



**ESPE**  
**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**Modelación de régimen permanente y no permanente del agua potable y residual en el campus matriz de la ESPE con caudalímetros que utiliza la tecnología de internet de las cosas (IoT)**

Narváez Terán, Daniel Alejandro y Vaca Lescano, Dylan José


Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción

Carrera de Ingeniería Civil


Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Ing. Carrera Villacrés, David Vinicio PhD.

8 de marzo de 2023



**CERTIFICADO DE ANÁLISIS**  
magister



Escaneé el documento por:  
**DAVID VINICIO**  
**CARRERA VILLACRES**

## Narvaez\_Vaca\_MIC\_previa\_revisión (1)

**6%**  
Similitudes

**< 1%**  
Texto entre comillas  
o similitudes entre comillas

**< 1%**  
Idioma no reconocido

Nombre del documento: Narvaez\_Vaca\_MIC\_previa\_revisión (1).docx

ID del documento: d303fb5ead38f96e14e9645bd0fb02020a04aa

Tamaño del documento original: 7,91 Mo

Depositante: MARCO VINICIO MASABANDA CAISAGUANO

Fecha de depósito: 27/02/2023


Tipo de carga: Interfaz

Fecha de fin de análisis: 27/02/2023

Número de palabras: 19.605

Número de caracteres: 130.688

Ubicación de las similitudes en el documento:



### Fuentes

#### Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<a href="http://repositorio.espe.edu.ec/8030/tbitstream/21000/28888/1/1-ESP6-052132.pdf">repositorio.espe.edu.ec   Diagnóstico y propuestas de mejoras de agua potable y alca...</a> <a href="http://repositorio.espe.edu.ec/8030/tbitstream/21000/28888/1/1-ESP6-052132.pdf">http://repositorio.espe.edu.ec/8030/tbitstream/21000/28888/1/1-ESP6-052132.pdf</a> 20 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: + 1% (205 palabras)
2	<a href="https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-18272-2_8">web.springer.com   Drinking Water and Sewerage at the Universidad de las Fuerzas ...</a> <a href="https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-18272-2_8">https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-18272-2_8</a> 10 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: + 1% (150 palabras)
3	<a href="http://repositorio.espe.edu.ec/8030/tbitstream/21000/28888/1/1-ESP6-050373.pdf">repositorio.espe.edu.ec   Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable par...</a> <a href="http://repositorio.espe.edu.ec/8030/tbitstream/21000/28888/1/1-ESP6-050373.pdf">http://repositorio.espe.edu.ec/8030/tbitstream/21000/28888/1/1-ESP6-050373.pdf</a> 20 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: + 1% (101 palabras)
4	<a href="http://repositorio.espe.edu.ec/8030/tbitstream/21000/1522/1/1-ESP6-052380.pdf">repositorio.espe.edu.ec</a> <a href="http://repositorio.espe.edu.ec/8030/tbitstream/21000/1522/1/1-ESP6-052380.pdf">http://repositorio.espe.edu.ec/8030/tbitstream/21000/1522/1/1-ESP6-052380.pdf</a> 21 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: + 1% (136 palabras)
5	<a href="http://repositorio.espe.edu.ec/8030/tbitstream/21000/24365/1/1-ESP6-034-0463.pdf">repositorio.espe.edu.ec   Casos de algoritmos de control avanzado, y creación d...</a> <a href="http://repositorio.espe.edu.ec/8030/tbitstream/21000/24365/1/1-ESP6-034-0463.pdf">http://repositorio.espe.edu.ec/8030/tbitstream/21000/24365/1/1-ESP6-034-0463.pdf</a> 17 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: + 1% (120 palabras)

#### Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<a href="#">Documento de otro usuario</a> <small>id=1464</small> El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: + 1% (20 palabras)
2	<a href="#">Documento de otro usuario</a> <small>id=1464</small> El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: + 1% (20 palabras)
3	<a href="https://web.ua.es/actualizar/martian-university-hacia-una-universidad-mas-abierta">web.ua.es   Smart University - Hacia una universidad más abierta   UNIVERSIDAD DE...</a> <a href="https://web.ua.es/actualizar/martian-university-hacia-una-universidad-mas-abierta">https://web.ua.es/actualizar/martian-university-hacia-una-universidad-mas-abierta</a>	< 1%		Palabras idénticas: + 1% (26 palabras)
4	<a href="https://doi.org/10.18517/issk.12.3.14682">doi.org   IASBIT - Artículo</a> <a href="https://doi.org/10.18517/issk.12.3.14682">https://doi.org/10.18517/issk.12.3.14682</a>	< 1%		Palabras idénticas: + 1% (24 palabras)
5	<a href="https://oportunidades.planificacion.gob.ec/Plan212019a-ecocaf">oportunidades.planificacion.gob.ec   Eje Social - Plan Nacional 2021 - 2025</a> <a href="https://oportunidades.planificacion.gob.ec/Plan212019a-ecocaf">https://oportunidades.planificacion.gob.ec/Plan212019a-ecocaf</a>	< 1%		Palabras idénticas: + 1% (22 palabras)

#### Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- 1 <https://thingSpeak/>
- 2 <https://thingSpeak/>
- 3 <http://www.regulacion.gob.ec/ep-content/uploads/tematicas/2021/11/DETERIORO-AGUA-POTABLE.pdf>
- 4 [https://www.aqueintef.com.ec/publicreports/2021/07/Informe\\_Expres2\\_Agua\\_No\\_Contabilizada\\_genera\\_perdidas\\_por\\_USD\\_320\\_M\\_en\\_Ecuador.pdf](https://www.aqueintef.com.ec/publicreports/2021/07/Informe_Expres2_Agua_No_Contabilizada_genera_perdidas_por_USD_320_M_en_Ecuador.pdf)
- 5 <https://publicacions.ladp.org/es/evaluacion-de-tecnologias-inteligentes-para-infraestructura-hidrica-exit>



**Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción**

**Carrera de Ingeniería Civil**

**Certificación**

Certifico que el trabajo de integración curricular, “**Modelación de régimen permanente y no permanente del agua potable y residual en el campus matriz de la ESPE con caudalímetros que utiliza la tecnología de internet de las cosas (IoT).**”, fue realizado por los estudiantes **Narváez Terán, Daniel Alejandro y Vaca Lescano, Dylan José**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido, por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

**Sangolquí, 10 de marzo de 2023**



---

**Ing. Carrera Villacrés, David Vinicio PhD**

C. C. 1712218518



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, Narváez Terán, Daniel Alejandro y Vaca Lescano, Dylan José, con cédula de identidad n° 1721488645 y 172715188, declaramos que el contenido, ideas y criterios de trabajo de Integración Curricular "Modelación de régimen permanente y no permanente del agua potable y residual en el campus matriz de la ESPE con caudalímetros que utiliza la tecnología de Internet de las cosas (IoT)." es de nuestra autoría y responsabilidad cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 10 de marzo de 2023

Narváez Terán,  
Daniel Alejandro  
C.C: 1721488645

Vaca Lescano,  
Dylan José  
C.C: 172715188



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Autorización de Publicación

Nosotros, **Narváez Terán, Daniel Alejandro** y **Vaca Lescano, Dylan José**, con cédula de identidad n° 1721488645 y 172715188, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de Integración Curricular "**Modelación de régimen permanente y no permanente del agua potable y residual en el campus matriz de la ESPE con caudalímetros que utiliza la tecnología de Internet de las cosas (IoT).**" en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 10 de marzo de 2023

**Narváez Terán,  
Daniel Alejandro**  
C.C: 1721488645

**Vaca Lescano,  
Dylan José**  
C.C: 172715188

## **Agradecimiento**

En primer lugar, agradecer a Dios por permitirnos tomar las decisiones con sabiduría para culminar este logro y sueño anhelado desde niños

A nuestras familias y amigos por el apoyo generado en especial en los momentos más críticos y difíciles durante el periodo universitario.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por abrirnos sus puertas y acogernos en sus aulas, a la carrera de Ingeniería Civil; a los docentes que supieron enseñarnos de manera didáctica todo su vasto conocimiento que nos han formado para ser unos profesionales de excelencia.

A todos quienes conforma el departamento de Desarrollo Físico de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por la colaboración de la mano de obra para concluir de manera exitosa el proyecto de ajuste curricular.

A los estudiantes de 7mo y 8vo semestre del periodo académico S-I OCT22 - MAR23 por la colaboración en el levantamiento de información que sirvió para fines de cálculo en este proyecto.

Y por supuesto un agradecimiento especial al Ing. David Carrera PhD. quien bajo su experticia, ética y compromiso, supo guiarnos por el mejor camino educativo para concluir este sueño con éxito.

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo en especial a mi madre Tatiana Terán por el amor incondicional, el apoyo constante, la infinita motivación que el día de hoy me permite culminar este sueño. A mi familia y amigos en general por su paciencia entusiasmo y gran expectativa que me sirvió como motivación para lograr un objetivo más en mi vida. A mis pequeñas Chicky, Pipo y Mini por la compañía de cada desvelada durante mi carrera universitaria. A mis amigos Dylan, Oswaldo, y Sebas quienes fueron grandes personas, amigos y hermanos que logré conocer desde el primer día de clases. A Clarita y Gaby por todo su amor y amistad incondicional en cada trabajo, conversación, consejo y estudio. Y Finalmente a Dios por darme sabiduría día a día, aprendizaje tras aprendizaje para lograr superarme en mi propia vida académico y en el futuro en la profesional

## Tabla de contenidos

Herramienta de similitud de contenidos.....	2
Certificación .....	2
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Agradecimiento .....	6
Dedicatoria.....	7
Resumen .....	19
Abstract .....	20
Capítulo I Introducción .....	21
Antecedentes .....	21
Estado del arte .....	23
Planteamiento del problema .....	24
Macro .....	24
Meso .....	25
Micro .....	28
Justificación.....	29
Alcance del proyecto .....	30
Objetivos .....	31
Objetivo General.....	31
Objetivos Específicos.....	31
Hipótesis .....	31
Capítulo II: Marco Teórico .....	32
Agua Potable.....	32
Agua residual .....	32



Saneamiento .....	32
Dotación .....	32
Consumidor .....	32
Redes de distribución .....	33
Aguas no contabilizadas .....	33
Mantenimiento preventivo.....	33
Mantenimiento correctivo.....	33
Flujo y presión .....	33
Zonas de presión.....	34
Alcantarilla.....	34
Regulación de uso o aprovechamiento del agua .....	34
Gestión de agua potable y saneamiento.....	35
Requisitos Normativos.....	35
Flujo y presión para red agua potable.....	36
Variables de Modelación .....	36
Régimen permanente para red de agua potable .....	36
Criterios en redes de distribución para agua potable .....	38
Régimen no permanente para red de agua potable.....	39
Ecuaciones de conservación de cantidad de movimiento en una tubería .....	39
Ecuación de continuidad en cada nodo para red de agua potable .....	40
Caudal medio diario de aguas residuales .....	41
Caudal institucional .....	41
Caudal máximo instantáneo de aguas residuales.....	42
Caudal de infiltración .....	42
Caudal de conexiones erradas .....	43
Caudal de diseño .....	44

	10
Gasto medio .....	44
Gasto mínimo .....	45
Gasto máximo instantáneo .....	45
Gasto máximo extraordinario .....	46
Ecuación de Manning .....	46
Régimen permanente para red de agua residual .....	47
Régimen no permanente para red de agua residual .....	47
Series Temporales .....	47
Tecnología IoT .....	49
Universidad Inteligente .....	50
Capítulo III: Materiales y Métodos .....	51
Ubicación .....	51
Delimitación del área de estudio .....	52
Población actual .....	54
Arquitectura IoT .....	57
Levantamiento del Catastro Hidrosanitario .....	58
Instalación del caudalímetro IoT .....	60
Procesamiento de series temporales .....	61
Campañas de medición de agua potable y sanitaria .....	62
Modelación de la red de agua potable de la ESPE .....	67
Modelación en régimen permanente .....	67
Modelación en régimen no permanente .....	70
Modelación SewerCAD .....	72
Caudal de diseño (Régimen Permanente) Red sanitaria 1 .....	73
Caudal máximo instantáneo Red sanitaria 1 .....	76
Caudal mínimo Red sanitaria 1 .....	77

Caudal de diseño (Régimen Permanente) Red sanitaria 2.....	79
Caudal máximo instantáneo Red sanitaria 2 .....	81
Caudal mínimo Red sanitaria 2 .....	81
Caudal de diseño (Régimen Permanente) Red sanitaria 3.....	84
Caudal máximo instantáneo Red sanitaria 3 .....	86
Caudal mínimo Red sanitaria 3 .....	87
Modelación de la red de agua potable en QGIS .....	89
Modelación de la red de agua residual en QGIS .....	90
Sistema Óptimo.....	91
Presupuesto .....	92
Capítulo IV: Resultados y discusiones .....	93
Catastro hidrosanitario .....	93
Instalación del caudalímetro en el Bloque B.....	95
Análisis del consumo de agua potable del bloque B .....	98
Resultados de series temporales.....	100
Campañas de medición de agua potable.....	102
Análisis de consumo en la red de agua potable del edificio administrativo .....	102
Análisis de perdidas en la red de agua potable del edificio administrativo .....	108
Campaña de medición de la cisterna .....	110
Campañas de medición de presiones de agua potable .....	112
Campañas de medición de agua residual .....	113
Resultados del modelo de Agua Potable y Residual en WaterCAD y SewerCAD.....	115
Régimen permanente para agua potable .....	115
Régimen no permanente para agua potable .....	117
Red N° 1 de Aguas Residuales Caudal de diseño (Régimen permanente) .....	122
Red N° 1 de Aguas Residuales Caudal máximo instantáneo .....	122

Red N° 1 de Aguas Residuales Caudal mínimo .....	123
Red N° 1 de Aguas Residuales comparación de los 3 escenarios (Régimen No Permanente) .....	123
Red N° 2 de Aguas Residuales Caudal de diseño (Régimen permanente) .....	124
Red N° 2 de Aguas Residuales Caudal máximo instantáneo .....	125
Red N° 2 de Aguas Residuales Caudal mínimo .....	126
Red N° 2 de Aguas Residuales comparación de los 3 escenarios (Régimen No Permanente) .....	127
Red N° 3 de Aguas Residuales Caudal de diseño (Régimen permanente) .....	127
Red N° 3 de Aguas Residuales Caudal máximo instantáneo .....	128
Red N° 3 de Aguas Residuales Caudal mínimo .....	129
Resultados del modelo de Agua Potable y Residual en QGIS .....	130
Red de agua potable.....	130
Red de agua residual N° 1 .....	131
Red de agua residual N° 2 .....	133
Red de agua residual N° 3.....	139
Propuesta de mejora del sistema de agua potable con presupuesto .....	142
Tiempo de recuperación de la inversión.....	145
Conclusiones .....	147
Recomendaciones .....	148
Bibliografía.....	149
Apéndices .....	154

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b>	<i>Conexiones erradas según EMAAP</i> .....	<b>42</b>
<b>Tabla 2</b>	<i>Tabla de caudales de infiltración EMAAP</i> .....	<b>43</b>
<b>Tabla 3</b>	<i>Datos de caudales por conexiones erradas según EMAAP</i> .....	<b>44</b>
<b>Tabla 4</b>	<i>Población de estudiantes de pregrado NOV 2022 – MAR 2023</i> .....	<b>55</b>
<b>Tabla 5</b>	<i>Número de estudiantes de nivelación</i> .....	<b>56</b>
<b>Tabla 6</b>	<i>Población de trabajadores, administrativos y docentes</i> .....	<b>57</b>
<b>Tabla 7</b>	<i>Edificios de la ESPE Matriz Sangolquí que poseen agua potable y saneamiento</i> ....	<b>59</b>
<b>Tabla 8</b>	<i>Consumo de edificaciones en relación a la población que alberga</i> .....	<b>69</b>
<b>Tabla 9</b>	<i>Características de los nodos para el ingreso al modelo en WaterCAD</i> .....	<b>69</b>
<b>Tabla 10</b>	<i>Coeficientes de variación horaria en pequeñas comunidades</i> .....	<b>70</b>
<b>Tabla 11</b>	<i>Coeficientes de retorno de aguas servidas domésticas</i> .....	<b>74</b>
<b>Tabla 12</b>	<i>Tabla de aportes de infiltración EMAAP</i> .....	<b>74</b>
<b>Tabla 13</b>	<i>Tabla de aportes de infiltración EMAAP</i> .....	<b>75</b>
<b>Tabla 14</b>	<i>Aportes para conexiones erradas</i> .....	<b>76</b>
<b>Tabla 15</b>	<i>Datos de ingreso al Manhole en la red 1 SewerCAD</i> .....	<b>77</b>
<b>Tabla 16</b>	<i>Datos de ingreso a la tubería en la red 1 SewerCAD</i> .....	<b>78</b>
<b>Tabla 17</b>	<i>Datos de ingreso al Manhole en la red 2 SewerCAD</i> .....	<b>81</b>
<b>Tabla 18</b>	<i>Datos de ingreso a la tubería en la red 2 SewerCAD</i> .....	<b>82</b>
<b>Tabla 19</b>	<i>Datos de ingreso al Manhole en la red 3 SewerCAD</i> .....	<b>87</b>
<b>Tabla 20</b>	<i>Datos de ingreso de la tubería en la red 3 SewerCAD</i> .....	<b>88</b>
<b>Tabla 21</b>	<i>Consumo de agua potable del bloque B en 24 horas</i> .....	<b>99</b>
<b>Tabla 22</b>	<i>Hora de mayor consumo</i> .....	<b>103</b>
<b>Tabla 23</b>	<i>Día de mayor consumo</i> .....	<b>103</b>

<b>Tabla 24</b>	<i>Mes de mayor consumo .....</i>	<b>104</b>
<b>Tabla 25</b>	<i>Consumos máximos en periodo agosto 2021 – enero 2023.....</i>	<b>107</b>
<b>Tabla 26</b>	<i>Consumo en de agua (l/min) en el edificio administrativo horas de bajo consumo.....</i>	<b>108</b>
<b>Tabla 27</b>	<i>Medición de consumo de agua en la cisterna de la ESPE el día lunes 13 de febrero de 2023, día de máximo consumo .....</i>	<b>110</b>
<b>Tabla 28</b>	<i>Presiones medidas en el campus universitario.....</i>	<b>112</b>
<b>Tabla 29</b>	<i>Caudales de agua residual medidas en el campus universitario.....</i>	<b>113</b>
<b>Tabla 30</b>	<i>Caudales de agua residual medidas en el campus universitario.....</i>	<b>115</b>
<b>Tabla 31</b>	<i>Resultados del modelo de agua potable.....</i>	<b>116</b>
<b>Tabla 32</b>	<i>Tabla comparativa entre presión modelada y presión medida .....</i>	<b>116</b>
<b>Tabla 33</b>	<i>Resultados de presiones régimen no permanente en WaterCAD.....</i>	<b>120</b>
<b>Tabla 34</b>	<i>Resultados de presiones régimen no permanente en WaterCAD.....</i>	<b>120</b>
<b>Tabla 35</b>	<i>Resultado del flujo de la red 1 de aguas residuales para la tubería (Régimen Permanente).....</i>	<b>122</b>
<b>Tabla 36</b>	<i>Resultado del flujo de la red 1 de aguas residuales con caudal máximo .....</i>	<b>123</b>
<b>Tabla 37</b>	<i>Resultado del flujo de la red 1 de aguas residuales con caudal mínimo .....</i>	<b>123</b>
<b>Tabla 38</b>	<i>Resultado del flujo de la red 2 de aguas residuales (Régimen Permanente) .....</i>	<b>124</b>
<b>Tabla 39</b>	<i>Resultado del flujo de la red 2 de aguas residuales con caudal máximo .....</i>	<b>125</b>
<b>Tabla 40</b>	<i>Resultado del flujo de la red 2 de aguas residuales con caudal mínimo .....</i>	<b>126</b>
<b>Tabla 41</b>	<i>Resultado del flujo de la red 3 de aguas residuales (Régimen Permanente).....</i>	<b>128</b>
<b>Tabla 42</b>	<i>Resultado del flujo de la red 3 de aguas residuales con caudal máximo instantáneo</i>	<b>128</b>
<b>Tabla 43</b>	<i>Resultado del flujo de la red 3 de aguas residuales con caudal mínimo .....</i>	<b>129</b>
<b>Tabla 44</b>	<i>Resultado de la red de agua potable en QGIS .....</i>	<b>130</b>
<b>Tabla 45</b>	<i>Valores de flujo y velocidad para el caudal de diseño red sanitaria 1 .....</i>	<b>132</b>

<b>Tabla 46</b>	<i>Valores de flujo y velocidad para el caudal máximo instantáneo red sanitaria 1 ....</i>	<b>132</b>
<b>Tabla 47</b>	<i>Valores de flujo y velocidad para el caudal mínimo red sanitaria 1 .....</i>	<b>132</b>
<b>Tabla 48</b>	<i>Valores de flujo y velocidad para el caudal de diseño red sanitaria 2 .....</i>	<b>136</b>
<b>Tabla 49</b>	<i>Valores de flujo y velocidad para el caudal máximo 2.....</i>	<b>137</b>
<b>Tabla 50</b>	<i>Valores de flujo y velocidad para el caudal mínimo red sanitaria 2 .....</i>	<b>138</b>
<b>Tabla 51</b>	<i>Valores de flujo y velocidad para el caudal de diseño red sanitaria 3 .....</i>	<b>140</b>
<b>Tabla 52</b>	<i>Valores de flujo y velocidad para el caudal máximo instantáneo red sanitaria 3 ....</i>	<b>140</b>
<b>Tabla 53</b>	<i>Valores de flujo y velocidad para el caudal mínimo red sanitaria 3 .....</i>	<b>141</b>
<b>Tabla 54</b>	<i>Costo de fabricación de caudalímetro IoT de 2” .....</i>	<b>143</b>
<b>Tabla 55</b>	<i>APU correspondiente a la instalación de un dispositivo IoT de 2”.....</i>	<b>144</b>
<b>Tabla 56</b>	<i>Costo de mejora del sistema de agua potable mediante el uso de nuevos mecanismos de ahorro de agua potable .....</i>	<b>145</b>
<b>Tabla 57</b>	<i>Costo de dotaciones y pérdidas de agua potable .....</i>	<b>146</b>
<b>Tabla 58</b>	<i>Tiempo en el cual se puede costear el proyecto de mejora de agua potable.....</i>	<b>146</b>

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b>	<i>Fuerzas que actúan en el tiempo t.....</i>	<b>40</b>
<b>Figura 2</b>	<i>Grafica de mapa de recurrencia. ....</i>	<b>48</b>
<b>Figura 3</b>	<i>Clasificación de capas de la arquitectura IoT.....</i>	<b>50</b>
<b>Figura 4</b>	<i>Mapa georreferenciado de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.....</i>	<b>51</b>
<b>Figura 5</b>	<i>Red general de agua potable de la ESPE .....</i>	<b>52</b>
<b>Figura 6</b>	<i>Mapa georreferenciado de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y ubicación del edificio administrativo. ....</i>	<b>53</b>
<b>Figura 7</b>	<i>Mapa georreferenciado de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y ubicación del bloque B.....</i>	<b>54</b>
<b>Figura 8</b>	<i>Esquema físico entre del caudalímetro IoT.....</i>	<b>58</b>
<b>Figura 9</b>	<i>Mapa de ubicación de los edificios levantados en el 2021.....</i>	<b>60</b>
<b>Figura 10</b>	<i>Instalación del segundo caudalímetro IoT en el bloque B.....</i>	<b>61</b>
<b>Figura 11</b>	<i>Captura de la tabla Excel para procesar las series temporales. ....</i>	<b>62</b>
<b>Figura 12</b>	<i>Puntos de control de agua residual. ....</i>	<b>63</b>
<b>Figura 13</b>	<i>Medición en el punto de control 1.....</i>	<b>64</b>
<b>Figura 14</b>	<i>Medición en el punto de control 2.....</i>	<b>64</b>
<b>Figura 15</b>	<i>Medición en el punto de control 3.....</i>	<b>65</b>
<b>Figura 16</b>	<i>Medición de presiones en la red de agua potable en la ESPE.....</i>	<b>65</b>
<b>Figura 17</b>	<i>Captura de pantalla del dashboard del caudalímetro del edificio administrativo .....</i>	<b>66</b>
<b>Figura 18</b>	<i>Medición del nivel de agua en la cisterna que abastece a toda la universidad.....</i>	<b>67</b>
<b>Figura 19</b>	<i>Licencia académica de WaterCAD. ....</i>	<b>68</b>
<b>Figura 20</b>	<i>Gráfica de coeficientes de variación.....</i>	<b>71</b>
<b>Figura 21</b>	<i>Esquema general de la red de agua potable de la ESPE.....</i>	<b>72</b>
<b>Figura 22</b>	<i>Modelo de la red de agua residual No. 1 en SewerCAD.....</i>	<b>78</b>



<b>Figura 23</b>	<i>Modelo de la red de agua residual n°2 en SewerCAD</i> .....	84
<b>Figura 24</b>	<i>Modelo de la red de agua residual n°3 en SewerCAD</i> .....	89
<b>Figura 25</b>	<i>Modelo de la red de agua potable de la ESPE realizado en QGIS</i> .....	90
<b>Figura 26</b>	<i>Modelado de las redes de agua residual de la ESPE realizado en QGIS.</i> .....	91
<b>Figura 27</b>	<i>Zonas de levantamiento hidrosanitario divididas en el campus universitario.</i> .....	93
<b>Figura 28</b>	<i>Catastro hidrosanitario de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE</i> .....	94
<b>Figura 29</b>	<i>Mapa de ubicación de los caudalímetros instalados en la ESPE</i> .....	95
<b>Figura 30</b>	<i>Proceso de instalación del caudalímetro IoT en el bloque B</i> .....	96
<b>Figura 31</b>	<i>Ubicación del controlador del equipo IoT del bloque B</i> .....	97
<b>Figura 32</b>	<i>Captura de pantalla del dashboard de Thinger.io correspondiente al bloque B</i> .....	98
<b>Figura 33</b>	<i>Histograma de caudal de agua potable</i> .....	100
<b>Figura 34</b>	<i>Serie de tiempo de datos del caudalímetro IoT</i> .....	101
<b>Figura 35</b>	<i>Regresión lineal para la variable caudal</i> .....	101
<b>Figura 36</b>	<i>Mapa de recurrencia de serie temporal de caudal.</i> .....	102
<b>Figura 37</b>	<i>Curva de caudal (l/hora) vs tiempo de análisis</i> .....	105
<b>Figura 38</b>	<i>Curva caudal (l/día) vs tiempo de análisis</i> .....	106
<b>Figura 39</b>	<i>Curva caudal (l/mes) vs tiempo de análisis</i> .....	106
<b>Figura 40</b>	<i>Resultado de caudales en l/s para régimen</i> .....	122
<b>Figura 41</b>	<i>Comparación de los 3 escenarios para régimen no permanente</i> .....	124
<b>Figura 42</b>	<i>Régimen No Permanente para la Red 2 de Agua Residual</i> .....	127
<b>Figura 43</b>	<i>Red N° 3 de Aguas Residuales comparación de los 3 escenarios (Régimen No Permanente)</i> .....	130
<b>Figura 44</b>	<i>Distribución de redes de agua sanitaria en QGIS</i> .....	131
<b>Figura 45</b>	<i>Régimen No Permanente de la red sanitaria 1</i> .....	133
<b>Figura 46</b>	<i>Distribución del colector 1 de la red N° 2 de agua sanitaria en QGIS</i> .....	133
<b>Figura 47</b>	<i>Línea de conducción de la red N° 2 colector 1 en QGIS</i> .....	134

<b>Figura 48</b> <i>Distribución del colector 1 de la red N° 2 de agua sanitaria en QGIS</i> .....	134
<b>Figura 49</b> <i>Línea de conducción de la red N° 2 colector 2 en QGIS</i> .....	135
<b>Figura 50</b> <i>Distribución del colector 3 de la red N° 2 de agua sanitaria en QGIS</i> .....	135
<b>Figura 51</b> <i>Línea de conducción de la red N° 2 colector 3 en QGIS</i> .....	136
<b>Figura 52</b> <i>Régimen No Permanente para la red N° 2 en QGIS</i> .....	139
<b>Figura 53</b> <i>Distribución de la red N° 3 de agua sanitaria en QGIS</i> .....	139
<b>Figura 54</b> <i>Régimen No Permanente para la red N° 3 en QGIS</i> .....	141

## Resumen

La modelación de datos dinámicos en los últimos años son clave para la recreación computacional de escenarios complejos y futuros, partiendo de información real con el fin de observar el comportamiento de un sistema; si a esto se le añade la tecnología de los caudalímetros IoT se podría aprovechar de la manera óptima los recursos hídricos. Es importante proponer soluciones para el que el consumo del agua sea el adecuado en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo cual, el objetivo de la presente investigación fue diseñar e implementar un caudalímetro IoT para instalarlo en el bloque B, realizar campañas de medición para la cantidad de agua potable y residual, levantar información del catastro hidrosanitario con la ayuda del personal que trabaja y estudia en la universidad, posteriormente, modelar el comportamiento del agua potable y residual en régimen permanente y no permanente con los softwares de WaterCAD, SewerCAD y QGIS con licencia académica para comparar sus resultados en ambos programas. Y finalmente, se determinó el presupuesto referencial para mejorar los sistemas de agua potable y saneamiento de la universidad proponiendo lugares potenciales de instalación de nuevos sensores IoT con el propósito de mejorar el monitoreo de las redes que abastece al Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Los sistemas de distribución de agua tratan y abastecen agua potable cada día, si se considera la perfección en el mismo, en donde las tuberías no sufren pérdidas el volumen total de agua debería ser igual al volumen final, sin embargo, existe una diferencia entre volúmenes denominada aguas no contabilizadas. Según SENAGUA Ecuador posee una tasa de agua no contabilizada entre el 30% hasta 60% en 2015, lo que significa una pérdida de \$100 millones.

*Palabras claves:* modelación dinámica de fluidos, régimen permanente y no permanente, agua potable y residual, caudalímetro IoT.

### **Abstract**

Dynamic data modeling in recent years is key for the computational recreation of complex and future scenarios, based on real information in order to observe the behavior of a system; If this is added to the technology of IoT flowmeters, water resources could be optimally used. It is important to propose solutions for which water consumption is adequate at the ESPE Armed Forces University, therefore, the objective of this research was to design and implement an IoT flowmeter to install it in block B, carry out campaigns of measurement for the amount of potable and residual water, collect information from the hydrosanitary cadastre with the help of personnel who work and study at the university, later, model the behavior of potable and residual water in a permanent and non-permanent regime with WaterCAD software, SewerCAD and QGIS with an academic license to compare your results in both programs. And finally, places the referential budget will be reduced to improve the drinking water and sanitation systems of the university, proposing potential installation of new IoT sensors with the purpose of improving the monitoring of the networks that supply the University of the Armed Forces ESPE. The water distribution systems treat and supply drinking water every day, if perfection is considered in it, where the pipes do not suffer losses, the total volume of water should be equal to the final volume, however, there is a difference between volumes called unaccounted for water. According to SENAGUA, Ecuador has a non-revenue water rate between 30% and 60% in 2015, which means a loss of \$100 million

*Key words:* fluid dynamics modeling, permanent and non-permanent regime, drinking and waste water, lot flowmeter

## Capítulo I

### Introducción

#### Antecedentes

El ser humano durante siglos ha almacenado y distribuido agua, partiendo desde que el hombre era nómada y recolectaba agua del río para beber, como consecuencia los asentamientos empezaron a realizarse cerca de fuentes de agua como ríos y lagos, con el pasar de los años las personas también aprovechaban el agua de fuentes subterráneas mediante la construcción de pozos. Cuando la población empezó a crecer, y no existían suficientes recursos disponibles se vio la necesidad de buscar alternativas para el abastecimiento del agua (Lenntech, 2023).

Para ello, se implementaron ideas ingenieriles llevando acabado uno de los primeros acueductos que contaba con una longitud de 90 kilómetros y fue construido en el año 144 a. C. siendo el primero en transportar agua a la capital del Imperio Romano. Diez acueductos suministraban 140,000 metros cúbicos de agua al día en la ciudad Romana (iagua, 2017).

En Sudamérica existía un sistema denominado “Amunas”, y consistía en un sistema con Zanjas abiertas que siguen las cotas de elevación del terreno lo que permite conducir el agua lluvia hasta un punto de filtración en la montaña para generar aguas abajo, en épocas de sequía y estiaje marcado en la cuenca, favoreciendo a los nativos en sus actividades agrícolas y de consumo (Hidráulica, 2023).

En el año de 1906 la capital ecuatoriana comienza la construcción de la primera planta potabilizadora y en 1915 el municipio de la ciudad asume la prestación del servicio de agua potable que en varios años la población sufriría déficit en el servicio debido a presiones bajas e intermitencia en el servicio, incluso varios sectores se abastecían mediante camiones cisterna. En 1953 se recomendó cobrar el servicio de agua potable, con el fin de contar con liquidez para los operadores del sistema e innovación de infraestructura (Martínez Moscoso, 2019).

En 1989 la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE inicia la construcción de infraestructura y redes de agua potable y sanitaria, siendo esta última abastecida mediante dos pozos como resultado de un nivel freático elevado. El acuífero principal trabaja de lunes a viernes como consecuencia de su calidad de agua, además posee un caudal de salida de 10 l/s y el segundo acuífero abastece los sábados y domingos con un caudal de 25 l/s (CARRERA-VILLACRÉS, Bahamonde, et al., 2022).

Ante emergencias sanitarias y la población de alumnos y personal que labora en el campus universitario, este debe contar con líquido vital de buena calidad y distribuido en una cantidad definida. Antes de cuarentena la población de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE tenía una dotación de aproximadamente 55 (l/habitante/día) del primer pozo ubicado en la zona de postgrados, debido a las propiedades organolépticas encontradas en el agua del primer pozo se tiene una operación constante en días laborables (CARRERA-VILLACRÉS, Bahamonde, et al., 2022).

Los sistemas de distribución de agua tratan y abastecen agua potable cada día, si se considera la perfección en el mismo, en donde las tuberías no sufren pérdidas el volumen total de agua debería ser igual al volumen final, sin embargo, existe una diferencia entre volúmenes denominada aguas no contabilizadas. Según SENAGUA Ecuador posee una tasa de agua no contabilizada entre el 30% hasta 60% en 2015, lo que significa una pérdida de \$100 millones (Rosero, 2019).

