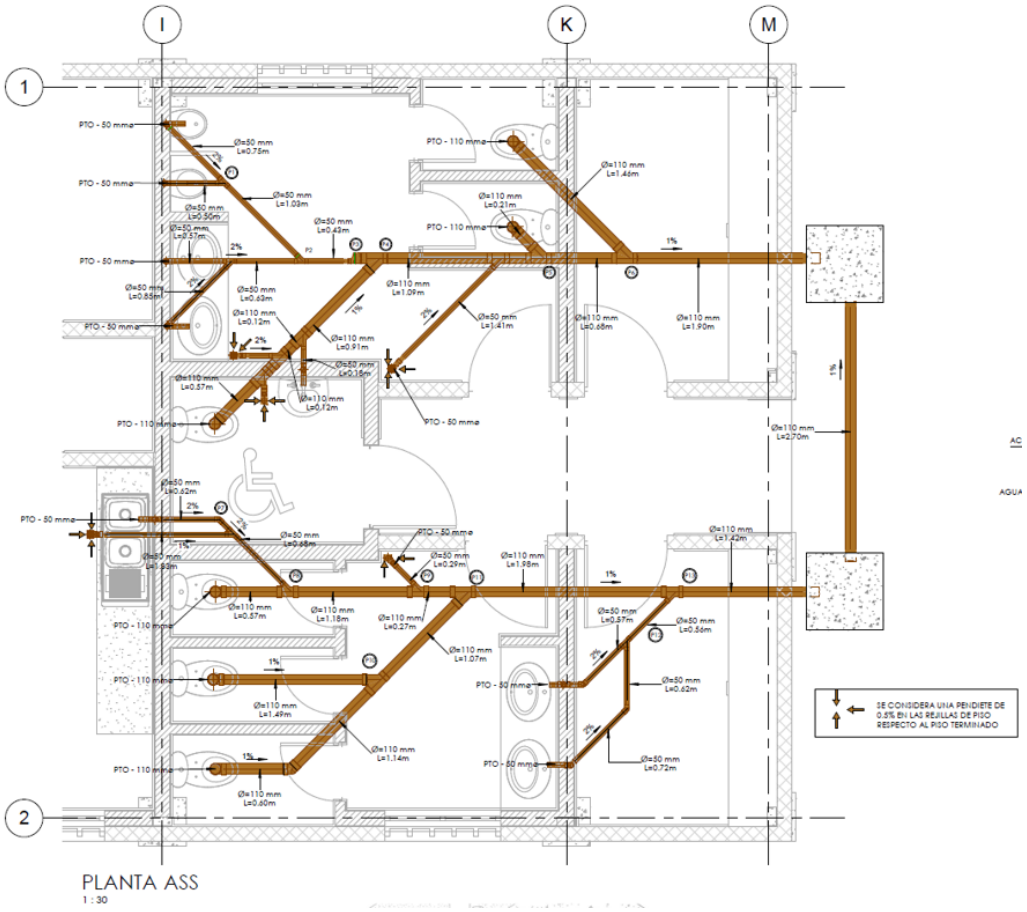


Figura 8. *Plano general de la red de recolección y conducción sanitaria.*

Nota. Distribución en planta del sistema de alcantarillado sanitario (PLANTA ASS), donde se detallan los ramales de descarga, las pendientes mínimas de diseño y la entrega del flujo hacia las cajas de revisión externas (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui, 2024).

Las pendientes adoptadas en el diseño se encuentran, en la mayoría de los tramos, entre el 1 % y el 2 %, permitiendo desarrollar velocidades de autolimpieza que reduzcan el riesgo de sedimentación de sólidos y obstrucciones en las conducciones. Según Arocha (1983), la adecuada selección de las pendientes constituye uno de los factores fundamentales para garantizar un flujo uniforme y continuo en las redes de alcantarillado sanitario.

El sistema incorpora cajas de revisión ubicadas en puntos estratégicos de cambio de dirección, variación de pendiente o unión de colectores, facilitando las labores de inspección, limpieza y mantenimiento preventivo de la red. Estas estructuras permiten controlar el funcionamiento hidráulico del sistema y prolongar la vida útil de la infraestructura (López Cualla, 1995). Finalmente, la conducción de las aguas residuales se desarrolla bajo condiciones de flujo a gravedad, aprovechando la topografía del terreno y las pendientes de diseño para transportar el efluente hacia el sistema de tratamiento previsto para el proyecto.

3.3.2 Pendientes, diámetros y condiciones de flujo

El sistema de alcantarillado sanitario del Complejo Deportivo Mirador del Colibrí presenta diámetros de tuberías seleccionados de acuerdo con el tipo de aparato sanitario conectado y el caudal estimado que circula por cada tramo. Una adecuada selección de los diámetros permite optimizar el comportamiento hidráulico de la red, evitando velocidades excesivas que puedan producir desgaste en las conducciones, así como velocidades bajas que favorezcan la sedimentación de sólidos (López Cualla, 1995).

Las pendientes adoptadas en el sistema se encuentran, en la mayoría de los tramos, entre el 1 % y el 2 %, de conformidad con los criterios de diseño establecidos para redes de alcantarillado sanitario. Estas pendientes permiten desarrollar velocidades de autolimpieza que contribuyen a minimizar el riesgo de obstrucciones y garantizar el adecuado transporte de las aguas residuales (Arocha, 1983).

El funcionamiento hidráulico de la red ha sido concebido para operar mediante flujo a gravedad, aprovechando las diferencias de nivel existentes entre los distintos puntos del sistema. Esta

condición permite reducir los requerimientos de equipos mecánicos, disminuir los costos de operación y mejorar la eficiencia hidráulica del sistema sanitario (Arocha, 1983).

Para la verificación del diseño hidráulico, se consideraron parámetros como el diámetro de las tuberías, las pendientes de instalación y las condiciones de flujo en cada tramo de la red. Asimismo, la disposición general de los tramos de conducción y sus respectivas pendientes puede observarse en la Figura 8, correspondiente al plano del sistema de alcantarillado sanitario.

3.4 Descripción del sistema de tratamiento

El sistema de tratamiento de aguas residuales del Complejo Deportivo Mirador del Colibrí tiene como finalidad reducir la carga contaminante generada por las actividades sanitarias de la edificación, permitiendo una disposición adecuada de las aguas residuales y contribuyendo a la protección ambiental y a las condiciones de salubridad del proyecto (Metcalf & Eddy, 2014).

Las aguas servidas provenientes de los diferentes aparatos sanitarios son conducidas mediante la red de alcantarillado sanitario hacia un tanque biodigestor, el cual constituye la unidad principal de tratamiento. Este sistema opera mediante procesos físicos y biológicos que permiten la separación de sólidos sedimentables y la degradación parcial de la materia orgánica presente en el efluente.

El funcionamiento del biodigestor se basa en procesos de sedimentación y digestión anaerobia, donde los sólidos de mayor densidad se depositan en el fondo del tanque, mientras que la materia orgánica es degradada por microorganismos en ausencia de oxígeno. Según Crites y Tchobanoglous (1998), este tipo de tratamiento es ampliamente utilizado en sistemas descentralizados debido a su eficiencia operativa, facilidad de mantenimiento y bajo requerimiento energético.

La conducción de las aguas residuales hasta el sistema de tratamiento se realiza mediante tuberías de PVC sanitario diseñadas para operar por gravedad, garantizando un flujo continuo dentro de la red. Asimismo, el sistema incorpora cajas de revisión y accesorios hidráulicos que facilitan las labores de inspección, limpieza y mantenimiento preventivo de las conducciones (López Cualla, 1995). La implantación de las cajas de inspección exteriores de la red sanitaria se presenta en la Figura 9.

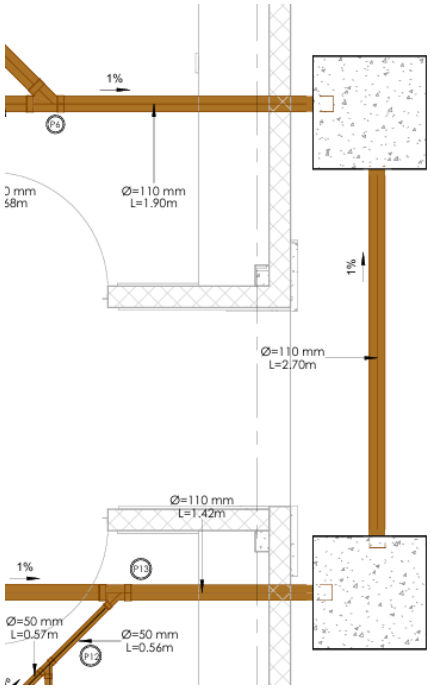


Figura 9. *Implantación en planta de las cajas de inspección exteriores.*

Nota. Detalle de la infraestructura exterior que muestra el acople de los colectores (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui, 2024).

El adecuado funcionamiento del sistema requiere actividades periódicas de inspección y mantenimiento, principalmente relacionadas con la extracción de lodos acumulados, la verificación de las conexiones hidráulicas y el control del estado general de la unidad de

tratamiento. Estas acciones permiten conservar la eficiencia del proceso y prolongar la vida útil de la infraestructura sanitaria (Crites & Tchobanoglous, 1998).

Para complementar la descripción del sistema, los principales componentes internos del biodigestor, así como las conexiones de entrada, salida, ventilación y zona de acumulación de lodos, se presentan en la Figura 10.

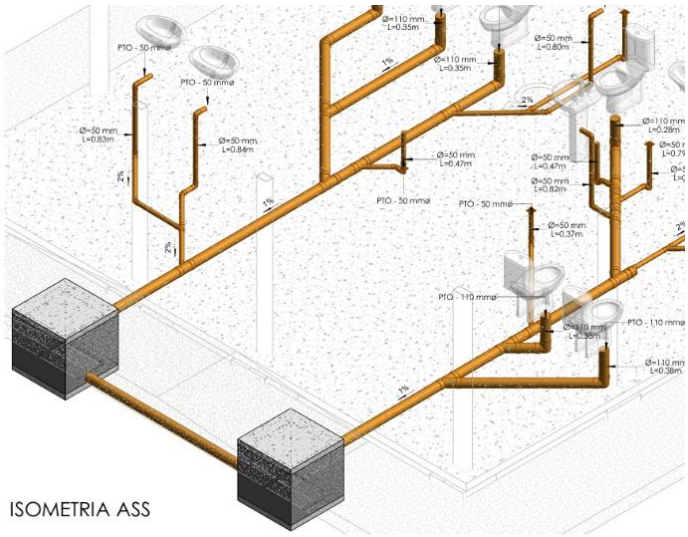


Figura 10. *Esquema constructivo de conexiones hidráulicas*

Nota. Vista isométrica tridimensional (ISOMETRIA ASS) que detalla los puntos de conexión para aparatos sanitarios (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui, 2024)

3.4.1 Características del biodigestor

El sistema de tratamiento del Complejo Deportivo Mirador del Colibrí incorpora un biodigestor como unidad principal para el tratamiento primario de las aguas residuales generadas por las instalaciones sanitarias. Este elemento recibe el efluente proveniente de la red de alcantarillado sanitario y desarrolla procesos físicos y biológicos que permiten reducir parcialmente la carga contaminante antes de su disposición final (Metcalf & Eddy, 2014).

El biodigestor empleado en el proyecto está diseñado para operar bajo condiciones anaerobias, aprovechando la acción de microorganismos que degradan la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Su configuración incluye una cámara de ingreso del afluente, una zona de sedimentación y acumulación de lodos, un espacio destinado a la digestión biológica, sistemas de ventilación y una tubería de salida para el efluente tratado (Crites & Tchobanoglous, 1998).

La unidad de tratamiento se encuentra conectada a la red sanitaria mediante tuberías de PVC diseñadas para trabajar por gravedad, garantizando un flujo continuo desde los diferentes puntos de descarga hasta el sistema de tratamiento. Asimismo, el sistema dispone de cajas de revisión que facilitan las labores de inspección y mantenimiento preventivo de las conducciones (López Cualla, 1995).

Las características constructivas del biodigestor y la disposición de sus principales componentes permiten desarrollar procesos de sedimentación y digestión anaerobia de manera continua, favoreciendo la estabilización de los sólidos acumulados y mejorando las condiciones del efluente generado. La configuración general del biodigestor y sus componentes principales se presentan en la Figura 11.

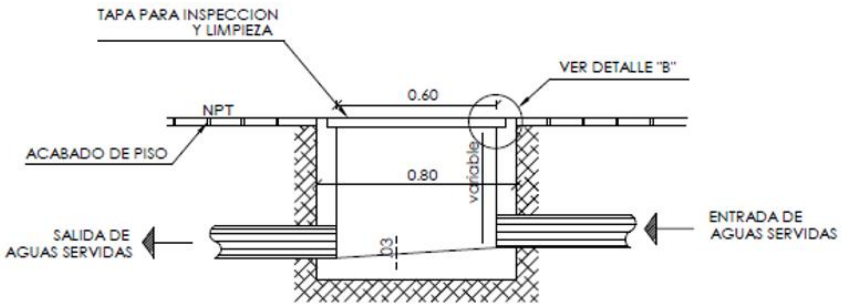


Figura 11. *Esquema constructivo del biodigestor.*

Nota. Detalle en corte longitudinal de la caja para inspección y limpieza del sistema de tratamiento. (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui, 2024.)

3.4.2 Funcionamiento y capacidad de diseño

El sistema de tratamiento de aguas residuales del Complejo Deportivo Mirador del Colibrí funciona mediante un proceso de tratamiento primario anaerobio, cuyo objetivo es reducir la carga contaminante presente en las aguas residuales antes de su disposición final. Este sistema permite la sedimentación de sólidos y la degradación parcial de la materia orgánica, contribuyendo a mejorar las condiciones sanitarias y ambientales del proyecto (Metcalf & Eddy, 2014).

Las aguas residuales generadas en los diferentes aparatos sanitarios son recolectadas por la red de alcantarillado sanitario y conducidas hacia el biodigestor mediante tuberías de PVC sanitario que trabajan por gravedad, aprovechando las diferencias de nivel existentes en el terreno. Este funcionamiento hidráulico favorece un flujo continuo y permite el adecuado ingreso del efluente al sistema de tratamiento (López Cualla, 1995).

La capacidad de diseño del biodigestor se determina considerando parámetros hidráulicos como el número de usuarios, el caudal de aguas residuales generado y el tiempo de retención requerido para el tratamiento. Estos criterios permiten verificar que el volumen útil del sistema sea suficiente para atender la demanda prevista y evitar condiciones de sobrecarga que puedan afectar su funcionamiento (Metcalf & Eddy, 2014).

En la presente investigación, la evaluación de la capacidad del biodigestor se fundamenta en el análisis de los caudales generados por la edificación y en la verificación de su correspondencia con las condiciones de operación del sistema instalado. Este procedimiento permite determinar si el sistema de tratamiento presenta una capacidad adecuada para las condiciones de servicio previstas.

Adicionalmente, el sistema incorpora cajas de revisión y elementos de ventilación que facilitan las labores de inspección, mantenimiento y control del funcionamiento hidráulico, contribuyendo a la operación segura y eficiente de la infraestructura sanitaria (Crites & Tchobanoglous, 1998).

La disposición general del sistema de tratamiento y la ubicación del biodigestor dentro del proyecto se presentan en la Figura 12.

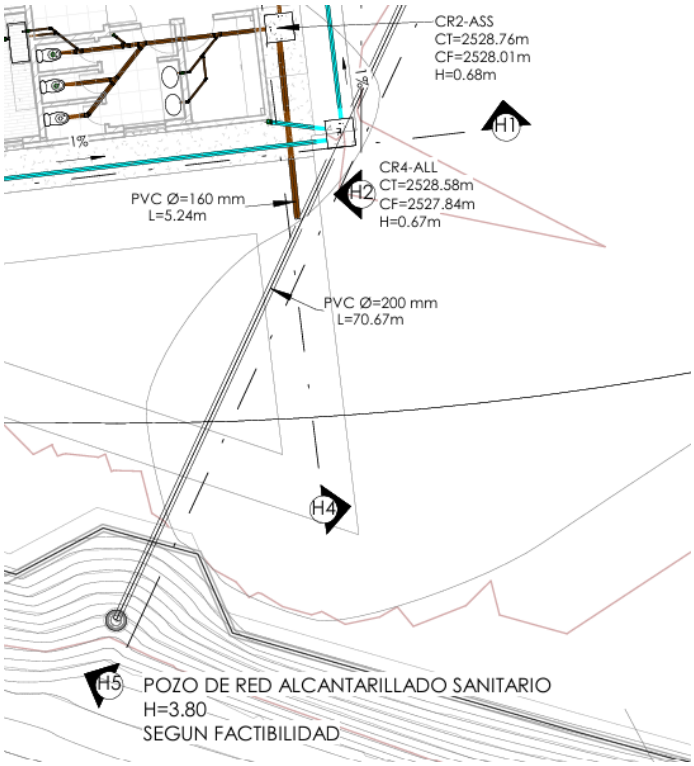


Figura 12. *Implantación en planta del sistema de tratamiento por biodigestor y cajas de inspección exteriores.*

Nota. Trazado general exterior que muestra la interconexión de las cajas de revisión sanitarias y pluviales (CR2-ASS y CR4-ALL) con el detalle de sus cotas de terreno (CT), cotas de fondo (CF) y alturas (H), así como el colector principal. (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui, 2024.)

3.5 Descripción del sistema de alcantarillado pluvial

El sistema de alcantarillado pluvial del Complejo Deportivo Mirador del Colibrí tiene la finalidad de captar, conducir y evacuar las aguas lluvias generadas sobre las cubiertas y áreas exteriores del proyecto, evitando acumulaciones de agua que puedan afectar el funcionamiento de las instalaciones y la conservación de la infraestructura (López Cualla, 1995).

La captación del agua de lluvia se realiza mediante canaletas instaladas en las cubiertas de las edificaciones, las cuales conducen el caudal hacia las bajantes de aguas lluvias y posteriormente a los colectores horizontales del sistema. La distribución general de la red pluvial se presenta en la Figura 13, mientras que los detalles constructivos de canaletas, soportes y abrazaderas se muestran en la Figura 14.

