



**Viabilidad técnica de un sistema de captación de aguas lluvias en la  
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE implementando sensores IoT.**

Anchatuña Taco, Bryan Jonathan y Navarro Cagua, Willian Joel

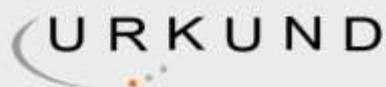
Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Ing. Bolaños Guerrón, Darío Roberto, PhD

20 de agosto del 2021



## Urkund Analysis Result

Analysed Document: Tesis Bryan Anchatuña y Willian Navarro Rev DBG  
19-08-2021.docx (D111449595)

Submitted: 8/19/2021 7:48:00 AM

Submitted By: drbolanios@espe.edu.ec

Significance: 5 %

DARIO  
ROBERTO  
BOLANOS  
GUERRON

Firmado digitalmente por  
DARIO ROBERTO  
BOLANOS  
GUERRON  
Fecha: 2021.08.19  
01:01:02 -05'00'

### Sources included in the report:

Final\_Taller de Tesis 2\_Garcia Rojas Miguel Andres.docx (D110347708)

AK,BK,RA,YK.pdf (D90427699)

REVISIÓN T1\_Taller de Tesis 2\_Garcia Rojas Miguel Andres.docx (D103526709)

TESIS\_MEJIA\_RUBIO\_FINAL.docx (D33361620)

<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11325/DISE%C3%91O%20DE%20UN%20PEQUE%C3%91A%20CENTRAL%20HIDROEL%C3%89CTRICA%20%20A%20ESCALA%20UTILIZANDO%20AGUAS%20LLUVIAS%20DEL%20BLOQUE%20A%20DE%20LA.pdf?sequence=1>

<http://repositorio.unan.edu.ni/15483/2/20266.pdf>

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/9415/6/UPS-ST001565.pdf>

[http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/13178/1/JaramilloJulieth\\_2018\\_PIS12608.pdf](http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/13178/1/JaramilloJulieth_2018_PIS12608.pdf)

### Instances where selected sources appear:

47



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

### CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“Viabilidad técnica de un sistema de captación de aguas lluvias en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE implementando sensores IoT”** fue realizado por los señores **Anchatuña Taco, Bryan Jonathan y Navarro Cagua, Willian Joel** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 19 de agosto de 2021

Firma:



Escaneado e Intelectualmente por:  
DARIO ROBERTO  
BOLAÑOS GUERRON

.....  
**ING. DARIO ROBERTO BOLAÑOS GUERRÓN, PhD.**

C. C 17152065963



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Nosotros, **Anchatuña Taco, Bryan Jonathan** con cédula de ciudadanía N° 0503995235 y **Navarro Cagua, Willian Joel** con cédula de ciudadanía N° 1723554430, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Viabilidad técnica de un sistema de captación de aguas lluvias en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE implementando sensores IoT** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Sangolquí, 19 de agosto de 2021**

Firmas

Anchatuña Taco Bryan Jonathan

C.C 0503995235

Navarro Cagua Willian Joel

C.C 1723554430



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

Nosotros, **Anchatuña Taco, Bryan Jonathan** con cédula de ciudadanía N° 0503995235 y **Navarro Cagua, Willian Joel** con cédula de ciudadanía N° 1723554430, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Viabilidad técnica de un sistema de captación de aguas lluvias en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE implementando sensores IoT** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 19 de agosto de 2021

Firmas

Anchatuña Taco Bryan Jonathan

C.C 0503995235

Navarro Cagua Willian Joel

C.C 1723554430

## Dedicatoria

Al encontrar en la etapa final del proyecto de investigación y de mi carrera universitaria, deseo dedicar este logro a mis padres, Ramiro Anchatuña y Mélida Taco, quienes con su infinito amor y perseverancia me formaron y guiaron durante mis primeros pasos en este arduo, pero magnifico camino llamado vida, quienes son mi principal motivo de constancia y superación y a quienes siempre quise llenar de orgullo y hoy gracias a Dios puedo dedicarles este logro.

A mis hermanas Alison, Marjorie y Selina que gracias a sus ocurrencias y apoyo incondicional supieron alegrar mis días, y darme fuerzas para no rendirme a pesar de las dificultades y obstáculos.

A mis mejores y grandes amigos, a mis maestros y compañeros, a todos y todas, aquellos y aquella que, de alguna manera brindaron su apoyo moral y enseñanzas a lo largo de este proceso y hoy ser un gran profesional y un gran ser humano.

Bryan Jonathan Anchatuña Taco

A mis padres Willian y Josefina, por su amor, esfuerzo y dedicación. A mi familia por el cariño, ejemplo de fraternidad y unión. A mis hermanos Ariel y Elkin por la amistad y afecto diario, a mi compañera de vida Andrea por el apoyo, motivación y amor incondicional.

Willian Joel Navarro Cagua

## Agradecimiento

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición nos cuida y llena de bendiciones a toda nuestra familia.

A mi madre, Mélida, por ser la mujer que me dio la vida y me enseñó a vivirla, sobre todos por enseñarme a no rendirme y a tener la fortaleza de salir adelante sin importar los obstáculos, por haber formado un hombre de bien, por ser mi motor de vida, este logro es tuyo.

A mi padre, Ramiro, por el valor y el coraje que has tenido por levantarte ante cualquier adversidad, por no rendirte y cuidar de todos nosotros, por las enseñanzas inculcadas, por ayudarme a materializar este sueño y darme ánimos diciendo lo orgulloso que te sientes de tus hijos, por ser un ejemplo de sencillez, solidaridad y fortaleza, muchas gracias, este logro es tuyo.

A mi Hermana Alison, tú que siempre fuiste mi mejor amiga, me enseñaste a ver el lado bueno de la vida, me compartiste tu entusiasmo y ganas de ser mejor cada día, por tu cariño incondicional, este logro es tuyo también.

A mis niñas Marjorie y Selina, ustedes que llegaron en los momentos de mayor debilidad, llenaron de alegría y felicidad a esta familia.

A mi Tutor, al ser un gran profesional, maestro, amigo y ser humanos, Dr. Darío Bolaños. Por su atenta colaboración, guía y dedicación. Por impartir sus conocimientos, experiencia e impulsarnos a esforzarnos más cada día en esta bella profesión.

A mi compañero de Tesis, Willian, por su entrega y apoyo desarrollado en todo este proceso universitario, por ser un amigo, un hermano, un gran ser humano, me dio siempre su amistad incondicional.

A mis mejores amigos, en especial a Josue, Alberto, Gustavo, Darlin por brindar una amistad sincera, por la confianza otorgada y soporte emocional, además de Alexandra, Darwin y todos aquellos con los que la vida me ha premiado al coincidir en esta hermosa

etapa, y que, sin duda alguna, habría sido distinto el camino.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas -ESPE, y a todos los docentes que contribuyen con mi desarrollo profesional.

Bryan Jonathan Anchatuña Taco

A Dios por permitirme tener a mi familia con salud y vida, sus múltiples bendiciones y enseñanzas.

A mis padres por brindarme su amor, cariño, cuidados, estar siempre pendiente de mí, el ejemplo de humildad y trabajo duro.

A mi abuelita Blanca por ser quien me consiente y me llena de amor. A mis tías Mayra y Sonia por cuidarme, aconsejarme y acompañarme durante todas las etapas de mi vida.

A mi familia por estar siempre unida y darme la oportunidad de compartir momentos inolvidables. A mis hermanos Ariel y Elkin por ser mis compañeros, amigos dentro y fuera del deporte.

A Andrea por ser mi complemento y mi apoyo incondicional, por su amor y motivación para salir adelante.

A mi tutor de tesis Dr. Darío Bolaños por sus conocimientos, amistad y gran afecto. A mi compañero de tesis Bryan por su amistad, apoyo y confianza en los semestres compartidos.

A mis amigos y compañeros por acompañarme durante esta etapa.

Willian Joel Navarro Cagua

## Contenido

Índice de Tablas.....	14
Índice de Figuras.....	16
Índice de Ecuaciones.....	19
Resumen.....	22
Abstract.....	23
Capítulo I.....	24
Introducción.....	24
Planteamiento del Problema.....	24
Macro.....	24
Meso.....	26
Micro.....	27
Antecedentes.....	29
Justificación e Importancia.....	31
Objetivos.....	33
Objetivo General.....	33
Objetivos Específicos.....	33
Hipótesis.....	34
Variables de la Investigación.....	34
Variable Dependiente.....	34
Variable Independiente.....	34
Capítulo 2.....	35

	10
Marco Teórico .....	35
Hidrología .....	35
Ciclo del Agua .....	35
Estaciones Meteorológicas.....	36
Estación Climatológica Principal .....	37
Estación Climatológica Ordinaria .....	37
Variables Meteorológicas .....	37
Temperatura del Aire .....	37
Precipitación Atmosférica .....	38
Humedad Relativa .....	39
Velocidad y Dirección del Viento .....	41
Precipitación.....	41
Origen de la Precipitación.....	42
Tipos de Precipitación. ....	42
Tipos de Precipitaciones según su Intensidad.....	42
Tipos de Precipitación según la Forma de Manifestación. ....	43
Tipos de Precipitaciones según su Origen.....	44
Series Temporales.....	45
Componentes de Series Temporales.....	48
Análisis de Series Temporales .....	48
Relleno de Datos de Series Temporales.....	48
Validación de Datos .....	50
Sistemas de Captación de Agua Lluvia SCALL.....	53

	11
Captación .....	53
Recolección y Conducción .....	54
Hidráulica de Desagües.....	54
Filtración la interceptación de primeras aguas.....	54
Desinfección.....	54
Almacenamiento .....	55
Distribución .....	55
IoT .....	55
Usos de IoT en Agua Potable.....	55
Tecnologías Inalámbricas.....	56
LoRA .....	56
LoRA WAN.....	57
Módulo Arduino Wifi (Ethernet) .....	57
Capítulo 3.....	58
Metodología.....	58
Ubicación .....	58
Delimitación de la Zona de Estudio .....	58
Recolección de Datos .....	59
Instalación de Sensores IoT .....	59
Descripción de los Elementos .....	59
Funcionamiento del Pluviómetro Tipo Balancín.....	61
Diagrama del Circuito Implementado .....	62
Programación.....	63

	12
Programación en el Servidor .....	63
Programación en la Tarjeta .....	65
Estación Meteorológica Principal .....	68
Estaciones Meteorológicas Secundarias .....	70
Relleno de Datos .....	71
Validación de Datos .....	74
Diseño del SCALL.....	77
Factor Técnico .....	77
Factor Económico .....	78
Factor Social .....	78
Requisitos Previos .....	78
Área de Captación .....	79
Recolección y Conducción .....	79
Tanque Interceptor de Primeras Aguas .....	80
Tanque de Almacenamiento.....	81
Método de Dixon.....	84
Coeficiente de Aprovechamiento de Agua Lluvia .....	90
Filtración o Tratamiento .....	91
Sistema de Bombeo.....	91
Red de Distribución.....	95
Capítulo 4.....	99
Cálculos y Resultados .....	99
Datos Obtenidos de los Sensores IoT.....	99

Datos Rellenados y Validados de la Estación Meteorológica del IASA. ....	100
Tanque Interceptor de Primeras Aguas .....	102
Tanque de Almacenamiento.....	103
Diseño Estructural.....	110
Diseño Estructural de la Losa de Azotea del Tanque.....	116
Sistema de Bombeo.....	144
Descarga.....	144
Succión .....	146
Altura Manométrica.....	146
Potencia Requerida .....	147
Red de Distribución.....	148
Presupuesto .....	149
Capítulo 5.....	151
Conclusiones y Recomendaciones .....	151
Conclusiones.....	151
Recomendaciones .....	152
Capítulo 6.....	153
Bibliografía .....	153
Anexos.....	160

### Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> Test de Rachas .....	51
<b>Tabla 2</b> Estaciones meteorológicas secundarias .....	71
<b>Tabla 3</b> Datos rellenados de enero mediante el método de regresión lineal.....	72
<b>Tabla 4</b> Ecuaciones de regresión lineal .....	74
<b>Tabla 5</b> Calculo de rachas.....	75
<b>Tabla 6</b> Sumas parciales de la serie rellenada del mes de febrero .....	76
<b>Tabla 7</b> Distribución T student .....	77
<b>Tabla 8</b> Coeficiente del aprovechamiento de agua lluvia.....	90
<b>Tabla 9</b> Unidades de suministro.....	96
<b>Tabla 10</b> Datos obtenidos de los sensores IoT .....	99
<b>Tabla 11</b> Datos rellenados y validados de la estación meteorológica del IASA .....	101
<b>Tabla 12</b> Método del “Cálculo del Volumen del Tanque de Almacenamiento” .....	103
<b>Tabla 13</b> Demanda.....	104
<b>Tabla 14</b> Diferencia mensual y acumulada entre el volumen de almacenamiento y la demanda .....	105
<b>Tabla 15</b> Calculo del WSE .....	109
<b>Tabla 16</b> Calculo de la altura, volumen y altura de aire del muro.....	112
<b>Tabla 17</b> Análisis de cargas .....	117
<b>Tabla 18</b> Cálculos del análisis de cargas .....	120
<b>Tabla 19</b> Parámetros para el diseño del tanque.....	121
<b>Tabla 20</b> Momentos flectores $0 \leq \theta \leq \pi/3$ .....	124
<b>Tabla 21</b> Momentos flectores cuando $0 \leq \theta \leq \pi/6$ .....	125
<b>Tabla 22</b> Esfuerzos cortantes cuando $0 \leq \theta \leq \pi/3$ .....	126
<b>Tabla 23</b> Esfuerzos cortantes cuando $0 \leq \theta \leq \pi/6$ .....	127
<b>Tabla 24</b> Cálculos del diseño del reservorio.....	128
<b>Tabla 25</b> Momento de volteo.....	130
<b>Tabla 26</b> Cálculo del acero vertical.....	133