Teniendo en cuenta que la ESPE se fundó en el año de 1922 las aguas no contabilizadas se encuentran estrechamente ligadas a los años de funcionamiento, debido al deterioro progresivo de las tuberías y sus accesorios. La red de distribución de agua potable de la ESPE tiene 34 años, lo cual quiere decir que gran parte de la red ha superado el periodo de diseño previsto y como consecuencia existe un volumen de agua no facturado y generando pérdidas para la Universidad.

En 2021 se implementó un equipo de medición IoT en la tubería de la red de agua potable del edificio administrativo con el fin de monitorear el agua que se consume en las instalaciones y adicionalmente registrar el volumen acumulado, es decir, con el objeto de medir la cantidad de agua y justificar con una campaña de monitoreo. Es un primer paso en el entorno Smart Water con el edificio administrativo dentro de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE (Garcés Alarcón, 2022).

### **Estado del arte**

Con el pasar del tiempo el avance tecnológico se posiciona como una herramienta fundamental para el desarrollo e innovación de las formas de control y monitoreo de consumo de agua potable, porque existen diversas campañas que incentiva el ahorro del recurso hídrico, por lo tanto, se ha generado un avance y desarrollo de herramientas y estudios que permiten al usuario estar actualizado con el consumo, ocupando dispositivos o sensores que miden en tiempo real la cantidad de agua consumida con su respectiva hora (Universidad de Alicante, 2023).

Existen un sin número de propuestas partiendo del punto de análisis como Universidad Inteligente y a medida que se siga desarrollando la tecnología, las universidades y los campus inteligentes se deben ampliar en temas de gestión. Se toma de referencia a la tecnología, como elemento sustancial en la creación y ejecución de proyectos, iniciativas y mapas estratégicos que parten del punto de desarrollo de las universidades (Universidad de Alicante, 2023).

El mundo se ha convertido en un ambiente masivamente inter-conectado y repleto de servicios, tomando como referente la Universidad Alicante que ha comenzado a crear un marco que permite dar a luz a la Smart University, que engloba los principales parámetros de una Smart City: Smart Economy, Smart Mobility, Smart Environment Smart People, Smart Living y Smart Government generando Smart Communities, Smart Campus o Smart Cities de nueva generación (Universidad de Alicante, 2023).

## **Planteamiento del problema**

### ***Macro***

En todo el mundo más de 2.200 millones de personas carecen de acceso al agua y saneamiento adecuado, es decir recogen agua superficial sin tratamiento previo en lagos, estanques, ríos o arroyos (Organización Mundial de la Salud, 2022).

Aproximadamente 4.200 millones de personas no cuentan con servicios adecuados y seguros de saneamiento y 3.000 millones de personas no poseen instalaciones básicas para el lavado de manos. Se estima que 1 de cada 10 personas, es decir 785 millones de personas continúan con déficit de servicios básicos incluyendo a 144 millones que beben agua de superficies sin tratamiento. Los datos registran que 8 de cada 10 personas que viven en áreas rurales no poseen acceso a servicios básicos (Unicef, 2023b).

Debido a que el agua es un elemento fundamental en muchos ámbitos de la vida humana el objetivo 6 de Desarrollo Sostenible (ODS-6) el cual garantiza la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos, fija metas que cubren tanto los temas del ciclo del agua como los sistemas de saneamiento, el progreso del estudio del (ODS-6) apoyará con el progreso de otros Objetivos de Desarrollo Sostenible que se ven involucrados con la salud, la educación, el desarrollo económico y el medio ambiente (Naciones Unidas, 2023).

De la misma forma, la disposición del recurso hídrico de buena calidad contribuye a una necesidad sustancial en la salud, pero su supuesta abundancia ha concluido en un cuidado poco adecuado del agua (AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DEL AGUA, 2019b).

El agua potable puede verse afectada en y al trabajo operativo del sistema, debido a la corrosión de las tuberías, este tiende a influenciar en la salud y actividades cotidianas de las personas y como consecuencia se elevan los costos de abastecimiento y mantenimiento, la



infraestructura se inhabilita y por último el servicio queda en suspensión. De manera que se recomienda utilizar materiales y métodos anticorrosivos, tales como: selección adecuada de los materiales y diseño del sistema, recubrimiento en la red de agua potable y controles continuos (Valle, 2019).

América latina y el caribe necesitan eficiencia al momento de invertir en infraestructura para regular nuevos servicios que tienen la potestad de influenciar los sectores de la energía, el transporte y el agua. Mejorar el acceso, la calidad y la asequibilidad de los servicios para prevenir su sostenibilidad en el futuro y continuar con el aprovechamiento de nuevas tecnologías en beneficio de todos. Eso da origen a las denominadas Tecnologías Inteligentes de Infraestructura de agua, también conocida como Smart Water. Este ambiente tecnológico integrado por sensores, medidores y dispositivos con arquitectura IoT (Internet of Things) el cual permite controlar en tiempo real el funcionamiento de la red de agua potable y facilita la detección de fugas que significa la reducción de pérdidas del recurso hídrico (Cavallo et al., 2020).

El internet de las cosas permite unir dos mundos, el virtual y el físico mediante distintas técnicas, la arquitectura IoT posee 4 niveles. En el primer nivel de sensación o percepción se encuentran dispositivos que intervienen directamente con el medio físico, en el segundo nivel; aquellos dispositivos que se reciben datos de sensores, para luego enviar al procesamiento interno el cual es el tercer nivel. Y finalmente el último nivel almacena la información y se coloca a disposición del usuario (Gómez et al., 2021).

### **Meso**

En Ecuador el acceso al agua potable y saneamiento de una zona urbana es distinto de una zona rural, esto se debe a que los hogares ubicados en sectores de carácter urbanos cuentan con un índice mayor de acceso a los servicios. Actualmente el 35% de ecuatorianos viven en áreas rurales. El 34% de hogares urbanos cuenta con agua entubada al hogar, a

diferencia del 89% de hogares urbanos. En el acceso al saneamiento posee un entorno similar, la brecha entre las tasas de acceso rural y urbana, el 99% de hogares urbanos poseen acceso a un sistema séptico o de alcantarillado, sin embargo, el 72% de los hogares rurales dispone solamente una de estas alternativas de drenaje (OLAS, 2023).

En Ecuador, 1 de cada 2 niños, niñas y adolescentes no cuenta con adecuado acceso al agua y saneamiento en sus domicilios. La situación empeora en el caso de la niñez indígena aumentando a 8 de cada 10 niños que no poseen servicios básicos. Las consecuencias de falta de acceso influyen en la salud de los niños debido a que las diarreas agudas son la segunda causa de muerte en los menores de 5 años en los países en desarrollo. En el Ecuador el 70% de la población cuenta con agua de calidad, el 30% restante se expone a consumir agua con residuos fecales (Unicef, 2023a).

El agua no contabilizada es aquella que se distribuye en la red, pero que no se factura por pérdida, estas pérdidas se encuentran ligadas a la evaporación, a la medición errónea, a la deficiente recopilación de datos, al robo de agua por conexiones ilícitas y sobre todo a las fugas en el sistema de distribución. Las pérdidas por agua no contabilizada se estima cada año unos USD 320 millones lo que equivale a perder al año 696,2 millones de metros cúbicos de agua, las empresas municipales de todo el país individualmente desperdician 8 millones de metros cúbicos culminando en una pérdida unificada de USD 26,6 millones (Aquaintel, 2021a).

El porcentaje de aguas no contabilizadas estimadas en el Ecuador ha sufrido un incremento del 5,23% en los últimos años obteniendo un total de 48,20% para el 2019, siendo un porcentaje relativamente preocupante indicando que casi la mitad del agua que se distribuye en Ecuador son aguas no contabilizadas o no facturadas. En 2020 las pérdidas de agua fueron de USD 320 millones lo cual representa un 0,3% del Producto Interno Bruto (PIB). Para tener una referencia el desperdicio de agua en Ecuador es aproximadamente 5 veces más que los

USD 63 millones que el país recibió por exportaciones de atún y 2,4 veces el presupuesto de la fiscalía general del Estado en oficinas, investigaciones y fiscales en el país (Aquaintel, 2021a).

El plan de creación de oportunidades 2021-2025 es la guía máxima para el diseño y aplicación política de carácter público en Ecuador, el plan establece prioridades del país enfatizando su relación entre el Plan de Gobierno 2021-2025 y la agenda 2030 de desarrollo sostenible. En el objetivo 13 del eje de transición ecológica que se enfoca en promover la gestión integral de los recursos hídricos, impulsando el servicio de agua para consumo y saneamiento humano en igualdad de condiciones. En el objetivo 8 que se enfoca en generar nuevas oportunidades y bienestar para las zonas rurales, con énfasis en pueblos y nacionalidades que garantiza el acceso a servicios básicos junto a la conectividad en áreas rurales y por último el objetivo 5 que se enfatiza en proteger a las familias, garantizar sus derechos y servicios, erradicar la pobreza y promover la inclusión social fortaleciendo las redes de agua potable y saneamiento para disminuir las enfermedades y garantizar la salud de los ciudadanos (Aquaintel, 2021b).

Mediante el apoyo de BID el Ecuador ha logrado mejorar los sistemas de agua potable de Quito y aumentar el alcantarillado y saneamiento de parroquias rurales con tareas como; la construcción de plantas de tratamiento, construcción de redes primarias de agua potable, la construcción de líneas de conducción de agua cruda entre las principales (Banco Interamericano de Desarrollo, 2019).

La estrategia de mejoramiento de servicios básicos relacionados al recurso hídricos, se necesita promover el cumplimiento de los prestadores de servicios con el fin de realizar una serie de acciones guiadas hacia el fortalecimiento de las capacidades de los prestadores y evitar la descarga directa de aguas residuales y realizar un tratamiento especializado del agua para consumo entre otros aprovechamientos para disminuir las enfermedades de origen hídrico y afectación a los ecosistemas con relación al agua (Secretaría del Agua, 2016).

Los sistemas de monitoreo de la calidad del agua y recolección de datos a través de las Tecnologías Inteligentes para Infraestructura Hídrica (SWIT) las cuales mejora en gran escala la eficiencia de proveedores de servicios de agua; disminuyendo perdidas de agua y reduciendo su precio, haciendo más sencillo el mantenimiento y mejorando el muestreo de datos y activos que facilitan la toma de decisiones con criterio basadas en información eficaz (Arniella, 2017).

### ***Micro***

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE posee acceso agua, sin embargo, esta no se considera potable debido a su a que el tratamiento que recibe no brinda las suficientes características químicas para su potabilización, el agua potable del campus se sustenta de dos acuíferos, esta se almacena en una cisterna por bombeo y luego se traslada a un tanque elevado para distribuir a toda la red de agua potable de la universidad. también posee redes de alcantarillado y saneamiento con puntos de control que se encuentran en dentro del predio universitario.

La ESPE se fundó en el año 1922 y como consecuencia de aquello, los accesorios y tuberías de la red se encuentran en mal estado como varias tuberías que poseen corrosión lo cual puede afectar a la salud de los estudiantes, profesores y trabajadores, por otro lado, el estado de la red genera cierto porcentaje de aguas no contabilizadas que al no facturarse pueden ocasionar pérdidas para la Universidad.

A través de la aprobación del proyecto PIJ-02 que se encuentra en vigencia “Smart Water University” se enfoca en el estudio dinámico y el manejo adecuado del recurso hídrico por medio de la arquitectura IoT se obtiene un control en tiempo real del sistema de distribución del agua potable minimizando las perdidas por aguas no contabilizadas y optimizando el consumo de agua potable.

## Justificación

En un principio se tenía dos lugares potenciales para la instalación del segundo caudalímetro, en la tubería de agua potable del bloque A y B, sin embargo al realizar el reconocimiento de la tubería en el bloque A se determinó que no es factible la instalación en este lugar debido a que las tuberías de agua residual se encuentran juntas lo que dificultaría la instalación del sensor IoT, de esta manera se determinó que la tubería de agua potable del bloque A es la mejor opción y fue el lugar en donde se instaló el nuevo caudalímetro para determinar el consumo y dotación real de los estudiantes, personal de limpieza y militares de este bloque.

En los últimos años la tecnología ha realizado importantes avances científicos los cuales han impulsado a ocupar los métodos numéricos para crear softwares de modelación dinámica y observar el comportamiento del agua desglosando así su régimen permanente y no permanente, es decir su análisis cuando el caudal es constante y también cuando es variable (Berkane, Boufaida & Bouzerzour, 2022). Siendo primordial para la predicción en escenarios futuros y complejos, existen diversos métodos para la modelación, los cuales ocupan softwares como WaterCAD y SewerCAD.

La importancia de la modelación dinámica en los regímenes permanente y no permanente fue para analizar el comportamiento del agua potable y sanitaria del actual sistema de la UFA ESPE mediante la simulación temporal en los escenarios o entorno reales, para observar los puntos críticos en donde ocurre la pérdida de presión o caudal en las tuberías, siendo importante para el estudio técnico para la propuesta de soluciones a los problemas que se detectaron; optimizando y aprovechando de manera eficiente los recursos hídricos y económicos de la Universidad.

Para modelar los diferentes escenarios en WaterCad y SewerCad se ingresan los datos reales, los cuales se obtuvieron del levantamiento de información *in situ* comparando con los

datos otorgados por los caudalímetros IoT los cuales son el caudal y el volumen medidos en l/min y l respectivamente siendo proporcionados en tiempo real. Y a su vez fue fundamental la actualización del catastro hidrosanitario de la UFA ESPE ocupando los softwares para modelar los regímenes, acotando las dimensiones de tubería y variando la pérdida generada en los nodos, observando el comportamiento permanente y no permanente ayudando así al mejor entendimiento del consumo de agua potable y residual mediante una estimación de un balance hídrico.

Por otra parte, es importante determinar el presupuesto necesario para la investigación, , tomando en cuenta la adquisición de los dos caudalímetros, campañas de medición ocupando manómetros, niveles de agua para la cisterna, modelación de datos, el levantamiento de información *in situ* de la actual red de agua potable y saneamiento de la universidad con su respectiva propuesta de mejora la cual incluyó la adquisición de equipos y accesorios sanitarios nuevos porque no se tiene un control completo del uso del recurso hídrico en las instalaciones de la universidad.

### **Alcance del proyecto**

Mediante el análisis de los datos proporcionados por Tecnología IoT procesar series temporales para determinar el comportamiento de la red de agua potable de la ESPE, con el levantamiento de un catastro hidrosanitario realizar un modelo en WaterCAD y SewerCAD plasmados en un Sistema de Información Georreferenciado para determinar lugares potenciales de instalación de nuevos sensores IoT que mejoren el control del aprovechamiento del agua proponiendo un sistema de agua inteligente “Smart Water” y determinar el costo del mismo.

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

Analizar los datos de equipos con tecnología IoT que permitan realizar una modelación en régimen permanente y no permanente de la red de agua potable y residual, además, procesar las series temporales que generarán la infraestructura IoT, para mejorar el aprovechamiento del recurso hídrico de la ESPE.

### ***Objetivos Específicos***

- Realizar un catastro hidrosanitario a fin de colocar los caudalímetros IoT, para generar la base datos de caudal y volumen acumulado de agua potable consumida por los usuarios de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE matriz.
- Realizar campañas de medición de la cantidad de agua potable y residual, y estudiar la dinámica de la cisterna mediante niveles de agua para obtener el consumo agua potable del campus matriz.
- Modelar el consumo de agua potable y residual para régimen permanente y no permanente, a través de la variación de los gastos en los nodos del sistema de agua potable y alcantarillado de la Universidad ocupando los softwares de WaterCAD y SewerCAD.
- Generar con un SIG de mapas de la modelación de régimen permanente y no permanente de la red de agua potable y residual del campus matriz de la ESPE
- Proponer el presupuesto de un sistema óptimo de agua potable y saneamiento que requiera el número indicado de sensores IoT instalados en distintos sectores de la ESPE para el uso idóneo del recurso hídrico.

### **Hipótesis**

La implementación de tecnologías de infraestructura IoT puede medir el consumo y dotación real del recurso hídrico de la UFA ESPE.

## Capítulo II: Marco Teórico

### Agua Potable

El agua potable es aquella destinada al consumo humano, es agua que se utiliza para beber, preparación de alimentos, higiene, entre otros usos domésticos. Debe estar libre virus y bacterias que causan enfermedades y su calidad se define mediante los requisitos normados por la entidad o entidades de interés (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2019).

### Agua residual

Es el agua sobrante o residual del producto de usarla para fines humanos, sean estos, domésticos, industriales, municipales producto (EMAAP-Q, 2009).

### Saneamiento

Contempla actividades de recolección, manejo o conducción, tratamiento y disposición de aguas residuales que llegan del procedimiento de depuración (AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DEL AGUA, 2019a).

### Dotación

Caudal de agua potable que se consume diariamente para satisfacer las necesidades de población entre otros requerimientos, en promedio por persona en donde se incluye los consumos de tipo doméstico, comercial, industrial y público (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2019).

### Consumidor

Persona de carácter natural o jurídica que recibe servicios que se relacionan con el agua, estos servicios son proporcionados por los prestadores o empresas públicas de agua potable o saneamiento, este control de servicios se verá regulado por el ARCA (AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DEL AGUA, 2019a).



## **Redes de distribución**

Las redes de distribución se clasifican en principales y secundarias.

La red principal se utiliza para distribuir agua a una zona o población con dotación y caudal mayor, y la red secundaria es utilizada para abastecer el interior de casas, edificios entre otras construcciones civiles en donde se consume el agua. Las limitantes hidráulicas dependen de la morfología del terreno, planificación del predio y catastros, localización de calles, así como del tipo de consumidores y uso (CARRERA-VILLACRÉS, 2023).

## **Aguas no contabilizadas**

Son fugas existentes en un sistema de agua potable y alcantarillado. Se define como la cantidad de agua perdida a lo largo del trayecto de las redes de agua potable y residual que tras el consumo humano no se puede detectar y por ende no se contabiliza o factura y al no tener el mantenimiento adecuado pueden incrementarse (EMAAP-Q, 2009).

## **Mantenimiento preventivo**

Es una actividad que potencia el sistema de agua potable y alcantarillado, así como de sus componentes con técnicas o sugerencias, servicios de limpieza y servicios de protección en donde se presentan índices de fugas, o índice de atoros; y el cambio de medidores si ya ha superado su vida útil (Sistema Oficial de Contratación Pública, 2022).

## **Mantenimiento correctivo**

Cuando se realizan intervenciones directas en las redes y conexiones como reparar fallas en la superficie física de la tubería, válvulas de compuerta, bombas, etc. se denomina mantenimiento correctivo (Sistema Oficial de Contratación Pública, 2022).

## **Flujo y presión**

El software de simulación de red debe cumplir con tres principios básicos para establecer el balance de presión y flujo en el modelo, el balance de masa, el balance de

energía y las pérdidas de flujo y presión deben cumplir con las ecuaciones de pérdida de velocidad para una carga adecuada (Nasara et al., 2021)

### **Zonas de presión**

Son divisiones hechas en el sistema de distribución que, gracias a la topografía, las dimensiones de sus componentes o las políticas de operación, esta división se realiza en zonas de presión que sobrepasan las presiones límites en la red, para esto se debe llevar un control de presiones en los periodos de mayor consumo y diferenciar presiones mínimas requeridas como máximas. Cuando las presiones superan el límite se debe a la topografía irregular (Sistema Oficial de Contratación Pública, 2022).

### **Alcantarilla**

Conducto destinado al flujo de líquidos y se clasifica en: Alcantarilla colectora que recibe la descarga de alcantarillas ramales, alcantarilla pluvial la cual conduce aguas lluvia y escorrentías, alcantarilla sanitaria en donde e concentra la descarga de aguas residuales y alcantarilla combinada destinada a recibir aguas servidas en general (COMITÉ EJECUTIVO DE LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN, 2011).

### **Regulación de uso o aprovechamiento del agua**

Las autorizaciones de Uso y Aprovechamiento del Agua que justifican a una persona de carácter natural o bien jurídica en el consumo de agua natural como ríos, lagunas, lagos, pozos, etc. Pretende mejorar y optimizar la gestión de autorizaciones; verificando, monitoreando y reiniciando procesos incluyendo las condiciones y deberes de los usuarios. La autorización le confiere la capacidad de captación, tratamiento, conducción y utilización del caudal autorizado, para obtener tal autorización se necesita seguir los pasos establecidos por la Secretaría del Agua, que dependiendo de su función puede ser de tipo general o simplificado (AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DEL AGUA, 2019a).

## **Gestión de agua potable y saneamiento**

Tiene como finalidad informar de manera oportuna y eficaz sobre la gestión que se realiza en los Gobiernos Autónomos Descentralizados en lo que compete a sus competencias relacionadas a la distribución de agua potable así como de saneamiento con el uso de información de carácter estadístico y recopilada en conjunto por la Agencia de Regulación y Control de Agua (ARCA), la Asociación de Municipalidades Ecuatorianas (AME) y el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), otorgando información sobre el estado de la red y su serviciabilidad (AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DEL AGUA, 2019a).

A nivel nacional se tiene un costo unitario promedio de 46 centavos de dólar debido a la prestación de servicios para domicilios y la mayor tasa registrada se encuentra en la provincia de Santo Domingo en donde la tarifa por este servicio es de 2 dólares con 8 centavos por cada metro cúbico (AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DEL AGUA, 2019a).

La disposición final de agua residual tratada en el Ecuador sobre todo en la Amazonía se encuentra destinada a los ríos con un total de 46,9% en quebradas y el 31,5% en suelos y otros destinos que a diferencia del agua residual no tratada, se vierte en los ríos es de 59,3% y el resto de 40,7% en quebradas. Del total de agua que se distribuye a nivel Nacional, el 22% va hacia las plantas de tratamiento de agua residual siendo la Amazonía con mayor índice de tratamiento (AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DEL AGUA, 2019a).

## **Requisitos Normativos**

La norma INEN 1108 es una Norma técnica ecuatoriana que define los requisitos que debe tener el agua potable destinada al consumo humano, se aplica a los sistemas de abastecimiento público y privado mediante redes de distribución y tanqueros como en el caso de la costa ecuatoriana (AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DEL AGUA, 2019a).

## Flujo y presión para red agua potable

El software de simulación de red debe cumplir con tres principios básicos para establecer el balance de presión y flujo en el modelo, el balance de masa, el balance de energía y las pérdidas de flujo y presión deben cumplir con las ecuaciones de pérdida de velocidad para una carga adecuada (Nasara et al., 2021)

### Variables de Modelación

Teniendo en cuenta la modelación dinámica existen cuatro practicas fundamentales de gestión de fugas que limitan las perdidas, como son la gestión de presión, la velocidad, la calidad de reparación y el control activo de fugas (Nasara et al., 2021).

Existe una variedad de conceptos para explicar las relaciones entre la presión y la tasa de fuga los cuales incluyen los modelos de área fija y variable (Fox et al., 2014).

### *Régimen permanente para red de agua potable*

#### Caso de una tubería

(Comisión Nacional del Agua, 2019) afirma lo siguiente:

Al aplicar la ecuación de conservación de energía entre dos secciones de una tubería con longitud L.

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + h_f$$

Donde z, P y V son la elevación respecto a un plano horizontal de referencia, la presión y la velocidad media, respectivamente, en el punto del centro de la sección;  $\alpha$  es el coeficiente de Coriolis  $\gamma$  y g son el peso específico del agua y la aceleración de la gravedad;  $h_f$  es la pérdida de carga debido al rozamiento en las paredes del conducto. Los subíndices 1 y 2 indican de que sección se trata.

La pérdida de carga mediante Darcy-Weisbach:

$$h_f = f \frac{LV^2}{D2g}$$

Donde:

$f$  = coeficiente de pérdidas

$L$  = longitud de la tubería, en m

$D$  = diámetro de la tubería, en m

$V$  = velocidad media del flujo en m/s

$g$  = aceleración gravitacional, en m/s<sup>2</sup>

$h_f$  = pérdida de energía por fricción, en m

El coeficiente  $f$  asociado al diámetro y rugosidad del material de la tubería y número de Reynolds definido como:

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

Donde:

$\nu$  = Viscosidad cinemática del fluido en  $\left(\frac{m^2}{s}\right)$

Una ecuación empírica para números de Reynolds mayores a 4000 es la siguiente:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{\varepsilon}{3.71D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right)$$

Donde:

$\varepsilon$  = Rugosidad absoluta de la pared interior del tubo (mm)

El coeficiente de pérdidas se puede realizar de forma directa mediante la ecuación de Swamee-Jain

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{\%}{3.71} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Válida para  $5000 < Re < 10^6$  y  $10^{-6} < \frac{\varepsilon}{D} < 10^{-2}$

Para determinar los efectos corrosivos del agua y los años de servicio el criterio que parece más efectivo es el de Genijew.

$$\varepsilon_t = \varepsilon_0 + \alpha t$$

Donde:

$\varepsilon_t =$  Rugosidad del conducto despues de  $t$  años de servicio (mm)

$\varepsilon_0 =$  Rugosidad del tubo nuevo (mm)

$\alpha =$  coeficiente que depende del grupo en que se clasifica el agua que va a escurrir.

$t =$  número de años de servicio de la tubería

### **Criterios en redes de distribución para agua potable**

(Comisión Nacional del Agua, 2019) afirma lo siguiente:

El principio de continuidad menciona que, en un nodo, la suma de los caudales que entran a él es igual a la sumatoria de los caudales que salen del mismo. Este principio en cada nodo de la red establece una ecuación lineal en función de los gastos.

El sistema de ecuaciones correspondiente a cualquier red se escribe como:

$$\sum Q_J = qn$$

Esta sumatoria se hace en todos los tubos  $j$  enlazados a un nodo  $n$ .

La suma para todos los tubos  $j$  conectados al nodo  $n$  y  $F(h)$  siendo una función no lineal de las cargas en los extremos de los tubos. La solución consiste en determinar las cargas  $h$  que satisfacen el sistema de ecuaciones una vez obtenidas las cargas.

### **Régimen no permanente para red de agua potable**

Según la (Comisión Nacional del Agua, 2019) afirma lo siguiente:

En las redes de distribución se sabe que los gastos de demanda son de tipo variable a lo largo del tiempo, es por este motivo que se cambian los niveles piezométricos y gastos en su tubería, es necesario considerar el tiempo en las ecuaciones de flujo.

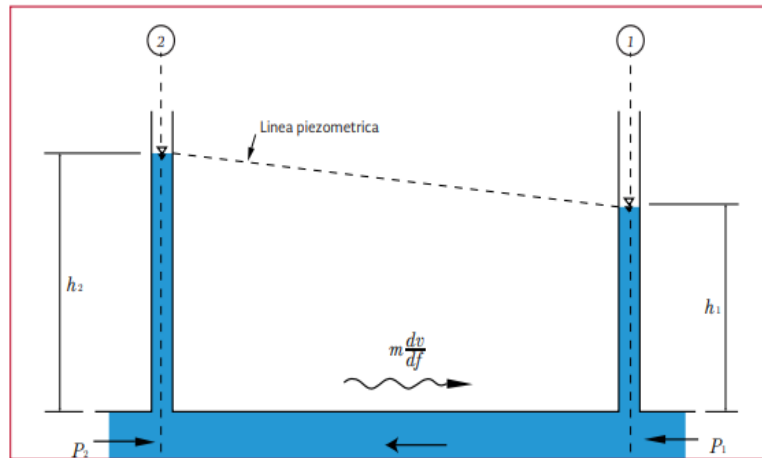
Teniendo en cuenta estas variables, permite simular el flujo en la tubería para determinar el cumplimiento de los gastos de demanda. Un aspecto circunstancial en el análisis dinámico es la demanda, debido a que los gastos proporcionados se encuentran en función de la presión en la red como se muestra en la Figura 1.

### **Ecuaciones de conservación de cantidad de movimiento en una tubería**

A continuación en la Figura 1, se detalla el comportamiento de un fluido en una tubería

**Figura 1**

*Fuerzas que actúan en el tiempo  $t$*



*Nota.* El gráfico represente la forma en la que actúan las fuerzas en un tiempo determinado en las dos columnas de agua mediante una presión correlacionada a la línea piezométrica. Tomado de *Fuerzas que actúan en el tiempo  $t$* , por Garcés, 2022, Piezcome.com

Aplicando el principio de conservación de cantidad de movimiento, se tiene que:

$$Q^{k+1} = \alpha^k (h_2^{k+1} - h_1^{k+1}) + \gamma^{k-1}$$

Esta ecuación enlaza las cargas piezométricas en los extremos de la tubería con el gasto que circula por la misma en un instante  $k$ , sabiendo que las variables en el instante  $k-1$  son conocidas (Comisión Nacional del Agua, 2019).

### **Ecuación de continuidad en cada nodo para red de agua potable**

Para cada nodo  $i$  de la red y en el tiempo  $t = k\Delta t$ , la suma de los gastos que entran es igual a la suma de los gastos que salen, como se muestra a continuación:

$$\sum_i Q^{k+1} = q_{Di}^{k+1}$$



### Caudal medio diario de aguas residuales

Se expresa con la siguiente formula:

$$Q_{md} = Q_{as} + Q_i + Q_c + Q_{ins}$$

En donde:

$Q_{as}$ : Caudal máximo horario doméstico (l/s)

$Q_i$ : Caudal máximo horario industrial (l/s)

$Q_c$ : Caudal máximo horario comercial (l/s)

$Q_{ins}$ : Caudal institucional (l/s)

(Carrera, 2022)

Es el caudal resultante de la sumatoria de los diferentes aportes domésticos con los comerciales y también institucionales existentes en la zona.

$$Q_{as} = \frac{C * A_p * P}{86400}$$

En donde:

$A_p$ : Aportación de aguas residuales por día (l/hab)

$P$ : Población, en número de habitantes

$C$ : Coeficiente de retorno

86 400: Segundos en un día, s/d

(CONAGUA, 2022)

### Caudal institucional

Para optar por el caudal institucional se selecciona de la siguiente tabla

**Tabla 1**

*Conexiones erradas según EMAAP*

TABLA N° 4.2.3.4 CONTRIBUCIÓN INSTITUCIONAL MÍNIMA EN ZONAS RESIDENCIALES	
Nivel de complejidad del sistema	Contribución institucional (l/s-ha-Inst.)
alquiera	0,4 - 0,5

**Caudal máximo instantáneo de aguas residuales**

Para determinar el caudal máximo instantáneo se tiene que analizar desde la simultaneidad de los aparatos sanitarios y esto es aplicable específicamente para el diseño de la tubería (CONAGUA, 2022). El factor de mayor ración corresponde a la siguiente expresión

$$K = \frac{2,228}{Q^{0,073325}}$$

En donde:

$$\text{Si } Q_{med} < 4 \frac{l}{s} \rightarrow K = 5$$

**Caudal de infiltración**

Es aquel caudal producto de la entrada del agua que se localiza debajo del nivel freático del suelo a través de los accesorios (uniones) entre conductos en especial de tubería, o fisuras de las mismas, y/o en los pozos de inspección (CONAGUA, 2022).

- En donde si se tiene tuberías de hormigón simple perforadas:

$$\text{Si Areas de 10 hasta 5000 Ha} \rightarrow Q_{inf} = 67,34 * A^{-0,1425}$$

$$\text{Si Areas de hasta 40,5 Ha} \rightarrow Q_{inf} = 48,5 \frac{m^3}{Ha} / día$$

- En donde si se tiene tuberías de hormigón simple en sistemas nuevos:

$$\text{Si Areas está entre } 40,5 \text{ hasta } 5000 \text{ Ha} \rightarrow Q_{inf} = 42,51 * A^{-0,3}$$

Otro método para calcular el caudal de infiltración es en base a la siguiente tabla:

## Tabla 2

Tabla de caudales de infiltración EMAAP

TABLA N° 4.2.3.7			
Nivel de complejidad del sistema	Infiltración alta (l/s-ha)	Infiltración media (l/s-ha)	Infiltración baja (l/s-ha)
Bajo y medio	0,1 -0,3	0,1 - 0,3	0,05 - 0,2
Medio alto y alto	0,15 - 0,4	0,1 - 0,3	0,05 - 0,2

(\*) Puede ser definido por la empresa prestadora del servicio

*Nota.* Tomado de *Características del suelo, topografía, y demás condiciones medidas en campo*, por EMMAP, 2009, Condicionesemap.com.

## Caudal de conexiones erradas

Este tipo de caudal tiene efecto cuando existen conexiones clandestinas o que se construyeron de manera incorrecta por aguas lluvias, y proviene de cubiertas, zonas verdes de los domicilios, entre otros. Se puede considerar la siguiente cantidad

$$Q_{ilic} = 80 \frac{l}{hab * día}$$

Otro método es tomar la siguiente tabla

### Tabla 3

*Datos de caudales por conexiones erradas según EMAAP*

TABLA N° 4.2.3.6 APORTES MÁXIMOS POR DRENAJE DOMICILIARIO DE AGUAS LLUVIAS SIN SISTEMA PLUVIAL	
Nivel de complejidad del sistema	Aporte (l/s-ha)
Bajo y medio	4 - 20 (*)
Medio alto y alto	2 - 20 (*)
(*) Debe disponerse de sistema pluvial o combinado a mediano plazo	

*Nota.* Tomado de *Características del suelo, topografía, y demás condiciones medidas en campo*, por EMMAP, 2009, Condicionesemap.com.

### Caudal de diseño

Es la sumatoria del caudal máximo horario, caudal de infiltración y caudal de conexiones erradas.

$$Q_{diseño} = Q_{max. inst.} + Q_{inf} + Q_{ilc}$$

En donde:

$Q_{máx inst.}$ : Caudal máximo horario (l/s)

$Q_{inf}$ : Caudal de infiltración (l/s)

$Q_{ilc}$ : Caudal de conexiones erradas (l/hab\*día)

(EMAAP-Q, 2009).