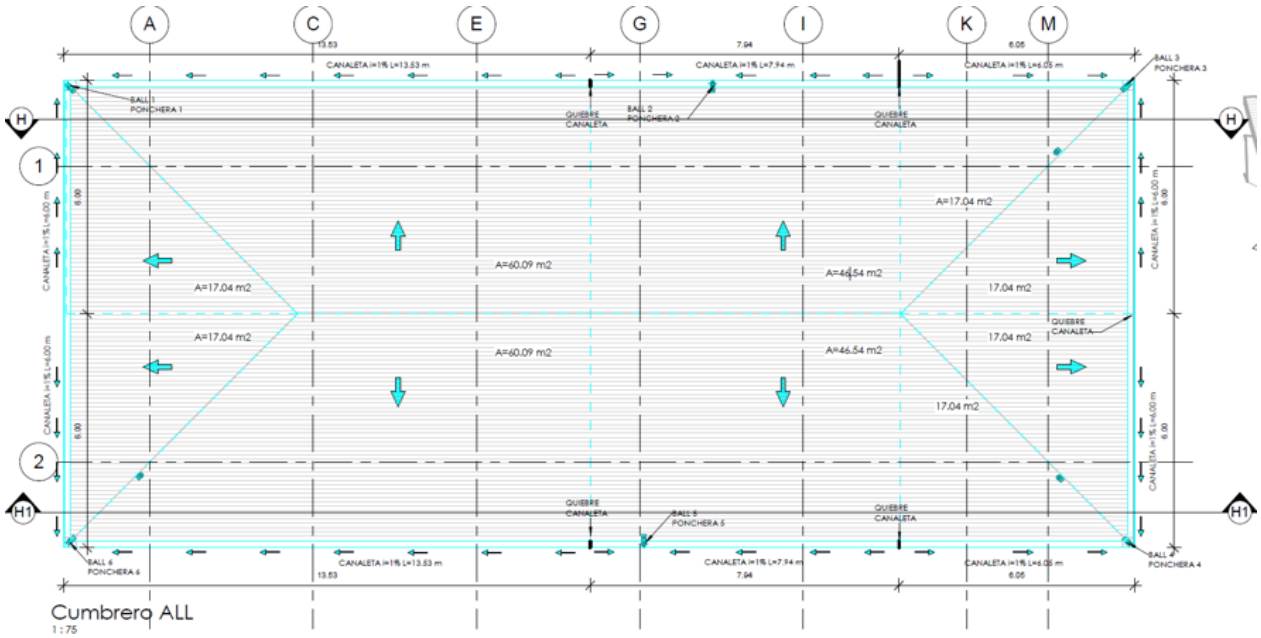


Figura 13. *Vista en planta del sistema de drenaje pluvial.*

Nota. Delimitación de las áreas de aporte en la cubierta (Cumbrera ALL), indicando el sentido de las pendientes hacia las canaletas perimetrales y los puntos de descarga para las bajantes de agua lluvia (BALL). (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui, 2024.)

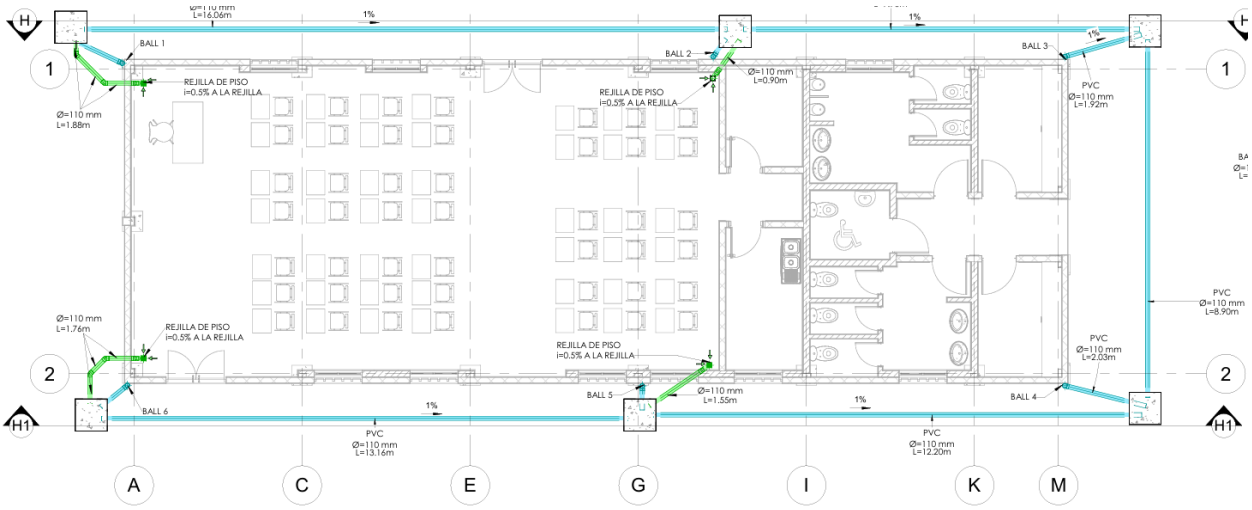


Figura 14. *Detalles constructivos de canaletas y soportes*

Nota. Trazado perimetral de la red de recolección pluvial a nivel de piso, detallando la ubicación de las bajantes (BALL). (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui, 2024.)

El sistema está conformado por bajantes, tuberías de conducción y estructuras complementarias que permiten transportar el agua de escorrentía hasta su punto de descarga, trabajando hidráulicamente por gravedad y aprovechando las pendientes establecidas en el diseño. Los diámetros de las conducciones fueron seleccionados de acuerdo con los caudales de diseño y las áreas de aporte correspondientes, garantizando una adecuada capacidad de evacuación.

Para el dimensionamiento hidráulico se consideraron criterios relacionados con la intensidad de precipitación, el tiempo de concentración, las áreas parciales de aporte y el coeficiente de escorrentía, aplicando el método racional para la estimación de los caudales de diseño. Asimismo, se verificó la capacidad hidráulica de las tuberías mediante el análisis de caudal y velocidad a

sección llena, permitiendo comprobar el adecuado funcionamiento del sistema bajo condiciones críticas de operación.

El diseño del sistema pluvial se fundamenta en los criterios establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2011) y en bibliografía técnica especializada, con el propósito de reducir los riesgos asociados a inundaciones superficiales, proteger la infraestructura del proyecto y garantizar una evacuación eficiente de las aguas lluvias.

3.5.1 Componentes del sistema pluvial

El adecuado funcionamiento del sistema de alcantarillado pluvial depende de un conjunto de elementos hidráulicos destinados a captar, conducir y evacuar las aguas lluvias de forma controlada. Los principales componentes del sistema implementado en el proyecto corresponden a canaletas, bajantes pluviales, tuberías de conducción y cajas de revisión, cuya disposición general se presenta en la Figura 15.

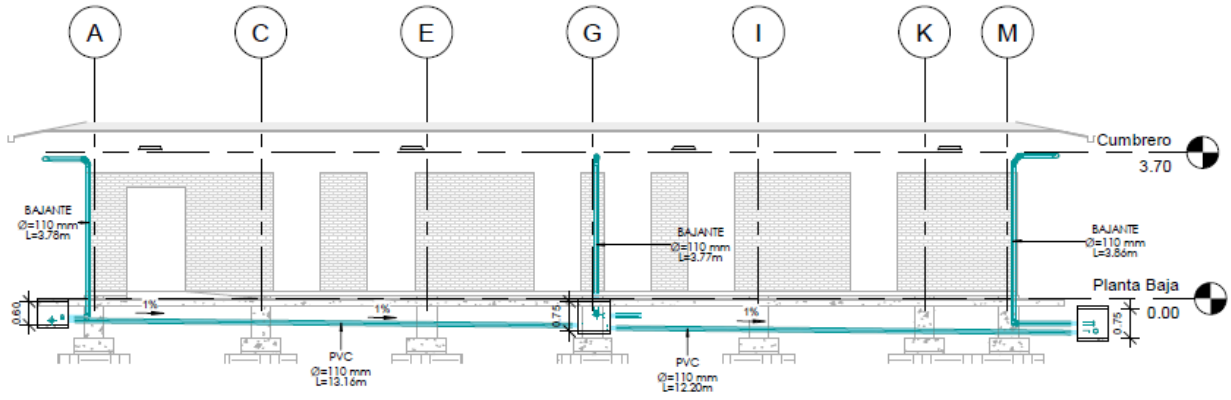


Figura 15. *Componentes del sistema de alcantarillado pluvial*

Nota. Corte longitudinal y elevación del sistema pluvial que detalla el recorrido vertical de las bajantes de agua lluvia de 110 mm desde el nivel de cumbrero hasta el nivel de planta baja (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui, 2024.)

En primer lugar, las canaletas tienen la función de captar el agua proveniente de las cubiertas de las edificaciones y conducirla hacia las bajantes pluviales. Estos elementos permiten interceptar la escorrentía superficial generada por las precipitaciones, evitando acumulaciones de agua sobre las estructuras y reduciendo el riesgo de filtraciones o deterioro de los elementos constructivos.

Las bajantes pluviales cumplen la función de transportar verticalmente el agua recolectada en las cubiertas hacia la red horizontal de drenaje. Su adecuada ubicación y dimensionamiento permiten evacuar eficientemente los caudales generados durante los eventos de lluvia, evitando desbordamientos que puedan afectar la infraestructura del proyecto.

La conducción principal del sistema se realiza mediante tuberías de PVC, seleccionadas de acuerdo con los caudales de diseño y las condiciones hidráulicas del proyecto. Este material presenta ventajas relacionadas con su resistencia a la corrosión, facilidad de instalación y bajo requerimiento de mantenimiento. Según López Cualla (1995), la adecuada selección de diámetros y pendientes influye directamente en la capacidad hidráulica y eficiencia de las redes de drenaje. El sistema incorpora además cajas de revisión, ubicadas en puntos estratégicos de la red, las cuales facilitan las labores de inspección, limpieza y mantenimiento preventivo. Estas estructuras permiten controlar posibles obstrucciones y verificar el correcto funcionamiento hidráulico del sistema durante su operación (Arocha, 1983).

En conjunto, estos componentes permiten captar y conducir las aguas lluvias de manera eficiente, garantizando la continuidad hidráulica de la red y contribuyendo a la protección de las edificaciones y áreas exteriores del Complejo Deportivo Mirador del Colibrí.

3.5.2 Condiciones de diseño

Para el diseño hidráulico del sistema de alcantarillado pluvial se consideraron diferentes parámetros relacionados con las condiciones climáticas de la zona y las características físicas del proyecto. Entre los principales criterios de diseño se encuentran la intensidad de lluvia, el coeficiente de escorrentía, las áreas de aporte, las pendientes de las conducciones y la capacidad hidráulica de las tuberías, factores que influyen directamente en la evacuación adecuada de las aguas lluvias (Chow, 1994).

La estimación del caudal de diseño se realizó mediante el método racional, considerando las áreas parciales de aporte y una intensidad de precipitación obtenida a partir de información pluviográfica de la zona de estudio. Asimismo, se adoptó un tiempo de diseño de 15 minutos, criterio empleado para representar las condiciones críticas de funcionamiento del sistema.

La red pluvial fue diseñada para operar mediante flujo por gravedad y a superficie libre, aprovechando las diferencias de nivel existentes en el terreno. Este tipo de funcionamiento permite que el agua circule de manera continua sin necesidad de sistemas mecánicos de impulsión, favoreciendo la eficiencia hidráulica y reduciendo los costos de operación y mantenimiento (Chow, 1994).

Las pendientes de las tuberías fueron definidas con el propósito de mantener velocidades adecuadas de circulación, evitando procesos de sedimentación y garantizando la capacidad de evacuación del sistema. Adicionalmente, se verificó el comportamiento hidráulico de las conducciones mediante el análisis del caudal y la velocidad a tubo lleno, comprobando que los diámetros seleccionados satisfacen las condiciones de diseño adoptadas para el proyecto.

El sistema incorpora además cajas de revisión y puntos de acceso destinados a facilitar las labores de inspección y mantenimiento preventivo de la red. Según López Cualla (1995), estas actividades contribuyen a conservar la capacidad hidráulica de las conducciones y prolongar la vida útil del sistema de drenaje pluvial.

La distribución de las áreas de aporte y los principales elementos que conforman la red pluvial pueden observarse en la Figura 16.

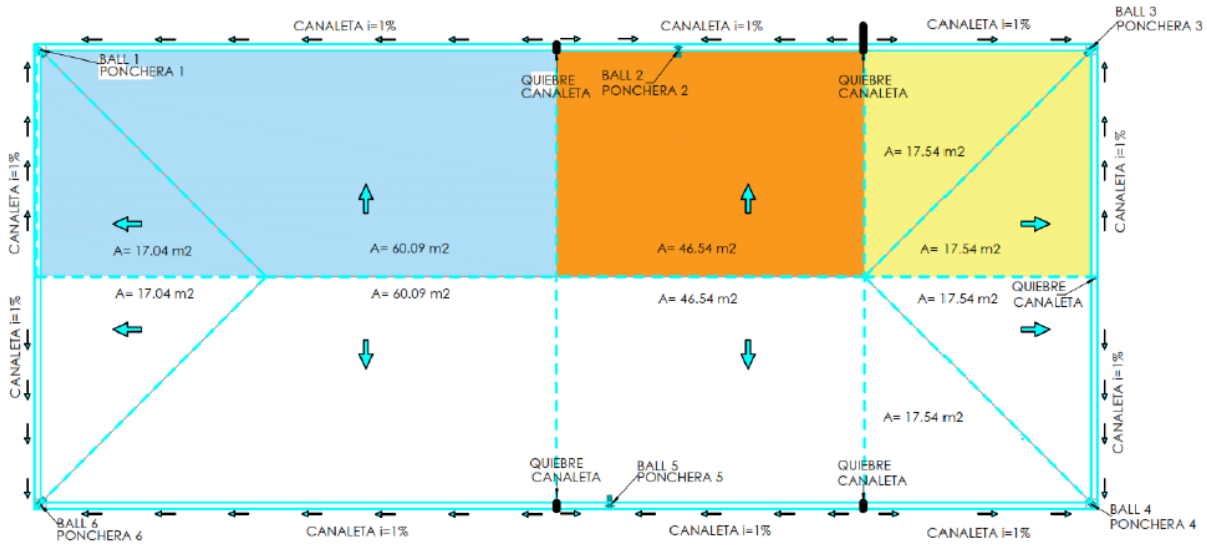


Figura 16. *Esquema de áreas de aporte del sistema pluvial.*

Nota. Corte y planta de las estructuras de recolección de piso, con la captación de escorrentía superficial en los exteriores del complejo deportivo. (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui, 2024.)

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Presentación de resultados.

En el presente capítulo se desarrolla el análisis de resultados correspondiente al sistema hidrosanitario del proyecto "Construcción del aula de capacitación, baterías sanitarias, camerinos y biodigestor en el Complejo Deportivo Mirador del Colibrí", ubicado en el cantón Rumiñahui, parroquia Sangolquí.

El análisis se efectuó con base en la información contenida en los planos hidrosanitarios, las especificaciones técnicas, los detalles constructivos y la memoria de cálculo del proyecto objeto de estudio, considerando los sistemas de abastecimiento de agua potable, alcantarillado sanitario, drenaje pluvial y tratamiento de aguas residuales.

La evaluación técnica comprende la verificación de parámetros hidráulicos relacionados con la demanda de agua potable, los caudales de diseño, las velocidades de flujo, las pérdidas de carga, las pendientes y la capacidad de conducción de las tuberías. Asimismo, se analiza el comportamiento del sistema de evacuación de aguas residuales y la capacidad operativa del biodigestor implementado en la edificación, con el propósito de verificar el cumplimiento de los criterios técnicos y normativos aplicables a este tipo de infraestructura (MIDUVI, 2015).

Para el desarrollo del análisis se utilizaron los planos correspondientes a las redes de agua potable, alcantarillado sanitario y aguas lluvias del proyecto, a partir de los cuales se identificaron diámetros de tuberías, pendientes, accesorios hidráulicos, aparatos sanitarios y elementos del sistema de tratamiento. De igual manera, se aplicaron principios de hidráulica relacionados con el flujo en tuberías a presión y el flujo a superficie libre, permitiendo evaluar el comportamiento hidráulico de las instalaciones (Fox & McDonald, 2012; Chow, 1994).

Los cálculos y verificaciones desarrollados se fundamentan en los criterios establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2011), complementados con bibliografía técnica especializada y metodologías de diseño hidráulico aplicables a sistemas hidrosanitarios. En consecuencia, el presente capítulo permite determinar las condiciones de funcionamiento del sistema construido y verificar su capacidad operativa bajo condiciones normales de servicio.

La metodología empleada para la verificación hidráulica del proyecto se resume en la Figura X, mientras que en las siguientes secciones se presentan los resultados correspondientes al sistema de agua potable, alcantarillado sanitario, drenaje pluvial y sistema de tratamiento de aguas residuales.

4.2 Análisis del sistema de agua potable

El análisis del sistema de agua potable del proyecto se realizó con el propósito de verificar que las condiciones hidráulicas de diseño permitan abastecer de manera adecuada a los diferentes puntos de consumo ubicados en el aula de capacitación, baterías sanitarias y camerinos del Complejo Deportivo Mirador del Colibrí. Para ello, se evaluaron los parámetros relacionados con la demanda de agua, los caudales de diseño, el dimensionamiento de las tuberías y el comportamiento hidráulico de los elementos que conforman el sistema.

La evaluación se fundamentó en la información contenida en los planos hidrosanitarios del proyecto y en los cálculos desarrollados para la verificación de la red de abastecimiento, considerando los criterios establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2011) y en bibliografía técnica especializada aplicable al diseño de sistemas de agua potable (López Cualla, 1995; Fox & McDonald, 2012).

Dentro del análisis se incluyen la estimación de la dotación y de los caudales de diseño, la verificación del caudal máximo probable para la red interna, la evaluación de las pérdidas de carga

y de las presiones disponibles, así como la comprobación hidráulica de la cisterna, el sistema hidroneumático y el equipo de bombeo que forman parte del sistema de abastecimiento del proyecto.

Asimismo, se analiza el comportamiento conjunto de estos elementos con el fin de verificar que el sistema sea capaz de satisfacer la demanda proyectada bajo condiciones normales de operación, garantizando continuidad del servicio y un adecuado funcionamiento de las instalaciones sanitarias.