<b>Tabla 27</b> Los dos primeros anillos conformarán uno solo.....	135
<b>Tabla 28</b> Reemplazo en la ecuación.....	136
<b>Tabla 29</b> Esfuerzos de Tracción .....	136
<b>Tabla 30</b> Diseño y cálculo de la losa de fondo .....	139
<b>Tabla 31</b> Tracción máxima en la losa .....	140
<b>Tabla 32</b> Acero de repartición .....	140
<b>Tabla 33</b> Cálculo y diseño de acero en la cimentación .....	141
<b>Tabla 34</b> Análisis de cargas .....	143
<b>Tabla 35</b> Cálculos del diseño de la zapata .....	143
<b>Tabla 36</b> Proceso de descarga del sistema de bombeo .....	146
<b>Tabla 37</b> Succión.....	146
<b>Tabla 38</b> Calculo del número de entradas y salidas.....	148
<b>Tabla 39</b> Número de accesorios existentes.....	149
<b>Tabla 40</b> Cálculo de la red de distribución.....	149
<b>Tabla 41</b> Presupuesto sistema de captación de aguas lluvias. ....	150

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> Ciclo del Agua.....	36
<b>Figura 2</b> Variación de la presión atmosférica (3780 m s.n.m.).....	39
<b>Figura 3</b> Presión de saturación de vapor ( $e_0$ ) en función de la temperatura curva $e^{\wedge}(T)$ .....	40
<b>Figura 4</b> Variación de la humedad relativa durante un período de 24 horas para una presión real de vapor constante de 2,4 kPa.....	40
<b>Figura 5</b> Ilustración del efecto de la velocidad del viento sobre la evapotranspiración. .....	41
<b>Figura 6</b> Precipitaciones del ciclo del agua.....	45
<b>Figura 7</b> Serie con tendencia.....	45
<b>Figura 8</b> Serie sin tendencia.....	46
<b>Figura 9</b> Serie con Heterocedasticidad.....	47
<b>Figura 10</b> Serie con tendencia y heterodasticidad.....	47
<b>Figura 11</b> Arduino Ethernet Shield .....	57
<b>Figura 12</b> Ubicación del proyecto de estudio .....	58
<b>Figura 13</b> Modelado de la Residencia Universitaria.....	59
<b>Figura 14</b> Sensor ESP8266 .....	60
<b>Figura 15</b> Sensor DTH22.....	60
<b>Figura 16</b> Pluviómetro tipo balancín.....	61
<b>Figura 17</b> Captación de lluvia con un balancín .....	61
<b>Figura 18</b> Giro del balancín .....	62
<b>Figura 19</b> Diagrama del circuito implementado.....	63
<b>Figura 20</b> Programación en el servidor .....	64
<b>Figura 21</b> Programación por bloque .....	64
<b>Figura 22</b> Nodo .....	65
<b>Figura 23</b> Programación en la tarjeta .....	66

<b>Figura 24</b> Programación de la temperatura, humedad, y lluvia .....	67
<b>Figura 25</b> Comunicación de la base de datos .....	68
<b>Figura 26</b> Formato mensual de datos de la estación meteorológica del IASA.....	69
<b>Figura 27</b> Formato de recolección de los datos diarios durante el periodo 2000-2019 .....	70
<b>Figura 28</b> Losa del último piso de la Residencia Universitaria .....	79
<b>Figura 29</b> Interceptor de las primeras aguas.....	80
<b>Figura 30</b> Esquema del modelo de almacenamiento de agua lluvia de Dixon.....	86
<b>Figura 31</b> Diagrama de flujo del modelo de almacenamiento de agua lluvia de Dixon. .....	87
<b>Figura 32</b> Cosecha de agua lluvia .....	91
<b>Figura 33</b> Altura de la pared .....	114
<b>Figura 34</b> Fuerza de tracción de la pared .....	115
<b>Figura 35</b> Análisis de cargas en el tanque reservorio .....	117
<b>Figura 36</b> Análisis de cargas .....	119
<b>Figura 37</b> Diagrama de cargas .....	119
<b>Figura 38</b> Diseño del tanque.....	119
<b>Figura 39</b> Peso específico del suelo.....	122
<b>Figura 40</b> Diagrama de momentos .....	125
<b>Figura 41</b> Diagrama de cortantes .....	127
<b>Figura 42</b> Altura de las paredes del reservorio .....	129
<b>Figura 43</b> Diseño del reservorio.....	130
<b>Figura 44</b> Diagrama de momentos .....	131
<b>Figura 45</b> Diseño de acero en las paredes del reservorio .....	133
<b>Figura 46</b> Diseño del acero horizontal.....	137
<b>Figura 47</b> Diseño y cálculo de la losa de fondo .....	137
<b>Figura 48</b> Carga unitaria por unidad de longitud.....	137
<b>Figura 49</b> Prediseño de la Zapata .....	142

<b>Figura 50</b> Diseño de la zapata.....	144
<b>Figura 51.</b> Perdidas de carga localizadas. ....	145
<b>Figura 52</b> Distribución de red.....	148

## Índice de Ecuaciones

<b>Ecuación 1</b> <i>Cálculo de la temperatura</i> .....	38
<b>Ecuación 2</b> <i>Cálculo de la temperatura media</i> .....	38
<b>Ecuación 3</b> <i>Humedad Relativa</i> .....	40
<b>Ecuación 4</b> <i>Ecuación de 2 variables</i> .....	49
<b>Ecuación 5</b> <i>T Student</i> .....	52
<b>Ecuación 6</b> <i>Relleno de datos diarios</i> .....	71
<b>Ecuación 7</b> <i>Precipitación promedio mensual</i> .....	82
<b>Ecuación 8</b> <i>Determinación de la demanda</i> .....	82
<b>Ecuación 9</b> <i>Determinación del volumen del tanque</i> .....	83
<b>Ecuación 10</b> <i>El acumulado de la oferta y la demanda del mes i</i> .....	84
<b>Ecuación 11</b> <i>Demanda acumulada del mes i</i> .....	84
<b>Ecuación 12</b> <i>Volumen de agua lluvia</i> .....	87
<b>Ecuación 13</b> <i>Formula de los volúmenes iniciales y de entrada</i> .....	88
<b>Ecuación 14</b> <i>Cálculo de las pérdidas de excedencia</i> .....	88
<b>Ecuación 15</b> <i>Comparación del volumen de agua</i> .....	88
<b>Ecuación 16</b> <i>Volumen de salida</i> .....	89
<b>Ecuación 17</b> <i>Demandas no satisfechas</i> .....	89
<b>Ecuación 18</b> <i>Volumen inicial en el tanque</i> .....	89
<b>Ecuación 19</b> <i>Calculo del WSE</i> .....	89
<b>Ecuación 20</b> <i>Caudal mínimo de descarga</i> .....	92
<b>Ecuación 21</b> <i>Diámetro de la tubería de descarga</i> .....	92
<b>Ecuación 22</b> <i>Altura Manométrica</i> .....	93
<b>Ecuación 23</b> <i>Perdida de la carga unitaria</i> .....	93
<b>Ecuación 24</b> <i>Altura Manométrica</i> .....	94
<b>Ecuación 25</b> <i>Cálculo de la Potencia Requerida</i> .....	94
<b>Ecuación 26</b> <i>Coefficiente de simultaneidad</i> .....	96
<b>Ecuación 27</b> <i>Fermat</i> .....	97

<b>Ecuación 28</b> <i>Tanque interceptor</i> .....	102
<b>Ecuación 29</b> <i>Calculo de Di</i> .....	103
<b>Ecuación 30</b> <i>Acumulado de cada uno de los meses</i> .....	104
<b>Ecuación 31</b> <i>Volumen I</i> .....	106
<b>Ecuación 32</b> <i>Valor asumido de Smax</i> .....	107
<b>Ecuación 33</b> <i>Fórmula del WSE</i> .....	108
<b>Ecuación 34</b> <i>Altura de salida de agua</i> .....	113
<b>Ecuación 35</b> <i>Altura total</i> .....	113
<b>Ecuación 36</b> <i>Cálculo del diámetro interior</i> .....	113
<b>Ecuación 37</b> <i>Cálculo del espesor de la pared</i> .....	114
<b>Ecuación 38</b> <i>Cálculo de la tracción</i> .....	115
<b>Ecuación 39</b> <i>Fuerza de tracción admisible</i> .....	116
<b>Ecuación 40</b> <i>Cálculo del diámetro exterior</i> .....	116
<b>Ecuación 41</b> <i>Cálculo del tipo de losa</i> .....	117
<b>Ecuación 42</b> <i>Momentos flectores</i> .....	122
<b>Ecuación 43</b> <i>Presión del terreno</i> .....	123
<b>Ecuación 44</b> <i>Carga Uniforme</i> .....	123
<b>Ecuación 45</b> <i>Factor de carga útil</i> .....	124
<b>Ecuación 46</b> <i>Cálculo de los momentos flectores</i> .....	124
<b>Ecuación 47</b> <i>Cálculo de esfuerzos cortantes</i> .....	126
<b>Ecuación 48</b> <i>Momento de volteo</i> .....	129
<b>Ecuación 49</b> <i>Calculo de momentos</i> .....	132
<b>Ecuación 57</b> <i>Cálculo del acero en las paredes</i> .....	134
<b>Ecuación 51</b> <i>Cortante</i> .....	135
<b>Ecuación 52</b> <i>Cálculo de las tracciones en un anillo</i> .....	135
<b>Ecuación 62</b> <i>Carga unitaria por unidad de longitud</i> .....	138
<b>Ecuación 54</b> <i>Cortante Vx</i> .....	139
<b>Ecuación 55</b> <i>Momento Mx</i> .....	139

<b>Ecuación 56</b> <i>Verificación del cortante</i> .....	139
<b>Ecuación 57</b> <i>Acero negativo</i> .....	140
<b>Ecuación 58</b> <i>Cálculo de la zapata</i> .....	141
<b>Ecuación 59</b> <i>Cortante asumido por el concreto</i> .....	143

## Resumen

En la presente investigación realizada en la comunidad universitaria de las fuerzas armadas Espe, ubicada en Sangolquí en la Provincia de Pichincha, se tiene como objetivo evaluar la viabilidad de un sistema de captación de agua lluvia la cual permita la transformación de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe en una Smart University mediante la implementación de sensores IoT que permitan el monitoreo en tiempo real, por lo que en este proyecto se hace referencia al Smart Water, el cual se trata del almacenamiento de agua lluvia en techos y superficies pavimentadas con fines de reutilización, En este proyecto de titulación se analizó las variables hidrometeorológicas como la precipitación, el caudal, la temperatura y la humedad, cuyos registros se recopilan a través de estaciones pertenecientes al INAMHI y la Dirección de Protección Ambiental de Pichincha. Las series de datos ha sido rellenas mediante el método de los promedios diarios y el método de regresión lineal y se validaron mediante el test de rachas, curva de doble masa y t de Student. Por lo tanto, se buscó algún indicio de caos en las series temporales y estudiar su comportamiento dinámico. Finalmente se implementó sensores IoT en la residencia universitaria que recabaron información de las variables meteorológicas precipitación, humedad relativa y temperatura durante el periodo de un mes, con este proyecto se prevé abastecer el uso de inodoros en la residencia universitaria con 1,74 m<sup>3</sup> y de 635,10 m<sup>3</sup> al año La superficie de la terraza capaz de recoger el agua de lluvia es de 754,47 m<sup>2</sup> permite al sistema de captación con capacidad de 16 m<sup>3</sup> almacenar un volumen anual de 573 m<sup>3</sup>, que brinda una eficiencia de 83,89% en relación a la oferta y la demanda. El sistema diseñado de captación está compuesto por un tanque cisterna de 16 m<sup>3</sup> y un tanque superior 2 m<sup>3</sup> el cual posee un sistema de bombeo para la alimentación del tanque que se encuentra ubicado en la terraza. Este sistema funciona por gravedad y alimenta el sistema de filtración, se considera que este proyecto tendrá una vida útil de 20 años.

Palabras Claves:

- **SENSORES IOT**
- **T DE STUDENT**
- **TEST DE RACHAS**
- **CURVA DE DOBLE MASA**
- **SMART UNIVERSITY**

## Abstract

In the present investigation carried out in the university community of the Espe armed forces, located in Sangolqui in the Province of Pichincha, the objective is to evaluate the viability of a rainwater harvesting system which allows the transformation of the University of the Armed Forces I hope in a Smart University through the implementation of IoT sensors that perform real-time monitoring, so this project refers to Smart Water, which is about storing rainwater on roofs and paved surfaces for reuse purposes. In this titling project, hydrometeorological variables such as precipitation, flow, temperature and humidity were analyzed, the records of which are collected through stations belonging to INAMHI and the Directorate of Environmental Protection of Pichincha. The data series have been filled in using the method of daily averages and the linear regression method and were validated using the streak test, double mass curve and Student's t. Therefore, we look for some indication of chaos in the time series and study its dynamic behavior., Finally, IoT sensors were implemented in the university residence that collected information on the meteorological variables precipitation, relative humidity and temperature during the period of one month, with This project will analyze the use of toilets in the university residence with 1,74 m<sup>3</sup> and 635,10 m<sup>3</sup> per year The surface of the terrace capable of collecting rainwater is 754,47 m<sup>2</sup> allows the collection system with a capacity of 16 m<sup>3</sup> to store a volume 573 m<sup>3</sup> per year, which provides an efficiency of 83,89% in relation to supply and demand. The designed catchment system is composed of a 16 m<sup>3</sup> cistern tank and a 2 m<sup>3</sup> upper tank which has a pumping system for feeding the tank that is located on the terrace. This system works by gravity and feeds the filtration system, it is considered that this project will have a useful life of 20 years.

Keywords:

- **IOT SENSORS**
- **STUDENT'S T**
- **STREAK TEST**
- **DOUBLE MASS CURVE**
- **SMART UNIVERSITY**

## Capítulo I

### Introducción

#### Planteamiento del Problema

##### *Macro*

Uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 6), la cual da importancia que la comunidad internacional otorga al agua. Tanto los gobiernos, las industrias, las ciudades, las comunidades, los agentes económicos y las organizaciones no gubernamentales o de la sociedad civil que son cada vez más demandadas, posee enfoques de innovación y más efectivos en la gestión del agua. Estos enfoques toman en cuenta las diversas exigencias, que contienden entre sí, con relación a los recursos hídricos, entre ellas la necesidad de mantener la sostenibilidad medioambiental y de garantizar que las necesidades de los miembros de la sociedad con más vulnerabilidad(Naciones Unidas, 2019).