### Gasto medio

El gasto medio se calcula del caudal de aguas residuales obtenida del cálculo de un día de aportación promedio durante el periodo de un año (EMAAP-Q, 2009)

### Gasto mínimo

El gasto mínimo es el menor de los valores de escurrimiento que normalmente se presentan en una tubería. Este valor es igual a la mitad del gasto medio.

$$Q_{min} = 0,5Q_{med}$$

En donde:

$Q_{min}$ : Gasto mínimo (l/s)

$Q_{med}$ : Gasto medio de aguas residuales (l/s)

(CONAGUA, 2022)

### Gasto máximo instantáneo

El gasto máximo instantáneo es el valor máximo de escurrimiento que se puede presentar en un instante dado.

$$Q_{max.inst.} = M * Q_{med}$$

En donde:

$Q_{max.inst.}$ : Gasto máximo instantáneo (l/s)

$Q_{med}$ : Gasto medio de aguas residuales (l/s)

$M$ : Coeficiente de Harmon

Siendo  $M$  coeficiente de Harmon calculada de la siguiente expresión:

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}}$$

En donde:

$P$ : Población servida acumulada hasta el punto final (aguas abajo)

La norma sugiere que se tome un coeficiente de 3,8 para población menores a 1 000 habitantes, 2 para superiores a 100 000 habitantes y no sigue la fórmula de Harmon en estos 2 casos

(CONAGUA, Manual de Agua Potable, Alcantarillado Y Saneamiento, 2021)

### **Gasto máximo extraordinario**

Es el caudal de aguas residuales que considera todo tipo de aportación que no constituyen las descargas normales como, por ejemplo:

- bajadas de aguas pluviales de cubiertas,
- bajadas de aguas lluvias de patios,
- las provocadas por un crecimiento demográfico

(EMAAP-Q, 2009)

### **Ecuación de Manning**

Es una expresión matemática que sirve para el cálculo hidráulico del alcantarillado sanitario, y es la siguiente:

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

En donde:

$V$ : Velocidad (m/s)

$r_h$ : Radio hidráulico (m)

$S$ : Pendiente del gradiente hidráulico de la tubería

$n$ : Coeficiente de fricción

(Carrera, 2022)

### **Régimen permanente para red de agua residual**

El régimen permanente e el análisis de la red sanitaria cuando la sumatoria en cada punto de los caudales y presiones parciales es constante y por ende las velocidades es la misma en cada instante de la red (Igalada, 2008)

### **Régimen no permanente para red de agua residual**

En este caso el flujo se mantiene variable en función del tiempo a través de toda la red de aguas residuales, es decir que las magnitudes del fluido como la presión, velocidad y caudal cambia en cada punto a lo largo del tiempo (Mini-Curso de Diseño de Canales Con Régimen Uniforme-Parte I: Aspectos Hidráulicos Básicos, 2023)

### **Series Temporales**

Las series temporales se define como una sucesión de observaciones de una variable analizada a lo largo del tiempo, esta variable es diferente en cada instante. Una serie temporal puede ser estacionaria, la misma que mantiene constante la media como su variabilidad a lo largo del tiempo y las no estacionarias que cambian su media y variabilidad (CARRERA-VILLACRÉS, Bastidas, et al., 2022).

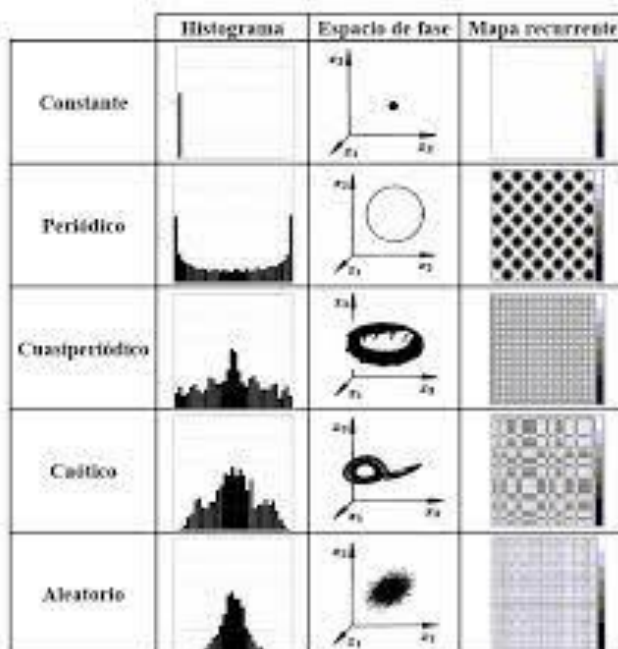
Las series temporales tienen 4 elementos, la tendencia que indica el comportamiento de forma ascendente o descendente. La estacionalidad que presenta el tipo de variación de la serie en el tiempo. El ciclo en donde indica la variación de la forma que tiene la onda alrededor de la tendencia. Finalmente, la inseguridad que presenta los datos atípicos que presente la serie (CARRERA-VILLACRÉS, Morales, et al., 2022).

La autoregresión utiliza una regresión lineal para interpretar series temporales con uno o más valores por defecto de la serie también se le define como autocorrelación (CARRERA-VILLACRÉS, Morales, et al., 2022).

Los mapas de recurrencia son una matriz de puntos de coordenadas  $(i, j)$  en el cual los puntos son recurrentes y marcados si la distancia entre vectores retardados  $\vec{x}_i$  y  $\vec{x}_j$  es menor al limite establecido, esto quiere decir que sirven como herramienta para determinar las características dinámicas elementales de las series temporales (CARRERA-VILLACRÉS, Bastidas, et al., 2022). La interpretación del comportamiento de las series temporales se realizó gracias a la Figura 2 en donde se clasifica la distribución de las series temporales de histogramas, espacio de fase y mapa recurrente.

### Figura 2

Grafica de mapa de recurrencia.



*Nota.* Tomado de *Características del suelo, topografía, y demás condiciones medidas en campo*, por EMMAP, 2009, Condicionesemap.com.

Las series de tiempo no estacionarias se pueden transformar en series estacionarias mediante ARIMA el cual es un modelo autorregresivo integrado de promedio móvil el cual usa variaciones y regresiones de datos, luego se define una regresión del valor de retraso de los



puntos dependientes, la magnitud actual como el de retraso del término de error aleatorio (CARRERA-VILLACRÉS, Bastidas, et al., 2022).

### **Tecnología IoT**

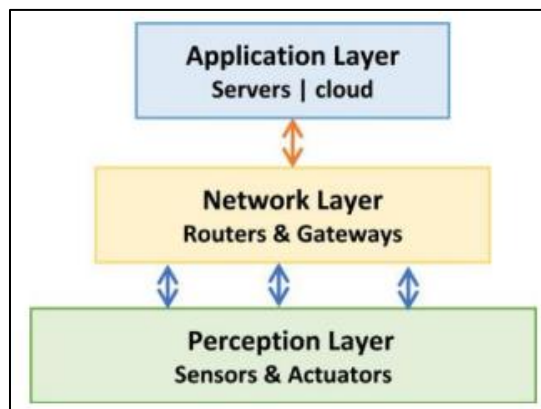
La tecnología de internet de las cosas (IoT) ha incrementado la atención debido a varias aplicaciones y la facilidad de obtener información desde cualquier lugar del mundo siempre y cuando se encuentre conectado a internet, depende de la capacidad de enviar y recibir datos a través de servidores de red sin la intervención entre personas o de una persona a computadora por lo tanto las aplicaciones de IoT se ven reflejadas en servicios como monitoreo ambiental, variables hidráulicas, etc (Carrera-Villacrés et al., 2020).

La palabra “Thing” en IoT significa un dispositivo o sensor que tiene la capacidad de recolectar datos y subirlos a internet previo a una intervención manual. La tecnología que posee el objeto permite interactuar entre datos internos y el entorno externo, es decir que permite crear una conexión entre lo físico y virtual. Oxford Dictionaries establece la siguiente definición “Internet de las cosas: La interacción a través de Internet de dispositivos informáticos integrados en objetos cotidianos, lo que permite enviar y recibir datos” (Mouha, 2021).

La tecnología IoT posee tres capas en su arquitectura, la primera es la capa de percepción, la cual es la capa física cuyo objetivo es recopilar información mediante sensores. La segunda es la capa de red, su finalidad es comunicarse con otros objetos inteligentes, dispositivos de red y servidores y se identifica por transmitir y procesar los datos de los sensores. La capa de aplicación es la última y esta se encarga de prestar servicios al usuario gracias a ello se definen varias aplicaciones, por ejemplo: hogares inteligentes, ciudades inteligentes y salud inteligente. La Figura 3 presenta la arquitectura IoT antes mencionada (Mouha, 2021).

### Figura 3

*Clasificación de capas de la arquitectura IoT.*



*Nota.* Tomado de *Características del suelo, topografía, y demás condiciones medidas en campo*, por EMMAP, 2009, Condicionesemap.com.

### Universidad Inteligente

El enfoque del estudio de Smart University es de rápida evolución y emergente el cual, involucra conceptos de carácter creativo e innovador como factor importante la tecnología. El concepto en términos generales de Smart University se determina desde el concepto Smart Campus, y como factores principales la integración de la computación en la nube y el IoT (Berkane et al., 2022).

Ante la exigencia que representa los indicadores de acreditación que se encuentran relacionados con el índice de conectividad de IoT en el campus, mediante estos nuevos entornos se deben encontrar en la esencia de las universidades tales como: su reputación, la calidad del aprendizaje y la enseñanza, el impacto y desempeño de la investigación, el ambiente educativo y el compromiso, así cuantificando el avance del Smart Campus (Galeano-Barrera et al., 2018).

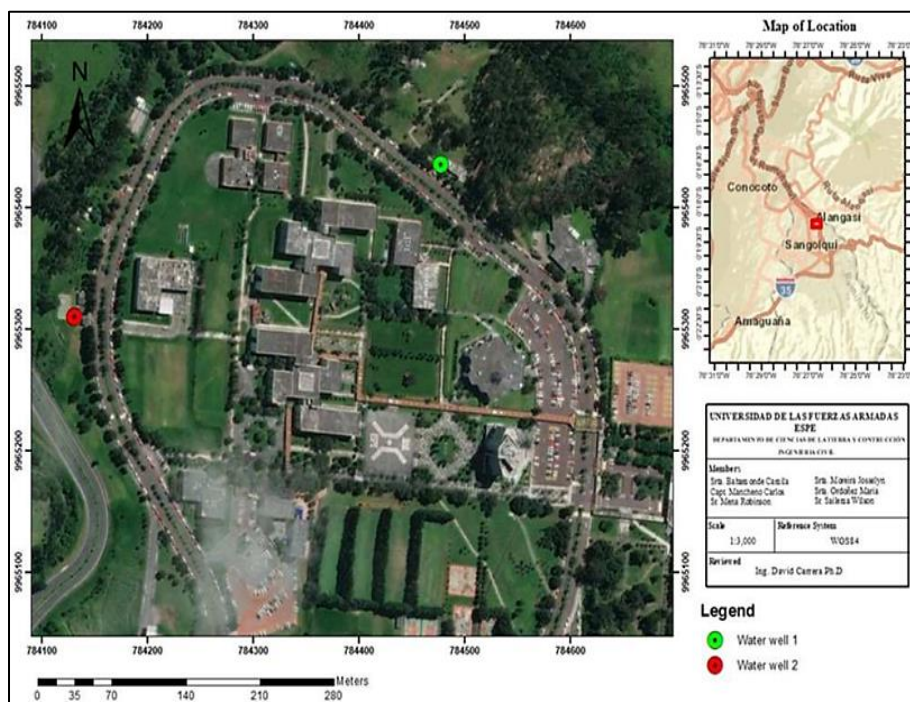
## Capítulo III: Materiales y Métodos

### Ubicación

El proyecto se desarrolló en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, construida sobre la hacienda Santa Clara, junto al río con el mismo nombre, ubicada en Sangolquí, en la cuenca hidrográfica del Valle de los Chillos con coordenadas -0,3145 de latitud y -78,4437 de longitud (Bravo, 2014). El campus de la universidad se encuentra dividido en bloques, residencias y edificios, el mismo que brinda sus instalaciones a más de 10.235 personas, entre ellos estudiantes, docentes y personal de la universidad (Carrera & Garcés, 2022). En la Figura 4 se presenta el mapa de ubicación de la UFA ESPE.

### Figura 4

*Mapa georreferenciado de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*



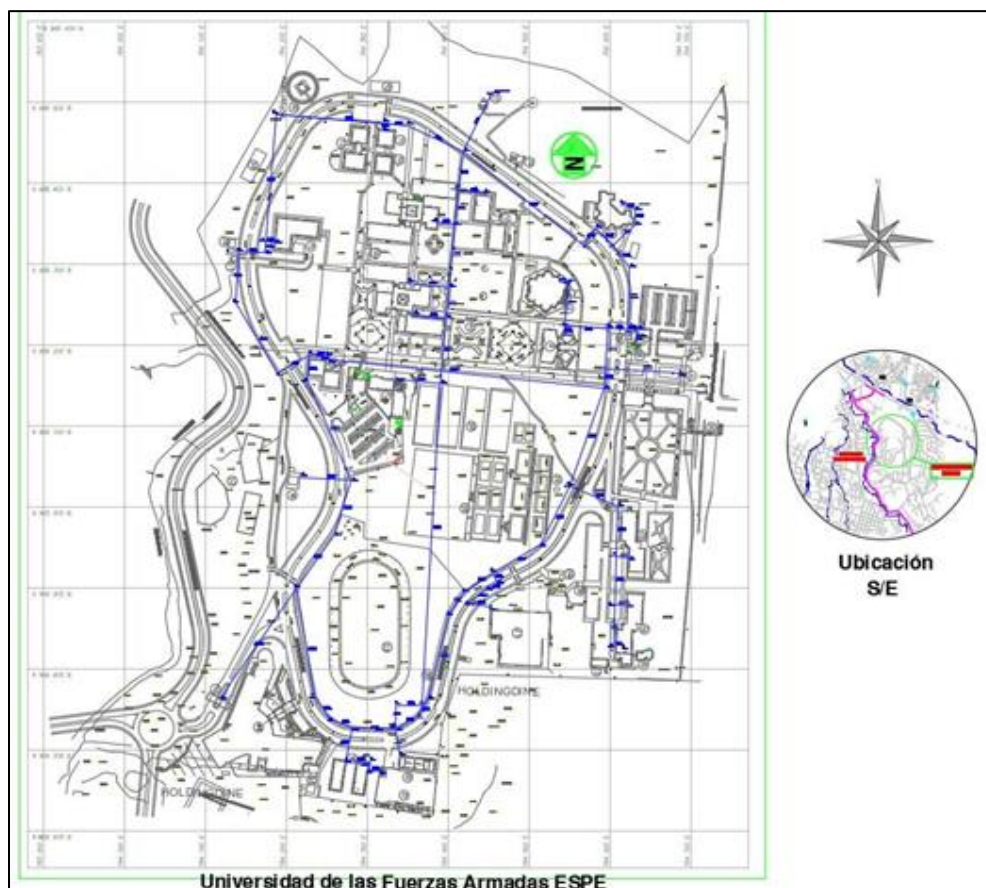
*Nota.* Ubicación del edificio administrativo dentro de la ESPE. Tomado de *Mapa georreferenciado de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*, por Carrera, 2022, UFAESPE.

### Delimitación del área de estudio

El estudio del proyecto se enfoca en el consumo de agua potable y saneamiento, debido a esto se realizó el análisis de la cantidad de consumo de agua potable desde la cisterna, la cual se encuentra aproximadamente a 250 m al norte del edificio administrativo, abastece a todo el campus universitario. Para la red de saneamiento de la universidad se plantearon puntos de control estratégicos, en las salidas al alcantarillado público de la universidad, los mismos que se encuentran ubicados dentro del predio universitario.

### Figura 5

*Red general de agua potable de la ESPE*

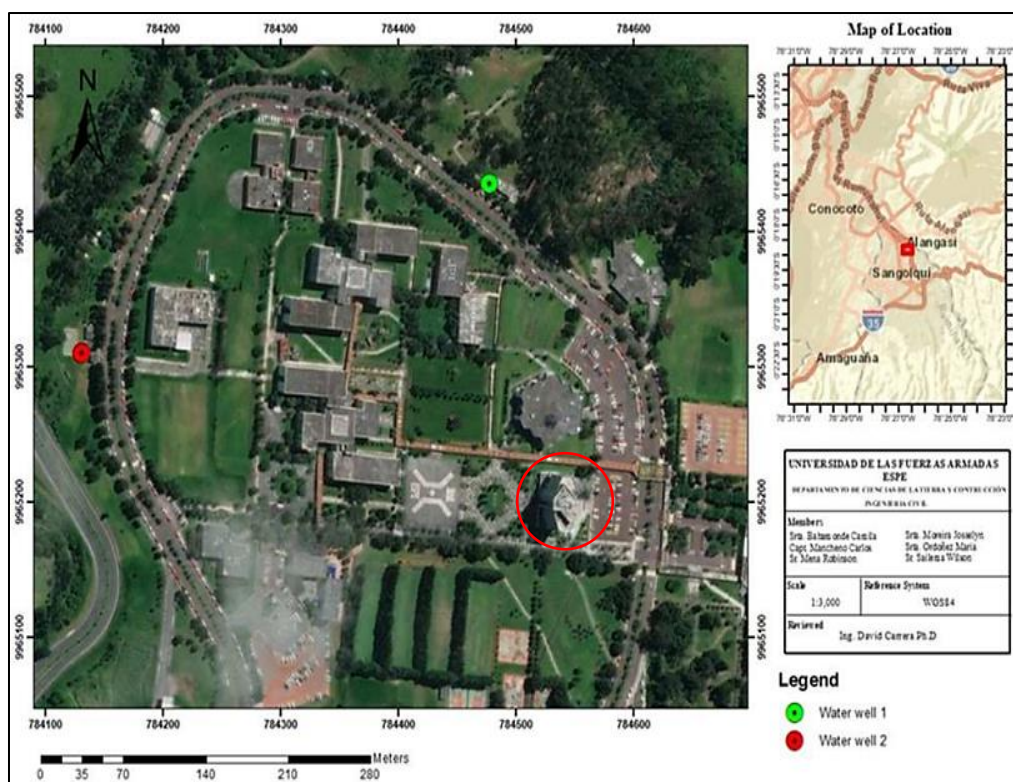


*Nota.* Ubicación del edificio administrativo dentro de la ESPE. Tomado de *Mapa georreferenciado de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*, por Carrera, 2022, UFAESPE.

El estudio también se enfocó en el edificio administrativo de la ESPE, el cual posee un subsuelo, una planta baja, un mezzanine y 6 niveles, alberga cerca de 500 personas entre ellos se destacan el personal administrativo y autoridades institucionales que se encargan de la administración de la universidad. En la Figura 6 se presenta el mapa georreferenciado de la ESPE con la ubicación del edificio administrativo.

**Figura 6**

*Mapa georreferenciado de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y ubicación del edificio administrativo.*



*Nota.* Ubicación del edificio administrativo dentro de la ESPE. Tomado de *Mapa georreferenciado de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*, por Carrera, 2022, UFAESPE.

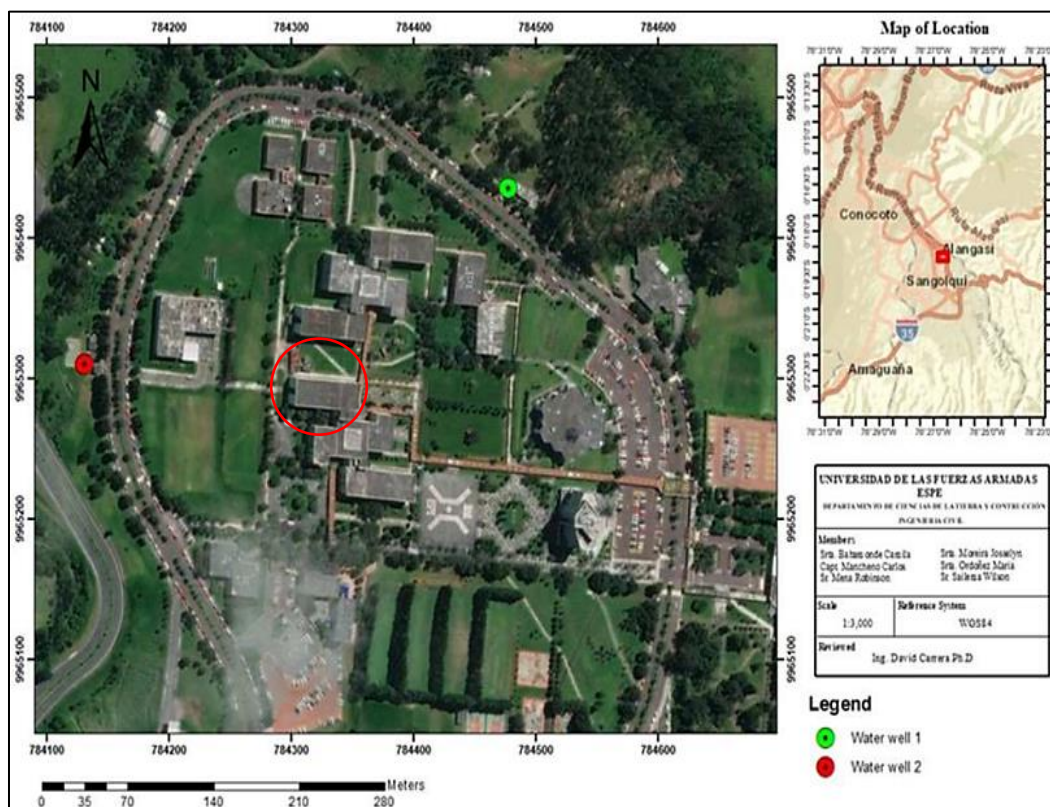
En el bloque B también se realizó la distinción del consumo de agua potable debido a la gran cantidad de docentes, estudiantes y personal código de trabajo en relación con el resto de infraestructura, debido a que en estos bloques existen mayor concurrencia de usuarios a las



instalaciones puesto que se dan cátedras de las carreras CADM, CHUM, CVAD y Técnicas. En la Figura 7 se muestra la ubicación del bloque B en el mapa georreferenciado de la ESPE.

### Figura 7

*Mapa georreferenciado de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y ubicación del bloque B*



*Nota.* Ubicación del edificio administrativo dentro de la ESPE. Tomado de *Mapa georreferenciado de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*, por Carrera, 2022, UFAESPE.

### Población actual

Para determinar la población de estudiantes se realizó el memorando ESPE-CICIV-2022-0379-M (Aldás, 2022) dirigido hacia la Unidad de Admisión y Registro mediante el cual se logró obtener el número de estudiantes de nivelación y carrera que se encuentran de manera presencial en el Campus ESPE Matriz Sangolquí en el periodo NOV22-MAR23, la información

tomada de los estudiantes de carrera se reflejan en la Tabla 4 de la misma manera el número de estudiantes de nivelación se muestra en la Tabla 5. La población total de estudiantes resulta en 9784.

**Tabla 4**

*Población de estudiantes de pregrado NOV 2022 – MAR 2023*

PERIODO	NOV2022-MAR2023	
	CARRERAS TERCER NIVEL	
	MODALIDAD DE EDUCACIÓN PRESENCIAL Y DUAL	
CÓDIGO	CAMPUS SANGOLQUÍ	Alumnos
1	[PRES] BIOTECNOLOGIA (J)	611
2	[PRES] COMERCIO EXTERIOR (J)	591
3	[PRES] EDUCACION INICIAL (J)	518
4	[PRES] ELEC AUTOMATIZA CONTROL	41
5	[PRES] ELEC TELECOMUNICACIONES	28
6	[PRES] GEOGRAFICA MEDIO AMBI	21
7	[PRES] MECANICA (J)	453
8	[PRES] MERCADOTECNIA (J)	514
9	[PRES] SISTEMAS E INFORMATICA	3
10	[PRES] SOFTWARE (J)	420
11	[PRES] TECNOLOGIAS INFOR (J)	399
12	[PRES] TURISMO (J)	389
13	[PRES]ADMIN. DE EMPRESAS (J)	503
14	[PRES]CONTAB. Y AUDITORIA (J)	719
15	[PRES]ELECTRONICA Y AUTOMAT(J)	417
16	[PRES]INGENIERIA CIVIL (J)	518
17	[PRES]MECATRONICA (J)	739
18	[PRES]MEDICINA (R)	139
19	[PRES]PEDAGOGIA ACTIV. FISI(J)	528
20	[PRES]TECNOLOGIAS GEOESPACI(J)	229
21	[PRES]TELECOMUNICACIONES (J)	415
<b>TOTAL</b>		<b>8195</b>

*Nota.* Ubicación del edificio administrativo dentro de la ESPE. Tomado de *Mapa*

*georreferenciado de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*, por Carrera, 2022,

UFAESPE.

**Tabla 5***Número de estudiantes de nivelación*

		<b>JUN2021-</b>	
<b>PERIODO</b>		<b>SEP2021</b>	<b>NOV2022-MAR2023</b>
<b>CARRERAS DE TERCER NIVEL</b>			
<b>CÓDIGO</b>	<b>SANGOLQUÍ</b>	<b>No. Alumnos</b>	<b>No. Alumnos</b>
	CARRERAS CADM	326	411
	CARRERAS CHUM	198	234
	CARRERAS CVAD	77	55
	CARRERAS TÉCNICAS	777	890
<b>TOTAL</b>		<b>1378</b>	<b>1590</b>

*Nota.* Ubicación del edificio administrativo dentro de la ESPE. Tomado de *Mapa georreferenciado de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*, por Carrera, 2022, UFAESPE.

Se determinó la población de trabajadores del Campus ESPE Matriz Sangolquí mediante el memorando ESPE-DCTC-2023-0350-M (Carrera-Villacrés, 2023) dirigido hacia el Tcrn. EMT. Avc. Edixon Rodrigo Pacheco Cabrera. Mgtr. Director de la Unidad de Talento Humano, específicamente se obtuvo el número de personal administrativo, Docente y de trabajo necesarios para determinar la dotación real de la UFA ESPE. El total de empleados en los años 2021, 2022, 2023 como se indica en la Tabla 6.



**Tabla 6**

*Población de trabajadores, administrativos y docentes en los últimos 3 años*

<b>Año</b>	<b>2021</b>	<b>2022-2023</b>
Tipo	No. empleados	
Personal administrativo	508	330
Personal docente	1116	978
Personal código trabajo	110	96
<b>TOTAL</b>	<b>1734</b>	<b>1404</b>

*Nota.* Ubicación del edificio administrativo dentro de la ESPE. Tomado de *Mapa georreferenciado de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*, por Carrera, 2022, UFAESPE.

El aforo de estudiantes y trabajadores en los periodos analizados 2022-2023 para identificar la diferencia entre las personas que alberga el campus universitario y en base a la población determinar el consumo de agua y comparar con el consumo del año 2021 (Aldás, 2022).

### **Arquitectura IoT**

Se implementó en 2021 un sensor IoT el cual es capaz de medir mediante la lectura de pulsos el volumen de agua que fluye a través de un punto por una tubería de agua potable; en base a un medidor de control de flujo de agua que se refleja en una pantalla LCD o controlador cuantitativo de líquido y la programación para emitir datos a la nube y una plataforma que reciba estos datos y los refleje en cualquier dispositivo inteligente conectado a internet.

Anteriormente se tenía únicamente un dispositivo IoT instalado en el edificio administrativo sin embargo se implementó otro dispositivo IoT similar con la ayuda de los estudiantes de la asignatura de Instalaciones en Edificios Inteligentes a cargo del Ing. David Carrera PhD. para determinar la cantidad de agua que pasa por un punto de la red de agua en el bloque B; con acceso a internet y sincronizado con una plataforma en línea

<https://thingSpeak/>, adicionalmente se verificó el estado de las tuberías de los bloques A-B, C-

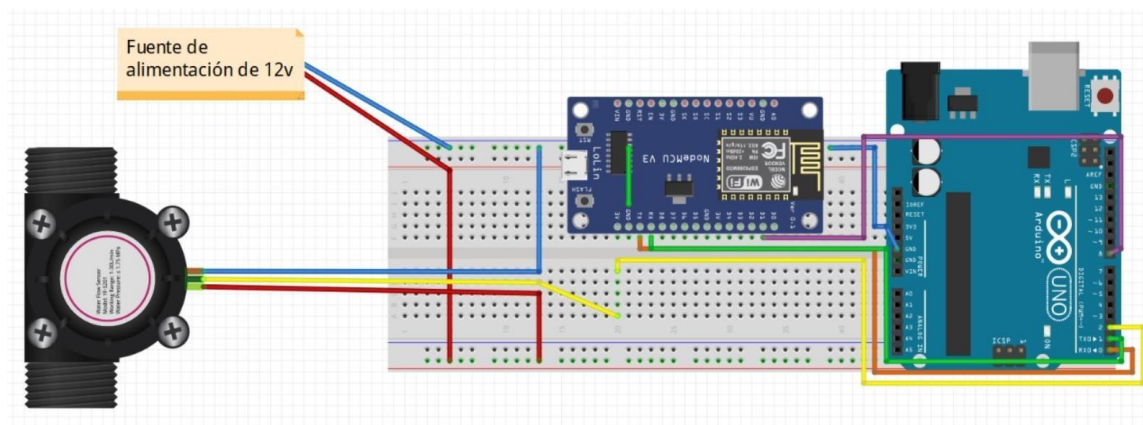
D, y también la disponibilidad de la red Wi-Fi para que los datos enviados a la nube no se pierdan en caso de una deficiente señal, y finalmente se verifico el diámetro para que se diseñó con todas las acotaciones técnicas solicitadas.

El caudalímetro viene instalado con placas Arduino que recepta las señales del sensor de flujo que son pulsos que posteriormente se la placa los interpreta como datos de volumen de agua en minutos y un caudal acumulado, la programación NODEMCU es la que sirve como puente de comunicación para enviar los datos tomados en la placa Arduino a la plataforma destino en donde finalmente se puede visualizar los datos del sensor IoT.

El esquema físico del sensor de flujo ubicado en el edificio administrativo es el que se muestra en la Figura 6, de una manera similar se tiene otro sensor de flujo.

### Figura 8

*Esquema físico entre del caudalímetro IoT.*



*Nota.* Ubicación del edificio administrativo dentro de la ESPE. Tomado de *Mapa georreferenciado de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*, por Carrera, 2022, UFAESPE.

### Levantamiento del Catastro Hidrosanitario

De la extensión del campus con cada uno de sus edificios fueron la base para realizar el levantamiento de información *in-situ* de las redes de agua potable y sanitaria de la ESPE, se

realizó el seguimiento de ambos sistemas y se plasmó en formato CAD la información del catastro Hidrosanitario. El levantamiento catastral de las redes interiores de los edificios, posteriormente se realizó la unión de todos los planos levantados para obtener el catastro hidrosanitario de toda la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE (Carrera-Villacrés, 2021).

Se indica en la Tabla 7 las edificaciones que poseen agua potable y sanitaria, la Figura 9 muestra el plano de ubicación de estas edificaciones.

**Tabla 7**

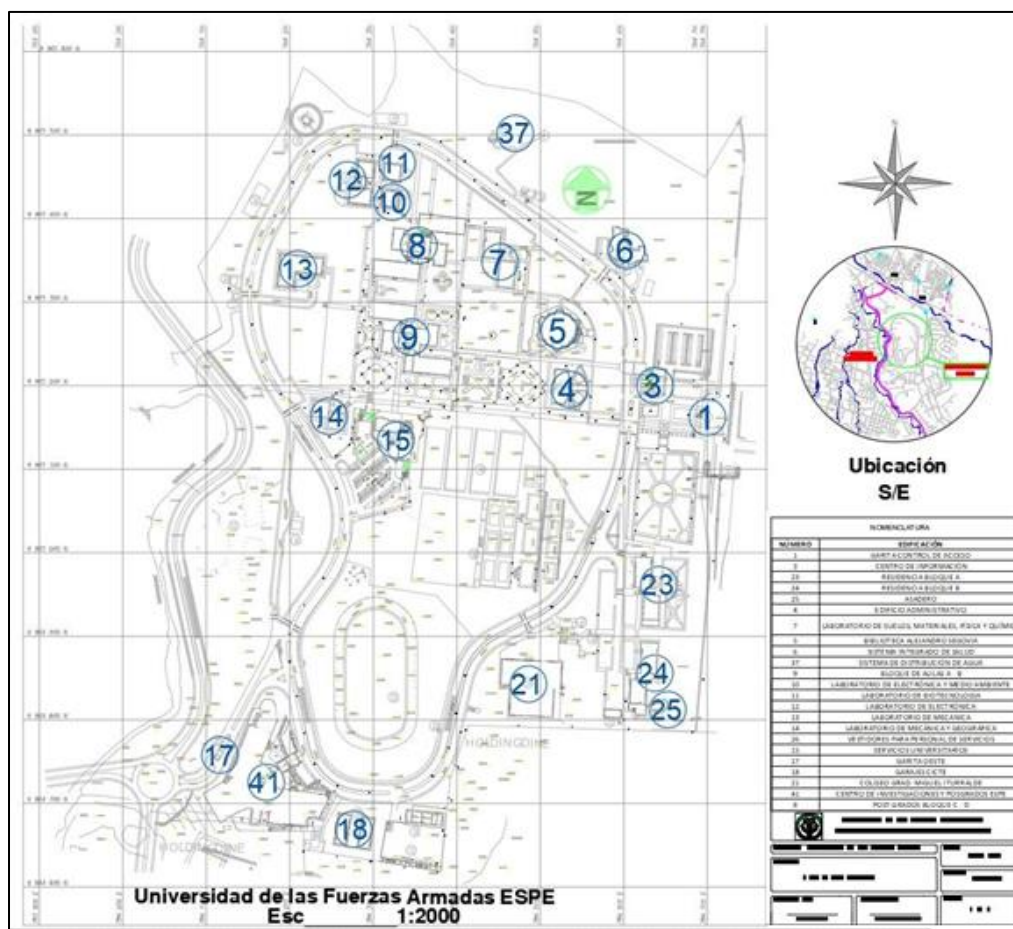
*Edificios de la ESPE Matriz Sangolquí que poseen agua potable y saneamiento*

<b>GARITA CONTROL DE ACCESO</b>	
3	CENTRO DE INFORMACIÓN
23	RESIDENCIA BLOQUE A
24	RESIDENCIA BLOQUE B
25	ASADERO
4	EDIFICIO ADMINISTRATIVO
7	LABORATORIO DE SUELOS, MATERIALES, FÍSICA Y QUÍMICA
5	BIBLIOTECA ALEJANDRO SEGOVIA
6	SISTEMA INTEGRADO DE SALUD
37	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA
9	BLOQUE DE AULAS A - B
10	LABORATORIO DE ELECTRÓNICA Y MEDIO AMBIENTE
11	LABORATORIO DE BIOTECNOLOGÍA
12	LABORATORIO DE ELECTRÓNICA
13	LABORATORIO DE MECÁNICA
14	LABORATORIO DE MECÁNICA Y GEOGRÁFICA
26	VESTIDORES PARA PERSONAL DE SERVICIOS
15	SERVICIOS UNIVERSITARIOS
17	GARITA OESTE
18	GARAJES CICTE
21	COLISEO GRAD. MIGUEL ITURRALDE
41	CENTRO DE INVESTIGACIONES Y POSGRADOS ESPE
8	POST GRADOS BLOQUE C - D

*Nota.* Ubicación del edificio administrativo dentro de la ESPE. Tomado de *Mapa georreferenciado de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*, por Carrera, 2022, UFAESPE.