4.2.1 Demanda y caudales de diseño.

Para el diseño del sistema hidrosanitario del Complejo Deportivo Mirador del Colibrí se determinaron los parámetros hidráulicos de diseño considerando la población proyectada y la dotación de consumo, conforme a los criterios establecidos en la NEC (2011), y en las normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes. Estos parámetros constituyen la base para el dimensionamiento de la red de agua potable y de los elementos complementarios del sistema.

La población de diseño corresponde al número de usuarios considerados para el funcionamiento del proyecto. Para el presente estudio se adoptó una población de 52 habitantes, distribuida entre 46 estudiantes o visitantes, 2 profesores o capacitadores y 6 personas del personal administrativo. Asimismo, se estableció una dotación de 20 L/estudiante/día, de acuerdo con las características de uso de la edificación.

Los parámetros adoptados para el análisis se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de población y dotación adoptados para el diseño.

Parámetros de diseño	Valor calculado	Unidad
Población de diseño	52	Habitantes
Dotación	20	L/estudiante/día

Caudal medio diario

El caudal medio diario se determinó mediante la ecuación presentada en el marco teórico (Ecuación 2), la cual relaciona la población de diseño y la dotación de consumo.

$$Q_{md} = \frac{P_f * D_f}{86400}$$

Sustituyendo los valores de diseño:

$$Q_{md} = \frac{52 * 20}{86400} = 0.0120\ L/s$$

El resultado obtenido indica que el sistema requiere un caudal promedio de 0.0120 L/s para satisfacer la demanda diaria estimada de los usuarios. Este valor constituye el parámetro base para el cálculo de los caudales de diseño.

Caudal máximo diario

El caudal máximo diario se obtuvo aplicando el coeficiente de variación diaria establecido en las normas de diseño para sistemas de agua potable, las cuales recomiendan valores comprendidos entre 1.3 y 1.5. Para el presente estudio se adoptó el valor máximo recomendado, $K_1 = 1.5$, con el propósito de considerar una condición conservadora de diseño.

La estimación se realizó mediante la ecuación desarrollada en el marco teórico (Ecuación 3):

$$Q_{máx.d} = k1 * Q_{md}$$

Reemplazando los valores:

$$Q_{máx.d} = 1.5 * 0.0120 = 0.0181\ L/s$$

Este caudal representa la condición de mayor demanda que puede presentarse durante un día de operación, permitiendo verificar que la infraestructura hidráulica disponga de la capacidad suficiente para soportar incrementos temporales en el consumo.

Caudal máximo horario

El caudal máximo horario corresponde a la condición hidráulica más crítica del sistema, ya que considera las variaciones de consumo que se producen durante las horas de mayor utilización de las instalaciones.

Su cálculo se realizó mediante la ecuación presentada en el marco teórico (Ecuación 4):

$$Q_{máx.h} = k2 * Q_{max.d}$$

Aplicando el coeficiente de $K_1 = 2.2$ de variación horaria adoptado en el diseño hidráulico del proyecto, se obtuvo:

$$Q_{máx.h} = 2.2 * 0.0181 = 0.0397\ L/s$$

Este valor constituye el caudal de diseño para la verificación de la red de distribución y para el dimensionamiento de los diferentes componentes del sistema de abastecimiento de agua potable.

Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2. Caudales de diseño del sistema de agua potable.

Parámetros de diseño	Valor calculado	Unidad
Población de diseño	52	Habitantes
Dotación	20	L/estudiante/día
Caudal medio diario (Q_{md})	0.0120	L/s
Caudal máximo diario (Q_{mD})	0.0181	L/s
Caudal máximo horario (Q_{mH})	0.0397	L/s

Finalmente, los caudales calculados constituyen la base para el dimensionamiento y la verificación hidráulica de la red de agua potable, así como para el análisis de pérdidas de carga, presiones de servicio, capacidad de almacenamiento, sistema hidroneumático y equipo de bombeo, desarrollados en los apartados siguientes.

4.2.2 Verificación de pérdidas de carga y presiones.

La verificación hidráulica de la red de agua potable del Complejo Deportivo Mirador del Colibrí se realizó con la finalidad de comprobar que los diámetros adoptados, las velocidades de circulación, las pérdidas de carga y las presiones disponibles permiten garantizar el funcionamiento adecuado de los aparatos sanitarios contemplados en el proyecto. Para ello, se evaluaron los diferentes ramales de la red utilizando los caudales máximos probables obtenidos mediante la simultaneidad de uso de los aparatos sanitarios.

Como ejemplo representativo del procedimiento de cálculo, se presenta la verificación correspondiente al Ramal 1 del aula de capacitación, mientras que los cálculos completos realizados para los demás ramales se incluyen en el (Anexo B, Tabla B.1.).

Determinación del caudal de diseño

El primer paso consistió en identificar los aparatos sanitarios abastecidos por cada tramo de la red. Para ello se utilizaron los caudales unitarios establecidos por la NEC (2011), los cuales se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Caudales unitarios, presiones y diámetros mínimos de aparatos sanitarios.

Aparato Sanitario	Caudal Inst (L/s)	Presión		Díametro (mm)
		recomendada (m.c.a)	mínima (m.c.a)	
Bañera / tina	0.3	7	3	20
Bidet	0.1	7	3	16
Calentadores / calderas	0.3	15	10	20
Ducha	0.2	10	3	16
Fregadero Cocina	0.2	5	2	16
Fuentes para beber	0.1	3	2	16
Grifo para manguera	0.2	7	3	16
Inodoro deposito	0.1	7	3	16
inodoro fluxómetro	1.25	15	10	25
Lavabo	0.1	5	2	16
Máquina de lavar ropa	0.2	7	3	16
Máquina Lava vajilla	0.2	7	3	16
Urinario Fluxómetro	0.5	15	10	20
Urinario llave	0.15	7	3	16
Sauna, turco o hidromasaje domestico	1	15	10	25

Nota. Adoptada de (NEC, 2011).

En el Ramal 1 del aula de capacitación que se muestra en la Figura 17 que se identificó la presencia de dos urinarios y dos lavamanos. A medida que los aparatos se incorporan al recorrido hidráulico, los caudales unitarios se acumulan progresivamente para determinar el caudal total abastecido por cada tramo.

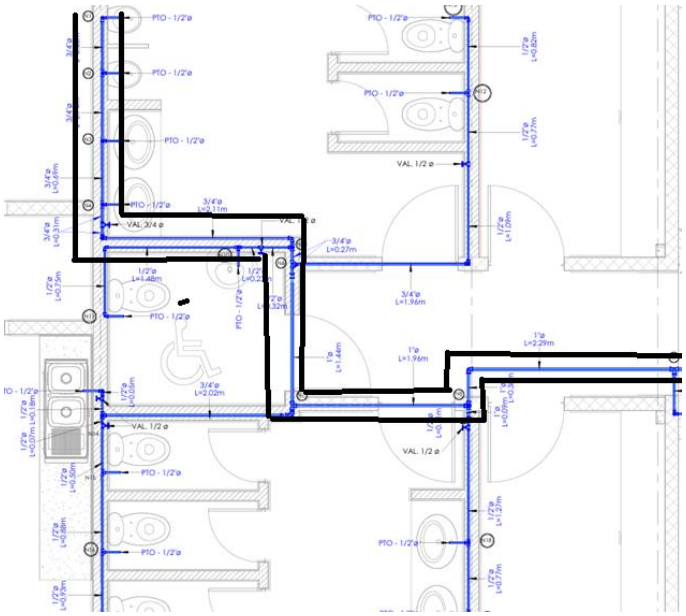


Figura 17. *Ramal 1 de la red de distribución de agua potable correspondiente al aula de capacitación.*

Nota. Distribución en planta y trazado del primer ramal de la red de agua fría, detallando el recorrido de las tuberías de 3/4 y 1/2 pulgada, longitudes de tramos y la ubicación de las válvulas de control para el abastecimiento del aula. (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui, 2024.)

Para los dos primeros aparatos se obtuvo:

$$\sum q_i == 0.15 + 0.15 = 0.3\, L/s$$

Al incorporarse el tercer aparato:

$$\sum q_i = 0.3 + 0.1 = 0.4\ L/s$$

Finalmente, con los cuatro aparatos conectados:

$$\sum q_i = = 0.5\ L/s$$

Para el tramo final del Ramal 1 se obtuvo un coeficiente de simultaneidad de 0.73, correspondiente a un factor de ocupación F = 5 según la Tabla 4 para edificaciones de uso público. En consecuencia, el caudal máximo probable resultó de 0.37 L/s. Para el tramo final del Ramal 1 se obtuvo:

Tabla 4. Factor F

Factor F		
F=	0	Según la Norma Francesa NFP 41204
F=	1	Para edificios de oficinas y semejantes
F=	2	Para edificios habitacionales
F=	3	Hoteles, hospitales y semejantes
F=	4	Edificios académicos, cuarteles y semejantes
F=	5	Edificios e inmuebles con valores de demanda superiores

Nota. Adoptada de (NEC, 2011)

Utilizando la Ecuación 6

$$k_s = \frac{1}{\sqrt{\mathrm{n} - 1}} + F * (0.04 + 0.04 * \log\,(\log(\mathrm{n}))$$

Reemplazando los valores:

$$k_s = \frac{1}{\sqrt{4-1}} + 5 * (0.04 + 0.04 * \log(\log(4)) = 0.73$$

Por tanto, el caudal máximo probable resultó:

$$Q_{mp} = k_s * \sum q_i$$

$$Q_{mp} = 0.73 * 0.5$$

$$Q_{mp} = 0.37\ L/s$$

Este valor constituye el caudal de diseño utilizado para la verificación hidráulica del tramo más desfavorable del ramal analizado.

Tabla 5. Determinación de los caudales probables del Ramal 1.

				Aparatos Sanitarios								
NIVEL	N° DE NODO	TRAMO	PISO	Inodoro 0.10	Lavamanos 0.10	Urinario 0.15	Q i (l/s)	N° DE APARATOS	coef. Ks	S Q i (l/s)	C.M.P. (l/s)	C.M.P. (m3/s)
RAMAL-1	1					1	0.15					
		1-2	1					1	1	0.15	0.15	0.0002
	2					1	0.15					
		2-3	1					2	1	0.3	0.3	0.0003
	3				1		0.1					
		3-4	1					3	0.84283	0.4	0.3371	0.0003
	4				1		0.1					
		4-5	1					4	0.73328	0.5	0.3666	0.0004
	5						0					
		5-7	1					4	0.73328	0.5	0.3666	0.0004
	7						0					
		7-8	1					4	0.73328	0.5	0.3666	0.0004
	8						0					
		8-AC	1					4	0.73328	0.5	0.3666	0.0004
	AC						0					

Verificación de velocidades y diámetros

Una vez determinado el caudal máximo probable, se verificó el comportamiento hidráulico de la red utilizando los diámetros especificados en los planos hidrosanitarios del proyecto. Las características geométricas de las tuberías empleadas se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Especificaciones técnicas de las tuberías utilizadas en la red de agua potable.

Especificaciones Técnicas					
Diámetro		Empresa	Diámetro exterior	Espesor	Diámetro interior
plg	mm				
1/2	13.88	PLASTIGAMA	21.34	3.4	13.88
3/4	18.85		26.67	3.9	18.87
1	24.3		33.4	4.9	24.3
1 1/4	32.46		42.16	5.7	23.6
1 1/2	38.1		48.26	6.3	30.76
2	49.24		60.32	7.5	45.32
2 1/2	57	TIGRE	63	3	57
3	59.2		75	1.9	59.2

Nota. (Plastigama Wavin, 2023) y (Tigre Ecuador, 2023)

La red utiliza principalmente tuberías de PVC de 1/2", 3/4" y 1", cuyos diámetros internos fueron empleados para el cálculo de las velocidades de circulación.

Asimismo, para las tuberías de PVC se adoptó un coeficiente de material de 0.00054, conforme a las especificaciones presentadas en la Tabla 7.

Tabla 7. Coeficientes de materiales utilizados para el análisis hidráulico.

Coeficiente de Materiales	
Material	Coeficiente
PVC	0.00054
Acero	0.0007
Acero G	0.00092
Cobre	0.00056

Con los caudales máximos probables y los diámetros internos correspondientes se determinaron las velocidades de flujo en cada tramo. Para el Ramal 1 se obtuvieron velocidades comprendidas entre 0.54 m/s y 1.31 m/s.

Tabla 8. Velocidades obtenidas en los tramos del Ramal 1.

NIVEL	N° DE NODOS	TRAMO	C.M.P.		DIAMETRO			V
			(l/s)	(m3/s)	(pulg)	(mm)	(m)	(m/s)
AULA CAPACITACION								
RAMAL 1	1							
		1-2	0.15	0.0002	3/4	18.85	0.01885	0.5375
	2							
		2-3	0.30	0.0003	3/4	18.85	0.01885	1.075
	3							
		3-4	0.34	0.0003	3/4	18.85	0.01885	1.208.061
	4							
		4-5	0.37	0.0004	3/4	18.85	0.01885	1.313.791
	5							
		5-7	0.37	0.0004	1	24.3	0.0243	0.790563
	7							
		7-8	0.37	0.0004	1	24.3	0.0243	0.790563

	8							
		8-AC	0.37	0.0004	1	24.3	0.0243	0.790563
	AC							

Estos valores indican un comportamiento hidráulico adecuado de la red, permitiendo el transporte eficiente del agua sin generar velocidades excesivas que puedan ocasionar erosión o ruido dentro de las tuberías.

Determinación de longitudes de cálculo

Para el cálculo de las pérdidas de carga se consideraron tanto las longitudes reales de tubería como las pérdidas localizadas producidas por accesorios.

Las longitudes horizontales y verticales fueron obtenidas directamente de los planos hidrosanitarios del proyecto. Adicionalmente, para las conexiones de los aparatos sanitarios se utilizaron las distancias verticales estándar indicadas en la Tabla 9.

Tabla 9. Distancias verticales estándar consideradas en el análisis hidráulico.

Distancias Verticales Estándares	
Aparato	Distancia
Ducha	2
Lavamanos	1
Inodoro	0.4

Posteriormente se calcularon las longitudes equivalentes de los accesorios presentes en la red mediante los factores A y B correspondientes a cada elemento hidráulico.

Tabla 10. Parámetros utilizados para el cálculo de longitudes equivalentes de accesorios.

Parámetros para "Le"			
Accesorio	Factor A	Factor B	Sentido
Codo de 45°	0.38	0.02	+
Codo de 90°	0.52	0.04	+
Entrada normal	0.46	0.08	-
Reduccion	0.15	0.01	+
Salida de tubería	0.77	0.04	+
Tee de paso directo	0.53	0.04	+
Tee de paso de lado	1.56	0.37	+
Tee salida bilateral			
Tee con reducción	0.56	0.33	+
Válvula de compuerta abierta	0.17	0.03	+
Válvula de globo abieta	8.44	0.50	+
Válvula de pie con criba	6.38	0.40	+

Mediante la aplicación de estos factores se determinaron las longitudes equivalentes asociadas a codos, tees, válvulas y reducciones, obteniéndose finalmente la longitud total de cálculo de cada tramo.

Para el Ramal 1 se obtuvieron longitudes totales comprendidas entre 1.90 m y 7.47 m, resultado de la suma de las longitudes reales y las longitudes equivalentes asociadas a los accesorios presentes en cada tramo.

Verificación de pérdidas de carga

Con las longitudes totales obtenidas se calcularon las pérdidas de carga acumuladas para cada tramo de la red.

Los resultados muestran que las pérdidas aumentan progresivamente conforme se incrementan la longitud recorrida y el número de accesorios instalados. Para el tramo más desfavorable del Ramal 1 se obtuvo una pérdida total acumulada de:

$$h_f = 21.69\, m.c.a.$$

Este valor incluye tanto las pérdidas por fricción en la tubería como las pérdidas localizadas generadas por los accesorios presentes en el sistema, como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Presiones obtenidas en los tramos del Ramal 1.

Tramo	Longitud horiz. (m)	Longitud vert. (m)	Longitud acces.(m)	Longitud total (m)	Pérdidas Hf (m)	Presión (m.c.a)	Presión acum. (m.c.a)
AULA CAPACITACION							
						0	7
1-2	0.6	0.66	0.64	1.90	0.36		
						0.36	7.36
2-3	0.74	0.66	1.37	2.77	1.77		
						2.13	9.13
3-4	0.69	0.36	1.37	2.42	1.90		
						4.03	11.03
4-5	2.73	2.42	2.04	7.19	6.53		
						10.56	17.56
5-7	1.98	0	2.57	4.55	1.09		
						11.65	18.65
7-8	1.96	2.05	1.23	5.24	1.25		
						12.90	19.90
8-AC	4.15	0.37	2.95	7.47	1.79		
						14.69	21.69

Verificación de presión residual

Para verificar la capacidad de funcionamiento de la red se comparó la presión disponible suministrada por la red pública con las pérdidas de carga acumuladas obtenidas en el análisis hidráulico.

La presión disponible de la red fue establecida en:

$$23\ PSI$$

Equivalente a:

$$16.17\ m.c.a.$$

Por consiguiente, la presión residual del sistema resulta:

$$P_{residual} = P_{red} - P_{sistema}$$

$$P_{residual} = 16.17 - 21.69$$

$$P_{residual} = -5.52\ m.c.a.$$

El resultado obtenido indica que la presión disponible en la red pública no es suficiente para compensar las pérdidas de carga generadas en el recorrido hidráulico más desfavorable. En consecuencia, se requiere la incorporación de un sistema hidroneumático y un equipo de bombeo que permitan proporcionar la carga adicional necesaria para garantizar el funcionamiento adecuado de los aparatos sanitarios del proyecto.

Los resultados obtenidos justifican técnicamente el dimensionamiento del sistema de almacenamiento, equipo hidroneumático y sistema de bombeo, cuyos análisis se presentan en los apartados siguientes.

4.2.3 Análisis del tanque hidroneumático.

Como se verificó en el apartado anterior, la presión disponible suministrada por la red pública resulta insuficiente para compensar las pérdidas de carga generadas en el recorrido hidráulico más desfavorable, obteniéndose una presión residual negativa de -5.52 m.c.a. Por esta razón fue

necesario incorporar un sistema hidroneumático que permita proporcionar la presión adicional requerida para garantizar el adecuado funcionamiento de los aparatos sanitarios del proyecto.