Según la Organización Mundial de la salud cerca de unos 2100 millones de personas, las cuales no tienen acceso al servicio de agua potable y disponible en el hogar, y 4500 millones tampoco poseen de un saneamiento seguro(Naciones Unidas, 2019).

De los 2100 millones de personas que no disponen de agua segura, 845 millones tampoco tienen ningún servicio de agua potable. Esto incluye a 263 millones de personas que se encuentran obligados a movilizarse por más de 30 minutos para tener acceso a agua de fuentes que están muy alejadas de su hogar, 423 millones de personas que consumen de agua procedente de pozos y manantiales no protegidos y 159 millones de personas consumen agua superficial no tratada en lagos, estanques, ríos o arroyos(Organización Mundial de la Salud, 2017).

El agua no tratada puede ser el causante de enfermedades como la diarrea, el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea y la poliomielitis. La contaminación del agua potable provoca alrededor de 502 000 muertes por diarrea al año. En los países con menos

desarrollo, el 22% de los lugares sanitarios no poseen de fuentes de agua, el 21% de servicios de saneamiento del agua, y el 22% de servicios de la gestión de los desechos(Organización Mundial de la Salud, 2017).

El agua lluvia es una fuente alternativa para abastecimiento de agua tanto para consumo humano como para la producción. La desinfección del agua es un método eficaz para las poblaciones que no cuentan con un sistema eficaz de abastecimiento de agua segura, la cual constituye una medida inmediata y de un costo no muy elevado. Los criterios de calidad que se tienen que tomar en cuenta para la distribución del agua para diferentes tipos de usos, para su potabilización es necesario solamente realizar un tratamiento convencional, Su composición física, química y microbiológica permite su potabilización mediante tratamiento convencional a través de la desinfección con oxidantes enérgicos como el cloro (OMS, 2018).

El desperdicio del agua en las ciudades se trata de un gran problema. La OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) realizó un informe del desperdicio de agua en una selección de 48 urbes del mundo basándose en criterios de seguridad del agua, abastecimiento, saneamiento, manejo y tratamiento de aguas residuales y drenajes. Obteniendo como resultado que se desperdicia más del 40% de agua por culpa de pérdidas y tuberías obsoletas.

Las herramientas tales como los sensores o los drones y algunas técnicas como el machine learning o el big data, ayudan a la resolución de muchos problemas relacionados con el uso del agua. La Smart Water revoluciona al paradigma actual con proyectos de innovación de gestión y consumo del agua. El impulso de las Smart Cities tiene su relevancia en el desarrollo del ser humano en el que la tecnología genere un mayor control y aprovechamiento de los recursos limitados (Tapia P., 2020).

Un eje fundamental en el Smart Water interviene en el almacenamiento de agua lluvia en techos y superficies pavimentadas con fines de reutilización, el agua de lluvia

admite la utilización de sistemas de recolección y almacenamiento en techos y superficies que lo permitan un uso adecuado para esas aguas. La tecnología interfiere en los sistemas de gestión y en las previsiones meteorológicas a largo plazo y así planificar diferentes acciones destinadas a la acumulación de mayor o menor cantidad de agua en las épocas más húmedas, para no tener que tomar restricciones en épocas menos favorables. (Tapia P., 2020)

### **Meso**

El Ecuador al hallarse dividido en cuatro regiones naturales es “uno de los países con más diversidad biológica en alrededor del mundo, donde se reconocen 14 ecosistemas terrestres distintos y 10 ambientes oceánicos”, así mismo presenta un panorama de gran biodiversidad de los regímenes hidrológicos (Cepal, 2017).

La gestión del recurso hídrico es algo prioritario que se debe realizar en todo el territorio con el fin de conservar y dar un mejor aprovechamiento. La Secretaría Nacional del Agua-SENAGUA, la cual forma parte de la actual estructura organizativa del Estado, es la autoridad encargada de la administración del recurso hídrico. El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología- INAMHI es responsable de proveer la información hidrometeorológica, determinan la disponibilidad del agua superficial y subterránea (Cepal, 2017).

Además, entre sus tareas se incluyen; la planificación, la dirección y supervisión de las actividades meteorológicas e hidrológicas de todo el país; los cuales también se hacen cargo del desarrollo de sistemas y normas que regulen los programas de meteorología e hidrología a desarrollarse relacionando a las necesidades nacionales; y así poder establecer, operar y mantener la infraestructura hidrometeorológica básica fundamental para dar cumplimiento al programa nacional (Decreto Supremo, 1979)

Esta información es importante, ya que, en los últimos años el 26,6% de la

población ecuatoriana no tiene acceso a una fuente de agua segura según el Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (INEC), además, la disponibilidad de agua de calidad, se ve afectada principalmente por la contaminación y la sobreexplotación de acuíferos como de las fuentes superficiales ayudada por el incremento poblacional y la variedad de ecosistemas dentro de pequeñas zonas, y se han planteado nuevas propuestas, siendo una de ellas la captación de agua lluvia (Solís H., 2019).

La intensidad de las lluvias que se originan en la zona ecuatorial en épocas de invierno en la cual no se dispone de suficiente cantidad de agua apta para el consumo humano, la captación de agua lluvia se puede aprovechar con un manejo eficiente para enfrentar a la sequía, con la aplicación de tecnologías se puede obtener un ahorro y satisfacción de las necesidades de las demandas locales (Van J., 2013).

Para que esta propuesta genere resultados positivos, se deben considerar la tecnología inteligente del agua, en actividades como el monitoreo del sistema, lectura de los contadores y cálculo del consumo, que posteriormente se enviaran a las facturas de los usuarios. Tales sensores y contadores pueden integrar información de manera continua para monitorear los flujos del agua lluvia, la presión, e incluso cambios en los niveles del agua, impidiendo fugas y priorizando la reparación de tuberías antes de su colapso (Arevalo y Rodriguez, 2016).

Las tecnologías inteligentes del agua pueden contribuir a aumentar la conciencia de los clientes acerca de la importancia de la conservación del agua y a mejorar la eficiencia y transparencia de la provisión del servicio.

### **Micro**

En la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, su Campus Matriz Sangolquí, perteneciente a la provincia de Pichincha, cuenta con aproximadamente 48,20 hectáreas de área útil, la misma que alberga cerca de 13000 personas que conforman la comunidad

universitaria.

En la actualidad sus sistemas de abastecimiento de agua no satisfacen la demanda requerida y a la que se va a necesitar a futuro por el nuevo funcionamiento de nuevos edificios, sumando a este los problemas de contaminación que acarrearán las fuentes hídricas cercanas al Río Santa Clara. Existe la necesidad de buscar nuevas alternativas que ayuden a mejorar su funcionalidad, aprovechando sus condiciones climáticas, para desarrollar nuevas formas de recolección de agua, y evitar problemas de escasez o en su defecto el consumo de agua contaminada.

Por lo cual una fuente alternativa son los sistemas de captación y distribución de agua de lluvias para las universidades, permitiendo la recolección de techos y superficies que lo permitan, el agua de lluvia recolectada de los techos es usualmente más limpia que el agua de otras fuentes (Gonzaga, 2015).

Las tecnologías digitales hacen cada vez más fácil monitorear los sistemas de distribución en tiempo real, obteniendo una base de datos integrada de la universidad, por lo que es importante la adaptación a estas nuevas tecnologías como Smart Water que busca mejorar la gestión de calidad del agua y además incluye llevar a cabo medidas de control que permitan restaurar la capacidad natural de drenaje del agua.

Al hablar de estas tecnologías, se debe considerar a los sensores IoT como dispositivos inteligentes para la medición de parámetros como caudal, precipitación, temperatura, presión, humedad relativa, que estarán conectados bajo el concepto de Plug and Play (es la tecnología que permite a un dispositivo informático ser conectado a un ordenador sin tener que configurar ni proporcionar parámetros a sus controladores), sobre instalaciones construidas dentro de una edificación ya que estos hacen que tomen el concepto de Smart Universities (Cisacad, 2021).

## Antecedentes

La captación de agua de lluvia se ha generado desde hace más de cinco mil años; desde siempre, la sociedad ha aprovechado el recurso hídrico como primera fuente de abastecimiento, consumo y vía de transporte. Mientras las civilizaciones se desarrollaron demográficamente, algunos pueblos han ocupado zonas áridas, semiáridas y húmedas de la Tierra y se dio inicio al desarrollo de las formas de captación de agua lluvia, teniendo como estrategia para el riego de cultivos y el uso doméstico (Anaya, 2009).

Existen distintas maneras de captación de agua lluvia las cuales se han utilizado tradicionalmente a través de la historia de las civilizaciones; sin embargo, estas tecnologías sólo se han estudiado y publicado últimamente. Teniendo como base la distribución de restos de estructuras de captación de agua lluvia en todo el mundo y el uso de forma periódica de estas obras en la historia, es decir las técnicas de captación de agua lluvia conllevan un papel importante en la producción agrícola y en la satisfacción de las necesidades domésticas, se da un uso intensivo en las regiones áridas o semiáridas del planeta (Ballén, 2006).

El excesivo crecimiento de la población y el desarrollo de las industrias para cubrir las necesidades del hombre han contribuido con la aparición del calentamiento global, provocando con esto diversos cambios en los aspectos físicos de la tierra, los cuales repercuten de forma directa la disponibilidad de los recursos hídricos (Pino D, 2008).

Es por esto que las tecnologías que se utilizan para aprovechar el agua lluvia ayuda a combatir la escasez en las poblaciones que tengan algún problema con el abastecimiento del agua, Algunos países como la India en donde posee 19 ciudades en situaciones escasez, el gobierno obliga al uso de sistemas de captación de agua de lluvias(SCALL), otro ejemplo es el proyecto llamado "121" el cual ha sido implementado por el gobierno chino, para la recolección de agua de lluvia con el cual suministra agua a 5 millones de personas y a 1,18 millones de cabezas de ganado(Hidropluviales, 2018).

En Japón, se ha ido implementando los sistemas “Ronjinson” en el distrito de Mukojim. La instalación recibe agua de lluvia del techo de la casa, y ha sido almacenada en un pozo subterráneo. Para la extracción del agua se utiliza una bomba de uso manual. En países donde existen problemas de contaminación de las aguas subterráneas como en Bangladesh estos sistemas son la alternativa más utilizada para suplir la demanda de agua (Frost A, 2011).

En Estados Unidos se utiliza los sistemas de captación de aguas lluvias en 15 estados, para uso doméstico, agrícolas o industriales, principalmente en el estado de Texas. La iniciativa por parte del gobierno de Canadá para la utilización de los SCALL es facilitar al subsidio en la compra de tanques de almacenamiento de agua de lluvias (Frost A, 2011).

Existen varios casos en los cuales es factible la utilización de aguas lluvias como fuente de abastecimiento, por ejemplo: cuando se tienen problemas graves de suministro por parte de las redes públicas, la inexistencia de una red de acueducto, falta de recursos, materiales de construcción costosos, mala calidad y baja disponibilidad de agua.

La captación del agua lluvia involucra que los procesos de distribución y almacenamiento. Su utilización es variante, desde el consumo humano hasta los usos no potabilizados, como descargas sanitarias y riego de jardines. La visión del aprovechar el agua de lluvia depende de las condiciones de los beneficiarios y el lugar en donde se encuentren, en las zonas rurales puede significar una fuente importante de agua, mientras que en lugares urbanizados se le ve como una práctica doméstica de ahorro (Organización Mundial de la Salud, 2017)

La gestión del agua a través de la historia se podría dividir en distintas etapas acatando necesidades y preocupaciones del momento:

Agua 1.0: En esta etapa había que distribuir el agua a ciudades y cultivos, implantando grandes obras de ingeniería como presas y trasvases. cuyo objetivo fue

incrementar la oferta y el precio de ejecutarlo. (Azahara, 2018)

Agua 2.0: El foco atraviesa de la oferta, que ya ha alcanzado regularizarse debido a las infraestructuras construidas, a la demanda. En la actualidad el precio es un factor que se debe tener en cuenta y se defiende más ese aspecto ya que el usuario final es el que asume el aumento de costos. Empieza a darse una incipiente preocupación por la ecología y el medio ambiente. (Azahara, 2018)

Agua 3.0: La gestión favorece a las nuevas tecnologías, tanto la automatización como la inteligencia y su enfoque con el impacto ambiental y la resiliencia. Esta etapa es definida como Smart Water. (Azahara, 2018)

Para alcanzar estos niveles se requiere integrar tecnologías digitales, que son facilitadores clave de la integración de sistemas centralizados y distribuidos, y de los múltiples usuarios de recursos hídricos. Pueden modernizar el funcionamiento de los sistemas tradicionales centralizados mediante una red de sensores y medidores sumando a instrumentos analíticos para el procesamiento de datos (Mirjana et.al, 2020)

Estos “ecosistemas” digitales se denominan Tecnologías Inteligentes de Infraestructura de Agua (SWIT, por sus siglas en inglés, Smart Water Infrastructure Technologies) y permiten conectar los sistemas centralizados y distribuirlos mediante plataformas digitales que contienen datos del uso de agua, clima y análisis hidrológicos (Mirjana et.al, 2020).

### **Justificación e Importancia**

El agua lluvia se la considera como una fuente más pura y libre de bacterias, debido a que es resultado de un proceso natural que se da en la tierra el cual es llamado como ciclo hidrológico. Los resultados de los análisis de la calidad del agua han divulgado que el agua de lluvia recogida de los techos de las casas es prácticamente más limpia que el agua de otras fuentes (Gonzaga G., 2015).

El sistema de recolección de agua de lluvia es una opción utilizada en distintas ciudades del mundo, donde el sistema de suministro de agua potable es escasa y no puede satisfacer con las necesidades de su población. En un país como Ecuador con muchos recursos hídricos, este sistema de captación de agua de lluvia aún no se ha desarrollado a gran escala, a pesar de existir zonas afectadas debido a las enfermedades causadas por el consumo de agua no potable, y la falta de agua tratada.