Figura 9

Mapa de ubicación de los edificios levantados en el 2021.



Nota. Ubicación del edificio administrativo dentro de la ESPE. Tomado de *Mapa georreferenciado de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*, por Carrera, 2022, UFAESPE.

### Instalación del caudalímetro IoT

Gracias a la instalación de sensores IoT con acceso a internet y sincronizado con una plataforma en línea <https://thingSpeak/> y <http://thinger.io/> para la instalación de este caudalímetro IoT, se verificó el estado de las tuberías de los bloques A-B, C-D, y también la disponibilidad de la red Wi-Fi para que los datos enviados a la nube no se pierdan en caso de una deficiente señal, y finalmente se verificó el diámetro para que se diseñó con todas las acotaciones técnicas solicitadas.

**Figura 10**

*Instalación del segundo caudalímetro IoT en el bloque B*

**Procesamiento de series temporales**

Para el procesamiento de series temporales de los datos presentados por el caudalímetro IoT se depuró los datos excedentes y los que tenían el valor de cero debido a que distorsionan los resultados, para el análisis se cambió los datos de l/min a l/hora con la ayuda de funciones de Excel con un rango muy amplio de datos, desde julio de 2021 a enero de 2023. Para el procesamiento se utilizó el software RStudio V4.2.2.

Para determinar si la serie es estacionario, no estacionaria y/o caótica se utilizaron regresiones lineales, mapas de recurrencia mediante la ayuda de librerías nativas de RStudio.

Los datos que se ingresaron desde una tabla Excel al software RStudio organizados como en la Figura 11.

**Figura 11**

Captura de la tabla Excel para procesar las series temporales.

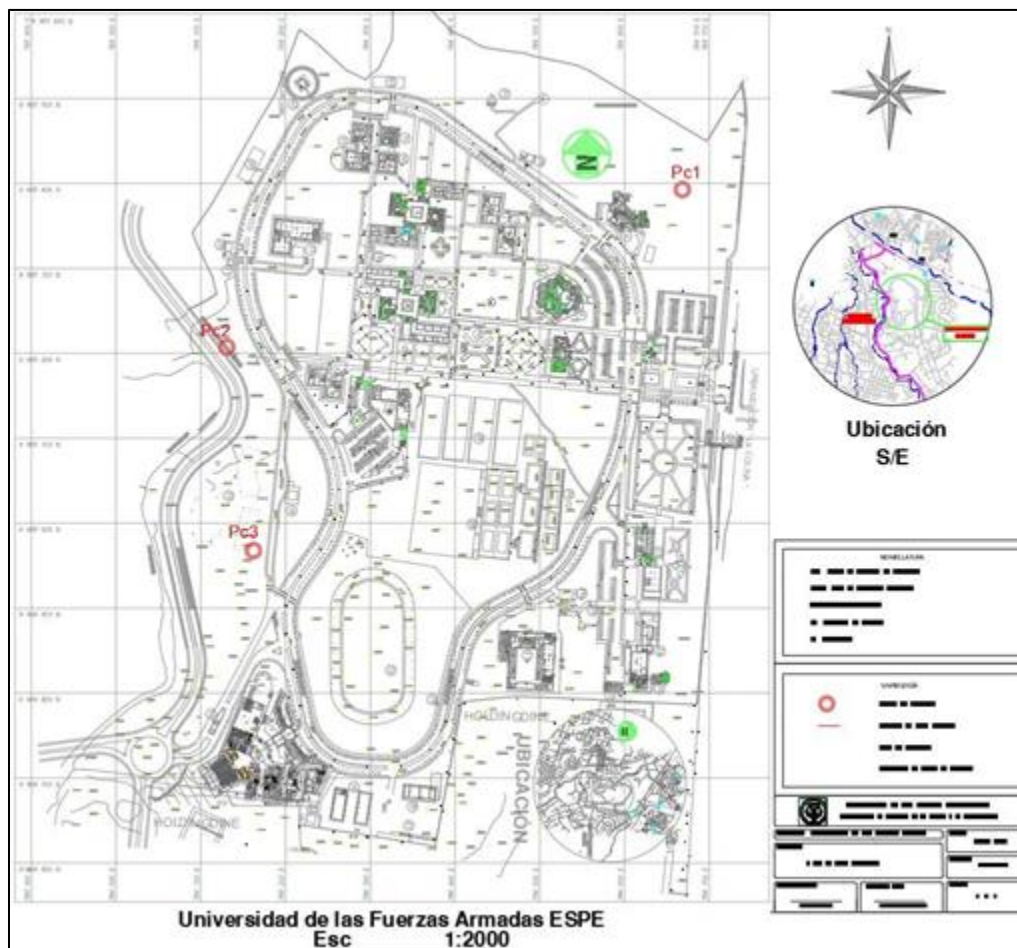
	A	B	C
1	ts	Qhora	hora
2	2021-07-26T17:59:08,422Z	33,192	17
3	2021-07-26T18:59:17,053Z	79,998	18
4	2021-07-26T19:58:16,807Z	54,987	19
5	2021-07-26T20:55:16,811Z	67,093	20
6	2021-07-26T21:52:16,882Z	40,992	21
7	2021-07-26T22:46:16,827Z	13,499	22
8	2021-07-26T23:57:16,837Z	5,499	23
9	2021-07-27T00:29:16,841Z	4,199	0
10	2021-07-27T01:27:16,850Z	0,2	1
11	2021-07-27T04:53:37,159Z	0,1	4
12	2021-07-27T06:23:36,825Z	1,1	6
13	2021-07-27T09:56:36,854Z	1,4	9
14	2021-07-27T10:16:36,965Z	0,2	10
15	2021-07-27T11:58:36,872Z	20,896	11
16	2021-07-27T12:55:41,027Z	17,596	12
17	2021-07-27T13:59:37,243Z	66,842	13
18	2021-07-27T14:58:37,066Z	61,491	14
19	2021-07-27T15:57:36,902Z	65,89	15
20	2021-07-27T16:44:37,105Z	62,593	16
21	2021-07-27T17:59:18,130Z	61,288	17
22	2021-07-27T18:59:18,110Z	93,79	18
23	2021-07-27T19:59:19,119Z	27,992	19

### **Campañas de medición de agua potable y sanitaria.**

Existen tres salidas hacia el alcantarillado público como se muestran en la Figura 12, estos puntos están ubicados en el predio de la universidad, en donde con el uso de un flexómetro se verificó el tirante del agua, el estado de la tubería y el material de la tubería, al destapar las cajas de revisión. Se midieron los tirantes en 4 horarios diferentes, como son 7h20, 13h05, 13h55 y 16h05 en un periodo de 5 días.

**Figura 12**

*Puntos de control de agua residual*



*Nota.* Ubicación del edificio administrativo dentro de la ESPE. Tomado de *Mapa georreferenciado de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*, por Carrera, 2022, UFAESPE.



**Figura 13**

*Medición en el punto de control 1*

**Figura 14**

*Medición en el punto de control 2*





**Figura 15**

*Medición en el punto de control 3*



Las campañas de medición de agua potable se realizaron en tres parámetros, el primer parámetro fue la medición de presiones como se muestra en la Figura 16; en puntos de control de la red de agua potable en un periodo de 5 días en todo el campus de la universidad y en los horarios de mayor consumo que son 7h20, 13h05, 13h55, 16h05. Las presiones fueron obtenidas mediante un manómetro casero, evitando fugas para obtener las lecturas con mayor precisión. Las mediciones de presión son las evidencias del estado de la red cuando se realizó la comparativa entre el estado de red de agua potable real del campus y el modelo realizado en WaterCAD.

**Figura 16**

Medición de presiones en la red de agua potable en la ESPE.

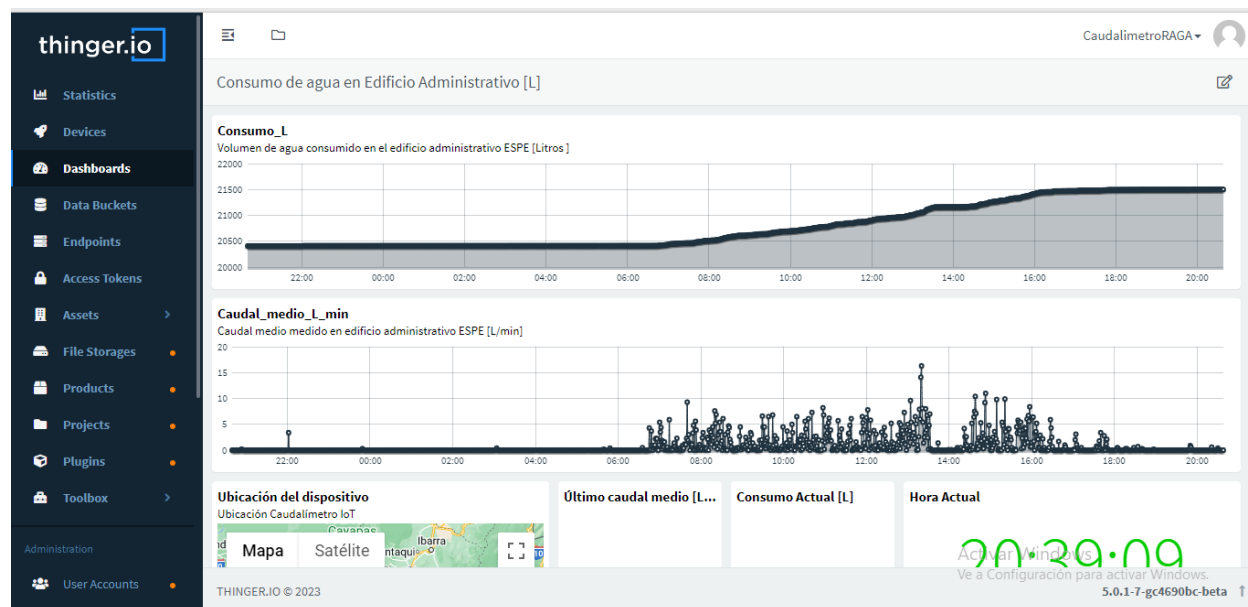


El segundo parámetro de medición fue en el inicio de la tubería interna del edificio administrativo con el uso de un caudalímetro IoT, en la plataforma se reflejan los datos de caudal cada minuto, los datos de medición se tiene desde agosto de 2021 hasta enero de 2023, los datos se depuraron de modo que se eliminen los datos atípicos del paquete para evitar desfases en los resultados. La medición del consumo de agua en el edificio administrativo se indica en la Figura 17.

Las mediciones de agua potable en el edificio administrativo es el justificante para determinar la dotación real del personal que trabaja en la instalación cuando se compare con las dotaciones establecidas por la NEC 11.

## Figura 17

*Captura de pantalla del dashboard del caudalímetro del edificio administrativo*



*Nota.* Ubicación del edificio administrativo dentro de la ESPE. Tomado de *Mapa georreferenciado de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*, por Carrera, 2022, UFAESPE.

Como tercer parámetro se obtuvo el nivel de consumo en la cisterna para determinar el volumen de agua en un día de máximo consumo en un periodo de 24 horas, las mediciones se realizaron con un flexómetro como se indica en la Figura 18 tomando la altura del agua de la cisterna cada hora, teniendo en cuenta que la sección de la cisterna es de 9,00 m x 9,00 m y por 3 m de alto, para determinar la diferencia de alturas entre cada hora.

Con la finalidad de verificar pérdidas en el sistema de agua potable se observaron las alturas del nivel de agua en horas de madrugada que en teoría no existe consumo y la altura de la cisterna debe ser constante.

### **Figura 18**

*Medición del nivel de agua en la cisterna que abastece a toda la universidad.*



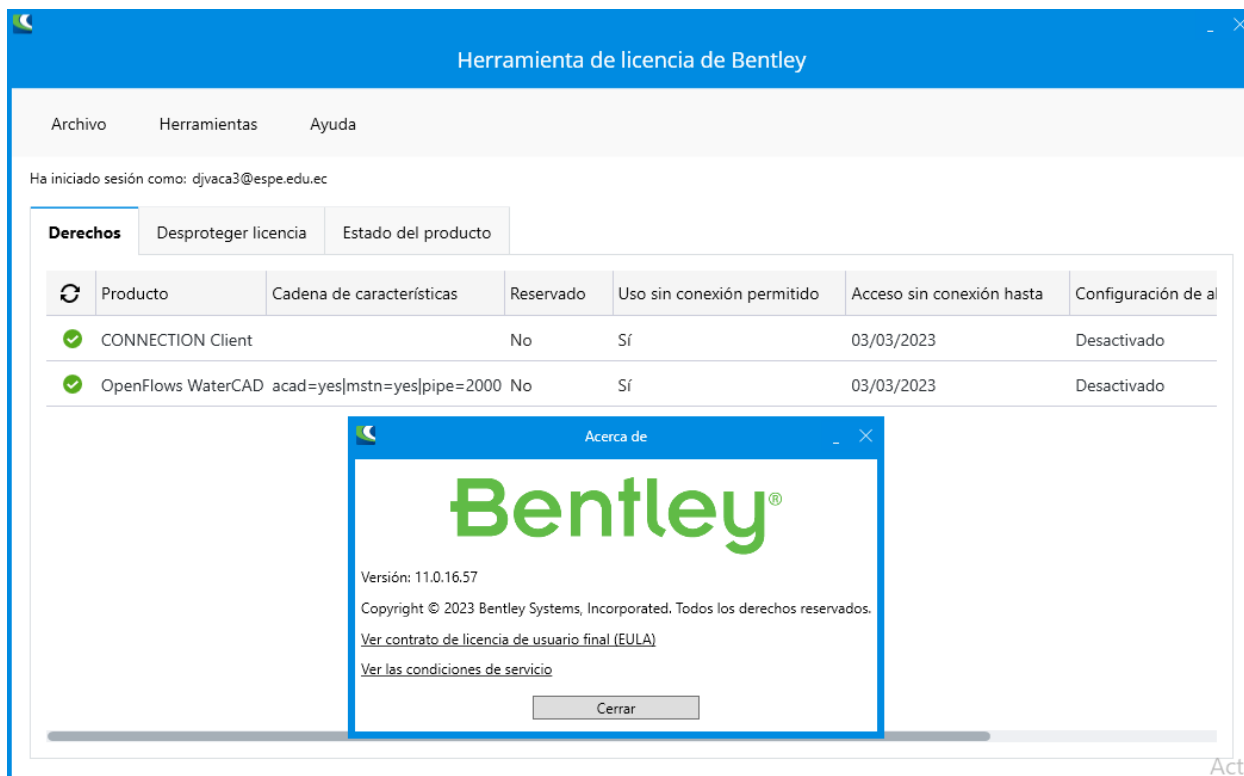
## **Modelación de la red de agua potable de la ESPE**

### ***Modelación en régimen permanente***

Para la modelación de la red de agua potable de la ESPE en régimen permanente se utilizó el software WaterCAD V10.04 con licencia académica como se indica en la Figura 19.

Figura 19

Licencia académica de WaterCAD.



Debido a las limitantes de la licencia académica de WaterCAD se utilizaron los puntos críticos o los nodos de control del sistema que abastece a la ESPE de tal manera que se simplificó su estudio teniendo en cuenta los nodos de consumo como los nodos que unen a las tuberías sin demanda base.

La dotación para universidades se encuentra entre 40 y 60 l/estudiante/día y oficinas entre 50 y 90 l/persona/día, para definir las dotaciones por edificios se define el número de trabajadores o estudiantes que alberga cada edificación para determinar el consumo diario de cada edificio y finalmente asociar a los nodos del modelo como se muestra en la Tabla 8. Y en la Tabla 9 se muestra las coordenadas de cada nodo, su población en personal administrativo y estudiantes y la dotación en l/día y l/s.

**Tabla 8**

Consumo de edificaciones en relación a la población que alberga.

EDIFICIO	Ing. Alberto Garcés			Autores		
	Estudiantes	Trabajadores	Dotación (l/día)	Estudiantes	Trabajadores	Dotación (l/día)
Bloque A-B	3262	691	266750	2568	552	45552
Bloque C-D	4316	262	255100	3398	209	52662
Laboratorio idiomas/suelos	487	66	34250	383	53	6366
Laboratorio electrónico/biotecnología	640	81	44150	504	65	8307
Laboratorio geográfico/mecánica	480	45	30750	378	36	6044
Laboratorio mecánico	400	40	26000	315	32	5066
Bar/Almacén/Serv. Univ./ Salón 2000	450	72	33300	354	57	6001
Coliseo/CAFDER	1315	63	75200	1035	50	15841
Biblioteca	688	17	36950	542	14	8118
Policlínico	70	24	7100	56	19	1095
Edificio administrativo	0	235	35250	0	187	2730
Transportes/CICTE	0	70	10500	0	56	818
Garitas y bodegas	0	25	3750	0	20	292
Residencia/comedor	320	68	63700	252	54	4468
<b>Total</b>	<b>12428</b>	<b>1759</b>	<b>922750</b>	<b>9785</b>	<b>1404</b>	<b>163359</b>

**Características de los nodos para el ingreso al modelo en WaterCAD**

PTO	COTA (MSNM)	COORD X	COORD Y	ESTUDIANTES	ADMIN	DOT [l/día]	DOT [l/s]
R-1	2518,74	784.463,25	9.965.737,81				
P01	2494,14	784.427,84	9.965.665,28	0	0	0	0,000
P02	2492,89	784.329,80	9.965.699,76	504	65	8307,4	0,096
P03	2498,64	784.196,74	9.965.711,15	0	0	0	0,000
P04	2482,31	784.183,86	9.965.554,14	315	32	5066,2	0,059
P05	2475,68	784.198,30	9.965.391,33	0	0	0	0,000
P06	2482,68	784.237,65	9.965.413,69	378	36	6044,4	0,070
P07	2481,78	784.289,24	9.965.259,43	0	8	116,8	0,001
P08	2487	784.221,99	9.965.126,12	0	0	0	0,000
P09	2491,03	784.290,67	9.964.953,28	0	0	0	0,000
P10	2494,86	784.326,74	9.964.899,34	0	56	817,6	0,009
P11	2502,03	784.462,60	9.965.102,52	1036	50	15855,6	0,184
P12	2500,86	784.559,59	9.965.252,27	0	0	0	0,000

PTO	COTA (MSNM)	COORD X	COORD Y	ESTUDIANTES	ADMIN	DOT [l/día]	DOT [l/s]
P13	2495,32	784.613,68	9.965.054,22	252	54	4467,6	0,052
P14	2487,7	784.630,91	9.965.445,82	0	8	116,8	0,001
P15	2489,75	784.553,01	9.965.449,96	542	201	10847,8	0,126
P16	2485,06	784.591,62	9.965.569,79	55	19	1080,4	0,013
P17	2493,17	784.416,98	9.965.575,31	3781	262	59027,8	0,683
P18	2490,82	784.406,29	9.965.458,84	2922	609	51552,6	0,597
P19	2493,64	784.376,90	9.964.981,02	0	0	0	0,000
P20	2485,56	784.127,30	9.964.989,95	0	4	58,4	0,001
<b>Total</b>						<b>163359,4</b>	<b>1,891</b>

### **Modelación en régimen no permanente**

Para el régimen no permanente se utilizaron los multiplicadores de la Tabla 15 debido a la variabilidad del caudal a lo largo del día con el fin de comparar el gasto en los nodos.

Este estudio permite simular lo más aproximado a la realidad el flujo del agua en el sistema de la universidad se revisó el comportamiento hidráulico y el tamaño de los tanques.

Para realizar la modelación en régimen no permanente, es necesario considerar la variación de la demanda en el transcurso del día. A partir de la medición de las presiones en la red, la demanda horaria se puede establecer con la relación entre el gasto instantáneo  $q$  y el gasto promedio  $q_{med}$ . Los coeficientes obtenidos para comunidades pequeñas se mostraron anteriormente en la Tabla 1 (Comisión Nacional del Agua, 2019).

**Tabla 9**

*Coefficientes de variación horaria en pequeñas comunidades*

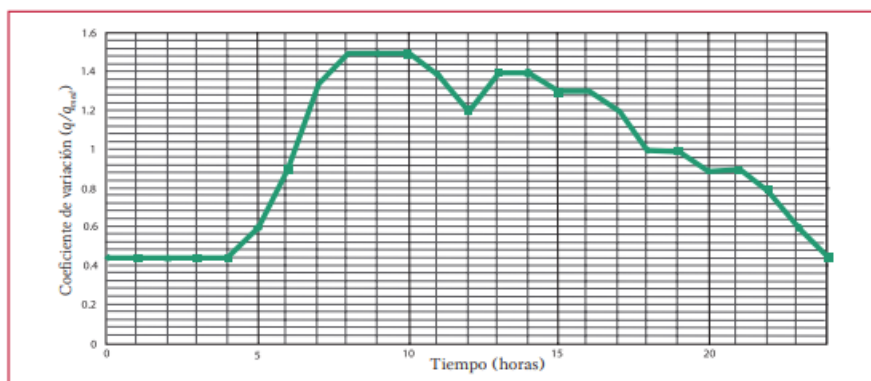
t(h)	qmed	t(h)	qmed
0	0,45	12	1,20
1	0,45	13	1,40
2	0,45	14	1,40
3	0,45	15	1,30
4	0,45	16	1,30
5	0,60	17	1,20

t(h)	qmed	t(h)	qmed
6	0,90	18	1,00
7	1,35	19	1,00
8	1,50	20	0,90
9	1,50	21	0,90
10	1,50	22	0,80
11	1,40	23	0,60

*Nota.* Esta tabla contiene los coeficientes de gastos en un tiempo determinado medido en horas recuperado de (Comisión Nacional del Agua, 2019), coeficientes de variación horaria

### Figura 20

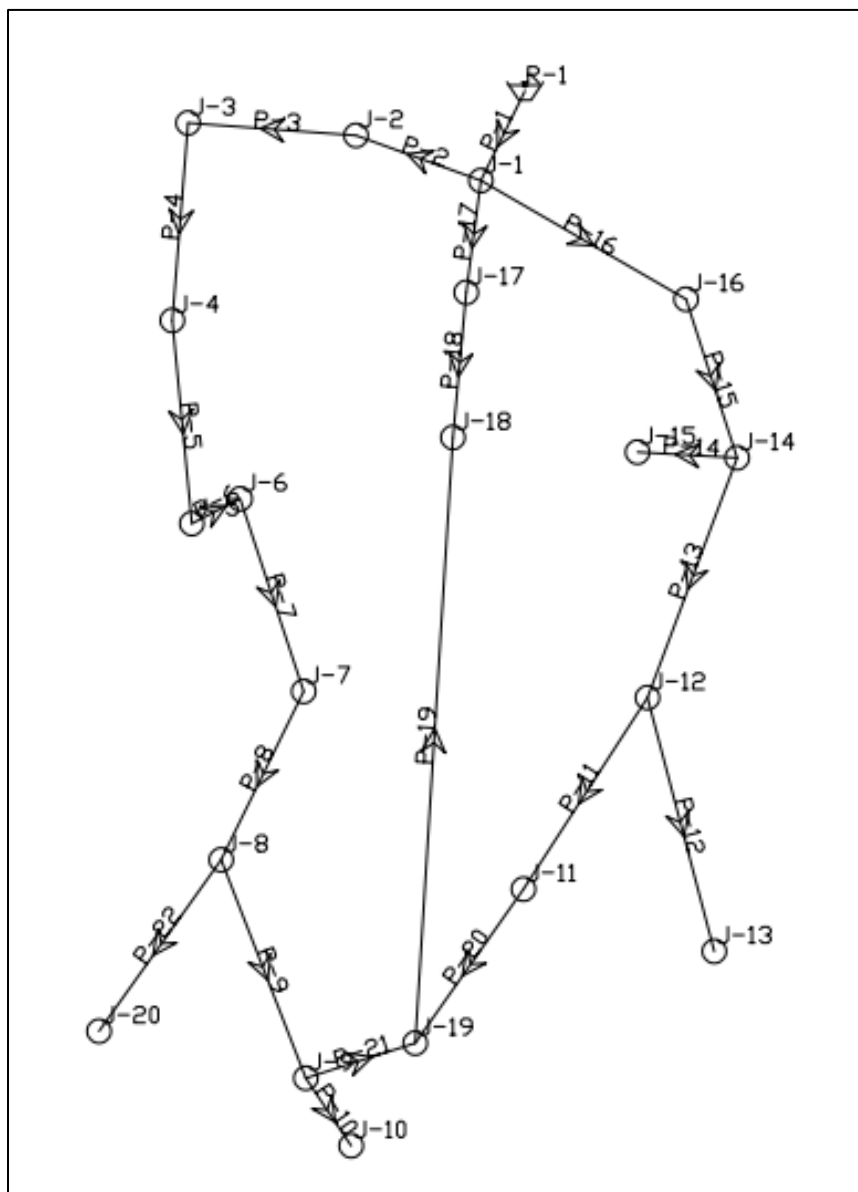
*Gráfica de coeficientes de variación*



*Nota.* La figura muestra la gráfica de coeficientes de variación horaria para pequeñas comunidades. Tomado de Comisión Nacional del Agua (2019).

**Figura 21**

*Esquema general de la red de agua potable de la ESPE*



*Nota:* Se presenta el esquema previo a la modelación de toda la red de agua potable de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

### **Modelación SewerCAD**

Para la modelación de la red de saneamiento de la universidad se planteó a través del software SewerCAD con licencia académica, y se optó por analizar las 3 redes de manera



seccionada con el objetivo de generar los 4 escenarios de comparación para cada uno siendo los siguientes:

- Caudal de diseño (Régimen Permanente)
- Caudal máximo instantáneo
- Caudal mínimo
- Comparación de los 3 escenarios anteriores (Régimen No Permanente)

### ***Caudal de diseño (Régimen Permanente) Red sanitaria 1***

Para la modelación del primer escenario en SewerCAD se ocupa el caudal de diseño:

$$Q = Q_{max.inst.} + Q_{inf} + Q_{ilc}$$

Por lo tanto, se continua con el procedimiento de calcular el caudal medio diario  $Q_{md}$

$$Q_{md} = Q_{as} + Q_c + Q_i + Q_{ins}$$

$$Q_{as} = \frac{Dot * P * C}{86400}$$

Para  $A_p$  Aportación de aguas residuales por día (l/hab) y  $P$  el número de habitantes:

Tomando la población y dotación biblioteca y policlínico

$$Población = 542 + 14 + 56 + 19 = 631 \text{ habitantes}$$

$$Dotación \text{ parcial} = 8118 + 1095 = 9213 \text{ l/día}$$

$$Dotación = \frac{9213}{631} = 14,6 \frac{l}{hab} / día$$

**Tabla 10**

Coeficientes de retorno de aguas servidas domésticas

TABLA N° 4.2.3.1 COEFICIENTES DE RETORNO DE AGUAS SERVIDAS DOMÉSTICAS	
Nivel de complejidad del sistema	Coefficientes de retorno
Bajo y medio	0,7 - 0,8
Medio alto y alto	0,8 - 0,85

$$Q_{as} = \frac{Dot * P * C}{86400}$$

$$Q_{as} = \frac{14,6 * 631 * 0,7}{86400}$$

$$Q_{as} = 0,07 \left( \frac{l}{s} \right)$$

Para aporte de caudal de institucionales según EMAAP se debe tomar el coeficiente de la siguiente Tabla 12:

**Tabla 11**

*Tabla de aportes de infiltración EMAAP*

TABLA N° 4.2.3.4 CONTRIBUCIÓN INSTITUCIONAL MÍNIMA EN ZONAS RESIDENCIALES	
Nivel de complejidad del sistema	Contribución institucional (l/s-ha-Inst.)
Cualquiera	0,4 - 0,5

$$0,45 * 2,38 \text{ ha} = 1,07 \text{ l/s}$$

Para caudal de infiltración según EMAAP:

**Tabla 12**

*Tabla de aportes de infiltración EMAAP*

TABLA N° 4.2.3-7			
Nivel de complejidad del sistema	Infiltración alta (l/s-ha)	Infiltración media (l/s-ha)	Infiltración baja (l/s-ha)
Bajo y medio	0,1 - 0,3	0,1 - 0,3	0,05 - 0,2
Medio alto y alto	0,15 - 0,4	0,1 - 0,3	0,05 - 0,2

(\*) Puede ser definido por la empresa prestadora del servicio

Si se tiene un área de aportación para la red 1 de 2,38 ha y un nivel de complejidad bajo con una infiltración baja

$$0,2 * 2,38 \text{ ha} = 0,48 \text{ l/s}$$

Para el caudal medio de aguas residuales domésticas en la red sanitaria que abastece le biblioteca y el policlínico:

$$Q_{md} = Q_{as} + Q_c + Q_i + Q_{ins}$$

$$Q_{md} = 0,07 + 0 + 0 + 1,07$$

$$Q_{md} = 1,14$$

*fM: Factor de mayoración*

Según Harmon:

Como la población es menor que 1000 habitantes el coeficiente M es:

$$M = 3,8$$

$$Q_{max.inst.} = \text{Factor Mayoracion} * Q_{md}$$

$$Q_{max.inst.} = 3,8 * 1,14$$

$$Q_{max.inst.} = 4,33 \text{ l/s}$$

Y finalmente para el caudal de conexiones erradas se toma el valor nulo puesto que el sistema es cerrado, controlado y únicamente abastece a la Universidad

$$Q_{iic} = 0 \frac{l}{hab * día}$$

O

**Tabla 13**

*Aportes para conexiones erradas*

TABLA N° 4.2.3.6 APORTES MÁXIMOS POR DRENAJE DOMICILIARIO DE AGUAS LLUVIAS SIN SISTEMA PLUVIAL	
Nivel de complejidad del sistema	Aporte (l/s-ha)
Bajo y medio	4 - 20 (*)
Medio alto y alto	2 - 20 (*)
(*) Debe disponerse de sistema pluvial o combinado a mediano plazo	

Obteniendo el caudal de diseño para toda la red:

$$Q = Q_{max.inst.} + Q_{inf} + Q_{iic}$$

$$Q_{diseño} = 4,33 + 0,48 + 0$$

$$Q_{diseño} = 4,81 \text{ l/s}$$

### **Caudal máximo instantáneo Red sanitaria 1**

Para la modelación del segundo escenario en SewerCAD

$$Q_{max.inst.} = M * Q_{med}$$

$$M = 3,8$$

Como la población es menor que 1000 habitantes el coeficiente M es:

$$M = 3,8$$

$$Q_{max.inst.} = 3,8 * 1,14$$

$$Q_{max.inst.} = 4,33; \text{ para toda la red}$$

### **Caudal mínimo Red sanitaria 1**

Para el caudal mínimo, se considera un 50% el caudal medio diario (CONAGUA, Manual de Agua Potable, Alcantarillado Y Saneamiento, 2021). Obteniendo de esa manera el siguiente valor:

$$Q_{min} = 0,5 * Q_{med}$$

$$Q_{min} = 0,5 * 1,14 \text{ l/s}$$

$$Q_{min} = 0,57 \frac{\text{l}}{\text{s}}; \text{ para toda la red}$$

Los datos de ingreso para al programa son los mostrados en la Tabla 15 y Tabla 16:

**Tabla 14**

*Datos de ingreso al Manhole en la red 1 SewerCAD*

Edificio	ETIQUETA	COTA Terreno [msnm]	COTA tubería [msnm]	Caudal de diseño (l/s)	Caudal máx. inst. (l/s)	Caudal min (l/s)
	MH-3	2482,7	2481	0,00	0,00	0,00
	MH-4	2481,53	2480,06	0,00	0,00	0,00
	O-1	2479,88	2478,64	0,00	0,00	0,00
Policlínico	MH-5	2479,13	2478,41	0,57	0,51	0,07
	MH-2	2484,68	2482,03	0,00	0,00	0,00
Biblioteca	MH-1	2487,79	2484,89	4,24	3,82	0,50

**Tabla 15**

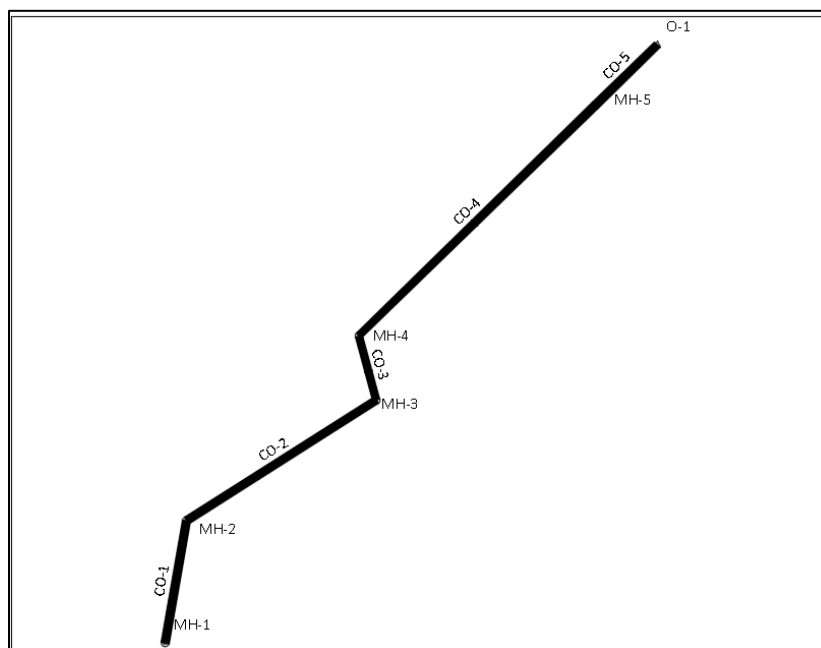
*Datos de ingreso a la tubería en la red 1 SewerCAD*