El dimensionamiento del tanque hidroneumático se realizó conforme a los criterios establecidos en la NEC (2011), utilizando la ecuación presentada en el Capítulo II. Los parámetros de diseño empleados se resumen en la Tabla 12.

Tabla 12. Parámetros utilizados para el dimensionamiento del tanque hidroneumático.

Parámetro	Valor calculado	Unidades
Raire=	1.5	
Qb=	0.67	l/s
Qb=	40	L/min
Nbombas=	1	
Nciclos=	50	
Pen=	20.27	m
Poff=	40.27	m
Vol=	57.68	litros

Para el presente proyecto se adoptó un sistema con renovación automática de aire, por lo que se utilizó un coeficiente:

$$R_{aire} = 1.5$$

Asimismo, se consideró un caudal medio de bombeo de:

$$Q_{b} = 40\ L/min$$

Correspondiente al caudal de operación del sistema de impulsión.

De acuerdo con las recomendaciones para equipos de potencia comprendida entre 1 y 3 HP, se adoptó una frecuencia máxima de:

$$N_{ciclos} = 50\ ciclos/h$$

Con el propósito de limitar el número de arranques del equipo y prolongar su vida útil.

Las presiones de arranque y parada fueron establecidas en:

$$P_{ON} = 20.27\ m$$

$$P_{OFF} = 40.27\ m$$

Aplicando la Ecuación 20 del tanque hidroneumático:

$$W_{thn} = \frac{19 * R_{aire} * Q_b * (P_{OFF} + 10.33)}{N_{bombas} * N_{ciclos} * (P_{OFF} - P_{ON})}$$

$$W_{thn} = \frac{19 * 1.5 * 40\ (L/min) * (40.27 + 10.33)}{1 * 50 * (40.27 - 20.27)}$$

$$W_{thn} = 57.68\ L$$

equivalente a:

$$V_L = 15.24\ Gal$$

Debido a que los tanques hidroneumáticos se comercializan en capacidades normalizadas, se seleccionó un tanque comercial de:

$$V_{comercial} = 20\ Gal$$

Valor inmediatamente superior al volumen calculado.

Tabla 13. Resultados del análisis del tanque hidroneumático.

Parámetro	Valor calculado	Unidades
Vol=	15.24	galones
Vol comercial=	20	galones

Los resultados obtenidos indican que la capacidad seleccionada permite satisfacer las condiciones de operación del sistema, limitando la frecuencia de arranque de la bomba y garantizando una reserva de presión adecuada para el abastecimiento de los diferentes puntos de consumo del proyecto.

4.2.4 Verificación del sistema de bombeo

Como se determinó en los apartados anteriores, la presión disponible suministrada por la red pública no resulta suficiente para compensar las pérdidas de carga generadas en la red de distribución, obteniéndose una presión residual negativa de -5.52 m.c.a. Por esta razón, fue necesaria la incorporación de un sistema de bombeo asociado a la cisterna y al tanque hidroneumático, con el propósito de garantizar las condiciones de presión requeridas para el funcionamiento adecuado de los aparatos sanitarios del proyecto.

La disposición general de los elementos que conforman el sistema de impulsión se presenta en la Figura 18, donde se observa la interacción entre la cisterna de almacenamiento, el equipo de bombeo y el tanque hidroneumático

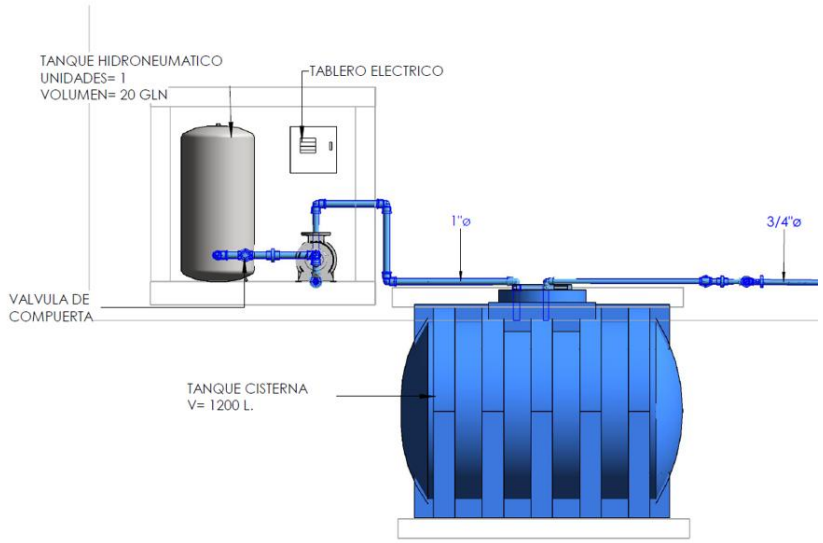


Figura 18. *Esquema general del sistema de bombeo e hidroneumático.*

Nota. Distribución en planta y trazado del segundo ramal de la red de agua fría, detallando las derivaciones de tuberías de 3/4 y 1/2 pulgada y los puntos de entrega para los aparatos sanitarios de los camerinos de hombres y mujeres. (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui, 2024.)

Para verificar la capacidad del equipo de bombeo se consideraron los parámetros hidráulicos obtenidos durante el análisis del sistema de abastecimiento de agua potable, incluyendo el caudal de diseño, la altura estática, las pérdidas de carga por fricción y accesorios, la presión mínima requerida en el punto de consumo más desfavorable y la presión de operación del tanque hidroneumático. Los valores utilizados se resumen en la Tabla 14.

Tabla 14. Parámetros utilizados para la verificación del sistema de bombeo.

CALCULO DE LA RED HIDRAULICA INTERNA POTENCIA DE BOMBAS	Valor calculado	Unidades
Caudal (Q) Medio Diario	0,012	L/s
Caudal (Q) Máximo Diario	0,018	L/s
Caudal (Q) Máximo Horario	0,040	L/s
Caudal (Q) Diseño	1	L/s
H1 = h. altura de estática	1	m
H2 = h(fricción) y localizadas	7,49	m
H3 = Presión aparato más desventajoso mínimo	10	m
H4 = h de succión	1	m
Hdt (H1+H2+H3+H4)	19,49	m
1 atm	10,33	m.c.a
Hdt con presión del tanque hidroneumático	31,27	m
Rendimiento de la Bomba	75%	

Determinación de la carga hidráulica total

La carga hidráulica total requerida por el sistema se obtuvo mediante la suma de las diferentes alturas que debe vencer el equipo de bombeo:

$$H_{dt} = H_1 + H_2 + H_3 + H_4$$

Donde:

H_1 = altura estática

H_2 = pérdidas por fricción y accesorios

H_3 = presión requerida en el aparato más desfavorable

H_4 = altura de succión

Sustituyendo valores obtenidos:

$$H_{dt} = 1 + 7.49 + 10 + 1$$

$$H_{dt} = 19.49\ m$$

Este valor representa la carga mínima que debe ser superada por la bomba para garantizar el funcionamiento adecuado de la red de distribución.

Verificación de la carga hidráulica con presión del tanque hidroneumático

Debido a que el sistema opera juntamente con un tanque hidroneumático, fue necesario incorporar la presión de trabajo del tanque dentro del análisis hidráulico. Considerando una presión de operación equivalente a 1.14 atm, se obtuvo:

$$H_{dt}\ con\ presion\ hidroneumatico = H_{dt} + 1.14\ atm$$

Reemplazando:

$$H_{dt}\ con\ presion\ hidroneumatico = 19.49 + 1.14 * 10.33$$

$$H_{dt}\ con\ presion\ hidroneumatico = 31.27\ m$$

Por lo tanto, la carga hidráulica total de operación del sistema corresponde a 31.27 m.

Verificación de la potencia requerida

La potencia hidráulica necesaria para el funcionamiento de la bomba se determinó considerando el caudal de diseño de 1 L/s, la carga hidráulica total calculada y un rendimiento de bomba del 75%, utilizando la Ecuación 19 de potencia de bombeo se determinó:

$$P = \frac{Q * Hdt\ con\ presion\ hidroneumatico}{75 * \frac{n}{100}}$$

Sustituyendo los valores correspondientes:

$$P = \frac{1 * (31.27 + 19.49)}{75 * \frac{75}{100}} = 0.90\ HP$$

El resultado obtenido corresponde a la potencia hidráulica mínima requerida para abastecer adecuadamente al sistema.

Selección de la potencia comercial

Con el fin de incorporar un margen de seguridad operativo, se evaluaron las potencias equivalentes para motores trifásicos y monofásicos.

Para motor trifásico:

$$P_{trifasico} = P * 1.3$$

Remplazando valores:

$$P_{trifasico} = 0.9 * 1.3 = 1.17\ HP$$

Potencia para motor monofásico

De la misma forma que para motor trifásico, se calcula la potencia para motor monofásico requerido que se multiplica la potencia de la bomba por un factor de seguridad de 1.5.

$$P_{monofasico} = P * 1.5$$

Sustituyendo:

$$P_{monofasico} = 0.9 * 1.5 = 1.35\ HP$$

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15. Potencia requerida del sistema de bombeo.

CALCULO DE LA RED HIDRAULICA INTERNA POTENCIA DE BOMBAS	Valor calculado	Unidades
Potencia de bomba	0,90	hp
Para motor trifásico P(HP)*1.3=	1,17	hp
Para motor monofásico P(HP)*1.5=	1,35	hp
Bomba Comercial	1,50	hp

De acuerdo con los valores calculados, se seleccionó una bomba comercial de 1.5 HP, cuya capacidad supera los requerimientos mínimos del sistema. Esta condición proporciona un margen de seguridad adecuado frente a posibles variaciones de caudal, pérdidas adicionales o condiciones de operación futuras, garantizando el abastecimiento continuo de agua potable hacia los diferentes puntos de consumo del Complejo Deportivo Mirador del Colibrí.

$$P_{bomba\ comercial} = 1.5\ HP$$

4.2.5 Verificación del sistema de almacenamiento

La verificación del sistema de almacenamiento se realizó con el propósito de comprobar que la capacidad de la cisterna proyectada sea suficiente para cubrir la demanda de agua potable requerida por el Complejo Deportivo Mirador del Colibrí durante el período de reserva establecido. La cisterna constituye el elemento encargado de garantizar la disponibilidad del recurso hídrico frente a interrupciones temporales del suministro o variaciones en la demanda de consumo.

Los parámetros utilizados para la verificación se presentan en la Tabla 16, considerando la demanda media diaria obtenida en el apartado 4.2.1 y un período de reserva de un día.

Tabla 16. Parámetros utilizados para la verificación de la cisterna.

Parámetros de cisterna		
Qmd (m3/día)	1,04	m3/día
Días de reserva	1	día
Volumen de consumo	1,04	m3
Volumen total de cisterna	1,04	m3

Volumen total cisterna

La capacidad requerida de almacenamiento se determinó mediante la expresión:

$$V_{cisterna} = Qmd * Tr$$

Donde:

$V_{cisterna}$ = volumen requerido de almacenamiento (m^3)

Qmd = demanda media diaria (m^3/día)

Tr = tiempo de reserva (días)

Sustituyendo los valores obtenidos:

$$V_{cisterna} = 1.04 \ * \ 1 = 1.04 \, m^3$$

El volumen calculado representa la capacidad mínima requerida para garantizar el abastecimiento de agua potable durante el período de reserva considerado.

La configuración y dimensiones generales de la cisterna proyectada se presentan en la Figura 19, donde se observa el detalle constructivo del tanque de almacenamiento utilizado en el sistema de abastecimiento.

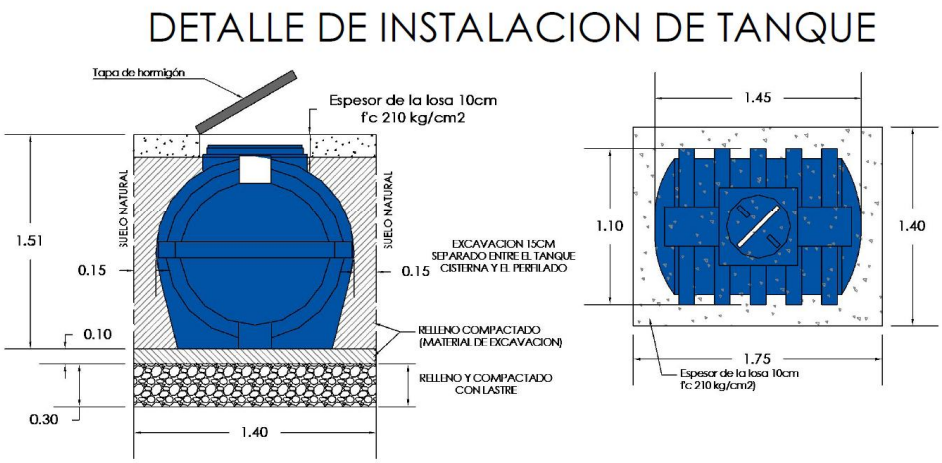


Figura 19. *Detalle constructivo de la cisterna de almacenamiento de agua potable.*

Nota. Vista en planta y corte de la estructura de reserva de agua potable, detallando la capacidad de almacenamiento, la cámara de transformación y la disposición de la bomba centrífuga para el sistema de distribución. (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui, 2024.)

De acuerdo con los resultados obtenidos, se seleccionó una cisterna comercial con capacidad de 1200 L (1.20 m³)**,** valor superior al volumen mínimo requerido de 1.04 m³. Por consiguiente, la

capacidad de almacenamiento disponible resulta suficiente para satisfacer la demanda de consumo del proyecto, proporcionando además un margen adicional de seguridad equivalente a aproximadamente 0.16 m^3 (160 L)**.**

En consecuencia, se verifica que el sistema de almacenamiento cumple con los requerimientos hidráulicos establecidos para el abastecimiento de agua potable del Complejo Deportivo Mirador del Colibrí.

4.2.6 Análisis de resultados de agua potable

Con base en los resultados obtenidos para la red de agua potable, se verificó el comportamiento hidráulico de los diferentes tramos considerando los parámetros de caudal, diámetro, velocidad de circulación, pérdidas de carga y presión disponible. La red fue diseñada con tuberías de PVC de diámetros nominales de ¾" y 1", permitiendo abastecer adecuadamente los aparatos sanitarios contemplados para el Aula de Capacitación.

Las velocidades calculadas variaron entre 0.54 m/s y 1.31 m/s. De acuerdo con la NEC (2011), las velocidades recomendadas para instalaciones interiores de agua potable deben mantenerse entre 0.60 m/s y 2.50 m/s. En este sentido, la mayoría de los tramos analizados cumplen con el rango recomendado, garantizando condiciones adecuadas de circulación y reduciendo el riesgo de pérdidas excesivas de energía. Únicamente el tramo inicial presentó una velocidad ligeramente inferior al valor recomendado (0.54 m/s); sin embargo, debido a que corresponde a un tramo de alimentación con un caudal reducido y una longitud corta, esta condición no representa una afectación significativa para la operación de la red.

Respecto a las pérdidas de carga acumuladas, se obtuvo una carga total de 21.69 m.c.a. en el recorrido hidráulicamente más desfavorable. Al comparar este valor con la presión disponible de

la red pública de abastecimiento, equivalente a 16.17 m.c.a. (23 PSI), se determinó que la presión existente resulta insuficiente para satisfacer los requerimientos hidráulicos de todos los puntos de consumo. Como consecuencia, se obtuvo una presión residual negativa, evidenciando la necesidad de incorporar un sistema hidroneumático que permita incrementar la presión de servicio dentro de la red interna.

Los resultados obtenidos permiten concluir que el dimensionamiento de las tuberías, los caudales de diseño y las velocidades de circulación son hidráulicamente adecuados para el abastecimiento de la edificación. No obstante, la limitación de presión proveniente de la red pública hace necesaria la implementación de un sistema de almacenamiento, bombeo e hidroneumático que garantice las condiciones mínimas de servicio requeridas para el correcto funcionamiento de los aparatos sanitarios del proyecto.

4.2.7 Análisis de resultados del tanque hidroneumático

De acuerdo con los resultados obtenidos para el sistema hidroneumático, se determinó un caudal de bombeo de 40 L/min, calculado a partir de los requerimientos de abastecimiento de la red y de una frecuencia de operación de 50 ciclos por hora. Estos parámetros permitieron establecer la capacidad necesaria del sistema de presurización para complementar la presión disponible de la red pública y garantizar el suministro adecuado de agua a los diferentes puntos de consumo de la edificación.

Asimismo, se determinaron presiones de encendido y apagado de 20.27 m.c.a. y 40.27 m.c.a., respectivamente, valores que definen el rango de operación del sistema hidroneumático. Este intervalo permite controlar adecuadamente el funcionamiento de la bomba, reduciendo la

frecuencia de arranques y paradas continuas, lo que contribuye a prolongar la vida útil de los equipos y mejorar la estabilidad de presión dentro de la red.

El volumen útil requerido para el tanque hidroneumático fue de 57.68 L, equivalente a 15.24 galones. Con base en este resultado se seleccionó un tanque comercial de 20 galones, cuya capacidad supera el volumen mínimo calculado, proporcionando un margen de seguridad para la operación del sistema.

En conjunto, los resultados obtenidos demuestran que el tanque hidroneumático seleccionado posee la capacidad suficiente para compensar la insuficiencia de presión proveniente de la red pública de abastecimiento, permitiendo mantener presiones adecuadas en los puntos de consumo y garantizando un funcionamiento eficiente y continuo de la red de agua potable proyectada.

4.2.8 Análisis de resultados de la bomba

Con base en los resultados obtenidos para la verificación del sistema de bombeo, se determinó un caudal de diseño de 1 L/s, valor adoptado para garantizar el abastecimiento de la red de agua potable bajo las condiciones más exigentes de operación. Para el cálculo de la carga dinámica total se consideraron la altura estática, la altura de succión, las pérdidas de carga por fricción y accesorios, así como la presión mínima requerida en el aparato sanitario más desfavorable.

Los resultados permitieron obtener una altura dinámica total de 19.49 m. Sin embargo, debido a la incorporación del tanque hidroneumático como elemento de presurización de la red, fue necesario considerar adicionalmente la presión de trabajo requerida por este equipo, obteniéndose una carga total equivalente a 31.27 m.