La importancia y relevancia de esta unidad de aprendizaje dentro del programa educativo reside en el manejo de información necesaria para la evaluación del potencial, el agua lluvia es una fuente alternativa de abastecimiento, las implicaciones sociales y ambientales que de su aprovechamiento provienen dentro del contexto de la situación y gestión del agua en el país y en la exploración de soluciones a los problemas que por la creciente demanda de agua se generan (Reyes C, 2014)

Llevar a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE al “compromiso sostenible” incluyendo una multitud de proyectos, actividades y prácticas para la inserción en el concepto de Smart Campus, que se orienta a esta ética-sostenible, los avances generados en cuanto al uso de nuevas tecnologías como los sensores IoT, lo cual muestra eficacia en la creación de una Universidad líder en el desarrollo sostenible.

La ventaja de los sensores IoT es que proponen un marco de equilibrio general que permite la dar seguimiento del impacto de los cambios en la recolección de datos del recurso hídrico, temando en cuenta la interconectividad de las partes, incrementa la eficiencia en la disponibilidad de información, para la creación de un Sistema Inteligente de la Gestión del Abastecimiento y Consumo de Agua que se orienta a dar posibles soluciones a las necesidades de los gestores de la red (distribuidores que se encargan del mantenimiento y abastecimiento de la red) también los usuarios finales que son los consumidores de agua en las universidades.

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

Evaluar la viabilidad de un sistema de captación de agua lluvia que permita la transformación de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe en una Smart University mediante la implementación de sensores IoT que permitan su monitoreo en tiempo real.

### ***Objetivos Específicos***

- Recopilar la información existente de las cubiertas, columnas, bajantes de agua lluvia y alcantarillado pluvial mediante la investigación documentada de planos para identificar el estado actual del sistema hidrosanitario de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Recabar las variables hidrometeorológicas de los anuarios del INAMHI, rellenarlos y validarlos a través de test de calidad proporcionados por la Organización Meteorológica Mundial OMM.
- Cuantificar el volumen de agua generada por las cubiertas del campus universitario y establecer un balance entre la oferta y la demanda con el fin de determinar si es suficiente como fuente alternativa de agua.
- Implementar sensores IoT con una arquitectura informática adecuada para la determinación de variables hidrometeorológicas y caudal de agua lluvia mediante la recolección y análisis de datos en tiempo real que expresen la disponibilidad del recurso en la residencia de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Proponer un sistema de recolección de aguas lluvias y sensores IoT que sirvan de precedente para futuros proyectos que se relacionen con la sustentabilidad mediante el diseño de los SCALL en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

## **Hipótesis**

El sistema de captación de aguas lluvias aporta con un 25% de agua, permitiendo abastecer la demanda para usos donde no es necesario agua potable, como una importante fuente de abastecimiento de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

## **Variables de la Investigación**

### ***Variable Dependiente***

Caudal, Evaporación, Evapotranspiración, permeabilidad, rugosidad, intensidad de señal Wifi.

### ***Variable Independiente***

Precipitación, temperatura, humedad relativa, área de cubierta, periodo de retorno, intensidad.

## Capítulo 2

### Marco Teórico

#### Hidrología

El componente hidrológico es una de las principales bases en la ordenación del territorio, ya que el recurso hídrico es el aspecto más determinante en el desarrollo de las actividades socioeconómicas y en las diversas dinámicas naturales, así como en el equilibrio de los diversos sistemas inmersos en un territorio dado (Corporación de Cuencas de Tolima, 2014).

#### *Ciclo del Agua*

El ciclo del agua es guiado por la energía solar. El sol transfiere calor a la superficie del océano y otras aguas de la superficie, lo que provoca que se evapore el agua líquida y se sublime el hielo, transformándose directamente de sólido a gas. Estos procesos inducidos por el sol generan movimiento del agua hacia la atmósfera en forma de vapor de agua:

A través del tiempo, el vapor de agua dentro de la atmósfera se condensa en nubes y finalmente cae como precipitación, formándose como lluvia o nieve. Cuando la precipitación va llegando a la superficie de la tierra, se genera pocas opciones: puede evaporarse otra vez y fluir sobre una superficie o filtrarse en el suelo (Jetstream, 2019).

Los ecosistemas terrestres situados sobre la tierra en su estado natural, la lluvia habitualmente golpea las hojas y otras superficies de las plantas antes de caer al suelo. Una gran cantidad de esa agua se evapora de una forma muy rápida de la superficie de las plantas. El agua sobrante cae al suelo y casi siempre es absorbida por el mismo.

En general, el agua se mueve sobre la superficie de la tierra como escurrimiento solo cuando el suelo está saturado con agua, cuando la lluvia es muy fuerte o cuando la superficie no puede absorber mucha agua. Una superficie que no absorbe el agua podría

ser la roca en un ecosistema natural o el asfalto y el cemento en un ecosistema urbano o suburbano (Jetstream, 2019).

El agua situada en un nivel superior del suelo, es absorbida la mayoría de veces por las raíces de las plantas. Utilizan una parte del agua para su propio metabolismo y el agua que se encuentra en los tejidos suele pasar al cuerpo de los animales, cuando estos comen plantas. Por lo tanto, la mayor parte del agua que ingresa hacia el cuerpo de una planta se pierde hacia la atmósfera mediante un proceso llamado transpiración (Jetstream, 2019).

### Figura 1

*Ciclo del Agua.*



*Nota.* La figura muestra cómo se va desarrollando el ciclo del agua. Tomado de Jetstream (2019)

### Estaciones Meteorológicas

Las Estaciones meteorológicas realizan labores de medición y registro de variables climáticas:

Con el fin de conocer el comportamiento de la atmósfera y del medio ambiente, para la obtención más acertada de pronósticos. Reúne distintos tipos de instrumentos de medida los cuales en un mayor porcentaje no poseen un sistema de transmisión de los datos

captados, siendo obligatorio que la recolección de la información sea realizada por una persona y dependiendo del grado de precisión se podrá analizar la efectividad de la información obtenida. (Novoa, 2018)

### ***Estación Climatológica Principal***

Realiza observaciones de visibilidad, el tiempo atmosférico presente, cantidad, tipo y altura de las nubes, el estado del suelo, la precipitación, la temperatura del aire, las temperaturas máximas y mínimas a una distancia de 2 metros, la humedad, el brillo solar, el proceso de evaporación, el viento, las temperaturas extremas del tanque de evaporación y también los fenómenos especiales. La gran cantidad de variables se originan a través de instrumentos registradores. Generalmente se efectúa 3 observaciones diarias (IDEAM, 2018)

### ***Estación Climatológica Ordinaria***

En esta estación se realiza observaciones de algunos criterios como la precipitación, la temperatura del aire, las temperaturas máximas y mínimas a dos metros y humedad primordialmente. Tiene muy poco instrumental registrador. En algunas se utiliza instrumentos adicionales tales como tanque de evaporación, heliógrafo y anemómetro (IDEAM, 2018,pg. 16).

### **Variables Meteorológicas**

La gran parte de variables meteorológicas se manifiestan en diferentes formas, las cuales pueden ser como meteogramas o pictogramas. Todas son indicadores que ayudan a entender acerca de la meteorología. Las principales variables descritas del clima son las siguientes:

#### ***Temperatura del Aire***

Tanto en estaciones meteorológicas convencionales y como en estaciones

automáticas, la temperatura del aire se la mide dentro de abrigos meteorológicos (pantallas de Stevenson o casetas ventiladas).

Se mide 2m por encima de la superficie, de acuerdo a lo especificado por la organización Meteorológica Mundial (OMM). Los abrigos meteorológicos son diseñados para proteger los instrumentos contra la exposición directa a la radiación solar. En la construcción con persianas se genera el movimiento libre del aire alrededor de los instrumentos.

La temperatura se la expresa normalmente en grados Centígrados o Fahrenheit:

**Ecuación 1** *Cálculo de la temperatura*

$$^{\circ}C = \frac{(^{\circ}F - 32)5}{9}$$

$$^{\circ}K = ^{\circ}C + 273,16$$

Para la estandarización, T media para periodos de 24 horas, las temperaturas máximas (T máx) y mínima diaria (T min) en lugar del promedio de las mediciones horarias de temperatura. (Mario Gualpa, 2013)

**Ecuación 2** *Cálculo de la temperatura media*

$$T_{media} = (T_{max} + T_{min})/2$$

**Precipitación Atmosférica**

La presión atmosférica, P, según (Mario Gualpa, 2013) nos manifiesta que es la presión ejercida por el peso de la atmosfera terrestre y se relaciona con la evaporación en altitudes elevadas, la cual se genera por la baja presión atmosférica, Por lo tanto, este efecto es mínimo en los procedimientos de cálculo, cuyo valor medio para una localidad es

suficiente. Para el cálculo de P se puede utilizar una simplificación de la ley de los gases ideales, a una temperatura atmosférica estándar de 20 grados centígrados:

$$P = 101,3 \left( \frac{293 - 0,0065Z}{293} \right)^{5,26}$$

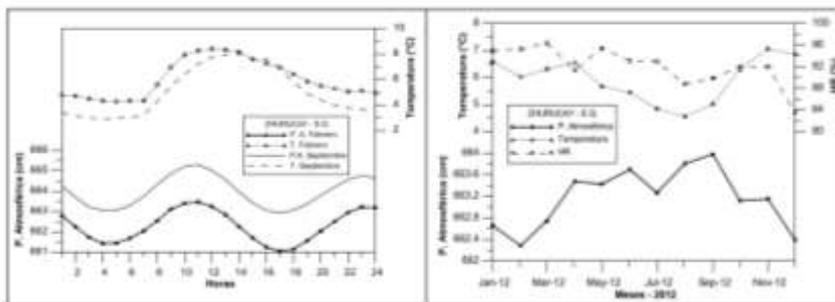
En donde:

P: Presión atmosférica [kPa]

Z: Elevación sobre el nivel del mar [m]

## Figura 2

Variación de la presión atmosférica (3780 m s.n.m.).



Nota. En esta figura se observa la variación de la presión atmosférica. Tomado de Mario Gualpa (2013)

## Humedad Relativa

La cantidad de agua del aire se la puede expresar de muchas formas. La presión del vapor, la temperatura del punto que se condensa (punto de rocío) y su humedad relativa son expresiones utilizadas para mostrar la humedad del aire.

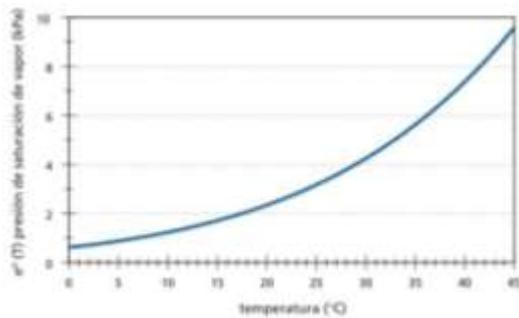
La humedad relativa (HR) indica el grado en el que se satura el aire como el cociente entre la presión real de vapor ( $e_a$ ) a una temperatura determinada y la presión en la que se satura el vapor a la misma temperatura (T):

### Ecuación 3 Humedad Relativa

$$HR = \frac{e_a}{e^0(T)} * 100$$

### Figura 3

Presión de saturación de vapor ( $e^0$ ) en función de la temperatura curva  $e^0(T)$

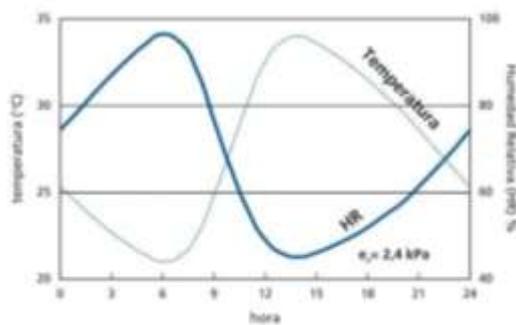


Nota. En esta figura se observa la saturación de vapor en función de la temperatura.

Tomado de Mario Gualpa (2013)

### Figura 4

Variación de la humedad relativa durante un período de 24 horas para una presión real de vapor constante de 2,4 kPa



Nota. En esta figura se observa la variación de la humedad relativa. Tomado de Mario

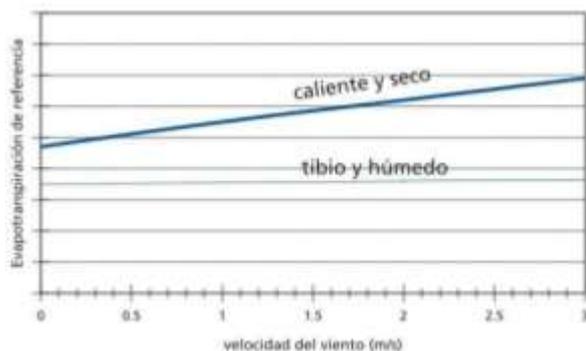
Gualpa (2013)

### **Velocidad y Dirección del Viento**

El viento es caracterizado por la dirección y velocidad que posee. La dirección del viento se relaciona a la dirección en la que sopla el viento. En el cómputo de la evapotranspiración, la velocidad del viento es necesario tomar en cuenta. En el proceso de eliminación de vapor interfiere al alto grado del viento y de la turbulencia del aire, los cuales se van transfiriendo en grandes cantidades de aire hacia la superficie a evaporarse, el viento transforma al aire húmedo por un aire más seco. Si este aire no se lo reemplaza de forma continua por un aire más seco, y va disminuyendo la intensidad de remoción de vapor de agua y la tasa de evapotranspiración también disminuye (Mario Gualpa, 2013).

### **Figura 5**

*Ilustración del efecto de la velocidad del viento sobre la evapotranspiración.*



*Nota.* En la figura se muestra el efecto de la velocidad del viento. Tomado de Mario Gualpa (2013)

### **Precipitación**

Es un elemento climático de gran relevancia para el ser humano por lo que no sólo influye en la configuración del medio natural, también ayuda al condicionamiento de las actividades humanas. Es muy importante conocer cómo se distribuye y su comportamiento de la intervención directa en la economía de una región (Andrea Soledad Brendel, Vanesa

Yael Bohn, María Cintia Piccolo, 2017,pg 9).