Etiqueta	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud (m)	Diámetro (cm)
CO-1	MH-1	MH-2	31,3	60
CO-2	MH-2	MH-3	56,7	60
CO-3	MH-3	MH-4	16,8	60
CO-4	MH-4	MH-5	83,25	60
CO-5	MH-5	O-1	21,85	60

Siguiendo las acotaciones presentadas en el marco teórico para el cálculo de cada uno de los escenarios como dotación total y parcial, caudales y población servida. A continuación, se presentan en la Figura 22, el modelamiento de la red de aguas residuales 1

**Figura 22**

*Modelo de la red de agua residual No. 1 en SewerCAD*



### **Caudal de diseño (Régimen Permanente) Red sanitaria 2**

Para la modelación del segundo escenario en SewerCAD se ocupa el caudal de diseño:

$$Q = Q_{max.inst.} + Q_{inf} + Q_{ilc}$$

Por lo tanto, se continua con el procedimiento de calcular el caudal medio diario  $Q_{md}$

$$Q_{md} = Q_{as} + Q_c + Q_i + Q_{ins}$$

$$Q_{as} = \frac{Dot * P * C}{86400}$$

Para  $A_p$  Aportación de aguas residuales por día (l/hab) y  $P$  el número de habitantes

Tomando la población de los edificios señalados se tiene:

$$Población = 8986 \text{ habitantes}$$

$$Dotación\ parcial = 133891 \text{ l/día}$$

$$Dotación = \frac{131196}{8986} = 14,6 \frac{l}{hab} / día$$

$$Q_{as} = \frac{14,6 * 8986 * 0,7}{86400}$$

$$Q_{as} = 1,06 \left( \frac{l}{s} \right)$$

Para aporte de caudal de institucionales tomado de la Tabla 12 presentada en el cálculo para la red sanitaria 1, si se tiene un área de aportación para la red 12 de 23,00 ha y un nivel de complejidad bajo con una infiltración media:

$$0,45 * 23 \text{ ha} = 10,35 \text{ l/s}$$

Para caudal de infiltración según EMAAP se visualiza de igual manera la Tabla 13 presentada en el cálculo de la red sanitaria 1.

$$0,2 * 23 \text{ ha} = 4,6 \text{ l/s}$$

Para el caudal medio de aguas residuales domésticas en la red sanitaria que abastece los edificios seleccionados:

$$Q_{md} = Q_{as} + Q_c + Q_i + Q_{ins}$$

$$Q_{md} = 1,08 + 0 + 0 + 10,35$$

$$Q_{md} = 11,43$$

*fM: Factor de mayoración*

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{8986}}$$

$$M = 1,14$$

$$Q_{max.inst.} = \text{Factor Mayoracion} * Q_{md}$$

$$Q_{max.inst.} = 1,14 * 11,43$$

$$Q_{max.inst.} = 13,02 \text{ l/s}$$

Y finalmente para el caudal de conexiones erradas se toma el valor nulo puesto que el sistema es cerrado, controlado y únicamente abastece a la Universidad.

$$Q_{ilic} = 0 \frac{\text{l}}{\text{hab} * \text{día}}$$

Obteniendo el caudal de diseño para toda la red:

$$Q = Q_{max.inst.} + Q_{inf} + Q_{ilc}$$

$$Q_{diseño} = 13,02 + 4,6 + 0$$

$$Q_{diseño} = 17,62 \text{ l/s}$$



### **Caudal máximo instantáneo Red sanitaria 2**

Para la modelación del segundo escenario en SewerCAD

$$Q_{max.inst.} = M * Q_{med}$$

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{8986}}$$

$$M = 1,14$$

$$Q_{max.inst.} = 1,14 * 11,43$$

$$Q_{max.inst.} = 12,57 \frac{l}{s}$$

### **Caudal mínimo Red sanitaria 2**

Para el caudal mínimo, se considera un 50% el caudal medio diario (CONAGUA, Manual de Agua Potable, Alcantarillado Y Saneamiento, 2021). Obteniendo de esa manera el siguiente valor:

$$Q_{min} = 0,5 * Q_{med}$$

$$Q_{min} = 0,5 * 11,43 \text{ l/s}$$

$$Q_{min} = 5,72 \frac{l}{s}; \text{ para toda la red}$$

Los datos de ingreso para al programa son los mostrados en la Tabla 17 y Tabla 18:

**Tabla 16**

*Datos de ingreso al Manhole en la red 2 SewerCAD*

Edificio	ETIQUET A	COTA Terreno [msnm]	COTA tubería [msnm]	Caudal de diseño (l/s)	Caudal máx. Inst. (l/s)	Caudal min (l/s)
Residencia/comedor	MH-1	2496,56	2495	0,60	0,43	0,19

Edificio	ETIQUET A	COTA Terreno [ msnm]	COTA tubería [msnm]	Caudal de diseño (l/s)	Caudal máx. Inst. (l/s)	Caudal min (l/s)
	MH-2	2495,66	2493,11	0,00	0,00	0,00
	MH-3	2495,77	2492,72	0,00	0,00	0,00
	MH-4	2495,05	2491,43	0,00	0,00	0,00
	MH-5	2490,49	2488,72	0,00	0,00	0,00
Edificio Administrativo	MH-6	2490,46	2487,76	0,37	0,26	0,12
	MH-7	2488,38	2487,08	0,00	0,00	0,00
Laboratorio idiomas/suelos	MH-8	2488,09	2486,84	0,85	0,61	0,28
	MH-9	2488,02	2485,97	0,00	0,00	0,00
	MH-10	2486,9	2485,53	0,00	0,00	0,00
Laboratorio geográfico/mecánica	MH-11	2485,52	2484,22	0,81	0,58	0,26
	MH-12	2481,33	2480,58	0,00	0,00	0,00
	MH-13	2480,08	2478,86	0,00	0,00	0,00
	MH-14	2477,25	2476,35	0,00	0,00	0,00
Bloque C-D	MH-15	2489,55	2487,54	7,07	5,05	2,30
Bloque A-B	MH-16	2487,91	2482,88	6,12	4,36	1,99
	MH-17	2484,04	2480,02	0,00	0,00	0,00
	MH-18	2476,98	2474,43	0,00	0,00	0,00
	MH-19	2475,74	2472,74	0,00	0,00	0,00
	O-1	2471,92	2470,43	0,00	0,00	0,00
Laboratorio electrónico/biotecnología	MH-21	2494,87	2493,11	1,12	0,80	0,36
	MH-22	2489,7	2487,75	0,00	0,00	0,00
Laboratorio mecánico	MH-23	2481,43	2479,63	0,68	0,49	0,22

**Tabla 17**

*Datos de ingreso a la tubería en la red 2 SewerCAD*

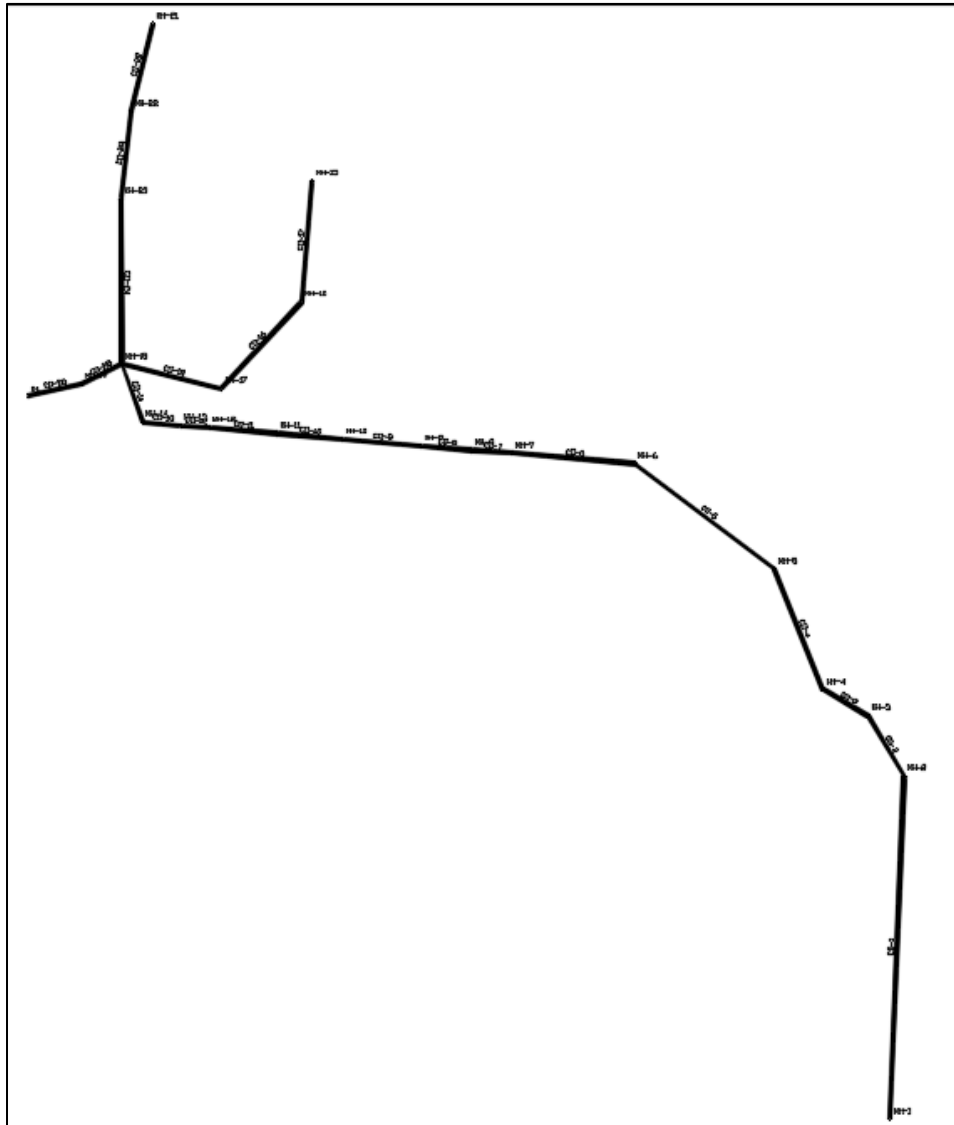
Etiqueta	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud (m)	Diámetro (cm)
CO-1	MH-1	MH-2	187,52	90
CO-2	MH-2	MH-3	38,2	90
CO-3	MH-3	MH-4	28,4	90

<b>Etiqueta</b>	<b>Nudo Inicial</b>	<b>Nudo Final</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Diámetro (cm)</b>
CO-4	MH-4	MH-5	70,8	90
CO-5	MH-5	MH-6	95,8	90
CO-6	MH-6	MH-7	67,3	90
CO-7	MH-7	MH-8	22,3	90
CO-8	MH-8	MH-9	27,8	90
CO-9	MH-9	MH-10	43,1	90
CO-10	MH-10	MH-11	35,9	90
CO-11	MH-11	MH-12	36,7	90
CO-12	MH-12	MH-13	15,6	90
CO-13	MH-13	MH-14	21,1	90
CO-14	MH-14	MH-18	33,7	90
CO-15	MH-18	MH-17	56,1	90
CO-16	MH-17	MH-16	64,3	90
CO-17	MH-16	MH-15	66,3	90
CO-22	MH-21	MH-22	49,3	90
CO-23	MH-22	MH-23	47,95	90
CO-24	MH-23	MH-18	90	90
CO-25	MH-18	MH-19	24,5	90
CO-26	MH-19	O-1	30	90

Siguiendo las acotaciones presentadas en el marco teórico para el cálculo de cada uno de los escenarios como dotación total y parcial, caudales y población servida. A continuación, se presentan en la Figura 23, el modelamiento de la red de aguas residuales 2

**Figura 23**

Modelo de la red de agua residual n°2 en SewerCAD



### **Caudal de diseño (Régimen Permanente) Red sanitaria 3**

Para la modelación del segundo escenario en SewerCAD se ocupa el caudal de diseño:

$$Q = Q_{max.inst.} + Q_{inf} + Q_{ilc}$$

Por lo tanto, se continua con el procedimiento de calcular el caudal medio diario  $Q_{md}$

$$Q_{md} = Q_{as} + Q_c + Q_i + Q_{ins}$$

$$Q_{as} = \frac{Dot * P * C}{86400}$$

Para  $A_p$  Aportación de aguas residuales por día (l/hab) y  $P$  el número de habitantes

Tomando la población de los edificios señalados se tiene:

$$Población = 1572 \text{ habitantes}$$

$$Dotación \text{ parcial} = 23423 \text{ l/día}$$

$$Dotación = \frac{22951}{1572} = 14,6 \frac{l}{hab} / día$$

$$Q_{as} = \frac{14,6 * 1572 * 0,7}{86400}$$

$$Q_{as} = 0,18 \left( \frac{l}{s} \right)$$

Para aporte de caudal de institucionales tomado de la Tabla 12 presentada en el cálculo para la red sanitaria 1, si se tiene un área de aportación para la red 12 de 19,20 ha y un nivel de complejidad bajo con una infiltración media:

$$0,45 * 19,2 \text{ ha} = 8,64 \text{ l/s}$$

Para caudal de infiltración según EMAAP se visualiza de igual manera la Tabla 13 presentada en el cálculo de la red sanitaria 1.

$$0,2 * 19,2 \text{ ha} = 3,84 \text{ l/s}$$

Para el caudal medio de aguas residuales domésticas en la red sanitaria que abastece los edificios seleccionados:

$$Q_{md} = Q_{as} + Q_c + Q_i + Q_{ins}$$

$$Q_{md} = 0,18 + 0 + 0 + 8,64$$

$$Q_{md} = 8,82 \frac{l}{s}$$

*fM: Factor de mayoración*

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{1572}}$$

$$M = 1,34$$

$$Q_{max.inst.} == \text{Factor Mayoracion} * Q_{md}$$

$$Q_{max.inst.} == 1,34 * 8,82$$

$$Q_{max.inst.} == 11,82 \text{ l/s}$$

Y finalmente para el caudal de conexiones erradas se toma el valor nulo puesto que el sistema es cerrado, controlado y únicamente abastece a la Universidad

$$Q_{iic} = 0 \frac{l}{hab * día}$$

Obteniendo el caudal de diseño para toda la red:

$$Q = Q_{max.inst.} + Q_{inf} + Q_{iic}$$

$$Q_{diseño} = 11,82 + 3,84 + 0$$

$$Q_{diseño} = 15,66 \text{ l/s}$$

### **Caudal máximo instantáneo Red sanitaria 3**

Para la modelación del segundo escenario en SewerCAD

$$Q_{max.inst.} = M * Q_{med}$$

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{1572}}$$

$$M = 1,32$$

$$Q_{max.inst.} = 1,32 * 8,82$$

$$Q_{max.inst.} = 11,64 \frac{l}{s}; \text{para toda la red}$$

### **Caudal mínimo Red sanitaria 3**

Para el caudal mínimo, se considera un 50% el caudal medio diario (CONAGUA, Manual de Agua Potable, Alcantarillado Y Saneamiento, 2021). Obteniendo de esa manera el siguiente valor:

$$Q_{min} = 0,5 * Q_{med}$$

$$Q_{min} = 0,5 * 8,82 \text{ l/s}$$

$$Q_{min} = 4,41 \frac{l}{s}; \text{para toda la red}$$

Los datos de ingreso para al programa son los mostrados en la Tabla 19 y Tabla 20 siguiente tabla

**Tabla 18**

*Datos de ingreso al Manhole en la red 3 SewerCAD*

Edificio	ETIQUETA	COTA Terreno [msnm]	COTA tubería [msnm]	Caudal de diseño (l/s)	Caudal máx. inst. (l/s)	Caudal min (l/s)
Coliseo/CAFDER	MH-1	2501,62	2498,62	10,809	8,034	3,044
	MH-2	2500,15	2497,55	0,000	0,000	0,000
	MH-3	2499,89	2497,19	0,000	0,000	0,000
	MH-4	2499,11	2496,61	0,000	0,000	0,000
Transportes/CICTE	MH-5	2497,7	2494,95	0,558	0,415	0,157
	MH-6	2496,92	2494,47	0,000	0,000	0,000
	MH-7	2496,6	2493,79	0,000	0,000	0,000
Garitas y bodegas	MH-8	2493,15	2490,65	0,199	0,148	0,056
	MH-9	2485,08	2486,31	0,000	0,000	0,000
	MH-10	2483,38	2479,83	0,000	0,000	0,000
	MH-11	2477,58	2474,93	0,000	0,000	0,000

Edificio	ETIQUETA	COTA Terreno [msnm]	COTA tubería [msnm]	Caudal de diseño (l/s)	Caudal máx. inst. (l/s)	Caudal min (l/s)
Bar/Almacen/Serv. Univ./ Salón 2000	MH-12	2478,13	2474,33	0,000	0,000	0,000
	MH-13	2479,06	2473,86	0,000	0,000	0,000
	MH-14	2477,83	2474,28	0,000	0,000	0,000
	MH-15	2481,31	2478,56	4,094	3,043	1,153
	O-1	2475,39	2473,29	0,000	0,000	0,000

**Tabla 19**

*Datos de ingreso de la tubería en la red 3 SewerCAD*

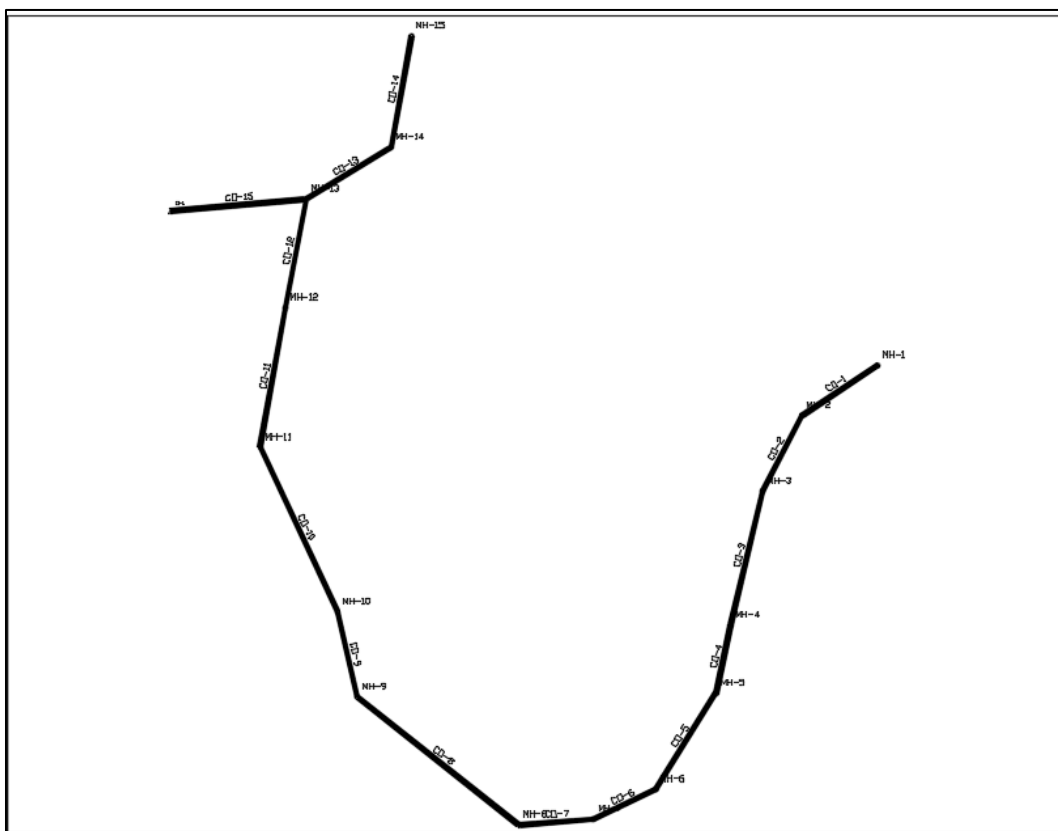
Etiqueta	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud (m)	Diámetro (cm)
CO-1	MH-1	MH-2	38	40
CO-2	MH-2	MH-3	35,5	40
CO-3	MH-3	MH-4	57,2	40
CO-4	MH-4	MH-5	29	40
CO-5	MH-5	MH-6	47,2	40
CO-6	MH-6	MH-7	28,7	40
CO-7	MH-7	MH-8	31,5	40
CO-8	MH-8	MH-9	85,5	40
CO-9	MH-9	MH-10	36,4	40
CO-10	MH-10	MH-11	75,7	40
CO-11	MH-11	MH-12	59	40
CO-12	MH-12	MH-13	46,2	40
CO-13	MH-13	MH-14	41,2	40
CO-14	MH-14	MH-15	47,2	40
CO-15	MH-13	O-1	56,8	40

Siguiendo las acotaciones presentadas en el marco teórico para el cálculo de cada uno de los escenarios como dotación total y parcial, caudales y población servida. A continuación, se presentan en la Figura 24, el modelamiento de la red de aguas residuales 2.



## Figura 24

Modelo de la red de agua residual n°3 en SewerCAD



## Modelación de la red de agua potable en QGIS

Para la modelación de la red que abastece de agua potable a la universidad se utilizó el software de acceso y descarga gratuita denominado QGIS, primero se realizó la georreferenciación de la ubicación de la UFA ESPE, con la ayuda del programa Sasgis.org se obtuvo la ortofoto en formato .jpg, posteriormente se cargó en el programa QGIS y con el comando Qwater parámetros iniciales como: población inicial, final, diámetro mínimo, cobertura mínima, dotación, factor de demanda máxima diaria y horaria, cota de nodo, diámetro de tubería, longitud de tubería, rugosidad según el material, entre otros. Continuando con su análisis en régimen permanente y no permanente como en WaterCAD. Obteniendo el siguiente modelado como se presenta en la siguiente Figura 25.

**Figura 25**

*Modelo de la red de agua potable de la ESPE realizado en QGIS*



### **Modelación de la red de agua residual en QGIS**

Para la modelación de la red de aguas residuales que genera la UFA ESPE se utilizó el software de acceso y descarga gratuita denominado QGIS, primero se realizó la georreferenciación de la ubicación de la UFA ESPE como en agua potable con la ayuda del programa Sasgis.org se cargó en el programa QGIS y con el comando QEsp parámetros iniciales como: población inicial, final, diámetro máximo, cobertura mínima, dotación, caudal de

infiltración, factor de demanda máxima diaria y horaria, coeficiente de retorno, cota de alcantarilla, diámetro de tubería, longitud de tubería, rugosidad según el material, entre otros. Continuando con su análisis en régimen permanente y no permanente como en SewerCAD. Obteniendo el siguiente modelado como se presenta en la siguiente Figura 26.

### Figura 26

*Modelado de las redes de agua residual de la ESPE realizado en QGIS.*



### Sistema Óptimo

Se determinó un sistema óptimo de agua potable verificando que las presiones obtenidas por el modelamiento en WaterCAD sean menores que las presiones reflejadas en las campañas de medición, debido a que el modelamiento en el software se hace con un consumo máximo, y partiendo del estado de la red de agua potable del campus, y de la implementación de dispositivos IoT en el edificio administrativo y en el bloque B, y junto con la actualización del catastro se puede proponer lugares potenciales de implementación de nuevos caudalímetros

IoT con el objetivo de aprovechar de mejor manera el recurso hídrico de la universidad, llevándola a un criterio de “Smart Water”.

### **Presupuesto**

Para un presupuesto referencial se tomó en cuenta el costo de la implementación de la arquitectura IoT y aparatos sanitarios ahorradores verificando el tiempo en el que el proyecto pueda costearse mediante la relación entre el costo de desperdicio de agua y el costo de las reparaciones.

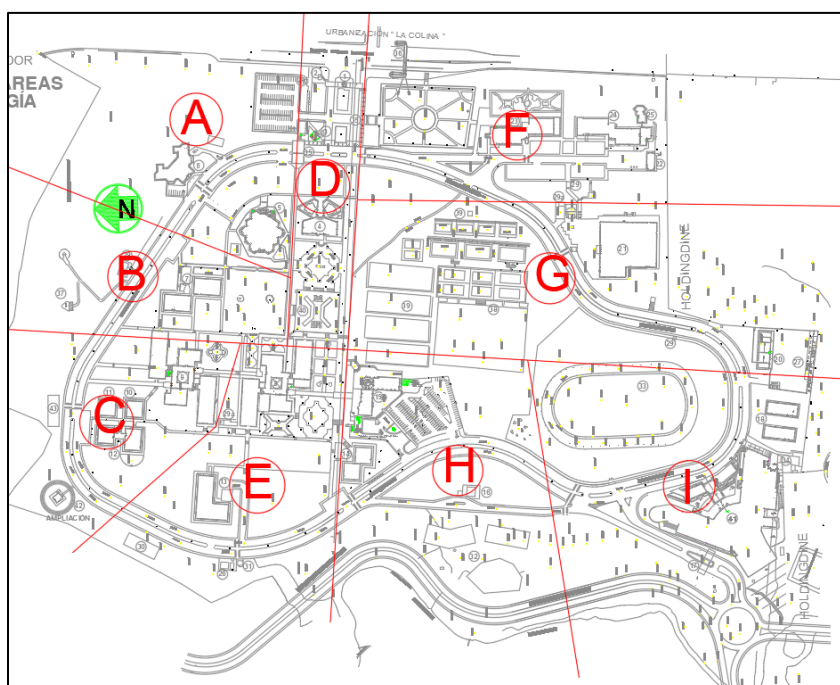
## Capítulo IV: Resultados y discusiones

### Catastro hidrosanitario

Existe el catastro hidrosanitario de las redes de agua potable, sanitaria y pluvial de las zonas A hasta la I como se muestra en la Figura 27 en el campus separadas entre si (Garcés Alarcón, 2022).

### Figura 27

*Zonas de levantamiento hidrosanitario divididas en el campus universitario.*



Se enlazó todos los planos de cada zona en un solo plano para obtener un catastro hidrosanitario total de la ESPE. EL plano del catastro hidrosanitario general se puede encontrar en el siguiente link de drive:

La ESPE posee 3 tipos de tuberías, la tubería de agua potable, tubería de agua pluvial y tubería de agua residual, sin embargo, la tubería de agua residual no es importante para este proyecto, con la ayuda del catastro se identificaron varios puntos de control en la salida de

alcantarillado de cada edificación en lo que respecta al agua residual para obtener un resultado más aproximado.

En la Figura 28 se ilustra el catastro hidrosanitario de toda la ESPE donde se puede observar que existen varias tuberías con acometidas de análisis para la determinar lugares potenciales de instalación de dispositivos IoT, este es el primer paso para ubicar con un criterio adecuado el lugar y numero de caudalímetros que se podrían instalar.

Se puede colocar al menos 13 dispositivos IoT que sean estratégicos para el análisis de consumo de agua potable.

### Figura 28

*Catastro hidrosanitario de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*



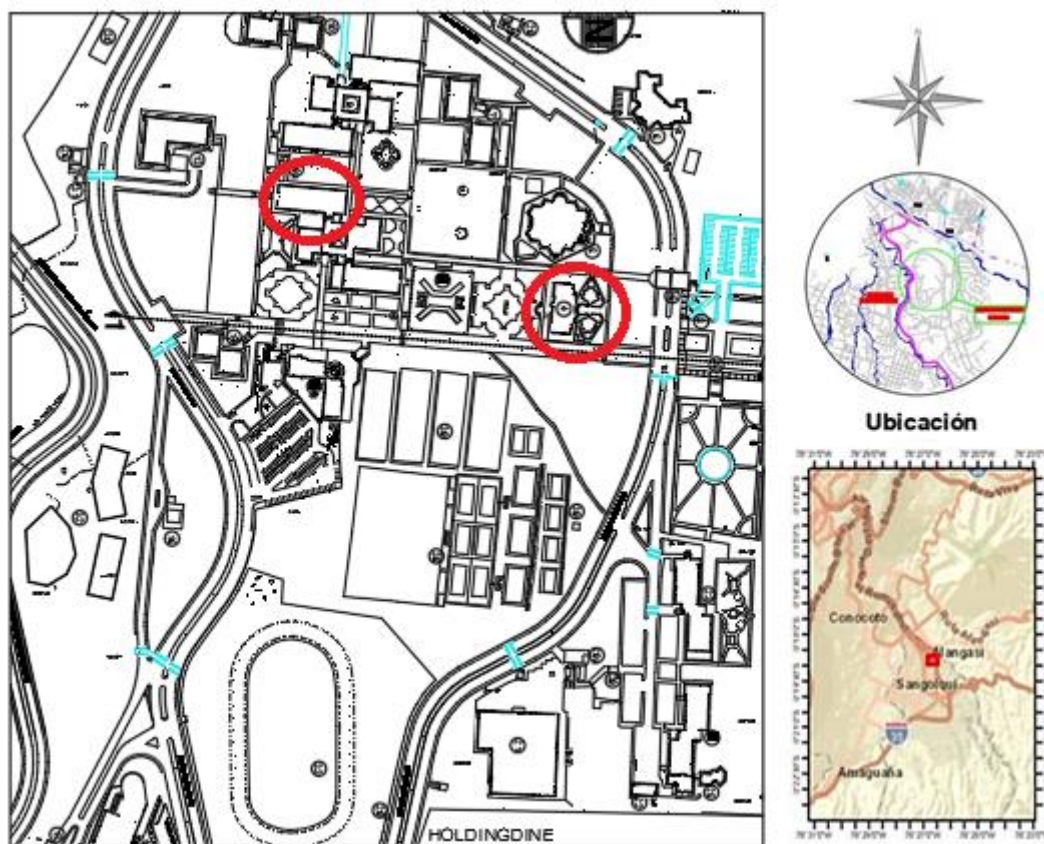


### ***Instalación del caudalímetro en el Bloque B***

En un principio se pensó instalar el caudalímetro IoT al inicio de la tubería de agua potable del bloque A. Con la ayuda del equipo operador de la ESPE proporcionado gracias al departamento de Desarrollo Físico se hizo el reconocimiento de los lugares potenciales de instalación. En la siguiente figura se puede observar la ubicación de los caudalímetros instalados en el campus.

### **Figura 29**

*Mapa de ubicación de los caudalímetros instalados en la ESPE*



Luego de realizar el estudio de los lugares potenciales para la implementación del caudalímetro IoT, se instaló el día jueves 2 de febrero de 2023, en la tubería que abastece al bloque B en el cuarto de control de las baterías sanitarias del primer piso, como se muestra en la Figura 30.

**Figura 30**

*Proceso de instalación del caudalímetro IoT en el bloque B*



El controlador del equipo descrito anteriormente se colocó afuera de los baños como se muestra en la siguiente figura, en un lugar donde pueda recibir internet y logre comunicarse con la plataforma Thingier.io, debido a que en un rango de 5 metros se encuentra un transmisor de señal wifi con una red privada para la exclusiva comunicación entre el caudalímetro y la nube.



**Figura 31**

*Ubicación del controlador del equipo IoT del bloque B*

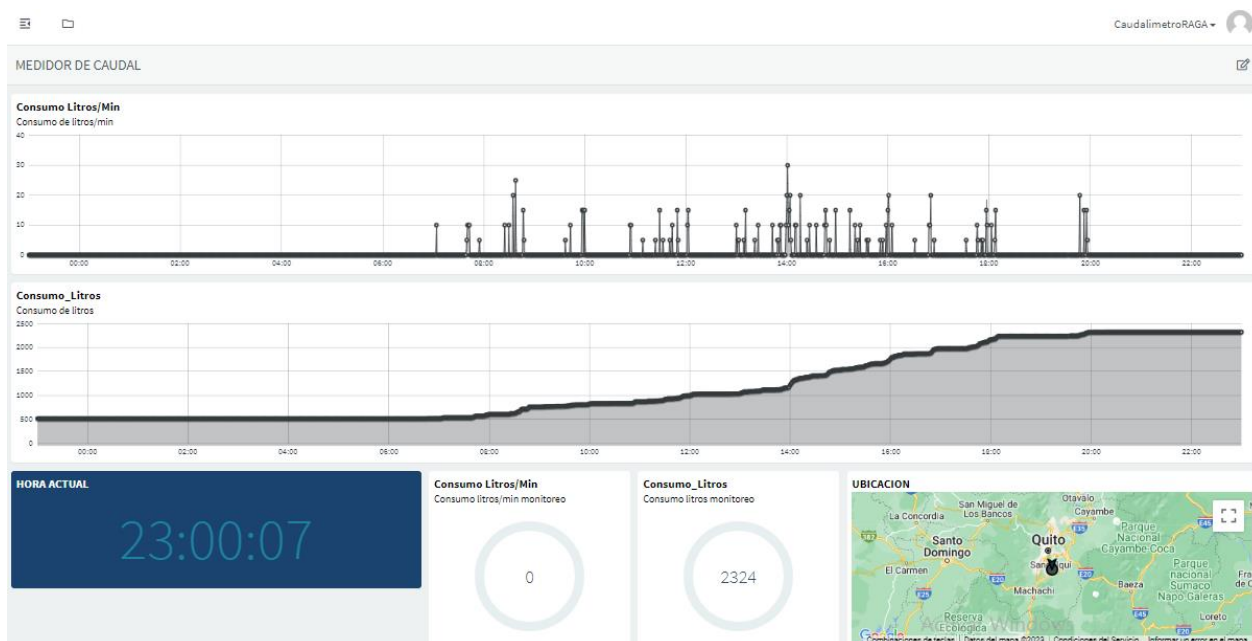


Los puertos que otorgan permisos de conexión son los mismos que se habilitaron en el 2021 con el caudalímetro del edificio administrativo, es por este motivo que no se realizó el desbloqueo del Firewall de la red oculta y al conectar el dispositivo a la red WIFI el tráfico de datos estaba habilitado y el caudalímetro ya podía realizar el conteo del consumo de agua del bloque B.