Considerando un rendimiento de la bomba del 75%, se determinó una potencia requerida de 0.90 HP. Posteriormente, al aplicar los factores de seguridad correspondientes para la selección

comercial del equipo, se obtuvieron potencias de 1.17 HP para motor trifásico y 1.35 HP para motor monofásico. Con base en estos resultados se seleccionó una bomba comercial de 1.5 HP, cuya capacidad supera los requerimientos mínimos calculados para el sistema.

Los resultados obtenidos evidencian que la bomba seleccionada dispone de la capacidad suficiente para vencer las pérdidas de carga presentes en la instalación y suministrar la presión necesaria para el adecuado funcionamiento de la red de agua potable. Asimismo, su operación conjunta con el tanque hidroneumático permite garantizar condiciones estables de presión y continuidad en el abastecimiento de los diferentes puntos de consumo de la edificación.

4.3 Análisis del sistema sanitario

El análisis del sistema de alcantarillado sanitario del Complejo Deportivo Mirador del Colibrí tiene como finalidad verificar que la red proyectada permita recolectar, conducir y evacuar adecuadamente las aguas residuales generadas por los diferentes aparatos sanitarios de la edificación. Para ello, se evaluaron las condiciones hidráulicas de operación de la red, considerando los caudales aportados por los aparatos sanitarios, las características geométricas de las tuberías y los parámetros de diseño establecidos para sistemas de alcantarillado sanitario.

La evaluación se desarrolló a partir de la información contenida en los planos hidrosanitarios y de la revisión de los cálculos hidráulicos correspondientes a la red sanitaria. Asimismo, se aplicaron criterios técnicos relacionados con el comportamiento hidráulico de tuberías a superficie libre, considerando aspectos como la capacidad de conducción, las pendientes de diseño, las velocidades de flujo y las condiciones de autolimpieza de las conducciones (Arocha, 1983; López Cualla, 1995).

El análisis comprende la determinación de los caudales de diseño mediante el método de Hunter, utilizando las unidades de descarga asociadas a cada aparato sanitario y considerando la simultaneidad de uso prevista para las instalaciones del proyecto. Posteriormente, se verifican las condiciones hidráulicas de los diferentes tramos de la red, evaluando parámetros como diámetros, pendientes, velocidades de circulación y capacidad de transporte de las aguas residuales.

Finalmente, se verifica que las condiciones de funcionamiento del sistema permitan una evacuación adecuada de las aguas residuales, garantizando velocidades compatibles con la autolimpieza de las tuberías y evitando problemas asociados a sedimentación, obstrucciones o deficiencias operativas durante la vida útil de la infraestructura.

4.3.1 Caudales y condiciones de flujo.

La determinación de los caudales de diseño de la red sanitaria se realizó mediante el método de Hunter, considerando las unidades de descarga asociadas a cada aparato sanitario y la probabilidad de utilización simultánea dentro de la edificación. Este procedimiento permitió estimar los caudales máximos probables que circulan por los diferentes tramos de la red de alcantarillado sanitario.

Para el análisis se identificaron los aparatos sanitarios conectados a cada caja de revisión y se contabilizaron las correspondientes unidades Hunter. La distribución de los ramales sanitarios y la ubicación de las cajas de revisión consideradas en el análisis se presentan en la Figura 20. Mientras que los cálculos completos realizados para los demás ramales se incluyen en el (Anexo C, Tabla D.1.).

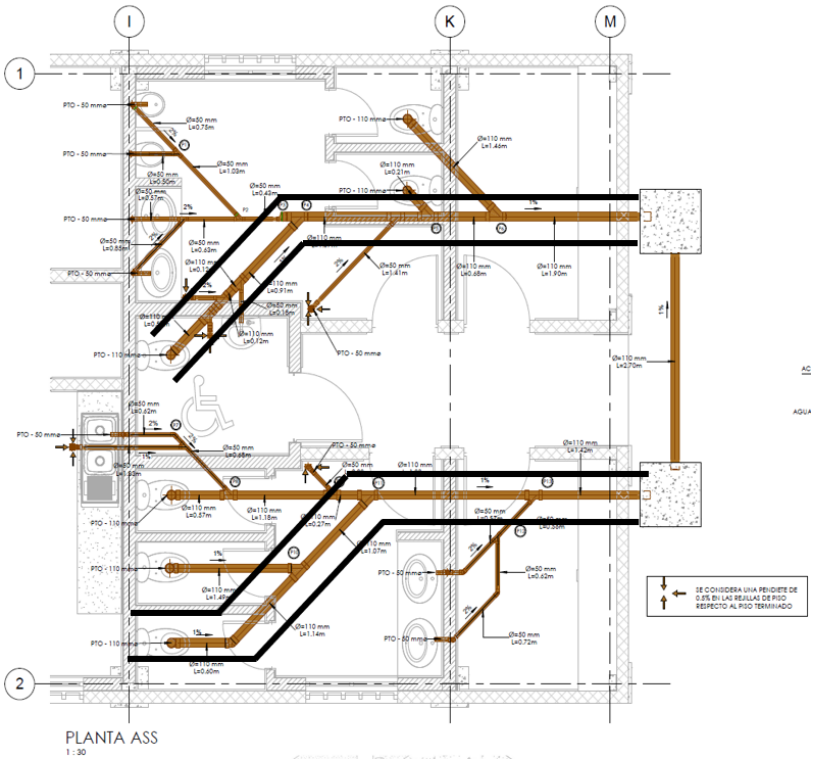


Figura 20. *Distribución de la red sanitaria y ubicación de las cajas de revisión analizadas.*

Nota. Vista en planta y corte de la estructura de reserva de agua potable, detallando la capacidad de almacenamiento, la cámara de transformación y la disposición de la bomba centrífuga para el sistema de distribución. (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui, 2024.)

Caja de Revisión 1

En la Caja de Revisión 1 se identificó la descarga de tres inodoros y dos lavabos, los cuales aportan un total de 13 unidades Hunter. Aplicando el método de Hunter se obtuvo un caudal máximo probable de:

$$Q = 0.67\ L/s$$

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 17.

Tabla 17. Unidades Hunter y caudal máximo probable para la Caja de Revisión 1.

CAJA REVISION 1			
Aparato Sanitario	Número	UNIDADES HUNTER	SUBTOTAL
Bañera / tina	0	2	0
Bidet	0	1	0
Calentadores / calderas	0	1.5	0
Ducha	0	2	0
Fregadero Cocina	1	2	2
Fuentes para beber	0	0.5	0
Grifo para manguera	0	3	0
Inodoro deposito	3	3	9
inodoro fluxómetro	0	6	0
Lavabo	2	1	2
Máquina de lavar ropa	0	3	0
Máquina Lava vajilla	0	2	0
Urinario fluxómetro	0	5	0
Urinario llave		3	0
Sauna, turco o hidromasaje domestico	0	6	0
TOTAL			13
CAUDAL MÁXIMO PROBABLE (L/S)			0.67

Caja de Revisión 2

De manera similar, para la Caja de Revisión 2 se identificó la descarga de tres inodoros, tres lavabos y dos urinarios, obteniéndose un total de 18 unidades Hunter. Como resultado de la aplicación del método de Hunter se determinó un caudal máximo probable de:

$$Q = 0.83\ L/s$$

Los resultados correspondientes se presentan en la Tabla 18.

Tabla 18. Unidades Hunter y caudal máximo probable para la Caja de Revisión 2.

CAJA REVISION 2			
Aparato Sanitario	Número	UNIDADES HUNTER	SUBTOTAL
Bañera / tina	0	2	0
Bidet	0	1	0
Calentadores / calderas	0	1.5	0
Ducha	0	2	0
Fregadero Cocina	0	2	0
Fuentes para beber	0	0.5	0
Grifo para manguera	0	3	0
Inodoro deposito	3	3	9
inodoro fluxómetro	0	6	0
Lavabo	3	1	3
Máquina de lavar ropa	0	3	0
Máquina Lava vajilla	0	2	0

Urinario Fluxómetro	0	5	0
Urinario llave	2	3	6
Sauna, turco o hidromasaje domestico	0	6	0
TOTAL			18
CAUDAL MÁXIMO PROBABLE (L/S)			0.83

El incremento de unidades Hunter respecto a la Caja de Revisión 1 genera un aumento del caudal de diseño, alcanzando un valor de 0.83 L/s, correspondiente al tramo con mayor aporte sanitario dentro del sistema analizado.

Análisis de resultados

Al comparar los caudales obtenidos para ambas cajas de revisión se observa que la Caja de Revisión 2 presenta la condición hidráulica más desfavorable, debido al mayor número de aparatos sanitarios conectados y a la presencia de urinarios dentro de la red. En consecuencia, el caudal de 0.83 L/s constituye el valor de referencia para la verificación de las condiciones de flujo, pendientes y diámetros desarrolladas en el apartado siguiente.

Los resultados obtenidos evidencian que los caudales generados por la edificación son relativamente bajos, situación que permite su conducción mediante tuberías sanitarias convencionales operando a gravedad. Asimismo, estos valores constituyen la base para verificar que las velocidades de circulación y la capacidad hidráulica de las conducciones sean suficientes para garantizar el adecuado funcionamiento del sistema de alcantarillado sanitario.

4.3.2 Verificación de pendientes y diámetros.

La verificación hidráulica de la red de alcantarillado sanitario se realizó con el propósito de comprobar que los diámetros y pendientes adoptados permiten conducir adecuadamente los caudales residuales generados en la edificación. Para ello se evaluó la capacidad hidráulica de los tramos más representativos de la red mediante la aplicación de las ecuaciones de flujo uniforme presentadas en el Capítulo II.

Como condición de diseño se consideraron los caudales máximos probables obtenidos mediante el método de Hunter, así como los diámetros y pendientes definidos en los planos hidrosanitarios del proyecto. El análisis se efectuó para los tramos comprendidos entre las cajas de revisión principales, verificando la capacidad de conducción y las velocidades de circulación alcanzadas bajo condiciones de flujo a gravedad.

Los parámetros utilizados para la evaluación se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19. Parámetros hidráulicos utilizados para la verificación del alcantarillado sanitario.

Parámetros de diseño para red de alcantarillado

CR	Caudal (m3/s)	Caudal (l/s)	Longitud (m)
1	0,00067	0,67	6,21
2	0,00083	0,83	5,39
1-2	0,0015	1,5	2,7
2-DC	0,0015	1,5	5,24

Área de tubería

Para el cálculo del área de la tubería se usa la siguiente expresión, mediante el diámetro de la tubería.

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Reemplazando el valor del diámetro:

$$A = \frac{\pi * 0.11^2}{4} = 0.0095\ m^2$$

Radio hidráulico:

El radio hidráulico para una sección llena se determinó mediante la expresión, relacionando el área de la tubería.

$$RH = \frac{A}{4}$$

Reemplazando el valor del área:

$$RH = \frac{0.0095}{4} = 0.0275\ m$$

Velocidad

Una vez obtenido el radio hidráulico se calcula velocidad para una sección llena se determinó mediante la (Ecuación 15), que relaciona el coeficiente de Manning, el radio hidráulico y la pendiente

$$V = \frac{1}{n} * RH^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Reemplazando valores:

$$V = \frac{1}{0.009} * 0.0275^{\frac{2}{3}} * 0.01^{\frac{1}{2}} = 1.0123\, m/s$$

Caudal

El caudal para sección llena se obtiene mediante la (Ecuación 1).

$$Q = V * A$$

Sustituyendo:

$$Q = 1.0123 * 0.009503 * 1000 = 9.62\, l/s$$

Relación de caudal

Se realiza una relación de caudal residual y el caudal de sección llena mediante la (ecuación 12).

$$Rel.Q = \frac{Qr}{Qlleno}$$

Reemplazando:

$$Rel.Q = \frac{0.67}{9.62} = 0.0696$$

Área parcial

El área parcial se obtiene a través de la ecuación presentada en el marco teórico (Ecuación 11), que relaciona el diámetro y la relación de caudal.

$$A_{parcial} = \frac{D^2 * (Rel.Q - Sen(Rel.Q)}{8}$$

Sustituyendo valores:

$$A_{parcial} = \frac{0.11^2 \ * (0.0696 - Sen(0.0696)}{8} = 0.00010\ m^2$$

Perímetro

El perímetro se obtiene mediante la (Ecuación 13), que relaciona el diámetro y la relación de caudal.

$$P_{parcial} = \frac{D * Rel.Q}{2}$$

Reemplazando valores:

$$P_{parcial} = \frac{0.11 * 0.0696}{2} = 0.00383$$

Radio hidráulico

El radio hidráulico de la sección parcial se obtiene a través de la (Ecuación 14)

$$Rh = \frac{A_{parcial}}{P_{parcial}}$$

Sustituyendo los valores

$$Rh = \frac{0.00010}{0.00383} = 0.027\ m$$

Velocidad

La velocidad de la sección se calcula a través de la ecuación mencionada en el marco teórico (Ecuación 15), que relaciona el coeficiente de Manning, la pendiente y el radio hidráulico.

$$V = \frac{1}{n} * RH^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Reemplazando:

$$V = \frac{1}{0.009} * 0.0275^{\frac{2}{3}} * 0.01^{\frac{1}{2}} = 1.0005\, m/s$$

Verificación de velocidades de flujo

Posteriormente se determinaron las velocidades de circulación en los diferentes tramos de la red mediante la ecuación de Manning, considerando los diámetros y pendientes establecidos en el diseño.

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 20.

Tabla 20. Resultados de la verificación hidráulica de la red sanitaria.

CR	Caudal (m3/s)	Caudal (l/s)	A Tub. (m2)	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Q. lleno (l/s)	Relación de Caudal	Vel. (m/s)
1	0.00067	0.67	0.009503	6.21	110	9.62028	0.06964	1.000495
2	0.00083	0.83	0.009503	5.39	110	9.62028	0.08628	1.000495
1-2	0.00067	0.67	0.009503	2.7	110	9.62028	0.06964	1.000495
2-DC	0.0015	1.5	0.009503	5.24	110	13.60514	0.11025	1.414913

Análisis de resultados

Las velocidades obtenidas oscilaron entre 1.00 m/s y 1.41 m/s, valores que se encuentran dentro de rangos adecuados para sistemas de alcantarillado sanitario operando por gravedad.

Asimismo, la relación entre el caudal residual y la capacidad de conducción de las tuberías varió entre 0.069 y 0.110, evidenciando que los conductos trabajan con niveles de ocupación reducidos y disponen de capacidad suficiente para transportar los caudales generados por la edificación.

El tramo comprendido entre la Caja de Revisión 2 y la descarga final (2-DC) presentó la condición hidráulica más exigente del sistema, debido a que concentra el mayor caudal residual de la red. Sin embargo, la velocidad obtenida fue de 1.41 m/s, confirmando que el diámetro de 110 mm y la pendiente adoptada garantizan una conducción adecuada de las aguas residuales.

En consecuencia, los resultados obtenidos permiten verificar que las pendientes y diámetros seleccionados cumplen con los requerimientos hidráulicos del proyecto, asegurando el funcionamiento adecuado del sistema sanitario bajo las condiciones de diseño consideradas.

4.3.3 Análisis de resultados de la red sanitaria

Con base en los resultados obtenidos para la red de alcantarillado sanitario, se verificó el comportamiento hidráulico de los colectores mediante el análisis de los caudales máximos probables, diámetros, pendientes, velocidades de circulación y capacidad de conducción de las tuberías. Los caudales de diseño fueron determinados mediante el método de las Unidades Hunter, considerando el número y tipo de aparatos sanitarios conectados a cada tramo de la red.

De acuerdo con los resultados presentados en las Tablas 17 y 18, para la Caja de Revisión 1 se obtuvo un total de 13 unidades Hunter, equivalente a un caudal máximo probable de 0.67 L/s, mientras que para la Caja de Revisión 2 se determinaron 18 unidades Hunter, correspondientes a un caudal de 0.83 L/s. Estos valores representan las condiciones más desfavorables de operación consideradas para la verificación hidráulica del sistema.

En cuanto a las características de conducción, se emplearon tuberías sanitarias de PVC de 110 mm de diámetro con pendientes comprendidas entre 1 % y 2 %, obteniéndose velocidades a tubo lleno entre 1.01 m/s y 1.43 m/s. Asimismo, las velocidades reales calculadas para los distintos tramos variaron entre 1.00 m/s y 1.41 m/s. Estos valores se encuentran dentro del rango recomendado por la NEC (2011), que establece velocidades mínimas suficientes para garantizar el arrastre de sólidos y evitar procesos de sedimentación dentro de las conducciones.

Por otra parte, las relaciones de llenado obtenidas fueron inferiores a la capacidad máxima de las tuberías, evidenciando que los colectores operan con una reserva hidráulica suficiente para transportar los caudales generados sin presentar condiciones de sobrecarga. Esta situación favorece la estabilidad hidráulica de la red y permite absorber variaciones eventuales en los aportes de aguas residuales.

En conjunto, los resultados obtenidos demuestran que los diámetros seleccionados, las pendientes adoptadas y las condiciones de flujo verificadas son adecuadas para la evacuación de las aguas residuales generadas en el proyecto. Por tanto, la red sanitaria presenta condiciones hidráulicas favorables para su funcionamiento, garantizando una conducción eficiente y reduciendo el riesgo de obstrucciones o problemas operativos durante su vida útil.

4.4 Análisis del sistema pluvial

El análisis del sistema de drenaje pluvial del proyecto se realizó con el propósito de verificar que la infraestructura diseñada sea capaz de captar, conducir y evacuar adecuadamente las aguas lluvias generadas sobre las cubiertas y áreas de aporte del Complejo Deportivo Mirador del Colibrí. Para ello, se consideraron las características geométricas de las superficies de captación, las condiciones hidrológicas de la zona y los elementos hidráulicos que conforman la red de drenaje.

La evaluación se desarrolló a partir de la información contenida en los planos hidrosanitarios del proyecto y de los criterios de diseño establecidos para sistemas de evacuación de aguas lluvias. Asimismo, se tomaron como referencia los fundamentos de hidrología e hidráulica aplicados al cálculo de escorrentías superficiales y al dimensionamiento de conducciones pluviales (Chow, 1994; López Cualla, 1995).