### **Origen de la Precipitación.**

La precipitación es muy importante en las regiones donde la producción es limitada, se compone de hidrometeoro que cae del cielo y llega hasta la superficie terrestre. "Incluyendo a la lluvia, la llovizna, nieve, cinarra, granizo; pero no la virga, ni neblina ni rocío. La cantidad de precipitación sobre un punto de la superficie terrestre es llamada pluviosidad" (Perez, Sierra, Casagrande, Vergara, Berna, 2003).

### **Tipos de Precipitación.**

Se las clasifica tomando en cuenta algunos criterios. Se tiene varios tipos de precipitación en función de la intensidad y dependiendo de la forma o configuración en la que se vaya manifestando.

#### ***Tipos de Precipitaciones según su Intensidad***

La intensidad en la precipitación se la define como la cantidad de agua que cae sobre una superficie en un determinado intervalo de tiempo. Se le mide en litros por metro cuadrado en una hora, también se la mide en milímetros por hora (mm/h) y se la expresa con los términos débil, moderada, fuerte, muy fuerte y torrencial. Los tipos de precipitaciones que se tiene según su intensidad son:

- En intensidades menor a 2 mm/h es débil.
- De 2 a 15 mm/h son moderadas.
- De 15 a 30 mm/h son fuertes.
- De 30 a 60 mm/h son muy fuertes.
- En intensidades mayor a 60 mm/h son torrenciales.

Los chubascos contienen variaciones rápidas sobre la intensidad de la precipitación, normalmente empiezan y terminan de una forma brusca y van acumulando grandes cantidades de agua en menor tiempo posible.

### ***Tipos de Precipitación según la Forma de Manifestación.***

Los tipos de precipitación que se pueden originar son las siguientes:

**Llovizna:** Se forma por numerosas y finas gotas de agua de diámetro inferior a medio milímetro, la velocidad de caída es demasiado lenta que parecen flotar en el aire. Se originan típicamente de las nubes tipo estratos.

**Lluvia:** Es la más frecuente forma de precipitación, las gotas suelen tener un diámetro superior de medio milímetro y caen con velocidad moderada. Se originan de los nimbostratos y altoestratos.

**Chubascos de agua:** también denominados aguaceros o chaparrones. Las gotas son habitualmente mayores que las de la lluvia y, como ya dijimos, comienzan y terminan bruscamente. Las únicas nubes que producen los producen son los cumulonimbos.

Las precipitaciones sólidas son la siguientes:

**Nieve:** Se forma por conglomerados de cristales de hielo en la mayoría de los casos ramificados (a algunas ocasiones con forma de estrellitas hexagonales) en forma de copos. Cuando la nieve se va fundiendo ligeramente, se origina la aguanieve.

**Chubascos de nieve:** Tienen las mismas características que los chubascos de agua, es una precipitación más numerosa que la nevada ordinaria.

**Granizo:** Están formados por granos de hielo redondeados y translúcidos. Normalmente el diámetro va variando entre 5 y 50 milímetros y caen, en un corto tiempo. Sólo son producidos por los cumulonimbos.

**Nieve granulada:** Se encuentra formados por granos blancos opacos normalmente de 2,5 milímetros de diámetro. Son muy quebradizos y fáciles de aplastar, ya que su textura es blanda.

### ***Tipos de Precipitaciones según su Origen***

El origen de una lluvia o también conocida como precipitación se relaciona directamente al mecanismo por el cual se forman las nubes de donde se originan. Se tiene los siguientes tipos de precipitaciones:

Se tiene precipitaciones orográficas cuando las nubes se asocia y con el ascenso y enfriamiento del aire que ha tenido que rebasar un área montañosa, se producen en gran parte en la ladera de barlovento, atribuye el mayor crecimiento de vegetación.

También se originan las precipitaciones por convección, en donde las nubes se han formado. Este proceso consiste en el calentamiento de bolsas de aire, debido al calor que irradia el suelo en los días con tiempo soleado, por lo tanto, ascienden (el aire caliente es superiormente ligero que el frío) y se van enfriando formando nubes de tipo cumuliforme y dan lugar a los chubascos.

La existencia de precipitaciones frontales se genera cuando procedan de nubes asociadas a frente, esto es, a las franjas de separación entre masas de aire con diferentes condiciones de temperatura o humedad, pueden ser de dos tipos: frentes cálidos y frentes fríos. ( Silvia Núñez, 2020)

## Figura 6

*Precipitaciones del ciclo del agua.*



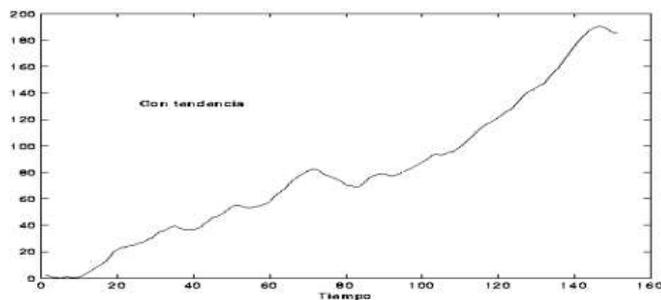
*Nota.* En la figura se muestra las precipitaciones del ciclo del agua. Tomado de Silvia Nuñez (2020)

## Series Temporales

Las series temporales se representan mediante un gráfico que indica la evolución con el tiempo. En la representación de una serie se debe tomar en cuenta una serie de características. La tendencia se refiere que la serie tiende a crecer o a decrecer a largo plazo. Si una serie permanece constante, generándose en torno a un valor, decimos que la serie no posee tendencia (Teresa Villagarcía, 2018).

## Figura 7

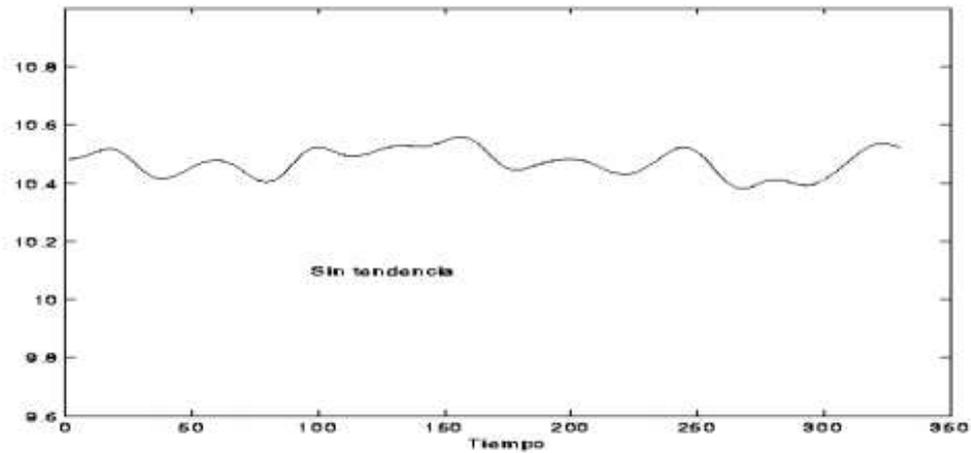
*Serie con tendencia.*



*Nota.* En la figura se muestra la serie con tendencia. Tomado de Teresa Villagarcía (2018)

**Figura 8**

*Serie sin tendencia.*

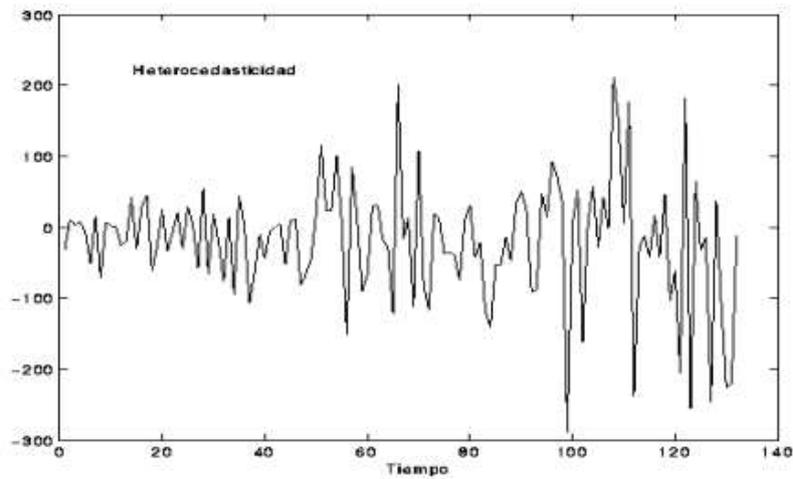


*Nota.* En la figura se muestra la serie sin tendencia. Tomado de Teresa Villagarcía (2018)

Una característica especial de las series es la variabilidad que posee. Ya que una serie es de tipo homocedástica, si su variabilidad no cambia a lo largo de la serie, la serie de la figura es homocedástica pues su variabilidad no va a incrementar a través del tiempo. Cuando la variabilidad de la serie llega a aumentar o disminuir a lo largo del tiempo, se dice que la serie es heterocedástica. La siguiente figura muestra una serie heterocedástica en la que la varianza va aumentando con el tiempo.

**Figura 9**

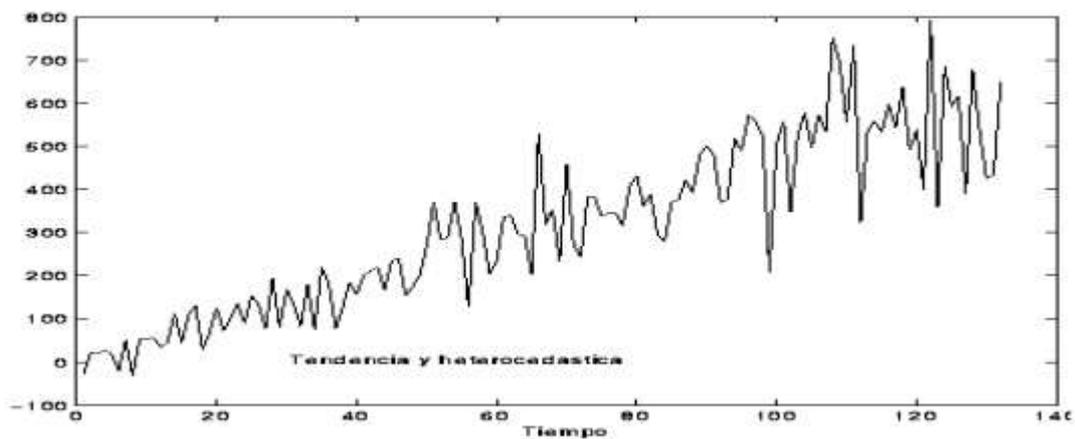
*Serie con Heterocedasticidad.*



*Nota.* En la figura se muestra la serie con heterocedasticidad. Fuente: Teresa Villagarcia (2018)

**Figura 10**

*Serie con tendencia y heterodasticidad.*



*Nota.* En la figura se muestra la serie con tendencia y heterodasticidad. Fuente: Teresa Villagarcia (2018)

### **Componentes de Series Temporales**

En la mayoría de casos, la serie temporal es la suma de varias componentes:

$$X_t = T_t + S_t + I_t$$

$$\text{Valor observado} = \text{Tendencia} + \text{Estacionalidad} + \text{Irregular}$$

**Tendencia:** comportamiento o movimiento blando de la serie a largo plazo.

**Estacionalidad:** movimientos de oscilación dentro del año.

**Irregular:** variaciones aleatorias alrededor de los componentes anteriores.

Es importante obtener o “aislar” los distintos componentes (Andrés M. Alonso, 2005).

### **Análisis de Series Temporales**

El estudio de la variación de los valores de la radiación solar sobre la superficie de la tierra se ha ido acrecentando últimamente, con el fin de atribuir algunas modificaciones durante el balance radiactivo y los efectos de cambios en el clima so:

La influencia climática y sus efectos directos de posibles variaciones en la cantidad de radiación estándar recibida en la superficie terrestre proveen energía para la fotosíntesis y la evapotranspiración, por lo que cualquier cambio significativo podría influir sobre las fuentes de agua y alimentos del hombre. (Hugo Grossi Gallegos, 2020)

### **Relleno de Datos de Series Temporales**

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) se encarga de suministrar información meteorológica y climática esencial, así como guías de prácticas climatológicas en las que se recomiendan varios métodos para rellenar los datos faltantes de series temporales. Para series de datos mensuales o anuales se recomienda el método de regresión lineal simple el cual, estudia la relación lineal entre dos variables, por medio de

una representación visual denominada diagrama de dispersión y provee una ecuación que ayuda en el cálculo del valor faltante en función del dato de la estación auxiliar, mediante una ecuación de dos variables (Hugo Grossi Gallegos, 2020).

#### **Ecuación 4** *Ecuación de 2 variables*

$$y = a + bx$$

Donde:

*y*: Valor calculado de la variable para la estación que se desea completar.

*x*: Valor de la variable de la estación auxiliar.

*a, b*: Coeficientes de regresión

Del diagrama, se procede a calcular el coeficiente de correlación, el cual fue creado por Karl Pearson, propone una medida cuantitativa de la fuerza de la relación entre las variables y suele representarse con la letra *r*, este varía de -1,00 a +1,00. Un coeficiente *r* de Pearson, como también se lo conoce, que tome valores de -1,00 o +1,00 indica una correlación perfecta y los datos muestran poca dispersión respecto a la recta. En caso que no exista relación entre dos conjuntos de variables, la *r* de Pearson toma el valor de cero y existe una dispersión considerable (Russi J. , Larrahondo E., 2017).

En términos hidrológicos, un coeficiente de correlación de  $-0,8 \leq r \leq 0,8$ , se considera aceptable (Russi J. , Larrahondo E., 2017).

Existen algunas consideraciones para la utilización del método de regresión lineal como: distancia menor de 25 km entre las estaciones a estudiar, altitud de +-30 m sobre el nivel del mar y que cuenten con el mismo tipo de clima.

Para series de datos diarios se recomienda el método del promedio diario, calcula el valor promedio a largo plazo del mismo día de interés. Se utiliza la siguiente ecuación

(Russi J. , Larrahondo E., 2017).

$$P_{est} = \frac{\sum_{j=1}^N P_{ij}}{N}$$

Donde:

*P<sub>est</sub>*: Valor promedio estimado

*P<sub>ij</sub>*: Valor de la variable en el día *i* del año *j*

*N*: Número de años que se dispone de datos

Para la selección de las estaciones con las que se va a trabajar, se debe verificar los siguientes criterios para el control de calidad de los datos:

- El porcentaje de datos faltantes no debe superar el 10% de la serie y se permite un valor de 25% para zonas con escasez de datos y limitado número de estaciones de apoyo (Russi J. , Larrahondo E., 2017).