En la Figura 32 se puede observar el dashboard de la plataforma Thinger.io vinculada al nuevo caudalímetro instalado en el bloque B, se observa el consumo de agua cada segundo y el consumo acumulado que servirá como herramienta para realizar el análisis del aprovechamiento del agua potable de la edificación.

## Figura 32

Captura de pantalla del dashboard de Thinger.io correspondiente al bloque B



### **Análisis del consumo de agua potable del bloque B**

En la siguiente tabla se muestra el consumo por cada hora del bloque B en un periodo de 24 h, partiendo desde el día miércoles desde las 20h00 hasta el día jueves 20h00. Se puede visualizar que la tubería del bloque B se encuentra en buen estado debido a que el consumo de agua potable se mantiene en cero desde las 20h00 hasta las 07h00 del siguiente día.

**Tabla 20***Consumo de agua potable del bloque B en 24 horas*

<b>ts</b>	<b>Consumo l/hora</b>
21:04:42.513Z	0
21:59:54.749Z	0
22:59:54.495Z	0
23:59:54.242Z	0
00:59:53.986Z	0
01:59:53.730Z	0
02:59:53.476Z	0
03:59:53.216Z	0
04:59:52.965Z	0
05:59:52.708Z	0
06:59:52.453Z	0
07:59:52.197Z	20
08:59:52.008Z	161
09:59:51.949Z	99
10:59:51.428Z	39
11:59:51.170Z	94
12:59:50.912Z	103
13:59:50.822Z	83
14:59:50.550Z	301
15:59:50.269Z	243
16:59:49.891Z	212
17:59:49.723Z	140
18:59:49.446Z	225
19:59:49.127Z	6
20:59:48.880Z	78
<b>Total</b>	<b>1804</b> l/día

El consumo de agua total de un día de análisis es de 1804 l/día, se manifiesta como un consumo bajo en relación a los 3334 l/día del edificio administrativo, es necesario mencionar que existen pérdidas de agua potable en el edificio administrativo, lo cual influye en los resultados siendo un consumo menor al calculado.

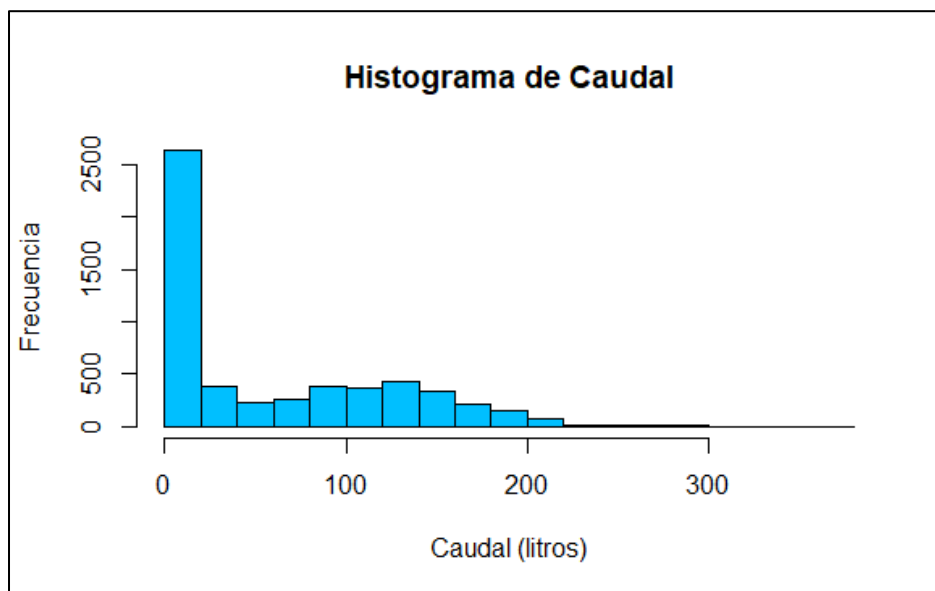
## Resultados de series temporales

El resultado de análisis de los datos del caudal mediante series temporales con procesos de regresión, ARIMA y mapas recurrentes que describe el comportamiento del consumo de agua del edificio administrativo.

En la Figura 33 se muestra el histograma de caudal en donde se puede visualizar la frecuencia del consumo de agua, la mayor frecuencia se presenta cuando los datos son cercanos a cero, esto sucede debido a que los datos registrados por el caudalímetro en su mayoría son de bajo consumo porque es más probable que en un minuto no exista consumo a que si exista, y también la frecuencia esta sesgada al lado izquierdo debido a que existen más horas de bajo consumo que las horas laborables del edificio administrativo.

**Figura 33**

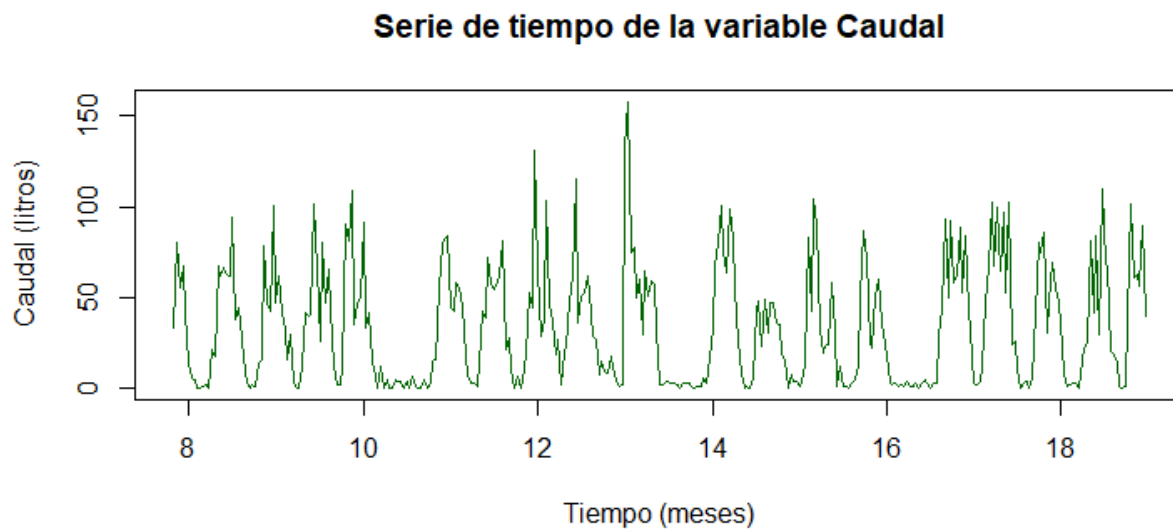
*Histograma de caudal de agua potable*



En la Figura 34 se muestra la serie temporal del consumo de agua a través del tiempo, es decir un modelo que pasa por distintos estados en función del tiempo como evolución de un sistema dinámico como es el comportamiento de los fluidos.

**Figura 34**

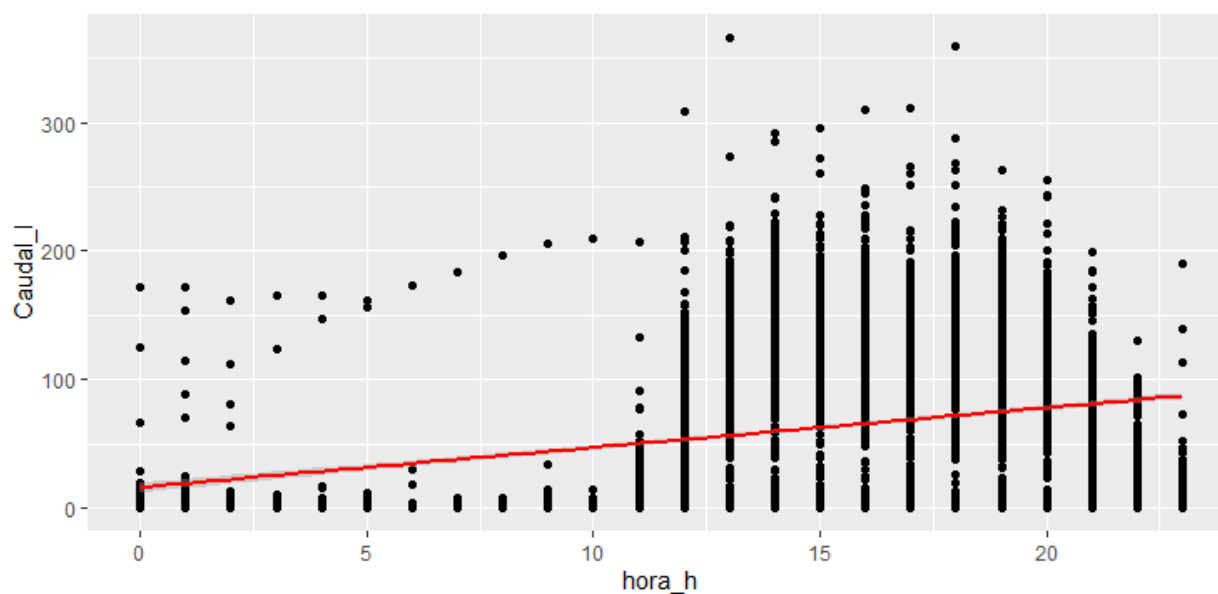
*Serie de tiempo de datos del caudalímetro IoT.*



En la Figura 35 se presenta la regresión lineal de los datos, que básicamente sirve como un modelo matemático para determinar un punto del consumo de agua en un instante de tiempo.

**Figura 35**

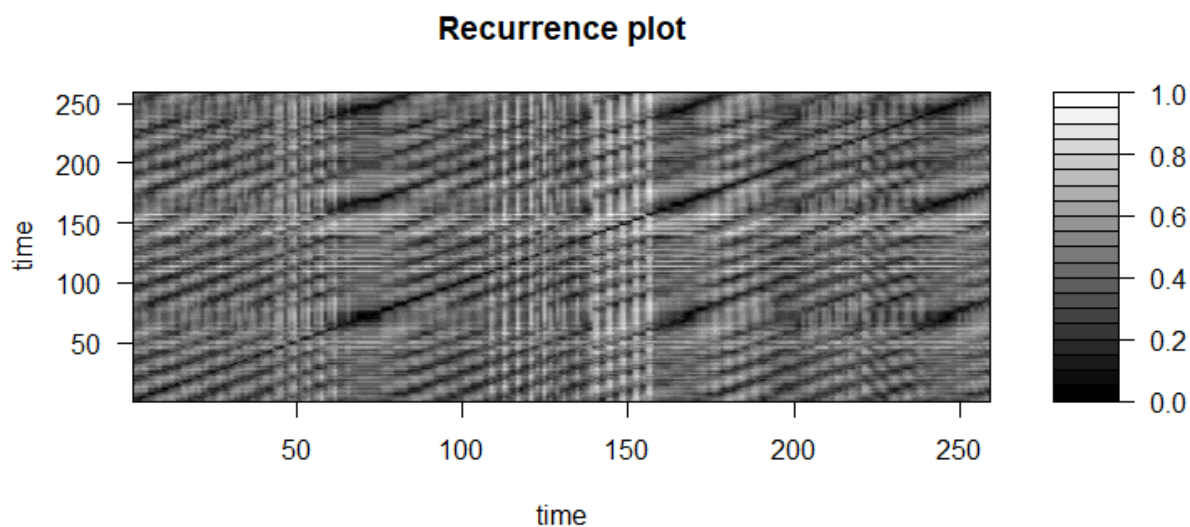
*Regresión lineal para la variable caudal*



En la Figura 36 se presenta el mapa de recurrencia obtenido por el software Rstudio en donde se puede visualizar según la distribución de sus diagonales y diferencia de grises que el comportamiento del consumo del edificio administrativo es caótico, lo que significa que cualquier alteración en sus datos o condiciones iniciales puede alterar drásticamente los resultados, también conocido como efecto mariposa.

### Figura 36

*Mapa de recurrencia de serie temporal de caudal.*



### Campañas de medición de agua potable

#### ***Análisis de consumo en la red de agua potable del edificio administrativo***

En la Tabla 22 se tiene el máximo consumo de agua en horas, estos datos fueron proporcionados por el IoT y posteriormente fueron depurados para obtener el acumulado cada, debido a que la plataforma nos permite descargar el paquete de datos cada minuto. En la Tabla 15 entre las horas 12h59 y 13h59 del día miércoles 9 de marzo del 2022 el máximo consumo de 365,929 l/hora.

**Tabla 21***Hora de mayor consumo.*

<b>Fecha</b>	<b>l/hora</b>
2022-03-09T00:38:33,740Z	7,199
2022-03-09T01:07:33,745Z	3,899
2022-03-09T02:02:33,748Z	0,4
2022-03-09T04:45:33,757Z	0,5
2022-03-09T11:58:33,774Z	12,397
2022-03-09T12:59:33,775Z	308,82
2022-03-09T13:59:33,782Z	<b>365,929</b>
2022-03-09T14:59:33,788Z	125,918
2022-03-09T15:57:33,779Z	135,152
2022-03-09T16:59:33,786Z	148,961
2022-03-09T17:59:33,783Z	168,288
2022-03-09T18:59:33,868Z	288,244
2022-03-09T19:59:33,982Z	121,385
2022-03-09T20:59:34,118Z	101,486
2022-03-09T21:59:34,399Z	81,183
2022-03-09T22:59:34,301Z	36,995
2022-03-09T23:59:33,807Z	23,393

En la Tabla 23 se presenta los días de mayor consumo obteniendo un consumo máximo el día lunes 19 de septiembre con 3334,83 l/día, a diferencia de la tabla anterior esta tabla se encuentra obteniendo la sumatoria de todas las horas en un día de consumo y posteriormente se ordenan de acuerdo a su fecha.

**Tabla 22***Día de mayor consumo*

<b>Fecha</b>	<b>l/día</b>
2022-09-01T23:35:04,864Z	1297,335
2022-09-02T23:59:31,484Z	1475,616
2022-09-03T22:49:31,735Z	27,393
2022-09-04T23:29:32,007Z	1,698
2022-09-05T23:51:10,651Z	1326,241
2022-09-06T23:51:27,460Z	1369,171
2022-09-07T23:58:19,627Z	1554,489

Fecha	l/día
2022-09-08T23:31:19,882Z	1477,761
2022-09-09T23:56:38,848Z	1577,779
2022-09-10T23:33:39,113Z	49,990
2022-09-11T21:44:39,361Z	51,190
2022-09-12T23:52:28,670Z	1564,015
2022-09-13T23:50:09,350Z	1437,271
2022-09-14T02:24:09,546Z	8,497
2022-09-15T23:56:18,206Z	1383,143
2022-09-16T23:43:39,167Z	1448,516
2022-09-17T23:06:39,458Z	71,982
2022-09-18T23:59:54,340Z	85,451
2022-09-19T23:29:54,611Z	<b>3334,830</b>
2022-09-20T23:51:54,919Z	1457,474
2022-09-21T23:50:55,227Z	1484,575
2022-09-22T23:58:35,051Z	1571,554
2022-09-23T23:34:25,699Z	1480,669
2022-09-24T21:14:25,979Z	357,571
2022-09-25T20:58:27,143Z	47,493
2022-09-26T23:51:28,995Z	1428,877
2022-09-27T23:52:18,339Z	1478,861
2022-09-28T14:23:19,333Z	322,652

De igual manera se realizó la sumatoria de todos los días de cada mes y se ordenó de acuerdo a la Tabla 24, finalmente se identificó el mes de marzo de máximo consumo con 30525,603 l/mes.

**Tabla 23**

*Mes de mayor consumo*

Fecha	l/mes
2022-02-28T23:07:33,923Z	2856,949
2022-03-31T23:45:58,845Z	<b>30525,603</b>
2022-04-30T23:06:36,106Z	26538,314
2022-05-31T23:57:54,788Z	27095,348
2022-06-30T23:52:58,763Z	14211,383
2022-07-31T23:06:19,617Z	29978,365
2022-08-31T23:54:04,205Z	29779,362
2022-09-28T14:23:19,333Z	29172,694
2022-10-31T23:58:35,111Z	13645,737
2022-11-25T19:51:30,300Z	22465,502

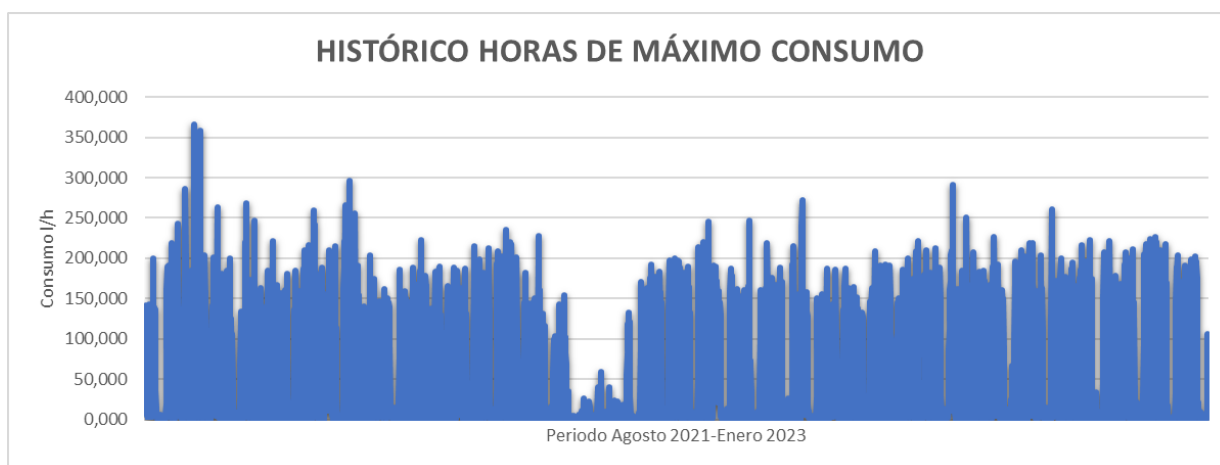


Fecha	l/mes
2022-12-19T19:40:01,842Z	530,389
2023-01-30T13:49:30,416Z	18269,014

En la Figura 37 se muestran todos los datos consumo acumulados de cada hora en un periodo de 18 meses en donde se puede observar una tendencia lineal de tipo constante, exceptuando los valores que se encuentran por debajo de 100000 l/h.

### Figura 37

*Curva de caudal (l/hora) vs tiempo de análisis*



En la Figura 38 al igual que la anterior se realizó una gráfica desde agosto 2021-enero 2023 para ver el comportamiento del consumo de agua potable en l/día, para este análisis se dejó de lado los días de bajo consumo o días en los cuales no existían todos los datos, de igual forma se observa una tendencia lineal.

**Figura 38**

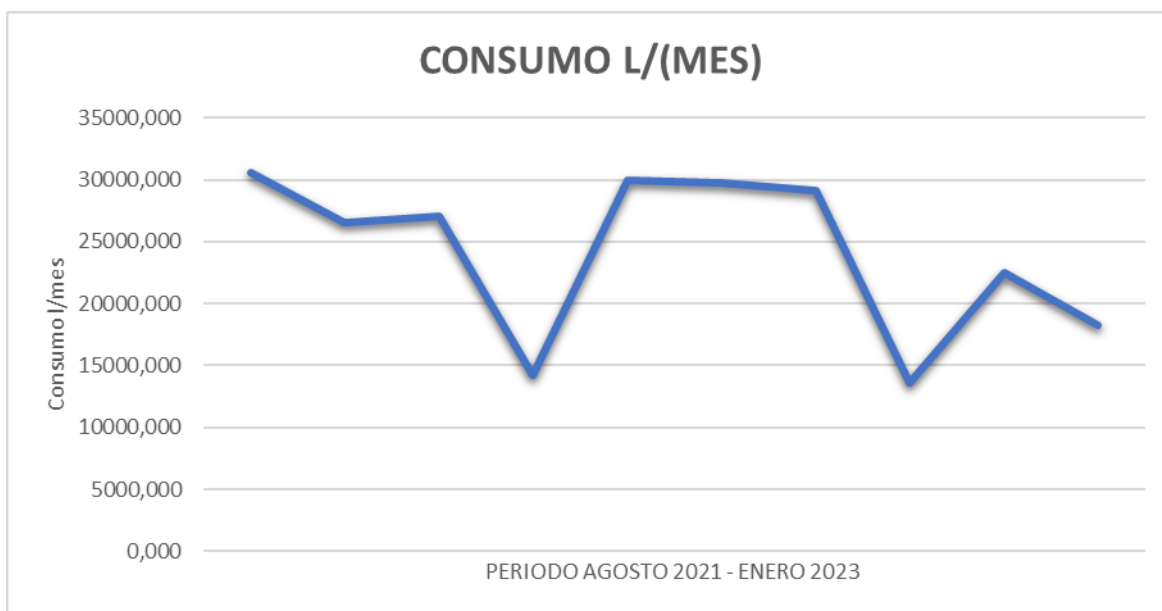
*Curva caudal (l/día) vs tiempo de análisis*



En la Figura 39 se refleja el consumo acumulado de cada mes el cual va descendiendo a medida que pasa el tiempo, esto quiere decir que el personal del edificio administrativo ha disminuido con el paso del tiempo, algo que se logró evidenciar en los memorandos descritos anteriormente.

**Figura 39**

*Curva caudal (l/mes) vs tiempo de análisis*



Si se tiene un consumo máximo de 3334,83 litros/día, al dividir para la población de trabajadores en el edificio administrativo de la Tabla 25 se tiene la dotación real y con la ayuda del caudalímetro IoT del edificio administrativo con funciones de Excel se logró identificar los tiempos de mayor consumo en la hora, día y mes

**Tabla 24**

*Consumos máximos en periodo agosto 2021 – enero 2023*

<b>TIEMPOS DE MÁXIMO CONSUMO</b>	<b>LITROS (l)</b>	<b>Dotación l/hab/día</b>	<b>DETALLE</b>
HORA	365,929	46,96	12H00-13H00
DIA	3334,830	17,83	LUNES 19 DE SEPTIEMBRE DE 2022
MES	30525,603	5,27	MARZO

El día de mayor consumo fue el día lunes 19 de septiembre de 2022, que demanda una dotación de 17,83 l/hab/día para oficinas en lo que respecta al edificio administrativo esto se justifica debido a que el día lunes ingresan estudiantes de carreras administrativas a la Universidad debido al seguimiento de sus proyectos de integración curricular o tesis, la hora de mayor consumo es entre 12H00-13H00 del 9 de marzo de 2022, sin embargo, el mes en el cual se tiene el mayor consumo es en el mes de marzo de 2022.

$$\text{Dotación} \left( \frac{l}{\text{hab} * \text{dia}} \right) = \frac{\text{Consumo (l/dia)}}{\text{Población del edificio (hab)}}$$

$$\text{Dotación} \left( \frac{l}{\text{hab} * \text{dia}} \right) = \frac{3334,83 \text{ (l/dia)}}{187 \text{ (hab)}}$$

$$\text{Dotación} \left( \frac{l}{\text{hab} * \text{dia}} \right) = \frac{3334,83 \text{ (l/dia)}}{187 \text{ (hab)}}$$

$$\text{Dotación} = 17,83 \left( \frac{l}{\text{hab} * \text{dia}} \right)$$

El consumo máximo en una hora es de 365,93 l/hora al transformar en días y dividir para 187 habitantes que alberga el edificio administrativo se tiene una dotación de 46,96 l/hab/día que se asemeja a las dotaciones establecidas por la NEC-11 para oficinas entre 50-90 l/hab/día, es importante mencionar que se multiplica por 24 horas sin embargo este criterio las horas de ausencia de personal no se puede considerar como horas normales de consumo, si consideramos 9 horas de consumo que es una jornada promedio que permanece un trabajador en las instalaciones se obtiene una dotación de 17,61 l/hab/día.

La dotación real del edificio administrativo es de 17,83 l/hab/día que se encuentra muy por debajo de la dotación de 150 l/hab/día para personal administrativo considerada en el trabajo de Alberto Garcés y de la dotación de la NEC se debería tomar como referencia una dotación entre 50 a 90 l/persona/día debido a que las instalaciones del edificio administrativo en su mayoría son Oficinas.

### ***Análisis de pérdidas en la red de agua potable del edificio administrativo***

Para determinar si el edificio administrativo tiene pérdidas de agua potable se verifica si en las últimas mediciones en las horas de madrugada el consumo de agua debería ser igual a cero, caso contrario, de existir alguna lectura se verifica la existencia de fugas en la red de agua de esta zona. En la Tabla 26 se presenta los consumos entre las 24h00 y 3h00 en un periodo de 12 días.

**Tabla 25**

*Consumo en de agua (l/min) en el edificio administrativo horas de bajo consumo.*

<b>ts</b>	<b>Caudal Acumulado (L)</b>
2023-02-12T00:00:16,901Z	0,000
2023-02-12T01:00:16,919Z	0,400
2023-02-12T02:00:16,934Z	0,400
2023-02-12T03:00:17,248Z	0,400
2023-02-13T00:00:17,262Z	0,900
2023-02-13T01:00:17,277Z	0,900

---

<b>ts</b>	<b>Caudal Acumulado (L)</b>
2023-02-13T02:00:18,755Z	1,899
2023-02-13T03:00:17,308Z	2,299
2023-02-14T00:00:22,178Z	2,699
2023-02-14T01:00:22,136Z	6,597
2023-02-14T02:00:22,442Z	7,797
2023-02-14T03:00:22,167Z	8,797
2023-02-15T00:00:37,558Z	8,797
2023-02-15T01:00:37,667Z	11,296
2023-02-15T02:00:37,794Z	13,496
2023-02-15T03:00:37,705Z	13,696
2023-02-16T00:00:49,961Z	17,894
2023-02-16T01:00:49,980Z	23,292
2023-02-16T02:00:49,998Z	32,289
2023-02-16T03:00:50,011Z	32,489
2023-02-17T00:00:06,201Z	32,489
2023-02-17T01:00:06,278Z	45,785
2023-02-17T02:00:06,226Z	46,685
2023-02-17T03:00:06,241Z	50,084
2023-02-18T00:00:21,786Z	50,084
2023-02-18T01:00:21,852Z	53,083
2023-02-18T02:00:21,937Z	53,782
2023-02-18T03:00:22,002Z	54,082
2023-02-19T00:00:12,979Z	55,082
2023-02-19T01:00:12,479Z	55,082
2023-02-19T02:00:12,494Z	55,482
2023-02-19T03:00:12,514Z	55,582
2023-02-20T00:00:05,740Z	55,582
2023-02-20T01:00:05,667Z	55,582
2023-02-20T02:00:05,681Z	55,582
2023-02-20T03:00:05,696Z	55,582
2023-02-21T00:00:06,009Z	55,582
2023-02-21T01:00:06,025Z	55,882
2023-02-21T02:00:06,044Z	57,482
2023-02-21T03:00:06,267Z	57,882
2023-02-22T00:00:06,365Z	57,882
2023-02-22T01:00:06,379Z	57,882
2023-02-22T02:00:06,394Z	57,882
2023-02-22T03:00:06,473Z	57,882
2023-02-23T00:00:50,860Z	57,882
2023-02-23T01:00:50,878Z	59,381
2023-02-23T02:00:50,890Z	59,881
2023-02-23T03:00:50,904Z	59,881

ts	Caudal Acumulado (L)
2023-02-24T00:00:16,440Z	63,281
2023-02-24T01:00:16,541Z	65,080
2023-02-24T02:00:16,611Z	67,680
2023-02-24T03:00:16,487Z	68,780

Se ha comprobado que el edificio administrativo posee perdidas por aguas como se evidencia en la Tabla 26 donde se observa que el consumo en estas horas es distinto de cero.

### ***Campaña de medición de la cisterna***

Los datos obtenidos en campo de medición de agua potable el lunes 13 de febrero de 2023 en la cisterna que abastece a toda la universidad realizada en un periodo de 24 h cada hora del día lunes 13/02/2023 de máximo consumo determinado a partir del estudio del caudalímetro IoT del edificio administrativo se muestra en la Tabla 27, en donde se determinó el volumen de agua consumido en cada hora a partir de la diferencia de niveles en la cisterna de 9mx9mxh donde h es la altura variable en función del consumo de agua o pérdidas del sistema, calculado en l/s.

### **Tabla 26**

*Medición de consumo de agua en la cisterna de la ESPE el día lunes 13 de febrero de 2023, día de máximo consumo*

<b>Consumo de agua en la cisterna de la espe lunes 13 feb 2023</b>								
HOR	MEDIDA	2021-Alberto Garcés			2022-Autores			
		DIFERENCIA	VOLUMEN (l)	CAUDAL (l/s)	MEDIDA	DIFERENCIA	VOLUMEN (l)	CAUDAL (l/s)
7:30	2,040				2,170			
8:30	1,910	0,130	11003,20	3,060	2,020	0,150	12696,00 0	3,527
9:30	1,750	0,160	13542,40	3,760	1,830	0,190	16081,60 0	4,467
10:30	1,600	0,150	12696,00	3,530	1,670	0,160	13542,40 0	3,762
11:30	1,430	0,170	14388,80	4,000	1,480	0,190	16081,60 0	4,467

<b>Consumo de agua en la cisterna de la espe lunes 13 feb 2023</b>								
12:30	1,320	0,110	9310,40	2,590	1,350	0,130	11003,20 0	3,056
13:30	1,230	0,090	7617,60	2,120	1,250	0,100	8464,000	2,351
14:30	2,050		0,00	0,000	2,100			
15:30	1,840	0,210	17774,40	4,940	2,450	<b>0,220</b>	18620,80 0	5,172
16:30	1,760	0,140	11849,60	3,290	2,390	0,060	5078,400	1,411
17:30	1,640	0,120	10156,80	2,820	2,330	0,060	5078,400	1,411
18:30	1,550	0,090	7617,60	2,120	2,280	0,050	4232,000	1,176
19:30	1,480	0,070	5924,80	1,650	2,230	0,050	4232,000	1,176
20:30	1,400	0,080	6771,20	1,880	2,180	0,050	4232,000	1,176
21:30	2,010				2,140	0,040	3385,600	0,940
22:30	1,950	0,060	5078,40	1,410	2,090	0,050	4232,000	1,176
23:30	1,930	0,020	1692,80	0,470	2,040	0,050	4232,000	1,176
0:30	1,920	0,010	846,40	0,240	1,990	0,050	4232,000	1,176
1:30	1,920	0,000	0,00	0,000	1,930	0,060	5078,400	1,411
2:30	1,920	0,000	0,00	0,000	1,860	0,070	5924,800	1,646
3:30	1,910	0,010	846,40	0,240	1,810	0,050	4232,000	1,176
4:30	1,890	0,020	1692,80	0,470	1,770	0,040	3385,600	0,940
5:30	1,800	0,090	7617,60	2,120	1,720	0,050	4232,000	1,176
6:30	1,620	0,180	15235,20	4,230	1,660	0,060	5078,400	1,411
<b>Total</b>			<b>161662,4</b> <b>0</b>				<b>163355,2</b> <b>0</b>	

En el año en que Alberto realizó el estudio de la dinámica se tenía un consumo acumulado de 161662,40 litros x día, en el nuevo último estudio realizado se tiene un consumo acumulado de 163355,20 litros x día, obteniendo así una diferencia de 1692,8 litros, es decir este último periodo se consumen alrededor de 1692,8 litros al día más que en el 2021.

En el 2021 se observa un consumo muy pobre en horas de la madrugada, a diferencia del periodo NOV2022-MAR2023 en donde se registra un consumo de 5824,8 litros x hora, de tal forma que la red de agua potable de la ESPE registra aguas no contabilizadas.

Se calculó un caudal de 1,89 l/s si se establece en 24 horas, pero hay que recalcar que el uso de las instalaciones de la universidad es de un periodo de 13 horas por los estudiantes

de nivelación que abandonan la universidad a las 8 pm, asumiendo esta situación se tendría un caudal de 3,49 l/s.

Para calcular la dotación en función del consumo en la cisterna se divide para 11189 habitantes, resultando en una dotación de 14,6 l/hab/día que se aleja del rango entre 40 y 60 l/hab/día de la NEC, pero se aproxima a la dotación calculada del edificio administrativo de 17 l/hab/día.

### ***Campañas de medición de presiones de agua potable***

Se tomaron los datos de presión en campo de la universidad, resolviendo un cuadro de presiones con la finalidad de comparar los escenarios de régimen permanente, no permanente, y el escenario real si la presión medida es mayor a la presión obtenida en el modelo debido a que el modelo se establecen condiciones extremas de aprovechamiento de agua potable. En la Tabla 28 se observan las presiones obtenidas en campo, según las juntas establecidas en el modelo visto previamente.