La cubierta principal de la edificación presenta pendientes que permiten dirigir la escorrentía superficial hacia las canaletas y bajantes pluviales dispuestas en el proyecto. La configuración geométrica de las áreas de aporte y la dirección del escurrimiento superficial se presentan en la Figura 13.

Para la determinación de los caudales de diseño se consideraron parámetros hidrológicos como el período de retorno, el tiempo de concentración, la intensidad de precipitación y el coeficiente de escorrentía de las superficies analizadas. Estos parámetros permiten estimar el caudal máximo de escorrentía que debe ser evacuado por la red pluvial durante eventos de lluvia representativos de las condiciones de diseño.

Posteriormente, se verificó que las canaletas, bajantes y tuberías proyectadas dispongan de capacidad suficiente para transportar los caudales generados, garantizando un adecuado funcionamiento hidráulico del sistema y evitando acumulaciones de agua que puedan afectar la infraestructura del proyecto.

4.4.1 Cálculo de caudales de diseño.

Para la determinación de los caudales de diseño del sistema pluvial se utilizaron los parámetros hidrológicos obtenidos a partir de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) de la estación pluviográfica M0004–Rumipamba (Anexo F, Figura F.1.), considerando las condiciones

climáticas características de la zona del proyecto. Conforme a los criterios de diseño establecidos para sistemas de drenaje pluvial, se adoptó un período de retorno de 5 años y un tiempo de concentración de 15 minutos. Mientras que los cálculos completos realizados para los demás ramales se incluyen en el (Anexo D, Tabla D.1.).

Los parámetros utilizados para el análisis hidrológico se presentan en la Tabla 21.

Tabla 21. Parámetros hidrológicos adoptados para el cálculo de caudales de diseño.

Parámetros de diseño hidrológico		
T=	5	años
t=	15	min
i=	63.01	mm/hora
n=	0.009	
S=	0.010	m/m
c=	0.95	

Determinación de la intensidad de precipitación

La intensidad de precipitación fue calculada mediante la ecuación presentada en el marco teórico (Ecuación 17), la cual relaciona el período de retorno y el tiempo de concentración para eventos de lluvia de corta duración.

$$i = 160.9162 * T^{0.2407} * t^{-0.4893}$$

Sustituyendo los valores adoptados para el proyecto:

$$i = 160.9162 * 5^{0.2407} * 15^{-0.4893} = 63.01\ mm/hora$$

Por lo tanto, la intensidad de lluvia utilizada para el diseño del sistema pluvial fue de 63.01 mm/h.

Determinación de las áreas tributarias

Para estimar los caudales de aporte se analizaron las pendientes de la cubierta y la dirección del escurrimiento superficial, identificando las áreas tributarias asociadas a cada bajante de aguas lluvias (BALL). La distribución de dichas áreas se presenta en la Figura 16.

Las áreas determinadas permiten identificar la superficie efectiva que aporta escorrentía a cada bajante, constituyendo uno de los parámetros fundamentales para el cálculo de los caudales de diseño mediante el Método Racional.

Determinación del caudal de diseño pluvial

El caudal de diseño se calculó mediante la expresión presentada (Ecuación 16), la cual relaciona el coeficiente de escorrentía, la intensidad de precipitación y el área tributaria.

$$Q_d = \frac{C * I * A}{0.36}$$

Como ejemplo de cálculo, para el área tributaria correspondiente a la bajante BALL 1 se obtuvo:

$$Q_d = \frac{0.90 * 63.01 * 0.007713}{0.36} = 1.21\ L/s$$

$$Q_d = 1.21\ L/s$$

El mismo procedimiento fue aplicado para todas las áreas tributarias identificadas en la cubierta.

Verificación y selección de bajantes pluviales

A partir de los caudales calculados se verificó la capacidad hidráulica de las bajantes proyectadas, seleccionando los diámetros que garantizan la adecuada evacuación de las aguas lluvias generadas durante el evento de diseño.

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 22.

Tabla 22. Caudales de diseño y selección de bajantes de aguas lluvias (BALL).

BAJANTE	ÁREA QUE RECOGE	CAUDAL	DIÁMETRO DISEÑO	DIÁMETRO BAJANTE BALL	ÁREA MAX QUE RECOGE	ALTURA BAJANTE
N°	m2	Q - lt/s	mm	mm	m2	m
BALL 1	77.13	1.28	110	110	315.5	4.05
BALL 2	46.54	0.77	110	110	315.5	4.16
BALL 3	34.08	0.57	110	110	315.5	4.13
BALL 4	34.08	0.57	110	110	315.5	3.97
BALL 5	46.54	0.77	110	110	315.5	3.93
BALL 6	77.13	1.28	110	110	315.5	3.93

Análisis de resultados

Los resultados muestran que las áreas tributarias de la cubierta varían entre 34.08 m² y 77.13 m², generando caudales comprendidos entre 0.57 L/s y 1.28 L/s. Los mayores aportes corresponden a las bajantes BALL 1 y BALL 6, debido a que reciben la escorrentía de las áreas de captación más extensas del sistema.

Para todas las bajantes se adoptó un diámetro de 110 mm**,** valor que proporciona una capacidad de conducción superior a los caudales calculados. Considerando que este diámetro puede atender áreas de captación de hasta 315.5 m², las áreas tributarias evaluadas representan únicamente entre el 10.8 % y el 24.4 % de dicha capacidad, evidenciando un adecuado margen de seguridad hidráulica.

Asimismo, las alturas de bajante comprendidas entre 3.93 m y 4.16 m permiten conducir eficientemente el flujo desde la cubierta hasta la red de drenaje, garantizando el correcto funcionamiento del sistema pluvial bajo las condiciones de diseño consideradas.

Finalmente, los caudales obtenidos constituyen la base para la verificación hidráulica de las canaletas, bajantes y conducciones pluviales, análisis que se desarrolla en el apartado siguiente.

4.4.2 Verificación hidráulica de las conducciones.

La verificación hidráulica de las conducciones pluviales se realizó con el propósito de comprobar que los diámetros y pendientes adoptados permiten transportar adecuadamente los caudales generados durante el evento de diseño. Para ello se evaluó la capacidad hidráulica de los diferentes tramos de la red mediante la aplicación de la ecuación de Manning, verificando la capacidad de conducción y las velocidades de circulación alcanzadas bajo condiciones de flujo a gravedad.

Como ejemplo representativo del procedimiento de cálculo se presenta la evaluación correspondiente al tramo comprendido entre la bajante pluvial y la Caja de Revisión 5 (CR6–CR5), el cual transporta un caudal de diseño de 1.21 L/s mediante una tubería de PVC de 110 mm de diámetro.

Verificación de la capacidad hidráulica

A partir de las ecuaciones desarrolladas en el marco teórico se determinó la capacidad de conducción de la tubería trabajando a sección llena.

Los parámetros considerados fueron:

- Diámetro: 110 mm
- Pendiente: 1 %
- Coeficiente de Manning: n = 0.009

Mediante la ecuación de Manning se obtuvo una capacidad hidráulica de:

$$Q_{lleno} = 9.62\ L/s$$

Al comparar este valor con el caudal de diseño transportado por el tramo analizado se obtuvo:

$$Rel.Q = \frac{Qr}{Qlleno}$$

Este resultado indica que la conducción utiliza únicamente el 12.6 % de su capacidad hidráulica disponible.

Verificación de velocidades de flujo

Con los parámetros geométricos e hidráulicos definidos para la conducción se determinó la velocidad de circulación del flujo.

Para el tramo analizado se obtuvo:

$$V = 1.00\ m/s$$

Este valor permite garantizar una adecuada evacuación de las aguas lluvias sin generar velocidades excesivas que puedan afectar el funcionamiento de la red.

Resultados de la verificación hidráulica

Los resultados obtenidos para los diferentes tramos de la red pluvial se presentan en la Tabla 23.

Tabla 23. Verificación hidráulica de las conducciones pluviales.

Tramo	Q anterior (L/s)	Area coop. (Ha)	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Qlleno (L/s)	Relación Q/QLleno	Velocidad (m/s)
CR6 - CR5	1.21	0.007713	13.16	110	9.620	0.12629	1.0004946
CR5-CR4	1.95	0.004654	12.2	110	9.620	0.20249	1.0004946
CR4-CR3	2.48	0.003408	8.9	110	9.620	0.25829	1.0004947
CR1 - CR2	1.21	0.007713	16.06	110	9.620	0.12629	1.0004946
CR2-CR3	1.95	0.004654	9.9	110	9.620	0.20249	1.0004946
CR3-CR7	4.97	0.003408	5.7	110	9.620	0.51657	1.0004948
CR7 - CR8	4.97	0	11.6	160	20.522	0.24216	1.2843980
CR8-CR9	4.97	0	11.4	160	20.522	0.24216	1.2843980
CR9-CR10	4.97	0	11.4	160	20.522	0.24216	1.2843980
CR10-CR11	4.97	0	14.25	160	20.522	0.24216	1.2843980
CR11-POZO DE LA RED	4.97	0	13.2	160	20.522	0.24216	1.2843980

Análisis de resultados

Los resultados muestran que las conducciones de 110 mm presentan capacidades hidráulicas de aproximadamente 9.62 L/s, mientras que las tuberías de 160 mm alcanzan capacidades cercanas a 20.52 L/s, valores superiores a los caudales de diseño calculados para cada tramo.

La relación entre el caudal de diseño y la capacidad de conducción varía entre 0.126 y 0.517, evidenciando que ninguna de las tuberías trabaja próxima a su capacidad máxima. La condición más exigente se presenta en el tramo CR3–CR7, donde se registra un caudal de diseño de 4.97 L/s, equivalente al 51.7 % de la capacidad de una tubería de 110 mm.

Asimismo, las velocidades obtenidas se encuentran entre 1.00 m/s y 1.28 m/s, valores que permiten una evacuación eficiente de las aguas lluvias bajo condiciones de flujo a gravedad.

En consecuencia, los diámetros y pendientes adoptados en el sistema pluvial garantizan una capacidad hidráulica suficiente para conducir los caudales generados durante el evento de diseño considerado, verificando el adecuado funcionamiento de la red de drenaje del proyecto.

4.4.3 Análisis de resultados de la red de alcantarillado pluvial

Con base en los resultados obtenidos para la red de alcantarillado pluvial, se verificó el comportamiento hidráulico del sistema considerando los parámetros hidrológicos de diseño correspondientes a un tiempo de concentración de 15 minutos, un período de retorno de 5 años y una intensidad de precipitación de 63.01 mm/h. Para la estimación de los caudales se empleó un coeficiente de escorrentía de 0.95, representativo de superficies impermeables, permitiendo determinar los aportes generados por las áreas de captación de las cubiertas del proyecto.

Los resultados obtenidos para las bajantes pluviales evidenciaron caudales de diseño de 1.21 L/s, 0.73 L/s y 0.54 L/s para las diferentes áreas de aporte consideradas. En todos los casos se adoptaron bajantes de PVC de 110 mm de diámetro, verificándose que la capacidad hidráulica de las conducciones es superior a los caudales generados durante el evento de diseño analizado. Esta condición proporciona un margen de seguridad adecuado frente a posibles incrementos temporales de escorrentía o variaciones en las condiciones de operación del sistema.

Respecto a los colectores pluviales, se emplearon tuberías de 110 mm en los tramos iniciales y de 160 mm en los tramos finales de la red, con pendientes de diseño de 0.001 m/m. Las velocidades obtenidas variaron entre 1.00 m/s y 1.28 m/s, valores que se encuentran dentro del rango recomendado por la NEC (2011), permitiendo un adecuado transporte del flujo y reduciendo el riesgo de acumulación de sedimentos dentro de las conducciones.

Asimismo, la relación entre los caudales de diseño y la capacidad máxima de las tuberías evidencia que los colectores operan con una capacidad hidráulica disponible suficiente para transportar las aguas lluvias provenientes de las áreas de captación consideradas. Esta condición favorece el funcionamiento del sistema y disminuye la probabilidad de sobrecargas hidráulicas durante eventos de precipitación.

En conjunto, los resultados obtenidos demuestran que la red de alcantarillado pluvial posee la capacidad necesaria para evacuar los caudales generados por las áreas de aporte del proyecto. Los diámetros seleccionados, las pendientes adoptadas y las velocidades verificadas garantizan condiciones hidráulicas adecuadas para la conducción de las aguas lluvias y el correcto funcionamiento del sistema de drenaje pluvial.

4.5 Análisis del sistema de tratamiento

El análisis del sistema de tratamiento de aguas residuales del Complejo Deportivo Mirador del Colibrí se realizó con la finalidad de verificar que la unidad de tratamiento instalada posee la capacidad suficiente para recibir y tratar los caudales generados por las actividades desarrolladas en la edificación. Para ello, se evaluaron las condiciones de diseño del biodigestor considerando

los aportes provenientes de la red sanitaria, el número de usuarios atendidos y los criterios técnicos establecidos para sistemas descentralizados de tratamiento de aguas residuales.

El sistema de tratamiento implementado corresponde a un biodigestor anaerobio, cuya función principal consiste en la sedimentación de sólidos y la reducción parcial de la materia orgánica contenida en las aguas residuales domésticas. Este tipo de unidades constituye una alternativa ampliamente utilizada en proyectos que no disponen de conexión directa a redes públicas de alcantarillado o requieren un tratamiento primario previo a la disposición final del efluente (Crites & Tchobanoglous, 1998; Metcalf & Eddy, 2014).

La evaluación se desarrolló a partir de la información obtenida de los planos hidrosanitarios, las especificaciones técnicas del proyecto y los cálculos de diseño del sistema sanitario. Asimismo, se consideraron parámetros como el caudal de aporte, el tiempo de retención hidráulica, el volumen útil de tratamiento y la capacidad nominal del biodigestor instalado, con el propósito de verificar su desempeño bajo las condiciones de operación previstas.

La ubicación del sistema de tratamiento dentro del proyecto y su conexión con la red de alcantarillado sanitario se presentan en la Figura 11.

Posteriormente, se realiza la verificación de la capacidad del biodigestor y la evaluación de su capacidad de diseño, con el fin de determinar si la unidad instalada cumple con los requerimientos hidráulicos y operativos establecidos para el proyecto.

4.5.1 Verificación del biodigestor.

La verificación del biodigestor se realizó con la finalidad de comprobar que la unidad de tratamiento incorporada en el proyecto dispone de las características necesarias para recibir y tratar las aguas residuales generadas por los usuarios del Complejo Deportivo Mirador del Colibrí. Para

ello se revisaron las condiciones de implantación, conexiones hidráulicas y funcionamiento general del sistema de tratamiento propuesto.

El sistema de tratamiento está conformado por un biodigestor autolimpiable que recibe las descargas provenientes de la red de alcantarillado sanitario mediante tuberías que operan por gravedad. El ingreso de las aguas residuales se realiza a través de una tubería de entrada conectada directamente a la red sanitaria, permitiendo conducir el caudal generado hacia el interior de la unidad de tratamiento.

El funcionamiento de la unidad se basa en procesos de sedimentación y digestión anaerobia. Durante la operación, los sólidos sedimentables se depositan en el fondo del tanque formando una capa de lodos, mientras que la materia orgánica contenida en el agua residual es degradada parcialmente por microorganismos en ausencia de oxígeno. Este proceso permite reducir la carga contaminante antes de la disposición final del efluente.

Asimismo, el biodigestor incorpora elementos que facilitan su operación y mantenimiento, entre los cuales se encuentran la tubería de entrada, la tubería de salida, el sistema de ventilación y la tapa de inspección para la extracción periódica de lodos acumulados.

Desde el punto de vista operativo, la unidad permite desarrollar el tratamiento primario de las aguas residuales domésticas generadas en la edificación sin requerir equipos mecánicos adicionales ni consumo energético durante el proceso de depuración. Esta condición favorece la simplicidad operativa del sistema y reduce los requerimientos de mantenimiento.

La verificación realizada evidencia que la configuración hidráulica del biodigestor y sus elementos complementarios son compatibles con las condiciones de funcionamiento del proyecto, por lo que

resulta procedente evaluar su capacidad de tratamiento mediante los parámetros de diseño desarrollados en el apartado siguiente.

4.5.2 Evaluación de la capacidad de diseño.

La evaluación de la capacidad de diseño se realizó con el propósito de verificar que el volumen del biodigestor seleccionado sea suficiente para tratar las aguas residuales generadas por la población considerada en el proyecto. Para ello se utilizaron los parámetros de diseño correspondientes a la población de servicio, aporte unitario de aguas residuales y tiempo de retención hidráulica adoptado para el sistema.

Los parámetros utilizados para el análisis se presentan en la Tabla 24.

Tabla 24. Parámetros utilizados para la evaluación de la capacidad del biodigestor.

Parámetro	Valor de diseño	Unidades
Población de diseño	52	usuarios
Aporte unitario	20	L/usuario/día
Tiempo de retención	1	día
Caudal residual diario	1040	L/día

Caudal residual diario

El caudal residual diario se determinó mediante la siguiente ecuación, la cual relaciona la población de diseño con el aporte unitario de aguas residuales.

$$Q_r = Pf * Au$$

Donde:

Q_r = caudal residual diario (L/día)

Pf = población de diseño (usuarios)

Au = aporte unitario de aguas residuales (L/usuario/día)

Sustituyendo los valores del diseño:

$$Q_r = 52 * 20 = 1040\ L/dia$$

El resultado indica que el sistema genera aproximadamente 1040 litros diarios de aguas residuales, valor que corresponde al caudal de ingreso considerado para el diseño del biodigestor.

Volumen útil neto requerido

Una vez determinado el caudal residual diario, se calculó el volumen útil neto requerido mediante la (Ecuación 21) considerando un tiempo de retención hidráulica de un día.

$$V_{UN} = Q_r * TRH$$

Sustituyendo los valores:

$$V_{UN} = \ 1040 * 1 = 1040\ L$$

Este volumen representa la capacidad mínima requerida para garantizar el tiempo de permanencia necesario dentro de la unidad de tratamiento.

Selección de la unidad comercial

Con base en el volumen útil neto calculado, se seleccionó un biodigestor comercial de 1300 L, cuya capacidad es superior al volumen mínimo requerido.

Los parámetros finales de diseño se presentan en la Tabla 25.