- La variación en el registro de datos debe ser causada únicamente por condiciones climatológicas o propias de la variable de estudio, mas no por factores externos como: reubicación de la estación, cambios en la instrumentación, imprecisiones instrumentales o cambios en los procedimientos de observación y cálculo (Russi J. , Larrahondo E., 2017).

- La posición relativa de la estación con respecto al centro de la cuenca. Las estaciones cercanas a la frontera de la cuenca tienen mayor importancia, que aquellas ubicadas en el centro (Russi J. , Larrahondo E., 2017).

### **Validación de Datos**

Para la validación de datos la Organización Meteorológica Mundial recomienda algunas pruebas que se pueden aplicar a los modelos, éstas pruebas pueden ser paramétricas, si dependen de supuestos sobre la distribución, como la normalidad, o no

paramétricas, si no consideran supuestos sobre la distribución. Dentro de las pruebas paramétricas encontramos la prueba t de Student, y la prueba de F de Fisher y como pruebas no paramétricas tenemos a la prueba de rachas y a la prueba de Kolmogorov-Smirnov. De igual forma los autores citados a continuación recomiendan métodos adicionales para la validación de datos (Organización Meteorológica Mundial, 2019).

Los datos rellenos con el método de regresión lineal se validaron con una prueba de rachas, una curva de doble masa y la prueba de t Student para determinar si la serie completada es o no homogénea. Los datos rellenos con el método del promedio diario se validaron mediante t de Student.

La prueba de rachas, es un método no paramétrico que sirve para determinar si una serie es o no aleatoria, es decir, si los datos son independientes entre sí. En una serie temporal las observaciones no son aleatorias, porque una observación cualquiera depende de las características de una anterior. El término racha hace referencia a una secuencia de observaciones de un mismo tipo. Se procede a calcular la mediana de la serie rellena y se representa con NA el número de valores que superan la mediana (+), NB el número de valores inferiores a la mediana (-) y NS el número de rachas. En la tabla siguiente se indica los valores críticos de NS dependiendo del número de datos analizados (Organización Meteorológica Mundial, 2019)

**Tabla 1**

*Test de Rachas*

<b>Test de Rachas de Thom</b>							
<b>Valores críticos. Nivel de confianza del 95%</b>							
<b>N- de Datos</b>	10	20	30	40	50	60	80
<b>N- mínimo de rachas</b>	2	6	10	14	18	22	31
<b>N- máximo de rachas</b>	6	15	21	27	33	39	50

*Nota.* En esta tabla se observa los valores críticos del test de rachas. Tomado de (Carrera Villacrés et.al, 2016)

El segundo método utilizado fue la curva de doble masa que sirve para la detección de una serie dada consistente en comparación con otra serie que se conoce y que no posee ningún problema de homogeneidad, se construye mediante sumatorias parciales de la serie rellenada contra las sumatorias parciales de la serie original y da como resultado una recta con el coeficiente de correlación muy cerca de 1. (Carrera Villacrés et.al, 2016)

El tercer método es el t de Student, el cual se basa en dos principios, la distribución de normalidad y la independencia entre series, la prueba permite comparar las características de las series por medio de estadígrafos (la media y la varianza) y así, determinar cuánta confianza se puede depositar en la afirmación de que los datos comparten características latentes (OMM, 2011). Cuanto menor sea la puntuación "t", se dice que las 2 series tienen similitud. Para aplicar esta herramienta se debe obtener el tamaño, media y varianza de las series, se procede a calcular el valor de "t" y el valor crítico de "t" de dos colas dado en una tabla de distribución t de Student. El estadístico t se calcula con la fórmula:

#### **Ecuación 5 T Student**

$$t = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{\frac{(n-1)S_1^2 + (m-1)S_2^2}{n+m-2} \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{1}{m}}}}$$

Dónde:

$n, m$ : Tamaño de las muestras

$\bar{X}, \bar{Y}$ : Medias de las muestras

$S_1^2, S_2^2$ : Varianzas de las muestras

$n + m - 2$ : Grados de libertad

Se debe seleccionar el valor de la distribución t de Student de dos colas de las

tablas de T de Student, dependiendo del grado de libertad y la probabilidad, se comprueba que el valor del estadístico t se encuentra dentro del rango de aceptación o de mayor probabilidad. Se recomienda escoger un error o valor de  $\alpha$  del 5%, por lo tanto, el nivel de confianza es del 95%. (Conexionismo, 2012). Se debe tomar en cuenta la siguiente condición: El t de la tabla debe ser mayor que el t calculado.

### **Sistemas de Captación de Agua Lluvia SCALL**

Estos sistemas SCALL, se les llama así por sus iniciales, y a los sistemas de captación de agua pluvial en techos se les denomina SCAPT, por el mismo motivo :

Generalmente, estos sistemas interceptan y manipulan el agua de lluvia. Están compuestos por varios elementos cuya función es: la captación, la conducción, la filtración y el almacenamiento. Por lo tanto, bajo determinadas características, como en edificios, se agregan dispositivos que se les usa para el bombeo y distribución. Todo sistema muestra ventajas y desventajas, las ventajas: no es sujeto a interrupciones en la red de abastecimiento, reduce el escurrimiento y la erosión, su disponibilidad es independiente de empresas de servicios públicos, reduce reproducción de mosquitos, el agua es más pura y suave por naturaleza, libre de cloro y sus subproductos, pesticidas, y gratis. Sus desventajas: que el agua de lluvia no se la puede controlar durante las épocas de sequía, suele ser contaminada por animales, materias orgánicas y contaminantes atmosféricos, las cisternas incrementan los costos de construcción y puede ser restrictivo para las familias de pocos recursos; si la cisterna no se protege se puede provocar la presencia de mosquitos. (Torres, 2019)

#### ***Captación***

La dimensión para un sistema de captación depende del análisis de las lluvias del lugar o cercanas para su respectivo cálculo, "por lo cual es recomendable tener series de precipitaciones anuales lo suficiente extensas de 30 a 40 años como mínimo, para

contemplar períodos hidrológicos muy secos, húmedos y medios” (Marta Paris, 2018).

### ***Recolección y Conducción***

Normalmente se lo realiza por medio de canaletas situadas en las partes inferiores de los techos con ellas se consigue dirigir el agua recogida a los tanques de almacenaje, las canaletas suelen ser de materiales livianos, resistentes a las condiciones de la intemperie y de fácil coalición entre ellas. (David Velandia, Andrés Ortiz, 2017)

### ***Hidráulica de Desagües***

El tiempo de vaciado suele variar de una línea de conducción a otra, puede ser en minutos o hasta días. Tomando como consideración la capacidad tentativa de la evacuación del agua de una válvula de desagüe y un caudal admisible que se puede desalojar para las condiciones del terreno y el destino del agua desalojada. (Comisión Nacional del Agua, 2017)

### ***Filtración la intercepción de primeras aguas***

Es un proceso por el cual el agua lluvia circula a través de capas de diferentes materiales que sirven para la retención de las partículas orgánicas que son los responsables de la contaminación. Es muy relevante incorporar un sistema de filtración en la captación de agua lluvia garantizando que su calidad tomando en cuenta la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108. (Francisco Gonzaga, 2015)

### ***Desinfección***

En la desinfección de tanques de agua, pozos, paredes y pisos se debe emplear una concentración de cloro 50 veces mayor que el uso para la desinfección de agua en un tiempo normal (Ministerio de Salud Pública y asistencia Social, 2006).

### ***Almacenamiento***

El tanque de almacenamiento de agua de lluvia genera el acceso a agua cercana al punto de uso, en el tiempo y en la cantidad requerida. No importa si está construido sobre el nivel del suelo o de forma subterránea (cisternas) y suelen ser de materiales tales como plástico (que no transmitan olores ni sabores al agua), ferrocemento, tabique o block. El mayor reto al instalar este sistema radica en la disminución del costo de los materiales y de la construcción (Enrique Cisneros , 2020).

### ***Distribución***

En este proceso de captación de agua lluvia, lo cual quiere decir que el agua está lista para su uso. Una característica importante que tiene un sistema de captación de agua de lluvia, la bomba se la opera manualmente para que así utilizar solo el agua necesaria, impidiendo que se desperdicie, así como de consumo de energía eléctrica. (Rotoplas, 2018)

### ***IoT***

El internet de las cosas tiene múltiples aplicaciones, para este proyecto su enfoque se direcciona al monitoreo y control agua en un hogar, implementando sensores se obtienen datos reales de una variable a medir, en este caso es caudal en (litros por minuto) y se envían a un servidor para su posterior tratamiento. La red IoT, proporciona estos datos en forma de gráficas, ilustraciones o animaciones, que sean de fácil interpretación para cualquier usuario, estas pueden ser acumulativas o datos en tiempo real que servirán como guía para determinar predicciones sobre el consumo de agua que se está generando y si existe la necesidad de hacer algún tipo de control sobre esta. (Barrera V., Guzmán, & Valencia P., 2017)

### ***Usos de IoT en Agua Potable***

La irrupción de la IoT (Internet of Things) en los sistemas de agua urbana o también

conocida como agua potable. Esta tecnología está innovando y realizando un cambio radical en el paradigma sobre la gestión de los sistemas hidráulicos que mantienen los servicios de agua urbana (abastecimiento y saneamiento) y en los sistemas de monitorización que contribuyen a la mejora del desempeño en sostenibilidad entre otros y todos se encuentran ligados a las tecnologías implantadas en estos últimos años y se relacionan con el desarrollo IoT para los sistemas hidráulicos de agua urbana. La fiabilidad que ofrece un sistema de control, relacionando con el diseño de los sistemas hidráulicos potables, permiten eliminar los problemas derivados de fallos en los sistemas de bombeo, en vaciado accidental de depósitos o en descoordinaciones entre la producción y la distribución (Vázquez et al., 2017).

### ***Tecnologías Inalámbricas***

La tecnología inalámbrica hace posible que exista una comunicación entre dos o más entidades (ordenadores o PC, Smartphone, Tv, etc.) separadas a una distancia, sin la necesidad de utilizar cables ni otros medios físicos. (Andrés Sabas, 2016)

### ***LoRA***

LoRa se lo usa para aplicaciones de poca potencia, de red de área amplia (LPWAN). Trabaja en un rango de más de 15 kilómetros y una capacidad de hasta 1 millones de nodos. Su combinación es de baja potencia y un alcance largo limitado por la velocidad de datos máxima que llega a 50 kilobits por segundo (Kbps).

LoRa es una tecnología exclusiva que funciona en la banda ISM. La asignación de frecuencias y los requisitos reglamentarios para ISM varían por región, 2 de las más populares son las frecuencias de 868 megahercios (MHz) que son utilizadas en Europa y 915 MHz son utilizadas en América del Norte (Paul Pickering, 2017).

## **LoRA WAN**

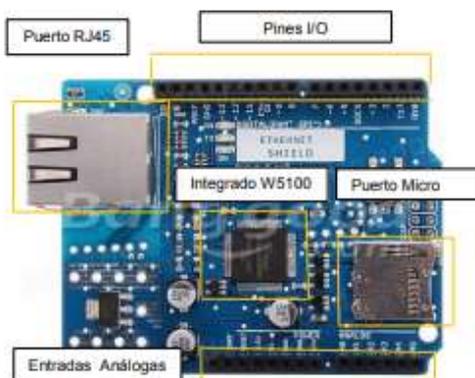
Es un protocolo de comunicación utilizado para redes de área amplia y con poca potencia (LPWAN) fue diseñado para la conexión inalámbrica de dispositivos que manipulen baterías hacia el internet a través de redes de análisis de la implementación de LoRa y Lora WAN como escenario de la industria 4,0 a futuro, en el sector agroindustrial regional, nacional o global y con una capacidad de comunicación bidireccional, con seguridad de extremo a extremo, móvil y localizable (Daniel Pérez, Redy Risco, 2019).

### **Módulo Arduino Wifi (Ethernet)**

El módulo Ethernet trabaja con los estándares IEEE 802,3, 10BASE T y 802,3u. El módulo en cuestión puede soportar los siguientes protocolos: Transmission Control Protocol (TCP), User Datagram Protocol (UDP), Internet Control Message Protocol (ICMP), Address Resolution Protocol (ARP), Point to Point Protocol Over Ethernet (PPPoE) (Jairo Sánchez).

### **Figura 11**

*Arduino Ethernet Shield*



*Nota.* En la figura se muestra un arduino con conexión wifi y ethernet. Tomado de Daniel Pérez, Redy Risco (2019)

## Capítulo 3

### Metodología

#### Ubicación

La Universidad de Las Fuerzas Armadas “Espe” se encuentran situada en Sangolquí, provincia de Pichincha, en la región interandina del Ecuador, con coordenadas 784386 E y 9965282 N, el campus está dividida por diferentes departamentos y edificios que albergan a más de 13,000 politécnicos diariamente.

#### Figura 12

*Ubicación del proyecto de estudio*



*Nota.* En la figura se muestra Ubicación del proyecto de estudio. Tomado de Google Maps (2021)

#### Delimitación de la Zona de Estudio

Para la presente investigación se definió el edificio de la Residencia Universitaria como área de estudio en donde se instalaron los sensores IoT para la recolección de los datos de precipitación, temperatura y humedad relativa para el diseño del sistema de

captación de aguas lluvias.

### **Figura 13**

*Modelado de la Residencia Universitaria.*



*Nota.* En la figura se muestra Modelado de la residencia Universitaria. Realizado por: Navarro y Anchatuña (2021)

### **Recolección de Datos**

Para obtener los datos de precipitación necesarios para el diseño del SCALL se presentaron dos metodologías, la primera mediante la instalación de sensores conectados a placas Arduino con conexión Wifi que almacenan los datos en tiempo real en una nube de internet. La segunda se recopilan los datos de la estación agrometeorológica IASA a cargo de la carrera de ingeniería en ciencias agropecuarias de la ESPE para su análisis y relleno de datos.