**Tabla 27**

*Presiones medidas en el campus universitario*

<b>Nodo</b>	<b>Presión medida (m.c.a.)</b>
J-1	40
J-2	42
J-3	43
J-4	47
J-5	48
J-6	50
J-7	54
J-8	51
J-9	32
J-10	31
J-11	33
J-12	32
J-13	30
J-14	42



<b>Nodo</b>	<b>Presión medida (m.c.a.)</b>
J-15	40
J-16	44
J-17	43
J-18	41
J-19	33
J-20	52

### ***Campañas de medición de agua residual***

Los resultados obtenidos del caudal con la ayuda de las medidas de los tirantes de agua residual en los 3 puntos de los desagües de la universidad fueron los siguientes:

**Tabla 28**

*Caudales de agua residual medidas en el campus universitario*

<b>Punto</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Diámetro de Tubería (mm)</b>	<b>Tirante (mm)</b>	<b>Material (Hormigón, PVC)</b>	<b>Rugosidad [n] Hormigón = 0,012 PVC= 0,009</b>	<b>Caudal</b>
1	19/12/2022	7h20	600	20	Hormigón	0,012	1,24
		13h05	600	10	Hormigón	0,012	0,28
		13h55	600	10	Hormigón	0,012	0,28
		16h05	600	10	Hormigón	0,012	0,28
2	19/12/2022	7h20	900	250	Hormigón	0,012	305,19
		13h05	900	150	Hormigón	0,012	109,31
		13h55	900	210	Hormigón	0,012	216,17
		16h05	900	180	Hormigón	0,012	158,53
3	19/12/2022	7h20	200	30	Hormigón	0,009	2,3
		13h05	200	30	Hormigón	0,009	2,3
		13h55	200	16	Hormigón	0,009	0,62
		16h05	200	18	Hormigón	0,009	0,79
1	20/12/2022	7h20	600	25	Hormigón	0,012	2
		13h05	600	10	Hormigón	0,012	0,28
		13h55	600	10	Hormigón	0,012	0,28
		16h05	600	12	Hormigón	0,012	0,41
2	20/12/2022	7h20	900	270	Hormigón	0,012	354,52
		13h05	900	190	Hormigón	0,012	176,83
		13h55	900	150	Hormigón	0,012	109,31
		16h05	900	120	Hormigón	0,012	68,95
3	20/12/2022	7h20	200	25	Hormigón	0,009	1,58
		13h05	200	15	Hormigón	0,009	0,54
		13h55	200	10	Hormigón	0,009	0,23
		16h05	200	12	Hormigón	0,009	0,34
1	21/12/2022	7h20	600	18	Hormigón	0,012	0,99

Punto	Fecha	Hora	Diámetro de Tubería (mm)	Tirante (mm)	Material (Hormigón, PVC)	Rugosidad [n] Hormigón = 0,012 PVC = 0,009	Caudal
		13h05	600	15	Hormigón	0,012	0,67
		13h55	600	15	Hormigón	0,012	0,67
		16h05	600	10	Hormigón	0,012	0,28
		7h20	900	220	Hormigón	0,012	237,16
2	21/12/2022	13h05	900	180	Hormigón	0,012	158,53
		13h55	900	190	Hormigón	0,012	176,83
		16h05	900	60	Hormigón	0,012	16,04
		7h20	200	18	Hormigón	0,009	0,79
3	21/12/2022	13h05	200	10	Hormigón	0,009	0,23
		13h55	200	18	Hormigón	0,009	0,79
		16h05	200	22	Hormigón	0,009	1,21
		7h20	600	10	Hormigón	0,012	0,28
1	22/12/2022	13h05	600	15	Hormigón	0,012	0,67
		13h55	600	20	Hormigón	0,012	1,24
		16h05	600	10	Hormigón	0,012	0,28
		7h20	900	180	Hormigón	0,012	158,53
2	22/12/2022	13h05	900	120	Hormigón	0,012	68,95
		13h55	900	75	Hormigón	0,012	75
		16h05	900	140	Hormigón	0,012	94,85
		7h20	200	16	Hormigón	0,009	0,62
3	22/12/2022	13h05	200	20	Hormigón	0,009	0,99
		13h55	200	21	Hormigón	0,009	0,99
		16h05	200	20	Hormigón	0,009	0,99
		7h20	600	23	Hormigón	0,012	1,67
1	23/12/2022	13h05	600	9	Hormigón	0,012	0,22
		13h55	600	9	Hormigón	0,012	0,22
		16h05	600	11	Hormigón	0,012	0,34
		7h20	900	243	Hormigón	0,012	288,66
2	23/12/2022	13h05	900	171	Hormigón	0,012	142,86
		13h55	900	135	Hormigón	0,012	88
		16h05	900	108	Hormigón	0,012	55,37
		7h20	200	22	Hormigón	0,009	1,21
3	23/12/2022	13h05	200	11	Hormigón	0,009	0,28
		13h55	200	9	Hormigón	0,009	0,18
		16h05	200	17	Hormigón	0,009	0,7

A continuación, se presenta el promedio de los datos de la Tabla 30, obtenidos de los datos tomados del 19 al 23 de diciembre de 2022, con la respectiva comparación de los históricos levantados por Alberto Garcés.

**Tabla 29***Caudales de agua residual medidas en el campus universitario*

<b>Hora</b>	<b>Punto</b>	<b>Caudal Aguas Residuales por Alberto Garcés (l/s)</b>	<b>Caudal Aguas Residuales Autores (l/s)</b>
7h20	1	0,121	1,236
13h05		0,192	0,424
13h55		0,129	0,538
16h05		0,025	0,318
7h20	2	0,136	268,812
13h05		0,233	131,296
13h55		0,205	133,062
16h05		0,054	78,748
7h20	3	1,799	1,3
13h05		2,492	0,868
13h55		3,167	0,562
16h05		0,644	0,806

**Resultados del modelo de Agua Potable y Residual en WaterCAD y SewerCAD*****Régimen permanente para agua potable***

Al realizar el modelo en régimen estacionario o permanente de la red general de agua potable de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE con el consumo establecido previamente a continuación se visualizan los resultados indicados en la Tabla 31. Indicando la demanda en l/s, la presión en m.c.a. de cada nodo obteniendo una demanda de necesaria de 1,892 l/s

**Tabla 30***Resultados del modelo de agua potable*

<b>Punto</b>	<b>Elevación (msnm)</b>	<b>Demanda (l/s)</b>	<b>Gradiente Hidráulico (msnm)</b>	<b>Presión (mca)</b>
J-1	2.494,14	0,000	2.518,48	24,29
J-2	2.492,89	0,096	2.518,45	25,51
J-3	2.498,64	0,000	2.518,43	19,75
J-4	2.482,31	0,059	2.518,41	36,03
J-5	2.475,68	0,000	2.518,39	42,63
J-6	2.482,68	0,070	2.518,37	35,62
J-7	2.481,78	0,001	2.518,31	36,46
J-8	2.487,00	0,000	2.518,26	31,20
J-9	2.491,03	0,000	2.518,20	27,12
J-10	2.494,86	0,009	2.518,20	23,30
J-11	2.502,03	0,184	2.518,18	16,12
J-12	2.500,86	0,000	2.518,27	17,37
J-13	2.495,32	0,052	2.518,26	22,90
J-14	2.487,70	0,001	2.518,40	30,64
J-15	2.489,75	0,126	2.518,39	28,59
J-16	2.485,06	0,013	2.518,43	33,30
J-17	2.493,17	0,683	2.517,98	24,76
J-18	2.490,82	0,597	2.517,91	27,03
J-19	2.493,64	0,000	2.518,17	24,49
J-20	2.485,56	0,001	2.518,26	32,64

**Tabla 31***Tabla comparativa entre presión modelada y presión medida*

<b>Punto</b>	<b>Presión modelada (mca)</b>	<b>Presión medida (m.c.a.)</b>	<b>Estado</b>
J-1	24,29	40	OK
J-2	25,51	42	OK
J-3	19,75	43	OK
J-4	36,03	47	OK
J-5	42,63	48	OK
J-6	35,62	50	OK
J-7	36,46	54	OK

Punto	Presión modelada (mca)	Presión medida (m.c.a.)	Estado
J-8	31,20	51	OK
J-9	27,12	32	OK
J-10	23,30	31	OK
J-11	16,12	33	OK
J-12	17,37	32	OK
J-13	22,90	30	OK
J-14	30,64	42	OK
J-15	28,59	40	OK
J-16	33,30	44	OK
J-17	24,76	43	OK
J-18	27,03	41	OK
J-19	24,49	33	OK
J-20	32,64	52	OK

#### ***Régimen no permanente para agua potable***

El régimen no permanente tiene distintos gastos en los nodos y el resultado de estos son las presiones, estas presiones no deben ser mayores a las medidas en campo. Los resultados del régimen no permanente en un periodo de 24 horas como se muestra en la Tabla 33 y 34.

**Tabla 32***Resultados de presiones régimen no permanente en WaterCAD*

<b>Tiempo (horas)</b>	<b>J20</b>	<b>J19</b>	<b>J18</b>	<b>J17</b>	<b>J16</b>	<b>J15</b>	<b>J14</b>	<b>J13</b>	<b>J12</b>	<b>J11</b>
0	33	24,9	27,7	25,3	33,5	28,9	30,9	23,3	17,7	16,6
1	33	24,9	27,7	25,3	33,5	28,9	30,9	23,3	17,7	16,6
2	33	24,9	27,7	25,3	33,5	28,9	30,9	23,3	17,7	16,6
3	33	24,9	27,7	25,3	33,5	28,9	30,9	23,3	17,7	16,6
4	33	24,9	27,7	25,3	33,5	28,9	30,9	23,3	17,7	16,6
5	32,9	24,8	27,5	25,2	33,5	28,8	30,8	23,2	17,7	16,5
6	32,7	24,6	27,2	24,9	33,4	28,6	30,7	23	17,5	16,2
7	32,3	24,1	26,4	24,2	33,1	28,3	30,4	22,5	17	15,7
8	32,1	23,9	26,1	23,9	33	28,2	30,3	22,4	16,8	15,5
9	32,1	23,9	26,1	23,9	33	28,2	30,3	22,4	16,8	15,5
10	32,1	23,9	26,1	23,9	33	28,2	30,3	22,4	16,8	15,5
11	32,2	24	26,3	24,1	33	28,3	30,3	22,5	17	15,6
12	32,4	24,3	26,7	24,5	33,2	28,4	30,5	22,7	17,2	15,9
13	32,2	24	26,3	24,1	33	28,3	30,3	22,5	17	15,6
14	32,2	24	26,3	24,1	33	28,3	30,3	22,5	17	15,6
15	32,3	24,1	26,5	24,3	33,1	28,4	30,4	22,6	17,1	15,8
16	32,3	24,1	26,5	24,3	33,1	28,4	30,4	22,6	17,1	15,8
17	32,4	24,3	26,7	24,5	33,2	28,4	30,5	22,7	17,2	15,9
18	32,6	24,5	27	24,8	33,3	28,6	30,6	22,9	17,4	16,1
19	32,6	24,5	27	24,8	33,3	28,6	30,6	22,9	17,4	16,1
20	32,7	24,6	27,2	24,9	33,4	28,6	30,7	23	17,5	16,2
21	32,7	24,6	27,2	24,9	33,4	28,6	30,7	23	17,5	16,2
22	32,8	24,7	27,3	25	33,4	28,7	30,8	23,1	17,5	16,3
23	32,9	24,8	27,5	25,2	33,5	28,8	30,8	23,2	17,7	16,5
24	33	24,9	27,7	25,3	33,5	28,9	30,9	23,3	17,7	16,6

**Tabla 33***Resultados de presiones régimen no permanente en WaterCAD*

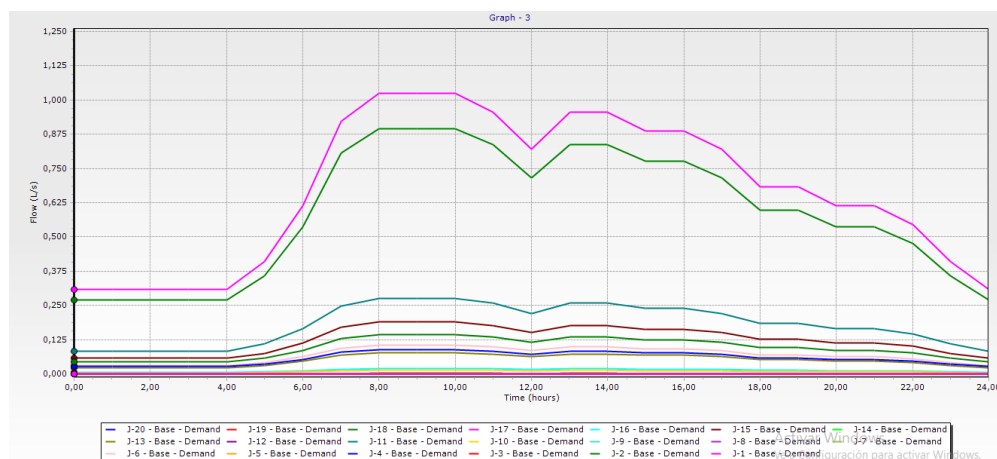
<b>Tiempo (horas)</b>	<b>J10</b>	<b>J9</b>	<b>J8</b>	<b>J7</b>	<b>J6</b>	<b>J5</b>	<b>J4</b>	<b>J3</b>	<b>J2</b>	<b>J1</b>
0	23,7	27,5	31,6	36,8	35,9	42,9	36,3	20	25,7	24,5
1	23,7	27,5	31,6	36,8	35,9	42,9	36,3	20	25,7	24,5
2	23,7	27,5	31,6	36,8	35,9	42,9	36,3	20	25,7	24,5
3	23,7	27,5	31,6	36,8	35,9	42,9	36,3	20	25,7	24,5
4	23,7	27,5	31,6	36,8	35,9	42,9	36,3	20	25,7	24,5

Tiempo (horas)	J10	J9	J8	J7	J6	J5	J4	J3	J2	J1
5	23,6	27,4	31,5	36,7	35,8	42,8	36,2	19,9	25,7	24,4
6	23,4	27,2	31,3	36,5	35,7	42,7	36,1	19,8	25,6	24,3
7	22,9	26,7	30,8	36,1	35,3	42,4	35,8	19,5	25,3	24,1
8	22,7	26,5	30,7	36	35,2	42,2	35,7	19,4	25,2	24
9	22,7	26,5	30,7	36	35,2	42,2	35,7	19,4	25,2	24
10	22,7	26,5	30,7	36	35,2	42,2	35,7	19,4	25,2	24
11	22,8	26,7	30,8	36,1	35,3	42,3	35,7	19,5	25,3	24,1
12	23,1	26,9	31	36,3	35,5	42,5	35,9	19,6	25,4	24,2
13	22,8	26,7	30,8	36,1	35,3	42,3	35,7	19,5	25,3	24,1
14	22,8	26,7	30,8	36,1	35,3	42,3	35,7	19,5	25,3	24,1
15	23	26,8	30,9	36,2	35,4	42,4	35,8	19,6	25,3	24,1
16	23	26,8	30,9	36,2	35,4	42,4	35,8	19,6	25,3	24,1
17	23,1	26,9	31	36,3	35,5	42,5	35,9	19,6	25,4	24,2
18	23,3	27,1	31,2	36,5	35,6	42,6	36	19,8	25,5	24,3
19	23,3	27,1	31,2	36,5	35,6	42,6	36	19,8	25,5	24,3
20	23,4	27,2	31,3	36,5	35,7	42,7	36,1	19,8	25,6	24,3
21	23,4	27,2	31,3	36,5	35,7	42,7	36,1	19,8	25,6	24,3
22	23,5	27,3	31,4	36,6	35,7	42,7	36,1	19,9	25,6	24,4
23	23,6	27,4	31,5	36,7	35,8	42,8	36,2	19,9	25,7	24,4
24	23,7	27,5	31,6	36,8	35,9	42,9	36,3	20	25,7	24,5

En la Figura 40 se muestra en la gráfica de caudales en los nodos en cada instante de tiempo correspondiente a su multiplicador, indicando la gráfica del caudal en l/s las 24 horas del día y cada curva es un nodo es así que se obtienen 20 curvas debido a que se modelaron 20 nodos que tiene una gran relación con el análisis de la cisterna donde el consumo máximo es en horas de la mañana, entre las 6h00 y 10h00 de 1,05 l/s.

**Figura 40**

*Resultado de caudales en l/s para régimen.*



### **Red N° 1 de Aguas Residuales Caudal de diseño (Régimen permanente)**

Al realizar el modelo en régimen permanente se obtiene los siguientes valores de flujo mostrados en la siguiente Tabla 35.

**Tabla 34**

*Resultado del flujo de la red 1 de aguas residuales para la tubería (Régimen Permanente)*

ETIQUETA	Flujo (l/s)	Velocidad (m/s)
CO-1	4,00	0,49
CO-2	3,30	0,52
CO-3	2,99	0,44
CO-4	3,60	0,37
CO-5	5,86	0,20

### **Red N° 1 de Aguas Residuales Caudal máximo instantáneo**

De igual manera en el modelo para el segundo escenario contemplando caudal máximo instantáneo se obtiene los siguientes valores de flujo mostrados en la Tabla 36.



**Tabla 35**

*Resultado del flujo de la red 1 de aguas residuales con caudal máximo instantáneo*

<b>ETIQUETA</b>	<b>Flujo (l/s)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>
CO-1	3,55	0,46
CO-2	3,01	0,53
CO-3	2,73	0,42
CO-4	3,45	0,36
CO-5	5,74	0,19

***Red N° 1 de Aguas Residuales Caudal mínimo***

Para el tercer escenario en el modelo se considera el caudal mínimo obteniendo de esta manera los siguientes resultados de flujo mostrados en la siguiente Tabla 37.

**Tabla 36**

*Resultado del flujo de la red 1 de aguas residuales con caudal mínimo*

<b>ETIQUETA</b>	<b>Flujo (l/s)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>
CO-1	0,50	0,19
CO-2	0,50	0,19
CO-3	0,51	0,19
CO-4	2,25	0,30
CO-5	4,97	0,19

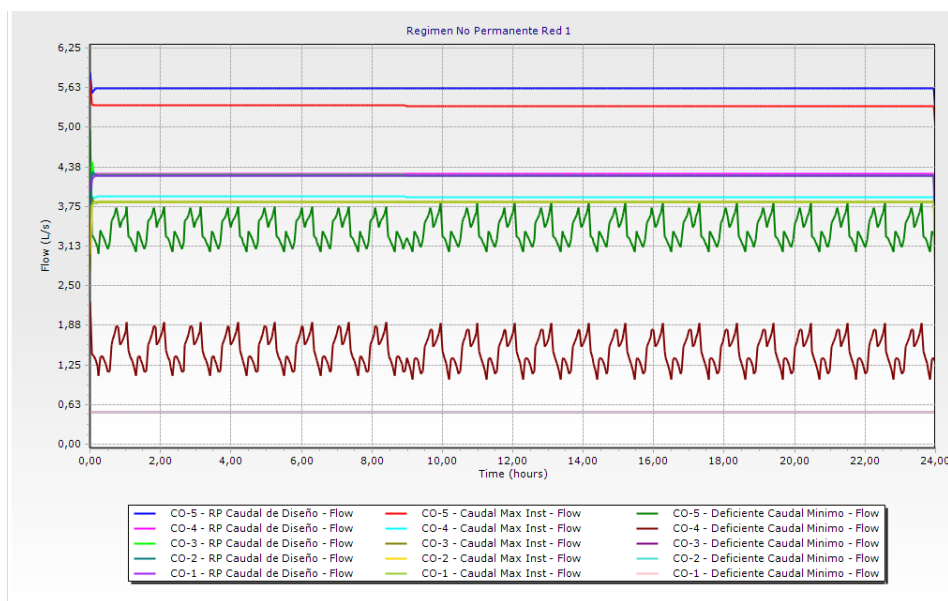
***Red N° 1 de Aguas Residuales comparación de los 3 escenarios (Régimen No***

***Permanente)***

A continuación, en la Figura 41 se presenta el régimen no permanente de la red 1 en el eje de las ordenadas se tiene velocidad y flujo en m/s y l/s respectivamente y en las abscisas la hora en un tiempo de un día es decir 24 horas

**Figura 41**

Comparación de los 3 escenarios para régimen no permanente.



### Red N° 2 de Aguas Residuales Caudal de diseño (Régimen permanente)

Al realizar el modelo en régimen permanente se obtiene los siguientes valores de flujo mostrados en la Tabla 38.

**Tabla 37**

Resultado del flujo de la red 2 de aguas residuales (Régimen Permanente)

ETIQUETA	Flujo (l/s)	Velocidad (m/s)
CO-1	0,62	0,23
CO-2	0,62	0,22
CO-3	0,64	0,2
CO-4	0,62	0,2
CO-5	0,6	0,25
CO-6	0,97	0,24
CO-7	1,03	0,27
CO-8	1,84	0,27
CO-9	1,84	0,29

ETIQUETA	Flujo (l/s)	Velocidad (m/s)
CO-10	1,9	0,28
CO-11	2,66	0,35
CO-12	2,66	0,32
CO-13	2,66	0,32
CO-14	2,72	0,32
CO-15	-10,69	-0,91
CO-16	-11,89	-0,9
CO-17	-6,65	-0,58
CO-22	1,12	0,3
CO-23	1,12	0,29
CO-24	1,8	0,38
CO-25	11,09	1,03
CO-26	10,13	0,9

**Red N° 2 de Aguas Residuales Caudal máximo instantáneo**

De igual manera en el modelo para el segundo escenario contemplando caudal máximo instantáneo se obtiene los siguientes valores de flujo mostrados en la Tabla 39

**Tabla 38**

*Resultado del flujo de la red 2 de aguas residuales con caudal máximo instantáneo*

ETIQUETA	Flujo (l/s)
CO-1	0,06
CO-2	0,06
CO-3	0,06
CO-4	0,06
CO-5	0,06
CO-6	0,1
CO-7	0,1
CO-8	0,18
CO-9	0,18
CO-10	0,18
CO-11	0,26
CO-12	0,26
CO-13	0,26
CO-14	0,26
CO-15	-1,29

ETIQUETA	Flujo (l/s)
CO-16	-1,29
CO-17	-0,71
CO-22	0,11
CO-23	0,11
CO-24	0,18
CO-25	1,73
CO-26	1,73

### **Red N° 2 de Aguas Residuales Caudal mínimo**

Para el tercer escenario en el modelo se considera el caudal mínimo obteniendo de esta manera los siguientes resultados de flujo mostrados en la siguiente Tabla 40

**Tabla 39**

*Resultado del flujo de la red 2 de aguas residuales con caudal mínimo*

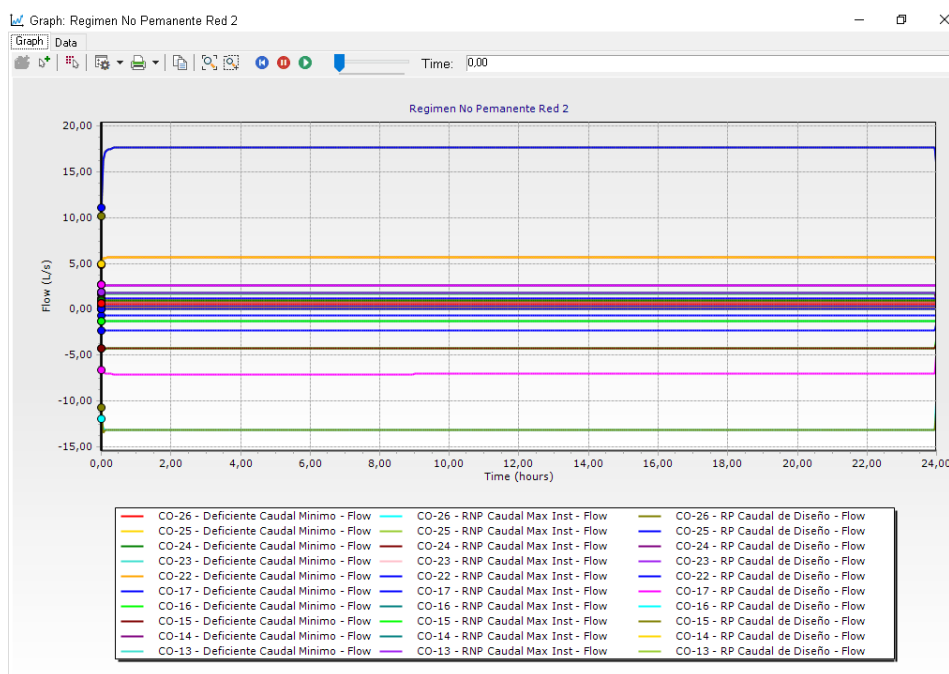
ETIQUETA	Flujo (l/s)	Velocidad (m/s)
CO-1	0,19	0,17
CO-2	0,19	0,17
CO-3	0,19	0,17
CO-4	0,19	0,17
CO-5	0,19	0,19
CO-6	0,32	0,18
CO-7	0,31	0,19
CO-8	0,59	0,2
CO-9	0,59	0,22
CO-10	0,59	0,2
CO-11	0,85	0,21
CO-12	0,85	0,21
CO-13	0,85	0,21
CO-14	0,85	0,22
CO-15	-4,28	-0,39
CO-16	-4,29	-0,4
CO-17	-2,3	-0,3
CO-22	0,36	0,21
CO-23	0,36	0,2
CO-24	0,58	0,24
CO-25	4,92	0,45
CO-26	4,89	0,43

## **Red N° 2 de Aguas Residuales comparación de los 3 escenarios (Régimen No Permanente)**

A continuación, en la Figura 42 se presenta el régimen no permanente de la red 2 en el eje de las ordenadas se tiene velocidad y flujo en m/s y l/s respectivamente y en las abscisas la hora en un tiempo de un día es decir 24 horas

**Figura 42**

*Régimen No Permanente para la Red 2 de Agua Residual*



## **Red N° 3 de Aguas Residuales Caudal de diseño (Régimen permanente)**

Al realizar el modelo en régimen permanente se obtiene los siguientes valores de flujo mostrados en la Tabla 41

**Tabla 40***Resultado del flujo de la red 3 de aguas residuales (Régimen Permanente)*

ETIQUETA	Flujo (l/s)	Velocidad (m/s)
CO-1	0,54	0,2
CO-2	0,55	0,21
CO-3	0,56	0,22
CO-4	0,54	0,2
CO-5	0,57	0,21
CO-6	0,61	0,2
CO-7	0,64	0,2
CO-8	0,66	0,27
CO-9	0,64	0,2
CO-10	0,63	0,27
CO-11	0,58	0,23
CO-12	0,58	0,22
CO-13	-0,21	-0,17
CO-14	-0,21	-0,17
CO-15	0,78	0,21

**Red N° 3 de Aguas Residuales Caudal máximo instantáneo**

De igual manera en el modelo para el segundo escenario contemplando caudal máximo instantáneo se obtiene los siguientes valores de flujo mostrados en la Tabla 42

**Tabla 41***Resultado del flujo de la red 3 de aguas residuales con caudal máximo instantáneo*

ETIQUETA	Flujo (l/s)	Velocidad (m/s)
CO-1	0,24	0,18
CO-2	0,24	0,18
CO-3	0,24	0,18
CO-4	0,24	0,18
CO-5	0,27	0,18
CO-6	0,27	0,18
CO-7	0,27	0,18
CO-8	0,26	0,2

ETIQUETA	Flujo (l/s)	Velocidad (m/s)
CO-9	0,26	0,18
CO-10	0,26	0,2
CO-11	0,26	0,18
CO-12	0,27	0,18
CO-13	-0,09	-0,17
CO-14	-0,09	-0,17
CO-15	0,35	0,18

### **Red N° 3 de Aguas Residuales Caudal mínimo**

Para el tercer escenario en el modelo se considera el caudal mínimo obteniendo de esta manera los siguientes resultados de flujo mostrados en la Tabla 43

**Tabla 42**

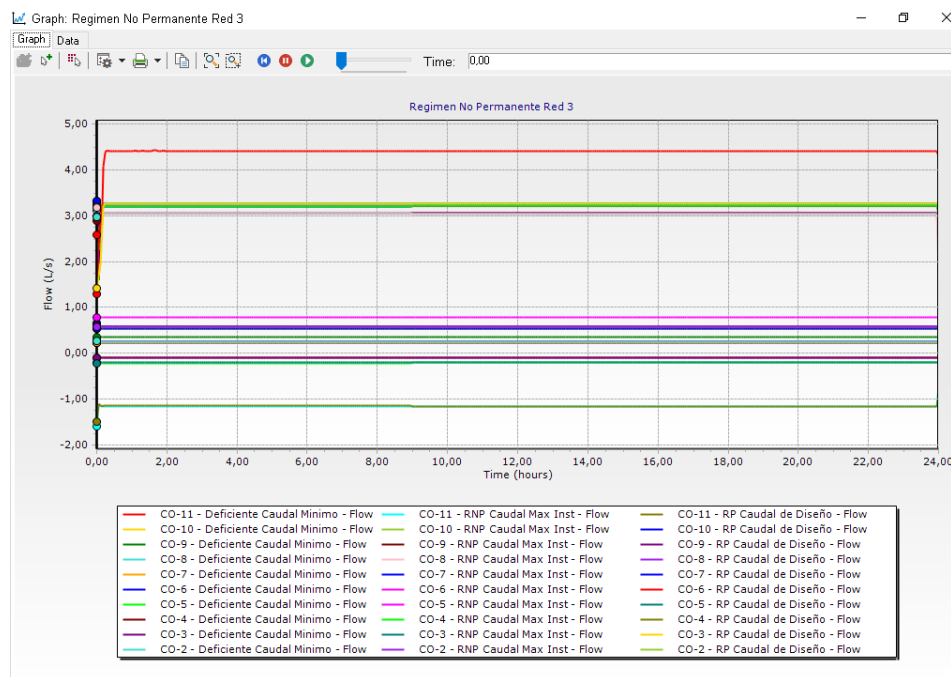
*Resultado del flujo de la red 3 de aguas residuales con caudal mínimo*

ETIQUETA	Flujo (l/s)	Velocidad (m/s)
CO-1	3,18	0,35
CO-2	2,97	0,46
CO-3	3	0,43
CO-4	2,9	0,33
CO-5	3,2	0,45
CO-6	3,32	0,4
CO-7	3,25	0,35
CO-8	3,11	0,49
CO-9	3,31	0,36
CO-10	3,3	0,5
CO-11	2,59	0,43
CO-12	1,42	0,35
CO-13	-1,49	-0,29
CO-14	-1,6	-0,26
CO-15	1,3	0,26

A continuación, en la siguiente figura se presenta el régimen no permanente de la red 3 en el eje de las ordenadas se tiene velocidad y flujo en m/s y l/s respectivamente y en las abscisas la hora en un tiempo de un día es decir 24 horas

Figura 43

Red N° 3 de Aguas Residuales comparación de los 3 escenarios (Régimen No Permanente)



## Resultados del modelo de Agua Potable y Residual en QGIS

### Red de agua potable

Los resultados obtenidos en la herramienta QWater con el ingreso y corrido en QGIS son los presentados en la siguiente Tabla 44.

Tabla 43

Resultado de la red de agua potable en QGIS

Punto	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)
1	2.494,14	0
2	2.492,89	0,31
3	2.498,64	0
4	2.482,31	0,18
5	2.475,68	0
6	2.482,68	0,22
7	2.481,78	0,01
8	2.487,00	0
9	2.491,03	0
10	2.494,86	0,07



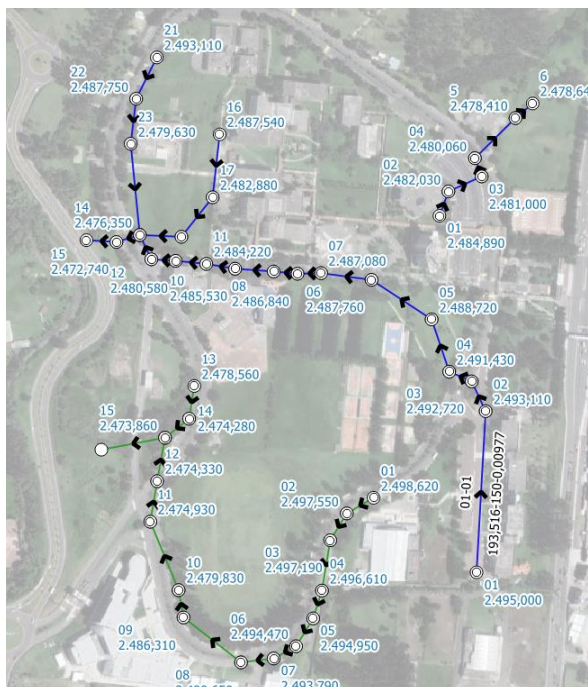
Punto	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)
11	2.502,03	0,53
12	2.500,86	0
13	2.495,32	0,45
14	2.487,70	0,01
15	2.489,75	0,51
16	2.485,06	0,05
17	2.493,17	2,03
18	2.490,82	2,11
19	2.493,64	0
20	2.485,56	0,01

### Red de agua residual N° 1

Ocupando el plugin QESg de QGIS se traza la red de agua residual N° 1 como se visualiza en la Figura 44

### Figura 44

Distribución de redes de agua sanitaria en QGIS



Calculado los resultados en QGIS se obtiene los valores de flujo y velocidad en la red, los cuales son los mostrados en la Tabla 45

**Tabla 44***Valores de flujo y velocidad para el caudal de diseño red sanitaria 1*

<b>ETIQUETA</b>	<b>Flujo (l/s)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>
1	4,388	0,536
2	3,620	0,568
3	3,280	0,481
4	3,949	0,404
5	6,428	0,219

**Tabla 45***Valores de flujo y velocidad para el caudal máximo instantáneo red sanitaria 1*

<b>ETIQUETA</b>	<b>Flujo (l/s)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>
1	3,894	0,503
2	3,302	0,579
3	2,995	0,459
4	3,785	0,393
5	6,297	0,208

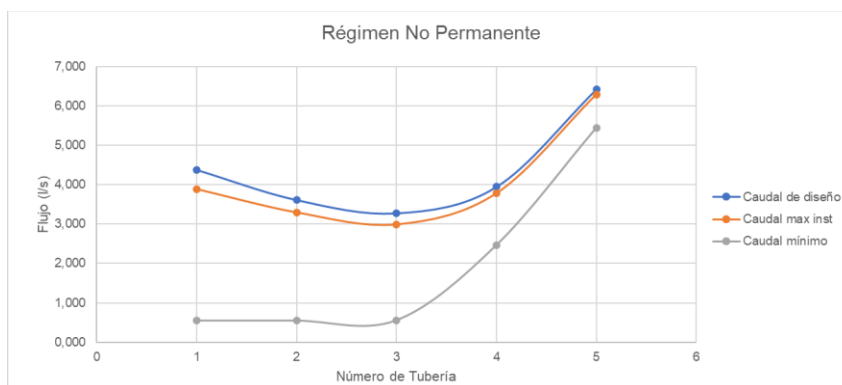
**Tabla 46***Valores de flujo y velocidad para el caudal mínimo red sanitaria 1*

<b>ETIQUETA</b>	<b>Flujo (l/s)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>
1	0,549	0,208
2	0,549	0,208
3	0,559	0,208
4	2,468	0,328
5	5,452	0,208

La grafica en donde se comparan los 3 tipos de escenarios, es decir, el caudal de diseño, máximo instantáneo y mínimo se presenta a continuación en la Figura 45

**Figura 45**

*Régimen No Permanente de la red sanitaria 1*

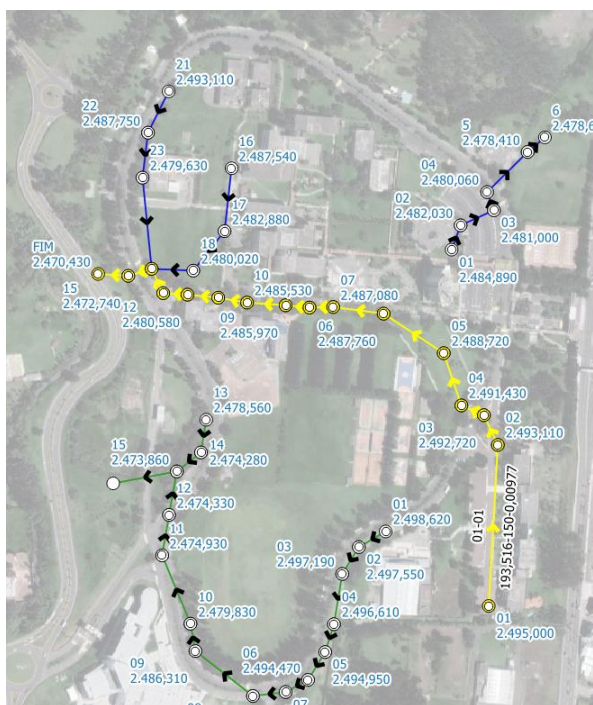


### **Red de agua residual N° 2**

Ocupando el plugin QEsg de QGIS se traza la red de agua residual N° 2 como se visualiza en la Figura 46, se divide en 3 colectores la misma red, y a su vez la gráfica de la línea de conducción del colector 1 de la red 2 en la Figura 47.