Tabla 25. Parámetros finales de diseño del biodigestor.

Parámetro	Valor de diseño	Unidades
Población	52	usuarios
Aporte unitario	20	l/usuario/día
TRH	1	día
Caudal residual diario	1040	l/día
Volumen útil neto	1040	l
Unidad comercial	1300	l

Análisis de resultados

La comparación entre el volumen útil neto requerido y la capacidad de la unidad seleccionada permite verificar que el biodigestor cumple con las necesidades del proyecto. Mientras el volumen mínimo calculado corresponde a 1040 L, la unidad comercial seleccionada dispone de una capacidad de 1300 L, proporcionando un margen adicional de aproximadamente 260 L.

Esta reserva de capacidad representa cerca del 25 % adicional respecto al volumen requerido, permitiendo absorber variaciones en el caudal generado por los usuarios y favoreciendo el mantenimiento del tiempo de retención hidráulica durante la operación del sistema.

En consecuencia, se verifica que el biodigestor seleccionado posee la capacidad suficiente para atender la población de diseño del Complejo Deportivo Mirador del Colibrí, garantizando condiciones adecuadas para el tratamiento primario de las aguas residuales generadas por la edificación.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 Conclusiones.

- Se verificó el comportamiento hidráulico de la red de agua potable del Complejo Deportivo Mirador del Colibrí mediante el análisis de caudales máximos probables, velocidades de circulación, pérdidas de carga y presiones residuales. Los resultados evidenciaron que las tuberías seleccionadas permiten transportar adecuadamente los caudales de diseño; sin embargo, la presión disponible de la red pública (23 PSI equivalentes a 16.17 m.c.a.) resulta insuficiente para compensar las pérdidas de carga acumuladas del recorrido más desfavorable, obteniéndose una presión residual negativa de -5.52 m.c.a., razón por la cual se justifica técnicamente la incorporación de un sistema hidroneumático.

- Se verificó la capacidad hidráulica de la red de alcantarillado sanitario mediante la aplicación del método de Hunter para la estimación de caudales residuales. Se obtuvo un caudal máximo probable de 0.67 L/s para la Caja de Revisión 1 y de 0.83 L/s para la Caja de Revisión 2, determinándose que el sistema opera dentro de condiciones hidráulicas adecuadas. Las relaciones de llenado calculadas fueron inferiores a la capacidad máxima de conducción de las tuberías, garantizando el transporte eficiente de las aguas residuales sin riesgo de sobrecarga hidráulica.

- Se evaluó el comportamiento hidráulico del sistema de drenaje pluvial mediante la aplicación del método racional, considerando un período de retorno de 5 años y una intensidad de precipitación de 63.01 mm/h obtenida para la estación pluviográfica Rumipamba. Los resultados demostraron que las bajantes, canaletas y conducciones proyectadas poseen capacidad suficiente para evacuar los caudales generados por las áreas de aporte de la cubierta, manteniendo velocidades compatibles con el funcionamiento hidráulico del sistema.

- Se verificó la capacidad de almacenamiento y presurización del sistema de abastecimiento, determinándose un volumen requerido de 1.04 m^3 para la cisterna y un volumen útil neto de 57.68 L para el tanque hidroneumático. En función de estos resultados se seleccionó una cisterna comercial de 1200 L y un tanque hidroneumático de 20 galones, garantizando condiciones adecuadas para la operación del sistema de agua potable.
- Se evaluó la capacidad del sistema de tratamiento de aguas residuales mediante la determinación del caudal residual diario generado por la población de diseño de 52 usuarios, obteniéndose un caudal de 1040 L/día y un volumen útil neto requerido de 1040 L. Con base en estos resultados se verificó que una unidad comercial de 1300 L satisface los requerimientos hidráulicos estimados para el proyecto.
- En términos generales, la evaluación integral del sistema hidrosanitario permitió comprobar que los componentes de abastecimiento de agua potable, alcantarillado sanitario, drenaje pluvial y tratamiento de aguas residuales cumplen con los criterios hidráulicos y de diseño considerados en el estudio. Asimismo, se identificó la necesidad de incorporar un sistema hidroneumático para garantizar las presiones mínimas requeridas para el adecuado funcionamiento de la red de agua potable.

5.2 Recomendaciones.

- Implementar el sistema hidroneumático propuesto, considerando la potencia de bombeo y el volumen de almacenamiento calculados, con la finalidad de garantizar las presiones mínimas requeridas en los aparatos sanitarios más desfavorables de la red de agua potable.

- Mantener los diámetros, pendientes y materiales establecidos en el diseño hidráulico, evitando modificaciones durante la ejecución de la obra que puedan alterar las condiciones de flujo verificadas en el presente estudio.
- Realizar inspecciones y mantenimiento periódico de las cajas de revisión, tuberías sanitarias y elementos de drenaje pluvial, con el fin de prevenir obstrucciones y garantizar el correcto funcionamiento de los sistemas durante su vida útil.
- Verificar periódicamente el estado de las canaletas, bajantes y sumideros del sistema pluvial, especialmente antes de las temporadas de mayor precipitación, para asegurar la adecuada evacuación de las aguas lluvias.
- Considerar la conexión del proyecto a la red pública de alcantarillado sanitario existente como alternativa prioritaria para la disposición final de las aguas residuales, debido a las condiciones de infiltración del terreno y a las limitaciones operativas identificadas para la implementación de un biodigestor en el sector.
- En caso de requerirse la implementación futura de un sistema individual de tratamiento, se recomienda realizar estudios complementarios de infiltración y permeabilidad del suelo que permitan verificar la viabilidad técnica de una zanja de infiltración asociada a un biodigestor.
- Se recomienda que futuras ampliaciones o modificaciones de la infraestructura sean acompañadas por una nueva verificación hidráulica de los sistemas de agua potable, alcantarillado sanitario y drenaje pluvial, con el propósito de mantener las condiciones de diseño y funcionamiento establecidas en el presente estudio.

- Debido a que la presente investigación se centró en la evaluación y verificación hidráulica del sistema hidrosanitario, se recomienda que futuros estudios incorporen un análisis técnico económico de las alternativas de diseño, considerando los costos operación y mantenimiento, así como la evaluación del comportamiento del sistema ante posibles ampliaciones de la infraestructura y crecimiento poblacional, con el fin de que el sistema tenga un buen funcionamiento.

Bibliografía

Association Française de Normalisation (AFNOR). (1983). *Norme Française NFP 41-204: Installations de distribution d'eau*. AFNOR.

Arocha, S. (1983). *Abastecimiento de agua: teoría y diseño* (2.ª ed.). Vega.

Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*. McGraw-Hill.

Crites, R., & Tchobanoglous, G. (1998). *Small and decentralized wastewater management systems*. McGraw-Hill.

Fox, R. W., McDonald, A. T., & Pritchard, P. J. (2012). *Introducción a la mecánica de fluidos* (8.ª ed.). Limusa Wiley.

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui. (2024). *COLIBRI-HID-H1 [Plano de red de agua potable]*. GAD Municipal de Rumiñahui.

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui. (2024). *COLIBRI-HID-H2 [Plano de red de desagüe]*. GAD Municipal de Rumiñahui.

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui. (2024). *COLIBRI-HID-H3 [Plano de red de agua lluvia]*. GAD Municipal de Rumiñahui.

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui. (2024). *COLIBRI-HID-H4 [Plano de desagüe exterior]*. GAD Municipal de Rumiñahui.

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui. (2024). *COLIBRI-HID-H5 [Plano de cortes sanitarios]*. GAD Municipal de Rumiñahui.

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui. (2024). *COLIBRI-HID-H6 [Plano de agua potable exterior]*. GAD Municipal de Rumiñahui.

Google. (2026). *Captura de mapa del Complejo Deportivo Mirador del Colibrí, Sangolquí, Ecuador [Imagen satelital]*. Google Earth. https://earth.google.com/web/search/Complejo+deportivo+Barrio+Mirador+del+Colibri,+Sangolqu%C3%AD/

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (2019). *Intensidades máximas de precipitación para diseño hidrológico en el Ecuador*. INAMHI.

López Cualla, R. A. (1995). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados* (1.ª ed.). Escuela Colombiana de Ingeniería.

Metcalf & Eddy, Inc. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Education.

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda [MIDUVI]. (2011). *Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC. Capítulo 16: Instalaciones hidrosanitarias*. MIDUVI.

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda [MIDUVI]. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC*. MIDUVI.

Plastigama Wavin. (2023). *Catálogo técnico de tuberías PVC presión*. Plastigama Wavin.

Tigre Ecuador. (2023). *Manual técnico de tuberías y accesorios PVC*. Tigre Ecuador.

Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003). *Wastewater engineering: Treatment and reuse* (4th ed.). McGraw-Hill.

Anexos

Anexo A. Información sector El Colibrí



Figura 21. *Ubicación del Complejo Deportivo Mirador del Colibrí.*

(Google Earth, 2026)

Anexo B. Memoria de cálculo del sistema de agua potable

Tabla 26. Cálculo hidráulico de la red de agua potable para el ramal 1.

				Aparatos Sanitarios																			LONG. TRAMO		LONGITUD EQUIVALENTE DE ACCESORIOS																					
NIVEL	N° DE NODOS	TRAMO	PISO	Bañer a/Tina	Grifo para manguera	Lavapl atos	Inodor o	Lavamano s	Urinario	Maq. Lavado	Q i	N° DE	coef.	I Q i	C.M.P.		DIAMETRO			V	Material	coef.	HORIZ.	VERT.	C. 90	Le.	C. 45	Le.	TEE D	Le.	TEE L	Le	VAL.	Le.	Red.	Le.	Med.	L. acce	LONG.	PERDI DAS	PRESION	PRESION ACUM.
				0.30	0.20	0.20	0.10	0.10	0.15	0.20	(l/s)	APARAT OS	Ks	(l/s)	(l/s)	(m3/s)	(pulg)	(mm)	(m)	(m/s)		M	(m)	(m)															(m)	TOTAL	Hf (m)	(mca)	(mca)
	AULA CAPACITACION																																												
RAMAL-1	1								1		0.15																															0	7
		1-2	1									1	1	0.15	0.15	0.0002	3/4	18.85	0.019	0.538	PVC	0.0005	0.6	0.7	2	0.563		0.000		0.000		0.000		0.000	1	0.080		0.6	1.9	0.4		
	2								1		0.15																														0.3617	7.362
		2-3	1									2	1	0.3	0.3	0.0003	3/4	18.85	0.019	1.075	PVC	0.0005	0.74	0.7	1	0.282		0.000		0.000	1	1.011		0.000	1	0.080		1.4	2.8	1.8		
	3							1			0.1																														2.1337	9.134
		3-4	1									3	0.843	0.4	0.34	0.0003	3/4	18.85	0.019	1.208	PVC	0.0005	0.69	0.4	1	0.282		0.000		0.000	1	1.011		0.000	1	0.080		1.4	2.4	1.9		
	4							1			0.1																														4.0327	11.03
		4-5	1									4	0.733	0.5	0.37	0.0004	3/4	18.85	0.019	1.314	PVC	0.0005	2.73	2.4	3	0.845		0.000		0.000	1	1.011	1	0.103	1	0.080		2	7.2	6.5		
	5										0																														10.56	17.56
		5-7	1									4	0.733	0.5	0.37	0.0004	1	24.3	0.024	0.791	PVC	0.0005	1.98	0		0.000		0.000		0.000	2	2.464		0.000	1	0.102		2.6	4.5	1.1		
	7										0																														11.647	18.65
		7-8	1									4	0.733	0.5	0.37	0.0004	1	24.3	0.024	0.791	PVC	0.0005	1.96	2.1		0.000		0.000		0.000	1	1.232		0.000		0.000		1.2	5.2	1.3		
	8										0																														12.902	19.9
		8-AC	1									4	0.733	0.5	0.37	0.0004	1	24.3	0.024	0.791	PVC	0.0005	4.15	0.4	1	0.356		0.000		0.000	2	2.464	1	0.127		0.000		2.9	7.5	1.8		
	AC										0																														14.689	21.69

Tabla 27. Cálculo hidráulico de la red de agua potable para el ramal 2.

				Aparatos Sanitarios																			LONG. TRAMO		LONGITUD EQUIVALENTE DE ACCESORIOS																					
NIVEL	N° DE NODOS	TRAMO	PISO	Bañer a/Tina	Grifo para manguera	Lavapl atos	Inodor o	Lavamano s	Urinario	Maq. Lavado	Q i	N° DE	coef.	I Q i	C.M.P.		DIAMETRO			V	Material	coef.	HORIZ.	VERT.	C. 90	Le.	C. 45	Le.	TEE D	Le.	TEE L	Le	VAL.	Le.	Red.	Le.	Med.	L. acce	LONG.	PERDI DAS	PRESION	PRESION ACUM.
				0.30	0.20	0.20	0.10	0.10	0.15	0.20	(l/s)	APARAT OS	Ks	(l/s)	(l/s)	(m3/s)	(pulg)	(mm)	(m)	(m/s)		M	(m)	(m)															(m)	TOTAL	Hf (m)	(mca)	(mca)
	AULA CAPACITACION																																												
RAMAL - 2	17						1				0.1																														0	7
		17-16	1									1	1	0.1	0.1	0.0001	1/2	13.88	0.014	0.661	PVC	0.0005	0.93	0	1	0.214		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.2	1.1	0.5		
	16						1				0.1																														0.5334	7.533
		16-15	1									2	1	0.2	0.2	0.00020	1/2	13.88	0.014	1.322	PVC	0.0005	0.88	0		0.000		0.000		0.000	1	0.809		0.000		0.000		0.8	1.7	2.6	0	
	15						1				0.1																														3.1806	10.18
		15-14	1									3	0.843	0.3	0.25	0.00025	1/2	13.88	0.014	1.671	PVC	0.0005	0.57	0		0.000		0.000		0.000	1	0.809	1	0.081		0.000		0.9	1.5	3.4	0	
	14										0																														6.6304	13.63
		14-7	1									3	0.843	0.3	0.25	0.00025	3/4	18.85	0.019	0.906	PVC	0.0005	2.02	2.1	1	0.282		0.000		0.000	1	1.011		0.000	1	0.080		1.4	5.5	2.6	0	
	7										0																														9.2139	16.21

Tabla 28. Cálculo hidráulico de la red de agua potable para el ramal 3.

				Aparatos Sanitarios																			LONG. TRAMO		LONGITUD EQUIVALENTE DE ACCESORIOS																					
NIVEL	N° DE NODOS	TRAMO	PISO	Bañer a/Tina	Grifo para manguera	Lavapl atos	Inodor o	Lavamano s	Urinario	Maq. Lavado	Qi	N° DE	coef.	∑Qi	C.M.P.		DIAMETRO			V	Material	coef.	HORIZ.	VERT.	C. 90	Le.	C. 45	Le.	TEE D	Le.	TEE L	Le	VAL.	Le.	Red.	Le.	Med.	L. acce	LONG.	PERDI DAS	PRESION	PRESION ACUM.
				0.30	0.20	0.20	0.10	0.10	0.15	0.20	(l/s)	APARAT OS	Ks	(l/s)	(l/s)	(m3/s)	(pulg)	(mm)	(m)	(m/s)		M	(m)	(m)															TOTAL	Hf (m)	(mca)	(mca)
AULA CAPACITACION																																												
RAMAL - 3	19							1			0.1																															0	5
		19-18	1									1	1	0.1	0.1	0.0001	1/2	13.88	0.014	0.661	PVC	0.0005	0.77	0.4	2	0.429		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.4	1.6	0.7		
	18							1			0.1																														0.7312	5.731
		18-8	1									2	1	0.2	0.2	0.0002	1/2	13.88	0.014	1.322	PVC	0.0005	1.38	0.4	1	0.214		0.000		0.000	1	0.809	1	0.081	1	0.061		1.2	2.9	4.6	0	
	8										0																														5.3012	10.3

Tabla 29. Cálculo hidráulico de la red de agua potable para el ramal 4.

				Aparatos Sanitarios																			LONG. TRAMO		LONGITUD EQUIVALENTE DE ACCESORIOS																					
NIVEL	N° DE NODOS	TRAMO	PISO	Bañer a/Tina	Grifo para manguera	Lavapl atos	Inodor o	Lavamano s	Urinario	Maq. Lavado	Qi	N° DE	coef.	∑Qi	C.M.P.		DIAMETRO			V	Material	coef.	HORIZ.	VERT.	C. 90	Le.	C. 45	Le.	TEE D	Le.	TEE L	Le	VAL.	Le.	Red.	Le.	Med.	L. acce	LONG.	PERDI DAS	PRESION	PRESION ACUM.
				0.30	0.20	0.20	0.10	0.10	0.15	0.20	(l/s)	APARAT OS	Ks	(l/s)	(l/s)	(m3/s)	(pulg)	(mm)	(m)	(m/s)		M	(m)	(m)															TOTAL	Hf (m)	(mca)	(mca)
AULA CAPACITACION																																												
RAMAL - 4	13						1				0.1																															0	7
		13-12	1									1	1	0.1	0.1	0.00010	1/2	13.88	0.014	0.661	PVC	0.0005	0.82	0	1	0.214		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.2	1	0.5		
	12						1				0.1																														0.4821	7.482
		12-6	1									2	1	0.2	0.2	0.00020	1/2	13.88	0.014	1.322	PVC	0.0005	3.82	2.1	2	0.429		0.000		0.000	1	0.809	1	0.081		0.000		1.3	7.2	11		
	6										0																														11.767	18.77

Tabla 30. Cálculo hidráulico de la red de agua potable para el ramal 5.