### **Instalación de Sensores IoT**

#### ***Descripción de los Elementos***

Para el Proyecto por las necesidades de subir datos a la nube, se implementó una tarjeta de adquisición de datos con un módulo wifi integrado en este caso es el ESP8266 es un controlador como Arduino con el adicional que incluye un módulo wifi para enviar datos por la red.

**Figura 14***Sensor ESP8266*

*Nota.* En la figura se muestra un controlador como arduino con el adicional que incluye un módulo wifi. Tomado de (Geek Factory, 2021)

Para la medición de temperatura y humedad se implementó el sensor DTH22 el cual es un sensor con características semi industrial.

**Figura 15***Sensor DTH22*

*Nota.* En la figura se muestra el uso de un pluviómetro de tipo balancín. Tomado de (Geek Factory, 2021)

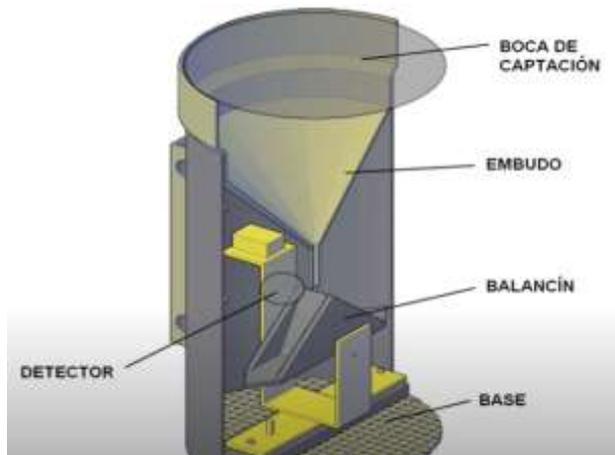
Para la medición de la lluvia se implementó el uso de un pluviómetro de tipo balancín y se adaptó la salida digital para conectar a la tarjeta ESP8266.

### ***Funcionamiento del Pluviómetro Tipo Balancín***

Tenemos las partes de este sistema las cuales se muestran en la siguiente figura:

**Figura 16**

*Pluviómetro tipo balancín*

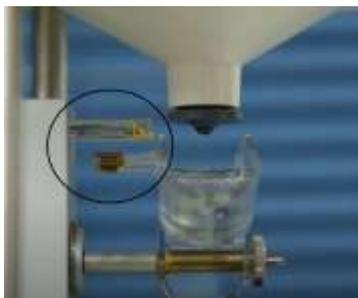


*Nota.* En la figura se muestra un pluviómetro tipo balancín. Tomado de (Geek Factory, 2021)

La boca de captación de lluvia, el agua que ingresa se conduce por un embudo hasta llegar al balancín el cual al llegar a una determinada cantidad de agua girará, el giro del balancín es tomado por un switch electromagnético.

**Figura 17**

*Captación de lluvia con un balancín*

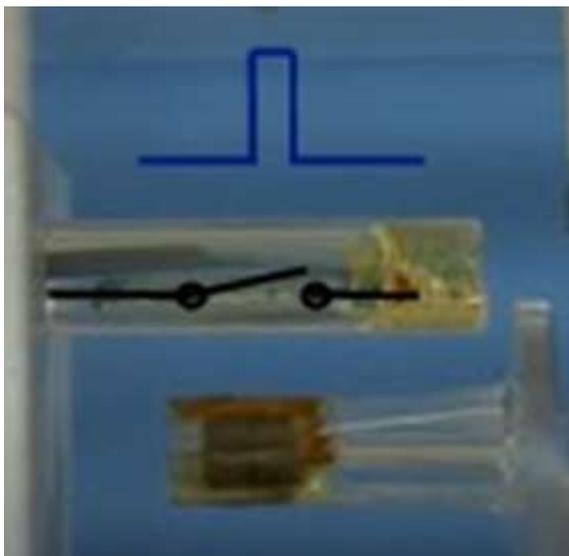


*Nota.* En la figura se muestra la boca de captación de lluvia. Tomado de (Geek Factory, 2021)

El balancín contiene un imán el cual al girar emite una señal a la tarjeta de adquisición de datos

### **Figura 18**

*Giro del balancín*



*Nota.* En la figura se muestra el giro del balancín. Tomado de (Geek Factory, 2021)

En los pluviómetros comerciales ya viene dado la resolución, en este caso la resolución es de 0,3mm cada pulso (giro del balancín)

En la tarjeta de adquisición de datos contabiliza el número de pulsos que da el balancín y se multiplican por la resolución para obtener el valor de lluvia en mm en ese periodo.

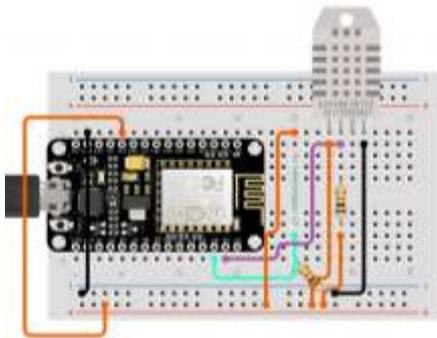
### ***Diagrama del Circuito Implementado***

Para las conexiones del circuito se utilizan una entrada analógica y digital para el procesamiento de las señales de entrada.

En la siguiente figura se muestra el diagrama a implementar en el proyecto con los elementos indicados, para la señal del pluviómetro se interpreta con un switch magnético.

### Figura 19

*Diagrama del circuito implementado*



*Nota.* En la figura se muestra el diagrama del circuito implantado. Tomado de (Geek Factory, 2021)

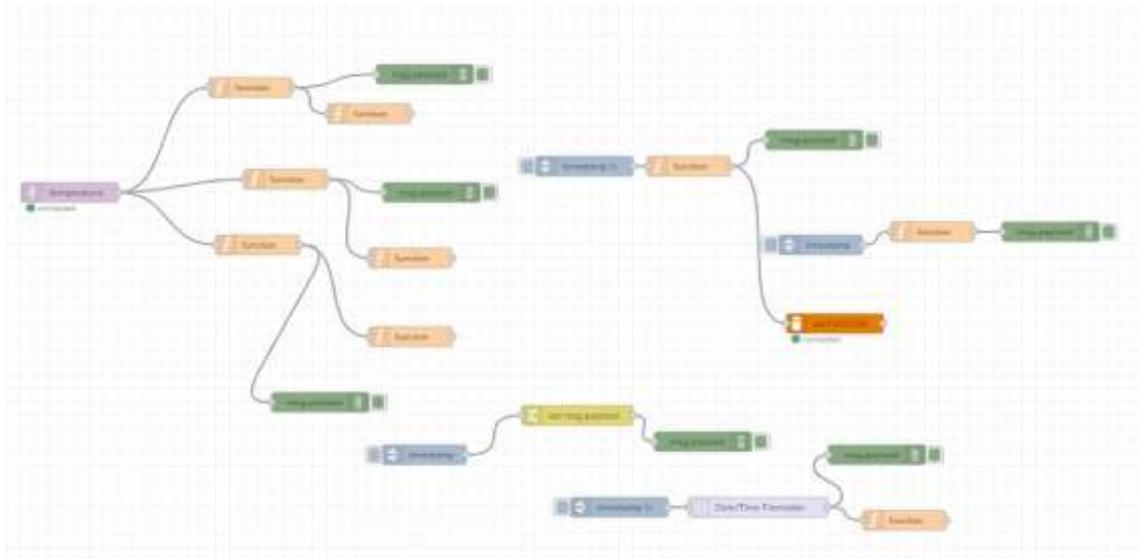
### Programación

#### *Programación en el Servidor*

Para almacenar los datos en la nube se utiliza el servidor phpmyadmin el cual tiene uso gratuito con unas restricciones. La programación para realizar el envío de datos a la base de datos de phpmyadmin se muestra a continuación

## Figura 20

### Programación en el servidor

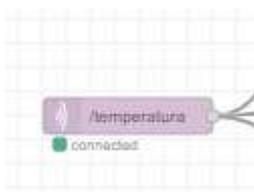


*Nota.* En la figura se muestra la programación en el servidor. Tomado de (Geek Factory, 2021)

Este tipo de programación se llama por bloques y es muy sencillo de visualizar los elementos y adquirir la información

## Figura 21

### Programación por bloque



*Nota.* En la figura se muestra la programación por bloque. Tomado de (Geek Factory, 2021)

Este es el nodo más importante ya que realiza la comunicación IOT con mqtt y posteriormente manda los datos a la base de datos creada previamente con el nodo que se muestra a continuación.

## Figura 22

*Nodo*



*Nota.* En la figura se muestra al nodo más importante que se comunica con el IoT. Tomado de (Geek Factory, 2021)

La distribución de datos se la realiza en la programación de la tarjeta, las configuraciones y demás.

### ***Programación en la Tarjeta***

Al inicio de la programación tenemos las librerías a utilizar, iniciamos los comandos y lo más importante se ingresa el nombre de la red y la contraseña, para que la tarjeta se pueda conectar a internet y enviar los datos.

## Figura 23

### Programación en la tarjeta

```

#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <DHT.h>

#include <ESP8266WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>

#define DHTTYPE DHT22
const char* ssid = "Netlife-Piso3";
const char* password = "piso32020";
const char* mqtt_server = "broker.emqx.io";
int cont=0;
#define PIN_PLUV 4 //Definicion de GPIO
bool PULSE_PLUV=true; //Auxliar de control sensor
volatile uint32_t numberPulse=0;//Contador de sensor
float coef_pluv=0.3; //coeficiente de transformación
double Pluv_data_mm=0; //DATO A ENVIAR mm de lluvia

WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);
long now = millis();
long lastMeasure = 0;
const int DHTPin = 5;
long lastMsg = 0;
char msg[50];
int value = 0;
const char* sensor="confirma";
DHT dht(DHTPin, DHTTYPE);

```

*Nota.* En la figura se muestra la programación en la tarjeta. Fuente

En la siguiente parte de programación se realiza la medición de la temperatura, humedad y lluvia, con el intervalo que se va a enviar los datos al servidor.

## Figura 24

### Programación de la temperatura, humedad, y lluvia

```

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  if (!client.connected()) {
    reconnect();
  }
  if(!client.loop()){
    client.connect("ESP8266Client");
  }
  now = millis();
  if (digitalRead(PIN_PLUV)==0 && PULSE_PLUV==false){
    PULSE_PLUV = true;
    //Serial.println(numberPulse);
    numberPulse+=1;
    Serial.println(numberPulse);
  }

  if (digitalRead(PIN_PLUV)==1 || PULSE_PLUV==false){
    PULSE_PLUV = false;
  }
  // Publishes new temperature and humidity every 30 seconds
  if (now - lastMeasure > 60000) {
    lastMeasure = now;
    Pluv_data_mm=numberPulse*coef_pluv;
    numberPulse=0;
    Serial.println(Pluv_data_mm);
    // Sensor readings may also be up to 2 seconds 'old' (its a very slow sensor)
    float h = dht.readHumidity();
    // Read temperature as Celsius (the default)
    float t = dht.readTemperature();
    // Read temperature as Fahrenheit (isFahrenheit = true)
    float f = dht.readTemperature(true);

    // Check if any reads failed and exit early (to try again).
    if (isnan(h) || isnan(t) || isnan(f)) {
      Serial.println("Failed to read from DHT sensor!");
      return;
    }
  }
}

```

---

*Nota.* En la figura se muestra Programación de la temperatura, humedad, y lluvia.

Esta porción de programación es fundamental ya que es la que realiza la comunicación con la base de datos.

## Figura 25

### Comunicación de la base de datos

```

void reconnect() {
  // Loop until we're reconnected
  while (!client.connected()) {
    Serial.print("Attempting MQTT connection...");
    // Attempt to connect
    /*
    YOU MIGHT NEED TO CHANGE THIS LINE, IF YOU'RE HAVING PROBLEMS WITH MQTT MULTIPLE CONNECTIONS
    To change the ESP device ID, you will have to give a new name to the ESP8266.
    Here's how it looks:
    if (client.connect("ESP8266Client")) {
    You can do it like this:
    if (client.connect("ESP1_Office")) {
    Then, for the other ESP:
    if (client.connect("ESP2_Garage")) {
    That should solve your MQTT multiple connections problem
    */
    if (client.connect("ESP8266Client")) {
      Serial.println("connected");
      // Subscribe or resubscribe to a topic
      // You can subscribe to more topics (to control more LEDs in this example)
      client.subscribe("/envio");
    } else {
      Serial.print("failed, rc=");
      Serial.print(client.state());
      Serial.println(" try again in 5 seconds");
      // Wait 5 seconds before retrying
      delay(5000);
    }
  }
}

```

*Nota.* En la figura se muestra la comunicación de la base de datos.

### Estación Meteorológica Principal

La estación agrometeorológica IASA se encuentra ubicada en el sector de San Fernando, hacienda El prado, con una altitud de 2748msnm y coordenadas Longitud: 78°24'44'' y Latitud: 0°23'20''. Consideramos como estación meteorológica principal por los datos registrados 6783 de precipitación, temperatura, evaporación, heliofanía y humedad relativa diarios durante el periodo 2000-2019, los mismos que se procedieron a tabular de acuerdo año, mes y día para identificar los datos faltantes.