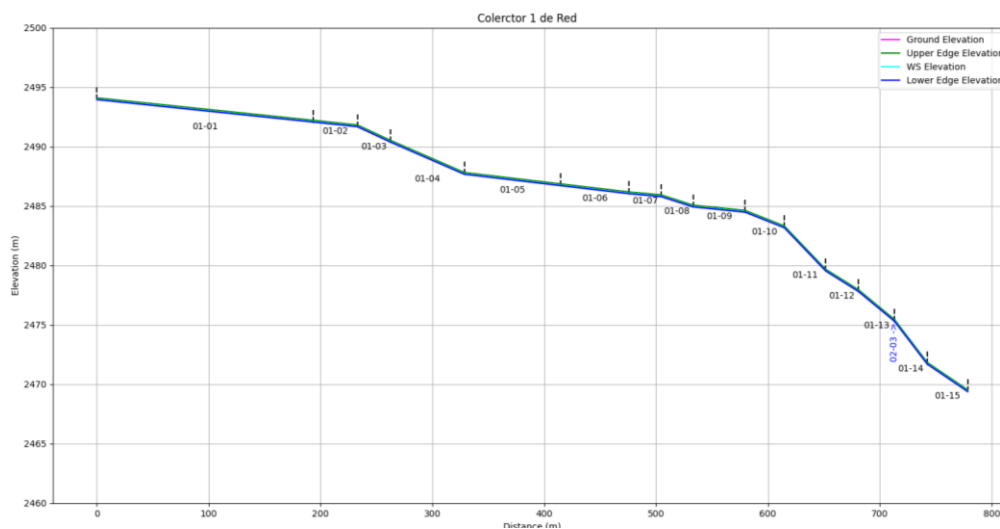
**Figura 46**

*Distribución del colector 1 de la red N° 2 de agua sanitaria en QGIS*



**Figura 47**

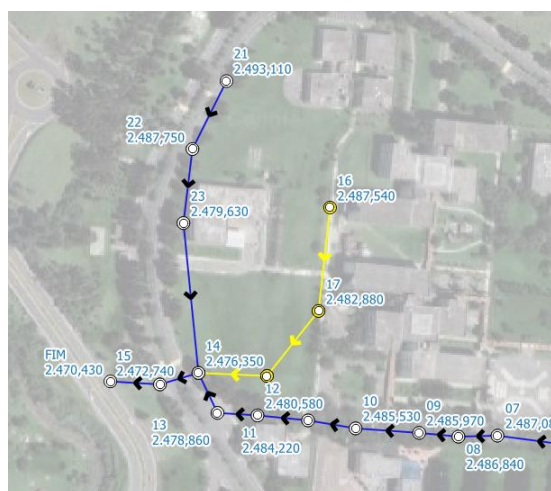
*Línea de conducción de la red N° 2 colector 1 en QGIS*



De igual manera para el colector 2 de la misma red se realiza el trazado para su cálculo, como se muestra en la Figura 48, y su respectiva línea de conducción de en la Figura 49.

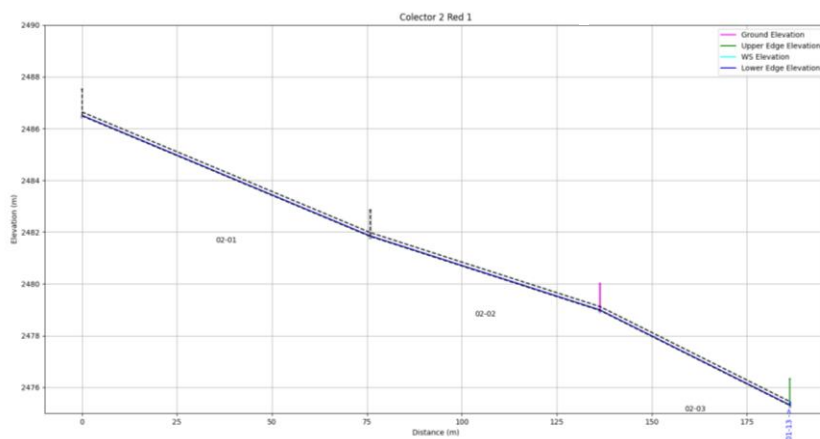
**Figura 48**

*Distribución del colector 1 de la red N° 2 de agua sanitaria en QGIS*



**Figura 49**

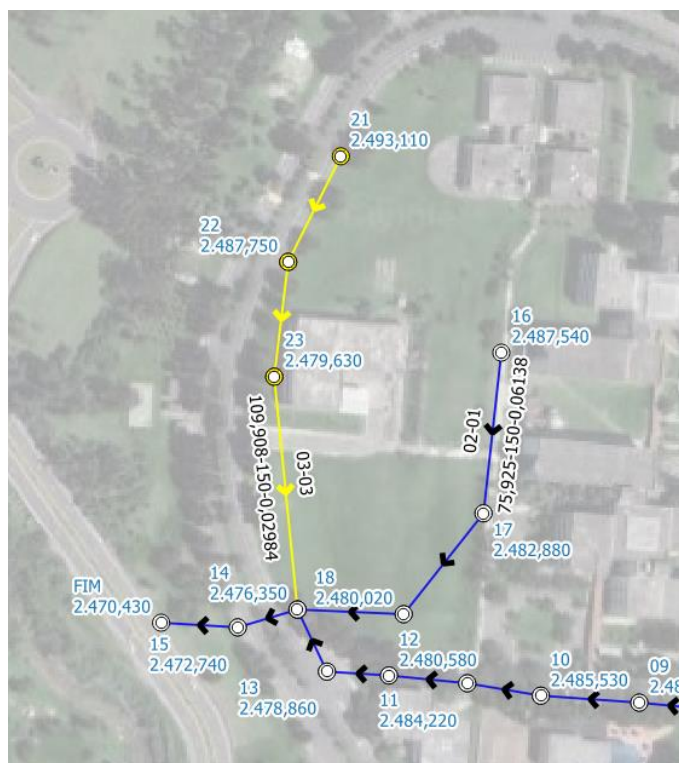
Línea de conducción de la red N° 2 colector 2 en QGIS



Finalmente, para el colector 3 de la misma red se realiza el trazado para su cálculo, como se muestra en la Figura 50, y su respectiva línea de conducción de en la Figura 51.

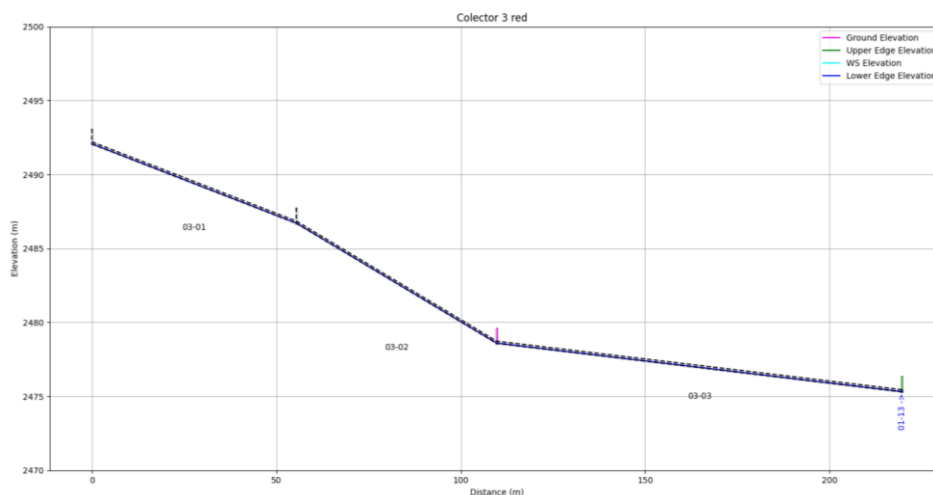
**Figura 50**

Distribución del colector 3 de la red N° 2 de agua sanitaria en QGIS



**Figura 51**

Línea de conducción de la red N° 2 colector 3 en QGIS



Los resultados obtenidos por el software se presentan a continuación en la Tabla 48, 49 y 50, correspondiente al caudal de diseño, máximo instantáneo y mínimo.

**Tabla 47**

Valores de flujo y velocidad para el caudal de diseño red sanitaria 2

ETIQUETA	Flujo (l/s)
1	0,57
2	0,57
3	0,59
4	0,57
5	0,55
6	0,89
7	0,94
8	1,68
9	1,68
10	1,74
11	2,43
12	2,43

ETIQUETA	Flujo (l/s)
13	2,43
14	2,49
15	9,78
16	10,87
17	6,08
22	1,02
23	1,02
24	1,65
25	10,14
26	9,26

**Tabla 48**

*Valores de flujo y velocidad para el caudal máximo instantáneo red sanitaria 2*

ETIQUETA	Flujo (l/s)
1	0,05
2	0,05
3	0,05
4	0,05
5	0,05
6	0,09
7	0,09
8	0,16
9	0,16
10	0,16
11	0,24
12	0,24
13	0,24
14	0,24
15	1,18
16	1,18
17	0,65
22	0,10
23	0,10
24	0,16
25	1,58
26	1,58

**Tabla 49***Valores de flujo y velocidad para el caudal mínimo red sanitaria 2*

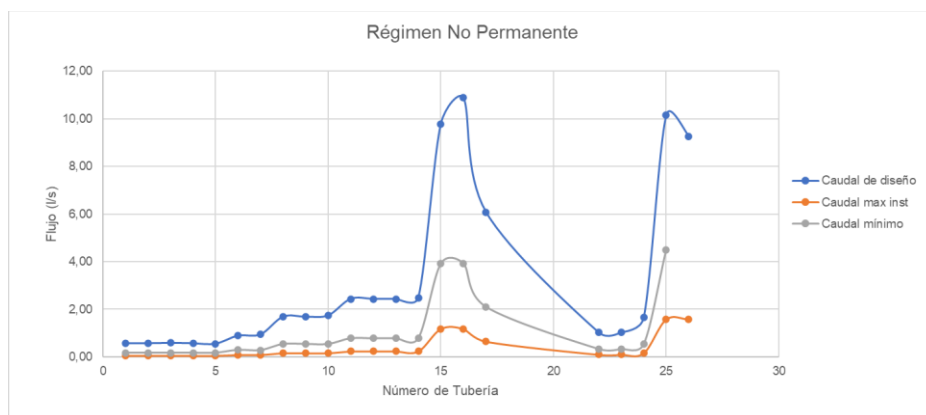
<b>ETIQUETA</b>	<b>Flujo (l/s)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>
1	0,17	0,16
2	0,17	0,16
3	0,17	0,16
4	0,17	0,16
5	0,17	0,17
6	0,29	0,16
7	0,28	0,17
8	0,54	0,18
9	0,54	0,20
10	0,54	0,18
11	0,78	0,19
12	0,78	0,19
13	0,78	0,19
14	0,78	0,20
15	3,91	0,36
16	3,92	0,37
17	2,10	0,27
22	0,33	0,19
23	0,33	0,18
24	0,53	0,22
25	4,50	0,41
26	4,47	0,39

La grafica en donde se comparan los 3 tipos de escenarios, es decir, el caudal de diseño, máximo instantáneo y mínimo se presenta a continuación en la Figura 52.



**Figura 52**

*Régimen No Permanente para la red N° 2 en QGIS*

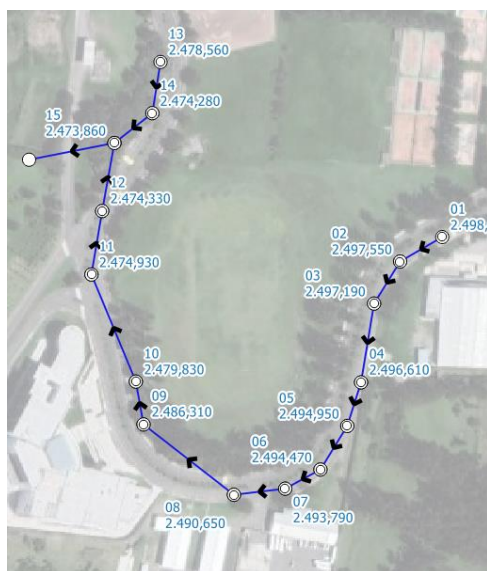


### **Red de agua residual N° 3**

Finalmente siguiendo la misma metodología se obtiene los resultados de la red N° 3 de aguas residuales como se visualiza en la Figura 53.

**Figura 53**

*Distribución de la red N° 3 de agua sanitaria en QGIS*



Los resultados obtenidos por el software se presentan a continuación en la Tabla 51, 52 y 53, correspondiente al caudal de diseño, máximo instantáneo y mínimo.

**Tabla 50***Valores de flujo y velocidad para el caudal de diseño red sanitaria 3*

<b>ETIQUETA</b>	<b>Flujo (l/s)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>
1	0,589	0,218
2	0,600	0,229
3	0,610	0,240
4	0,589	0,218
5	0,621	0,229
6	0,665	0,218
7	0,698	0,218
8	0,719	0,294
9	0,698	0,218
10	0,687	0,294
11	0,632	0,251
12	0,632	0,240
13	0,229	0,185
14	0,229	0,185
15	0,850	0,229

**Tabla 51***Valores de flujo y velocidad para el caudal máximo instantáneo red sanitaria 3*

<b>ETIQUETA</b>	<b>Flujo (l/s)</b>
1	0,262
2	0,262
3	0,262
4	0,262
5	0,294
6	0,294
7	0,294
8	0,283
9	0,283
10	0,283
11	0,283
12	0,294
13	0,098
14	0,098
15	0,382

**Tabla 52**

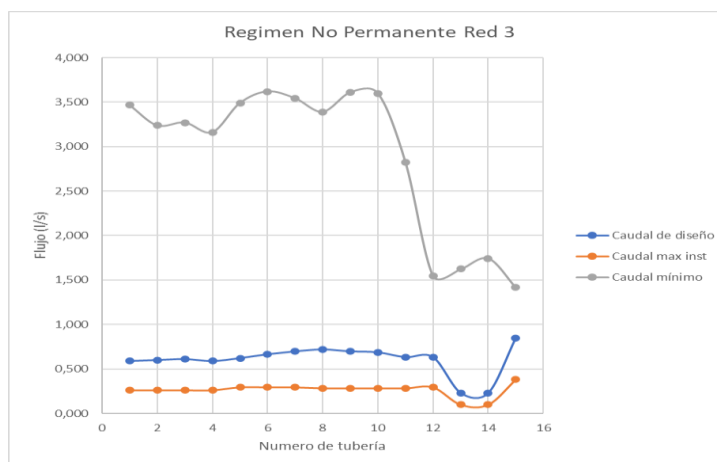
Valores de flujo y velocidad para el caudal mínimo red sanitaria 3

ETIQUETA	Flujo (l/s)
1	3,466
2	3,237
3	3,270
4	3,161
5	3,488
6	3,619
7	3,543
8	3,390
9	3,608
10	3,597
11	2,823
12	1,548
13	1,624
14	1,744
15	1,417

La grafica en donde se comparan los 3 tipos de escenarios, es decir, el caudal de diseño, máximo instantáneo y mínimo se presenta a continuación en la Figura 54.

**Figura 54**

Régimen No Permanente para la red N° 3 en QGIS



### **Propuesta de mejora del sistema de agua potable con presupuesto**

Para mejorar el sistema de agua potable es imprescindible en control y prevención de fugas en la red con el objetivo de aprovechar el consumo de agua que se ha venido practicando en la universidad.

- Llevar el análisis y monitoreo de fugas mediante inspecciones o uso de sensores IoT.
- Verificar las posibles causas por las que la red puede tener fugas en varias zonas según los trabajadores del campus.
- Realizar un estudio exploratorio en campo a fin de identificar suelo húmedo, diferencias de vegetación, hundimiento del terreno por erosión del subsuelo, etc.
- Evitar fuerte manipulación del material en actividades de transporte, instalación, ejecución y mantenimiento, se sabe que el daño es principalmente causado por cargas superficiales, mal diseño, mala ejecución de las actividades de construcción, aplastamiento o agrietamiento longitudinal, vibración por las cargas superficiales, fatiga, golpe de ariete o fallas de fábrica.

Como se vio en el apartado de implementación de tecnología IoT se discute la factibilidad de implementación de dispositivos IoT que determinan el consumo de agua de un edificio y permite identificar la dotación, además permite al sistema de agua potable actualizarse en un sistema con Smart Water debido a la posibilidad de visualizar y analizar el caudal de la red, como ayuda para identificar gastos inusuales, interviniendo en ellos, evitando el desperdicio de agua y economía destinado a mejorar el aprovechamiento del agua.

Para un sistema Smart Water que permite incursionar en el ámbito Smart University, se planteó la instalación de 13 caudalímetros en las principales acometidas de edificaciones de la universidad que, al comparar su consumo con un caudalímetro ubicado en el inicio de la red de

agua potable, la sumatoria del consumo de agua de los 13 caudalímetros debería ser igual al consumo del caudalímetro principal.

Para evitar pérdidas de agua innecesarias y fugas con el objetivo de ahorrar agua, se deben cambiar los aparatos sanitarios, urinarios y tuberías deterioradas, que limitan el consumo de agua drásticamente.

En la Tabla 54 se detalla el costo de fabricación de un caudalímetro IoT de 2" que se instaló en el bloque B primer piso.

**Tabla 53**

*Costo de fabricación de caudalímetro IoT de 2"*

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total</b>
1	Sensor de flujo	82,14	82,14
12	Cable apantallado 4x18 AWG	0,45	5,40
1	Placa PCB	68,93	68,93
1	Corte Laser	6,65	6,65
1	Bornera negra tres terminales	0,45	0,45
1	Bornera azul 3 terminales mediana	0,31	0,31
1	Capacitor electronico 100UF a 50V	0,13	0,13
1	Espadin Hembra 40P	0,45	0,45
1	Fuente 100-220VAC A 5V DC 0,25A		
1	PLACA	6,96	6,96
1	Placa ESP32 de 38 Pines	12,5	12,50
		<b>Subtotal</b>	183,92
		<b>IVA 12%</b>	22,07
		<b>Total \$</b>	205,99

En la Tabla 55 se detalla el APU correspondiente a la instalación del caudalímetro definido por sus costos directos identificados en la instalación del caudalímetro del bloque B para tener un costo más aproximado de implementación de estos dispositivos.

**Tabla 54**

*APU correspondiente a la instalación de un dispositivo IoT de 2"*

<b>Equipo</b>						
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hr.	Rendimiento	Costo	
HERRAMIENTA MENOR	1	0,6325	0,63	1	0,63	
					Total	0,63
<b>Mano de obra</b>						
Descripción	Cantidad	Jornada/hr	Costo Hr.	Rendimiento	Costo	
MAESTRO MAYOR EN EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES	2	4,05	8,1	1	8,1	
PEÓN	1	4,55	4,55	1	4,55	
					Total	12,65
<b>Materiales</b>						
Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Costo		
CAUDALÍMETRO IOT	U	1	205,99	205,9904		
UNIÓN POLIPROPILENO 2"	U	2	2,92	5,84		
UNIVERSAL POLIPROPILENO 2"	U	1	10,39	10,39		
NEPLO POLIPROPILENO 10 CM 2"	U	1	3,33	3,33		
					Total	225,55
<b>Transporte</b>						
Descripción	Unidad Transp.	Cantidad	Distancia	Precio	Total	
					Total	
					TOTAL COSTOS DIRECTOS	238,83
					INDIRECTOS Y UTILIDADES %:	47,77
					COSTO TOTAL DEL RUBRO (CD+CI):	286,60
					<b>VALOR OFERTADO:</b>	<b>286,60</b>

En la Tabla 56 se detalla el costo de mejora del sistema de agua potable descrito anteriormente, al identificar el número adecuado de optimización de aparatos sanitarios, tuberías y caudalímetros, resultando en un costo de \$189590,84.

**Tabla 55**

*Costo de mejora del sistema de agua potable mediante el uso de nuevos mecanismos de ahorro de agua potable*

	<b>Tubería 2"</b>	<b>Inodors</b>	<b>Urinarios</b>	<b>Caudalímetro</b>	<b>Costos \$</b>
Bloque A-B	4	84	40	1	31619,20
Bloque C-D	4	84	40	4	32479,00
Laboratorio idiomas/suelos	2	16	7	1	6122,30
Laboratorio electrónico/biotecnología	1	20	8	1	7267,80
Laboratorio geográfico/mecánica	1	10	6	0	4147,90
Laboratorio mecánico	2	20	0	0	4505,00
Bar/Almacén/Serv. Univ./Salón 2000	3	19	7	1	6833,75
Coliseo/CAFDER	3	35	9	1	10987,95
Biblioteca	1	14	9	1	6262,80
Policlínico	1	21	0	1	4960,75
Edificio administrativo	1	21	19	0	10676,25
Transportes/CICTE	2	11	5	1	4389,75
Garitas y bodegas	0	5	0	0	1100,75
Residencia/comedor	4	215	32	1	57931,65
Redes del campus	6	0	0	0	306,00
<b>Total</b>	<b>35</b>	<b>575</b>	<b>182</b>	<b>13</b>	<b>189590,84</b>

### ***Tiempo de recuperación de la inversión***

Como ya se definió anteriormente la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE cuenta con un abastecimiento propio de agua potable gracias a los pozos que se encuentran bajo el campus, esto quiere decir que el agua suministrada a la ESPE no se le cobra a la institución. Caso contrario el costo por m<sup>3</sup> de agua potable para consumos mayores a 18 m<sup>3</sup> al mes es de \$0,72, tomando como referencia el estudio de la cisterna se determinó que 2721,60 m<sup>3</sup> de agua se pierden por fugas, obteniendo un costo de pérdida de agua potable como se muestra en la Tabla 57.

**Tabla 56***Costo de dotaciones y pérdidas de agua potable*

	<b>Cantidad m3</b>	<b>Costo USD x m3</b>	<b>Costo Total</b>
Dotación [m3/mensual]	4573,95	0,72	2058,28
Fugas [m3/mensual]	2721,60	0,72	1959,55

El costo de las aguas no contabilizadas es de \$ 1959,55 y al dividir este valor para el costo de mejora del sistema de agua potable se puede costear el proyecto en 96,75 meses, tal como se indica en la Tabla 58.

**Tabla 57***Tiempo en el cual se puede costear el proyecto de mejora de agua potable*

<b>Precio de fuga mensual</b>	<b>Precio de reparación</b>	<b>Tiempo de recuperación (meses)</b>
1959,55	189590,8432	96,75



## Conclusiones

Se realizó la unión de los planos de cada bloque y cada edificio, obtenido un plano de las redes de agua potable y residual de la universidad, de esta manera se consiguió actualizar el catastro hidrosanitario para estudiar el lugar y tubería apropiada para la instalación del segundo caudalímetro IoT, concluyendo como mejor opción el Bloque B

Se midió los datos como el volumen, tirante y presión en las campañas de medición de la cisterna, agua residual y potable respectivamente, obteniendo la dotación real de 14,6 l/hab/día con una notable diferencia con la que sugiere la NEC 11 capítulo 16 entre 40 y 60 litros, una pérdida de 59,5 % (aguas no contabilizadas) 8,68 l/hab/día, un caudal de diseño promedio de 3,95 l/s en la red n° 1 de agua residual; 3,44 l/s en la red n° 2 de agua residual; 0,55 l/s en la red n° 3 de agua residual y finalmente una presión promedio de 41,4 mca. en la red de agua potable

Mediante la modelación de la red de agua potable en WaterCAD y las redes de agua residual en SewerCAD, se logró verificar el estado y control de gastos variando los nodos, y alcantarillas se logró identificar la variación de flujo en cada nodo y red respectivamente en sus dos escenarios de análisis, régimen permanente y no permanente.

Se concluye que los datos obtenidos de flujo l/s en la modelación en régimen permanente y no permanente en la red de agua potable y residual ocupando las herramientas las herramientas QWater y QEsg brindaron valores similares a los obtenidos en WaterCAD y SewerCAD con una ligera holgura del 8 al 9 % aproximadamente

Se determinó el presupuesto para obtener un sistema óptimo de agua potable con la instalación de caudalímetros IoT y aparatos sanitarios ahorradores para aprovechar el uso correcto del recurso hídrico con un valor de \$189590,84 dólares, que implica un tiempo de 96,75 meses u 8 años de recuperación de la inversión, lo cual es un periodo largo de recuperación debido al valor de la inversión.

## Recomendaciones

Se sugiere revisar el catastro hidrosanitario, para conocer nuevos lugares potenciales para la instalación de dispositivos IoT y con ello llevar un adecuado monitoreo del agua potable y encaminar a la Universidad en el ámbito de “Smart University”

Se recomienda realizar nuevas campañas de medición, en especial en a la cisterna en un periodo más largo para obtener una medición más precisa del consumo diario por habitante y a su vez seccionar el cálculo para personal administrativo y otra para estudiantil

Se sugiere realizar la modelación en régimen permanente y no permanente con otros escenarios de análisis y adicionalmente en otros tipos de softwares y comparar los resultados con el actual trabajo.

Se aconseja modelar en régimen permanente y no permanente ocupando otro tipo de plugin en QGIS y adicionalmente comparar los resultados con otro software con ArcGIS.

Se recomienda revisar el catastro hidrosanitaria para la implementación de los 2 medidores adquiridos en la contratación publica de la UFA ESPE y a su vez generar un nuevo presupuesto de mejora con la implementación de nuevos caudalímetros IoT

## Bibliografía

Aquaintel. (2021a). *Ecuador pierde USD 320 millones al año por fugas y robo de agua potable.*

[https://www.aquaintel.com.ec/public/reports/20210707\\_Informe\\_Express2\\_Agua\\_No\\_Contabilizada\\_genera\\_perdidas\\_por\\_USD\\_320\\_M\\_en\\_Ecuador.pdf](https://www.aquaintel.com.ec/public/reports/20210707_Informe_Express2_Agua_No_Contabilizada_genera_perdidas_por_USD_320_M_en_Ecuador.pdf)

Aquaintel. (2021b). *Gobierno Nacional cofinanciará ampliación de acceso a agua potable a 3.5 millones de habitantes hasta 2025.*

[https://www.aquaintel.com.ec/public/reports/20210924\\_Informe\\_Express\\_Gobierno\\_cofinanciar\\_acceso\\_a\\_agua\\_a\\_3.5\\_M\\_hasta\\_2025.pdf](https://www.aquaintel.com.ec/public/reports/20210924_Informe_Express_Gobierno_cofinanciar_acceso_a_agua_a_3.5_M_hasta_2025.pdf)

Arniella, E. F. (2017). *Evaluación de Tecnologías Inteligentes para Infraestructura Hídrica (SWIT)*. <https://publications.iadb.org/es/evaluacion-de-tecnologias-inteligentes-para-infraestructura-hidrica-swit>

Banco Interamericano de Desarrollo. (2019, marzo 21). *Ecuador mejorará los servicios de agua potable y saneamiento con apoyo del BID.*

<https://www.iadb.org/es/noticias/ecuador-mejorara-los-servicios-de-agua-potable-y-saneamiento-con-apoyo-del-bid>

Berkane, M. L., Boufaida, M., & Bouzerzour, N. E. H. (2022). Modelling elastic scaling of cloud with energy-efficiency: Application to smart-university. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 34(6, Part B), 3136-3150.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2020.11.025>

Bravo, K. A. (2014). *Historia de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.*

<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/9210?show=full>

- Carrera, D. V., & Garcés, R. (2022). *Drinking Water and Sewerage at the Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE and Implementation of an Internet of Things Flowmeter*. Springer International Publishing. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-18272-3\\_6](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-18272-3_6)
- Carrera-Villacrés, D. (2021). *Archivos Hidráulicos, Sanitarios, y Pluviales ESPE*. <https://drive.google.com/drive/folders/19ka0WN01-VvYF5riuZQ5GMVzmwRrTSme>
- Carrera-Villacrés, D. (2023). *ESPE-DCTC-2023-0350-M*.
- CARRERA-VILLACRÉS, D. (2023). *Clases de Hidráulica I, de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, de la Carrera de Ingeniería Civil, como texto base el libro del Dr. Washington Sandoval, Principios de Hidráulica 2*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12304.28169>
- CARRERA-VILLACRÉS, D., Bahamonde, C., Mancheno, C., Mena-Castro, R., Uce, F., Moreira, J., Ordóñez, M. del, Sailema Hurtado, W., & Galeas Estacio, A. (2022). Dynamic Model of SARS-CoV-2 Spread and Drinking Water Consumption Impact at Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador. *International Journal on Advanced Science Engineering and Information Technology*, 12, 994-1000. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.12.3.14682>
- Carrera-Villacrés, D., Villacrés, J. L. C., Braun, T., Zhao, Z., Gómez, J., & Quinteros-Carabalí, J. (2020). Fog harvesting and iot based environment monitoring system at the ilalo volcano in ecuador. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 1. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.10.1.10775>

- Cavallo, E., Powell, A., & Serebrisky, T. (2020, julio 30). *From Structures to Services The Path to Better Infrastructure in Latin America and the Caribbean*.  
<https://flagships.iadb.org/en/DIA2020/from-structures-to-services>
- Comisión Nacional del Agua. (2019). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento* (Vol. 12).
- EMAAP-Q. (2009). *Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado para la EMAAP-Q*.
- Fox, S., Collins, R., & Boxall, J. (2014). Dynamic Leakage: Physical Study of the Leak Behaviour of Longitudinal Slits in MDPE Pipe. *Procedia Engineering*, 89, 286-289.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.189>
- Galeano-Barrera, C. J., Bellón-Monsalve, D., Zabala-Vargas, S. A., Romero-Riaño, E., Duro-Novoa, V., Galeano-Barrera, C. J., Bellón-Monsalve, D., Zabala-Vargas, S. A., Romero-Riaño, E., & Duro-Novoa, V. (2018). Identificación de los pilares que direccionan a una institución universitaria hacia un smart-campus. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 9(1), 127-145.  
<https://doi.org/10.19053/20278306.v9.n1.2018.8511>
- Garcés Alarcón, R. A. (2022). *Diagnóstico y propuesta de mejora de agua potable y alcantarillado en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Matriz implementando caudalímetros inteligentes IoT* [Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/28988>
- Garcés, R. (2022). *Diagnóstico y propuesta de mejora de agua potable y alcantarillado en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Matriz implementando caudalímetros inteligentes IoT*.

- Gómez, M., Lopez Echeverry, A., & Sánchez, P. (2021). Revisión del uso de tecnologías y dispositivos IoT en los sistemas de seguridad física. *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, 24. <https://doi.org/10.25100/iyc.v24i1.11034>
- iagua. (2017, febrero 8). *Los pioneros del agua en la historia*.  
<https://www.iagua.es/noticias/locken/17/02/08/pioneros-agua-historia>
- Instituto ecuatoriano de normalización. (2019). *Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes*.
- Lenntech. (2023). *Historia del tratamiento de agua potable*.  
<https://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/historia/historia-tratamiento-agua-potable.htm#:~:text=El%20primer%20sistema%20de%20suministro,planta%20de%20tratamiento%20de%20agua>.
- Martinez Moscoso, A. (2019). La regulación del abastecimiento de agua en Ecuador. Evolución histórica y realidad actual. *Sostenibilidad*, 1.  
<https://doi.org/10.14198/Sostenibilidad2019.1.03>
- Mouha, R. (2021). Internet of Things (IoT). *Journal of Data Analysis and Information Processing*, 09, 77-101. <https://doi.org/10.4236/jdaip.2021.92006>
- Naciones Unidas. (2023, enero 16). *DESAFÍOS GLOBALES Agua*.  
<https://www.un.org/es/global-issues/water>
- Nasara, M., Zubairu, I., Jagaba, A. H., Azare, A. A., Yerima, Y. M., & Yerima, B. (2021). Assessment of Non-Revenue Water Management Practices in Nigeria (A Case Study of Bauchi State Water and Sewerage Cooperation). *American Journal of Engineering Research*, 20, 390-401.

OLAS. (2023). *Cerrando la brecha de datos de agua y saneamiento en América Latina y el Caribe* . <https://www.olasdata.org/es/ecuador/>

Organización Mundial de la Salud. (2022, marzo 1). *Agua para consumo humano*.  
<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

Rosero, C. (2019). *Agua potable no contabilizada en el cantón pangua y programa de control de pérdidas* [Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE].  
<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/15834/T-ESPE-038526.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Secretaría del Agua. (2016). *Estrategia nacional de calidad del agua*.  
[https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/05/Estrategia-Nacional-de-Calidad-del-Agua\\_2016-2030.pdf](https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/05/Estrategia-Nacional-de-Calidad-del-Agua_2016-2030.pdf)

Sistema Oficial de Contratación Pública. (2022). *Manual de operación y mantenimiento del sistema de alimentación y distribución de agua potable*.

Unicef. (2023a). *Acceso a Agua, Saneamiento e Higiene*.

Unicef. (2023b, junio 18). *1 de cada 3 personas en el mundo no tiene acceso a agua potable*. <https://www.unicef.org/es/comunicados-prensa/1-de-cada-3-personas-en-el-mundo-no-tiene-acceso-a-agua-potable>

## Apéndices