				Aparatos Sanitarios																			LONG. TRAMO		LONGITUD EQUIVALENTE DE ACCESORIOS																					
NIVEL	N° DE NODOS	TRAMO	PISO	Bañer a/Tina	Grifo para manguera	Lavapl atos	Inodor o	Lavamano s	Urinario	Maq. Lavado	Qi	N° DE	coef.	∑Qi	C.M.P.		DIAMETRO			V	Material	coef.	HORIZ.	VERT.	C. 90	Le.	C. 45	Le.	TEE D	Le.	TEE L	Le	VAL.	Le.	Red.	Le.	Med.	L. acce	LONG.	PERDI DAS	PRESION	PRESION ACUM.
				0.30	0.20	0.20	0.10	0.10	0.15	0.20	(l/s)	APARAT OS	Ks	(l/s)	(l/s)	(m3/s)	(pulg)	(mm)	(m)	(m/s)		M	(m)	(m)															TOTAL	Hf (m)	(mca)	(mca)
AULA CAPACITACION																																												
RAMAL - 5	11						1				0.1																															0	7
		11-10	1									1	1	0.1	0.1	0.00010	1/2	13.88	0.014	0.661	PVC	0.0005	2.23	0	2	0.429		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.4	2.7	1.2		
	10							1			0.1																														1.2392	8.239
		10-5	1									2	1	0.2	0.2	0.00020	1/2	13.88	0.014	1.322	PVC	0.0005	0.55	2.4	2	0.429		0.000		0.000	1	0.809	1	0.081		0.000		1.3	4.3	6.7	0	
	5										0																														7.9782	14.98

Tabla 31. Cálculo hidráulico de la red de agua potable para el ramal 6.

				Aparatos Sanitarios																			LONG. TRAMO		LONGITUD EQUIVALENTE DE ACCESORIOS																					
NIVEL	N° DE NODOS	TRAMO	PISO	Bañer a/Tina	Grifo para manguera	Lavapl atos	Inodor o	Lavamano s	Urinario	Maq. Lavado	Qi	N° DE	coef.	∑Qi	C.M.P.		DIAMETRO			V	Material	coef.	HORIZ.	VERT.	C. 90	Le.	C. 45	Le.	TEE D	Le.	TEE L	Le	VAL.	Le.	Red.	Le.	Med.	L. acce	LONG.	PERDI DAS	PRESION	PRESION ACUM.
				0.30	0.20	0.20	0.10	0.10	0.15	0.20	(l/s)	APARAT OS	Ks	(l/s)	(l/s)	(m3/s)	(pulg)	(mm)	(m)	(m/s)		M	(m)	(m)															TOTAL	Hf (m)	(mca)	(mca)
AULA CAPACITACION																																												
RAMAL - 6	F					1					0.2																															0	5
		F-14	1									1	1	0.2	0.2	0.0002	1/2	13.88	0.014	1.322	PVC	0.0005	0.23	0.4	2	0.429		0.000		0.000		0.000	1	0.081		0.000		0.5	1.1	1.7		
	14										0																														1.7403	6.74

Tabla 32. Cálculo hidráulico de la red de agua potable para el ramal 7.

				Aparatos Sanitarios																		LONG. TRAMO		LONGITUD EQUIVALENTE DE ACCESORIOS																				
NIVEL	N° DE NODOS	TRAMO	PISO	Bañer a/Tina	Grifo para manguera	Lavapl atos	Inodor o	Lavamano s	Urinario	Maq. Lavado	Qi	N° DE	coef.	∑Qi	C.M.P.		DIAMETRO			V	Material	coef.	HORIZ.	VERT.	C. 90	Le.	C. 45	Le.	TEE D	Le.	TEE L	Le	VAL.	Le.	Red.	Le.	Med.	L. acce	LONG.	PERDI DAS	PRESION	PRESION ACUM.
				0.30	0.20	0.20	0.10	0.10	0.15	0.20	(l/s)	APARAT OS	Ks	(l/s)	(l/s)	(m3/s)	(pulg)	(mm)	(m)	(m/s)		M	(m)	(m)														(m)	TOTAL	Hf (m)	(mca)	(mca)
	AULA CAPACITACION																																											
RAMAL - 7	20				1						0.2																														0	7
		20-9	1									1	1	0.2	0.2	0.0002	1/2	13.88	0.014	1.322	PVC	0.0005	0.4	0.6	2	0.429		0.000		0.000		0.000		0.000	1	0.061		0.5	1.5	2.3		
	9										0																														2.2883	9.288

Anexo C. Memoria de cálculo del sistema de agua residual

Tabla 33. Verificación hidráulica de tuberías sanitarias.

CR	CAUDAL (m3/s)	CAUDAL (l/s)	LONGITUD (m)	PENDIENTE (m/m)	DIAMETRO (mm)	DIAMETRO (m)	A Tub.(m2)	Radio H. (l/s)	Vel. lleno (m/s)	Q. lleno (l/s)	Relación de Caudal	A parcial (m2)	Perímetro (m)	Radio H. (l/s)	Vel. (m/s)
1	0.00067	0.67	6.21	0.01	110	0.11	0.009503318	0.0275	1.012307885	9.620284	0.069645	0.000103	0.00383	0.02702	1.000495
2	0.00083	0.83	5.39	0.01	110	0.11	0.009503318	0.0275	1.012307885	9.620284	0.086276	0.000128	0.004745	0.02702	1.000495
1-2	0.00067	0.67	2.7	0.01	110	0.11	0.009503318	0.0275	1.012307885	9.620284	0.069645	0.000103	0.00383	0.02702	1.000495
2-DC	0.0015	1.5	5.24	0.02	110	0.11	0.009503318	0.0275	1.431619541	13.60514	0.110252	0.000164	0.006064	0.02702	1.414913

Anexo D. Memoria técnica del sistema de aguas lluvias

Tabla 34. Verificación del cálculo del sistema pluvial de los bajantes 4, 5 y 6.

		Bajante 6						Bajante 5						Bajante 4													
	Q anterior (l/s)	C	Área (m2)	Área (Ha)	Pendiente m/m	Q (l/s)	Diam. (m)	C	Área (m2)	Área (Ha)	Longitud (m)	Cota Terreno	Q (l/s)	C	Cota Terreno	Pendiente m/m	Área (m2)	Área (Ha)	Diam. (m)	Q (l/s)	A Tub.(m2)	Radio H. (l/s)	v. lleno (m/s)	Q. lleno (l/s)	Relación de Caudal	A parcial (m2)	Perímetro (m)	Radio H. (l/s)	v (m/s)
CR6	0	0.9	77.13	0.00771		1.21		0.9						0.9														
CR6 - CR5	1.21				0.005		0.11				13.16	0.67			0.6042	0.005			0.11		0.009503	0.0275	1.0123079	9.6202835	0.1262862	0.0001877	0.0069457	0.0270200	1.0004946
CR5	1.21	0.9				0.00		0.9	46.54	0.00465			0.73	0.9														
CR5-CR4	1.95				0.005		0.11				12.2	0.6042			0.5432	0.008			0.11		0.009503	0.0275	1.0123079	9.6202835	0.2024869	0.0003009	0.0111368	0.0270200	1.0004946
CR4	1.95	0.9				0.00		0.9						0.9			34.08	0.00341		0.54									
CR4-CR3	2.48				0.005		0.11				8.9				0.5432	0.008			0.11		0.009503	0.0275	1.0123079	9.6202835	0.2582866	0.0003838	0.0142058	0.0270200	1.0004947

Tabla 35. Verificación del cálculo del sistema pluvial de los bajantes 1, 2 y 3.

		Bajante 1						Bajante 2						Bajante 3													
	Q anterior (l/s)	C	Área (m2)	Área (Ha)	Pendiente m/m	Q (l/s)	Diam. (m)	C	Área (m2)	Área (Ha)	Longitud (m)	Cota Terreno	Q (l/s)	C	Cota Terreno	Pendiente m/m	Área (m2)	Área (Ha)	Diam. (m)	Q (l/s)	A Tub.(m2)	Radio H. (l/s)	v. lleno (m/s)	Q. lleno (l/s)	Relación de Caudal	A parcial (m2)	Perímetro m	Radio H. (l/s)	v (m/s)
CR1	0	0.9	77.13	0.00771		1.21		0.9						0.9															
CR1 - CR2	1.21				0.005		0.11				16.06	0.67			0.5897	0.005			0.11		0.009503	0.0275	1.0123079	9.6202835	0.1262862	0.0001877	0.0069457	0.02702	1.000495
CR2	1.21	0.9				0.00		0.9	46.54	0.00465			0.73	0.9															
CR2-CR3	1.95				0.005		0.11				9.9	0.5897			0.5402	0.008			0.11		0.009503	0.0275	1.0123079	9.6202835	0.2024869	0.0003009	0.0111368	0.02702	1.000495
CR3	4.43	0.9				0.00		0.9						0.9			34.08	0.00341		0.54									
CR3-CR7	4.97				0.005		0.11				5.7		0.5402		0.5402	0.008			0.11		0.009503	0.0275	1.0123079	9.6202835	0.5165732	0.0007677	0.0284115	0.02702	1.000495

Tabla 36. Verificación del cálculo del sistema pluvial de la red exterior.

	RED EXTERIOR													
	Q anterior (l/s)	C	Área (m2)	Área (Ha)	Longitud (m)	Diam.	A Tub.(m2)	Radio H. (l/s)	v. lleno (m/s)	Q. lleno (l/s)	Relación de Caudal	A parcial (m2)	Perímetro m	Radio H. (l/s)	v (m/s)
CR7	4.97	0.9													
CR7 - CR8	4.97		0.005	m/m	11.6	0.16	0.01579	0.04	1.29956	20.52188	0.24216	0.00076	0.01937	0.0393	1.28440
CR8	4.97	0.9													
CR8-CR9	4.97		0.005	m/m	11.4	0.16	0.01579	0.04	1.29956	20.52188	0.24216	0.00076	0.01937	0.0393	1.28440
CR9	4.97	0.9													
CR9-CR10	4.97		0.005	m/m	11.4	0.16	0.01579	0.04	1.29956	20.52188	0.24216	0.00076	0.01937	0.0393	1.28440
CR10	4.97	0.9													
CR10-CR11	4.97		0.005	m/m	14.25	0.16	0.01579	0.04	1.29956	20.52188	0.24216	0.00076	0.01937	0.0393	1.28440
CR11	4.97	0.9													
CR11-POZO DE LA R	4.97		0.005	m/m	13.2	0.16	0.01579	0.04	1.29956	20.52188	0.24216	0.00076	0.01937	0.0393	1.28440

Anexo E. Detalle de instalación de aparatos sanitarios.

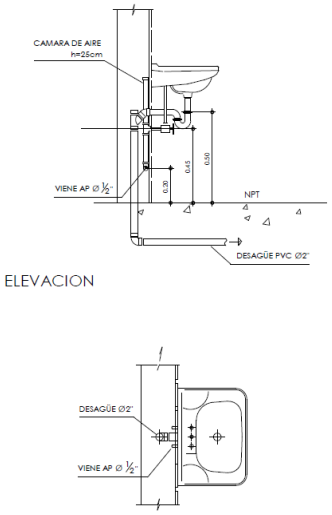


Figura 22. *Detalle de instalación lavamanos.*

(Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui, 2024.)

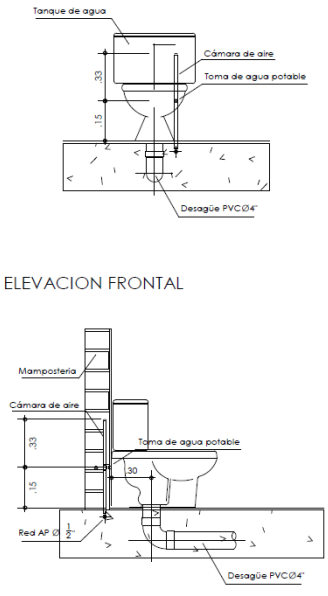


Figura 23. *Detalle de instalación inodoro.*

(Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui, 2024.)

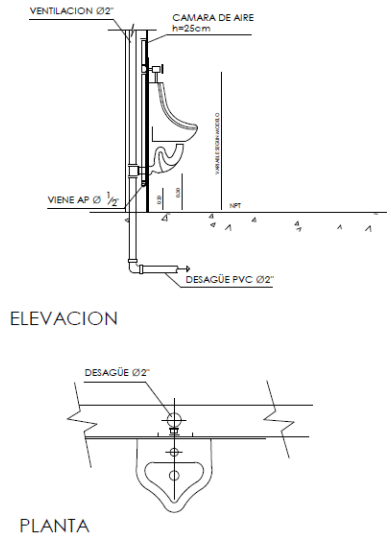


Figura 24. *Detalle de instalación urinario.*

(Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui, 2024.)

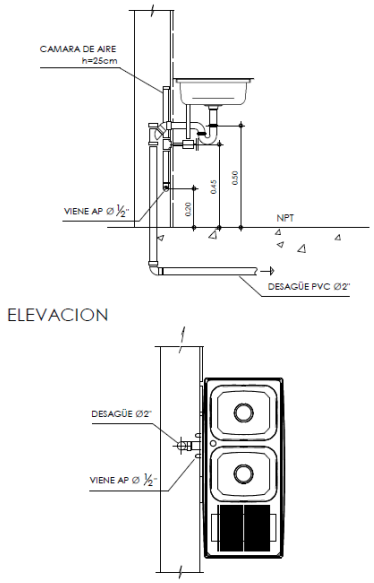


Figura 25. *Detalle de instalación fregadero.*

(Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui, 2024.)

Anexo F. Información hidrológica para el cálculo de intensidades de precipitación.

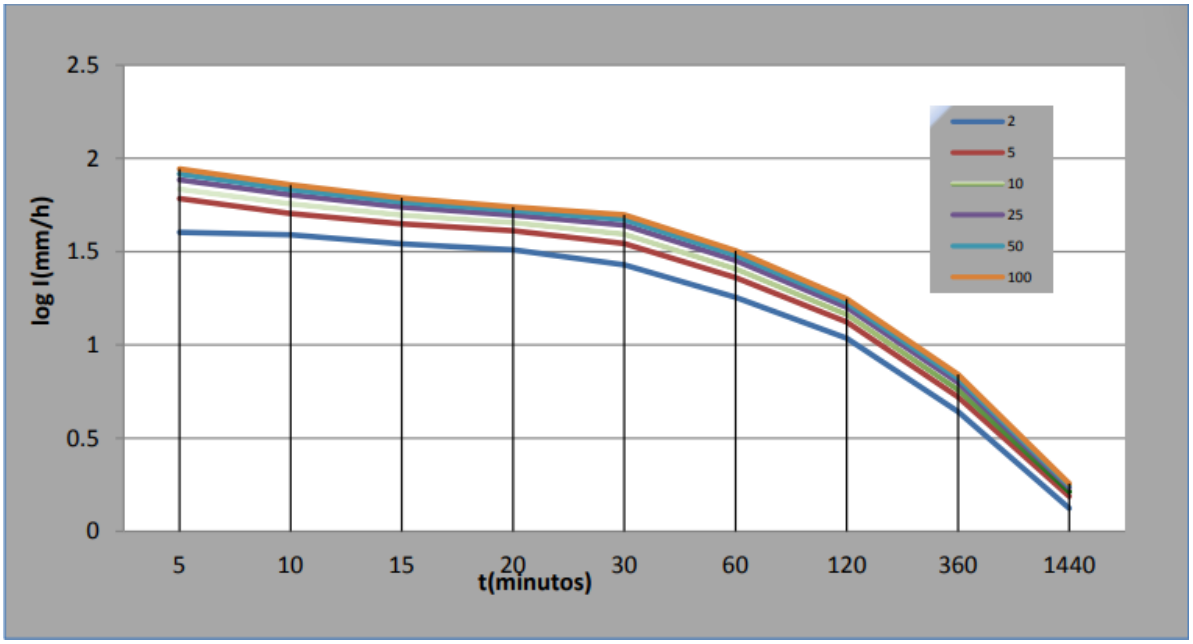


Figura 26. *Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF).*

(INAMHI, 2019)

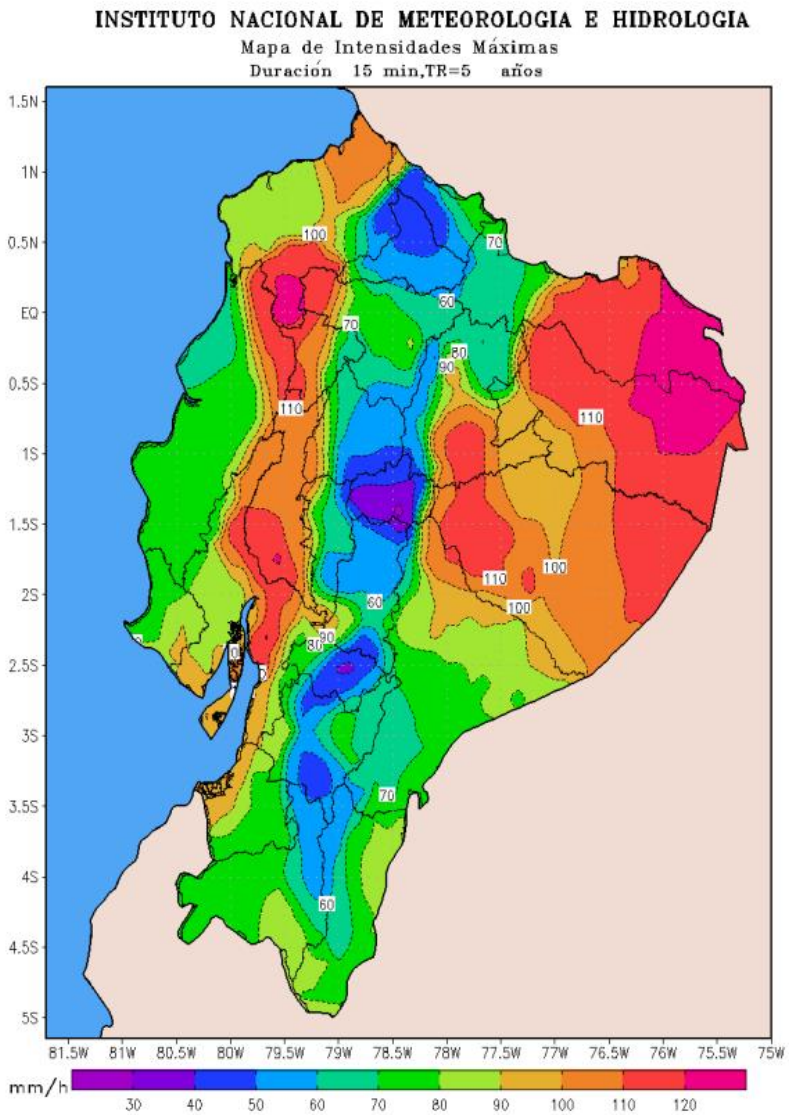


Figura 27. *Mapa de intensidades máximas de precipitación.*

(INAMHI, 2019)