Figura 26

Formato mensual de datos de la estación meteorológica del IASA

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO CARRERA DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS ESTACIÓN AGROMETEOROLÓGICA I.A.S.A. Longitud: 78 °24'44"      Latitud: 0 °23'20"      Altitud: 2748 m msnm oct-11							
FECHA	TEM. MAX.	TEM. MIN.	TEM. MED.	PRECIPITACIÓN	EVAPORACIÓN	HELIOFANÍA	HUM. RELT.
1	22,4	6,5	14,45	11,2	0	2,5	69
2	22,5	6,3	14,4	9	0	2	68
3	21	6,5	13,75	11	0	2	69
4	19,5	10	14,75	15,6	0	1,8	71
5	19	10	14,5	10	0	2	70
6	20,5	6,8	13,65	15	0	2	70
7	23	7	15	16,5	0	3	66
8	22,1	6,5	14,3	7,5	0	2	71
9	22	6,4	14,2	10	0	2,5	72
10	22	6,5	14,25	25	0	3	70
11	20,2	6,5	13,35	25	0	2,4	71
12	20,3	7,4	13,85	20	0	2	69
13	20,5	7,5	14	7,9	0	4	67
14	21	6	13,5	0	1	4	60
15	22	6,1	14,05	0	1,2	4	65
16	21,5	6	13,75	0	1,5	4	67
17	21	6,2	13,6	0	2	3	66
18	21	6,2	13,6	0	1,5	4	64
19	21,2	7	14,1	0	2	3	65
20	21,5	6	13,75	0	2,2	3	68
21	22	6,7	14,35	0	2,3	4	65
22	21,8	6,5	14,15	11	0	2,8	69
23	21,9	6,4	14,15	23	0	2,5	67
24	22,5	6,5	14,5	24	1,5	4,5	69

Nota. En la figura se muestra Modelado de la residencia Universitaria. Fuente: Estación agrometeorológica IASA.

Figura 27

Formato de recolección de los datos diarios durante el periodo 2000-2019

G20		12,2													
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
1	CODIGO:	2000-2019													
2	NOMBRE: IASA	promedio de dias al año													
3															
4	Precipitación Total	Diana (mm)	VALORES DIARIOS												
5															
AÑO	MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
2000	1	5	3	0	7,6	0,5	0,4	0,35	4,1	9,7	4	0,2	0	0	
2000	2	0,2	0,8	0,2	0	0,3	0	0	0	0	1,6	0	0	0	
2000	3	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04	6,04	
2000	4	2,4	0	0,6	5,4	27,4	8	27,6	0,8	0	1,5	11	0	12	
2000	5	0	0,3	2,4	0,2	0,7	0	6	12	29	11	0,9	1,2	6	
2000	6	1,2	0,64	0	0,7	0	0	4,5	1	17,2	0	0,64	0,64	2,5	
2000	7	0	0	0	0	0	0	0	2,1	0	0	0	0	0	
2000	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	
2000	9	0,8	0	0	10	2	8,5	0	0	2	1,5	0	0	0	
2000	10	0	6,8	1,7	0	0	7,5	10,1	0	0	0	0,8	0,3	1,5	
2000	11	9,3	15	10	6,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2000	12	0,3	2	2	8	2	4,2	0	3	0,7	5	5	5	5	
2001	1	4,5	0	0	0,1	4,5	2	1	0,2	0	15,4	7	22,7	3,9	
2001	2	0	0	18	4	12,2	0	0	0	0	0	0	0	0	
2001	3	2,3	0	0	0	2,6	0	0	10,6	0	1,5	0	0	0	
2001	4	4,9	3,3	3,1	0	0	0	0	0,6	0	0	0	0	2,6	
2001	5	0	0	0	0	0	4,5	0	0,2	1,4	9,6	0	0	0	

Nota. En la figura se muestra recolección de los datos diarios durante el periodo 2000-2019.

### Estaciones Meteorológicas Secundarias

Para el relleno de la serie de la estación del IASA se tomaron como estación auxiliar M0002 La Tola ubicada a 2480 msnm con Latitud:793125 y Longitud:9974612, los datos se obtuvieron de los anuarios meteorológicos publicados por el INAMHI de los años de interés.

Tabla 2

Estaciones meteorológicas secundarias

LA TOLA M002				
Año	ENERO	FEBRERO	MARZO	MAYO
2000	129,5	145,5	128,3	144,7
2001	55,5	60,6	100	35,1
2002	44,7	36,9	129,6	49,7
2003	40,1	68,9	58,3	15
2004	82,3	27,3	86,2	47,4
2005	52,8	97,7	75,9	44
2006	42,4	74,8	211,8	30,9
2007	69,2	42,5	155,6	50,7
2008	86,4	148,2	198,6	131,7
2009	101,4	48,5	152,9	46,2
2010	15,9	83	12,1	100,4
2011	34,8	158,9	116,7	61,4
2012	76,9	59,8	95,1	16,3
2013	17,8	159,8	73,1	95,2

Nota. En la tabla se muestra datos de precipitación recopilados de la estación auxiliar.

### Relleno de Datos

Para series de datos diarios se recomienda el método del promedio diario, calcula el valor promedio a largo plazo del mismo día de interés. Se utiliza la siguiente ecuación (6) (Campozano, Sánchez, Aviles, & Samaniego, 2014)

#### Ecuación 6 Relleno de datos diarios

$$P_{est} = \frac{\sum_{j=1}^N P_{ij}}{N}$$

Donde:

P<sub>est</sub>= Valor promedio estimado.

P<sub>ij</sub>: Valor de la variable en el día i del año j

N: Número de años que dispone de datos

Con la formula se rellenaron 527 datos de precipitación diaria correspondientes al 7,77%, obteniendo una precipitación promedio mensual de 111,63 mm, precipitación promedio diaria de 3.67 mm y precipitación promedio anual de 1339,53 mm. Los cálculos se presentan en la siguiente tabla. Para las series con datos mensuales utilizamos el método de regresión lineal simple, el cual estudia la relación lineal entre dos variables mediante el diagrama de dispersión y proporciona una ecuación que permite calcular el valor faltante en función del dato de la estación auxiliar con la ecuación  $y = a + bx$ .

**Tabla 3**

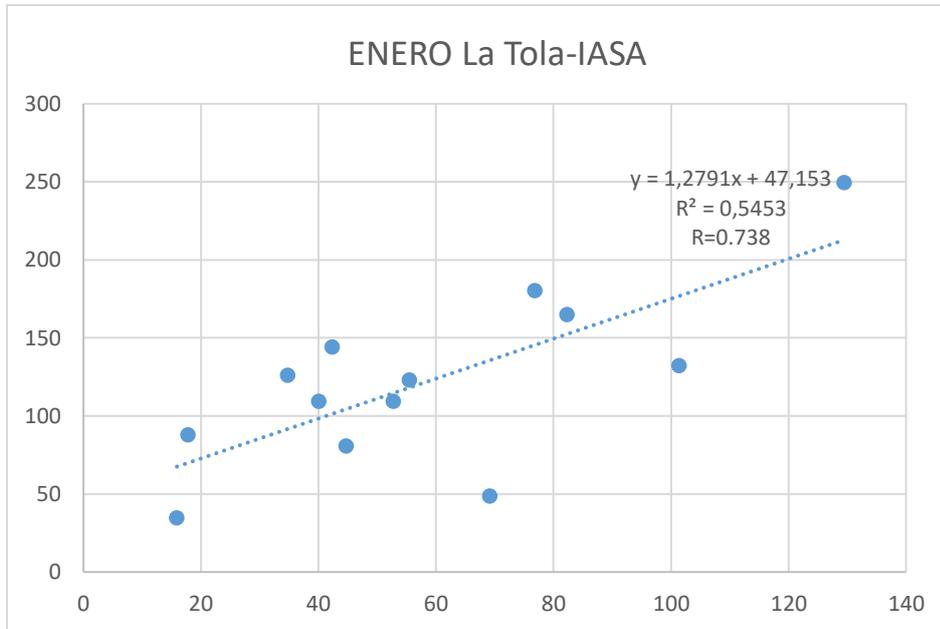
*Datos rellenados de enero mediante el método de regresión lineal*

<b>Enero</b>			
<b>Año</b>	La Tola (X)	IASA(Y)	Relleno IASA
<b>2000</b>	129,5	249,3	249,3
<b>2001</b>	55,5	123	123
<b>2002</b>	44,7	80,7	80,7
<b>2003</b>	40,1	109,1	109,1
<b>2004</b>	82,3	164,8	164,8
<b>2005</b>	52,8	109,1	109,1
<b>2006</b>	42,4	144,1	144,1
<b>2007</b>	69,2	48,5	48,5
<b>2008</b>	86,4		<b>157,67</b>
<b>2009</b>	101,4	132,2	132,2
<b>2010</b>	15,9	34,6	34,6
<b>2011</b>	34,8	126	126
<b>2012</b>	76,9	180,2	180,2
<b>2013</b>	17,8	87,7	87,7
		Mediana	124,5

*Nota.* En la tabla se muestra datos rellenados de enero mediante el método de regresión lineal.

**Gráfico 1**

*Gráfica de dispersión de precipitación de enero*



*Nota.* Se muestra la gráfica de dispersión de precipitación de enero.

Del gráfico de dispersión obtenemos la ecuación  $y = 47,153 + 1,2791x$  con un coeficiente de correlación de  $R = 0,738$ , que nos indica una correlación fuerte entre las series por lo cual podemos proceder a realizar el relleno de datos.

En la siguiente tabla

**Tabla 4**

*Ecuaciones de regresión lineales* muestra la estación auxiliar, la ecuación de regresión lineal obtenida, el coeficiente de correlación R, número de datos rellenos con

cada estación y la distancia horizontal entre la estación a rellenar y la estación auxiliar. Se verificaron las ecuaciones de relleno horizontal y vertical para estimar el relleno de datos, para obtener un coeficiente de correlación  $0,5 < R < 1$ , que determinen una correlación fuerte.

**Tabla 4**

*Ecuaciones de regresión lineal*

<b>Relleno vertical de precipitación</b>					
<b>Mes (Años)</b>	Estación auxiliar	Ecuación	R	Datos Rellenados	Distancia a la estación IASA
<b>Enero (2000-2013)</b>	M0002	$y=47,153+1,2791x$	0,738	1	4,48
<b>Febrero (2000-2013)</b>	M0002	$y=41,26+1,08556x$	0,736	1	4,48
<b>Marzo (2000-2013)</b>	M0002	$y=34,643+1,1045x$	0,778	1	4,48
<b>Relleno horizontal de precipitación</b>					
<b>Mes (Años)</b>	Estación auxiliar	Ecuación	R	Datos Rellenados	Distancia a la estación IASA
<b>2007</b>	M0002	$y=35,882+1,1017x$	0,810	2	4,48

*Nota.* En la figura se muestra las ecuaciones de regresión lineal.

### **Validación de Datos**

Los datos rellenos mediante el método de los promedios se validaron mediante t de Student y los datos rellenos mediante la metodología de regresión lineal se validaron mediante test de rachas, método de curva de doble masa y t de Student según lo propuesto por (OMM,2011 siguiente tabla se presentan los datos rellenos de forma vertical en

negrillas con su correspondiente test de rachas. Los valores de NS obtenidos se encuentra en el rango aceptable recomendado para el test de rachas.

**Tabla 5**

*Cálculo de rachas*

<b>Enero</b>				
<b>Año</b>	<b>Relleno IASA</b>		<b>RACHAS</b>	
<b>2000</b>	249,3	+	1	
<b>2001</b>	123	-	1	
<b>2002</b>	80,7	-	0	
<b>2003</b>	109,1	-	0	
<b>2004</b>	164,8	+	1	
<b>2005</b>	109,1	-	1	
<b>2006</b>	144,1	+	1	
<b>2007</b>	48,5	-	1	
<b>2008</b>	<b>157,67</b>	+	1	
<b>2009</b>	132,2	+	0	
<b>2010</b>	34,6	-	1	
<b>2011</b>	126	+	1	
<b>2012</b>	180,2	+	0	
<b>2013</b>	87,7	-	1	
<b>Mediana</b>	124,5	NS	10	

*Nota.* En esta tabla se observa el cálculo de rachas del mes de enero.

Para la validación mediante el método de la curva de doble masa el cual consiste en determinar si una serie dada es consistente al compararla con otra serie, se construye

mediante las sumas parciales de la serie rellenada contra las sumas parciales de la serie original y se obtiene una recta con coeficiente de correlación próximo a 1.

En la siguiente tabla se muestran las sumas parciales de la serie rellenada del mes de febrero y la gráfica de dispersión con un coeficiente de correlación de 0,998.

**Tabla 6**

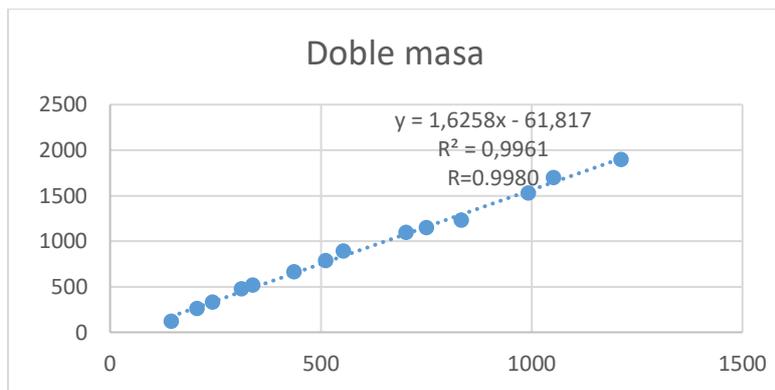
*Sumas parciales y acumuladas de la serie rellenada del mes de febrero*

Año	Febrero		Doble masa	
	La Tola (X)	Relleno IASA	La Tola	Relleno IASA
<b>2000</b>	145,5	117,3	145,5	117,3
<b>2001</b>	60,6	140,4	206,1	257,70
<b>2002</b>	36,9	72,4	243	330,10
<b>2003</b>	68,9	142,72	311,9	472,82
<b>2004</b>	27,3	43,44	339,2	516,26
<b>2005</b>	97,7	142,72	436,9	658,98
<b>2006</b>	74,8	125,6	511,7	784,58
<b>2007</b>	42,5	107,5	554,2	892,08
<b>2008</b>	148,2	<b>202,15</b>	702,4	1094,23
<b>2009</b>	48,5	50,8	750,9	1145,03
<b>2010</b>	83	85,2	833,9	1230,23
<b>2011</b>	158,9	298,8	992,8	1529,03
<b>2012</b>	59,8	167,2	1052,6	1696,23
<b>2013</b>	159,8	197,6	1212,4	1893,83

*Nota.* En la tabla se muestra las Sumas parciales de la serie rellenada del mes de febrero

**Gráfico 2**

*Curva de doble masa del mes de febrero*



*Nota.* En la gráfica se muestra la dispersión con un coeficiente de correlación 0,998.

El último método por el cual se validaron los datos es mediante la prueba de *t* de Student para la serie completa de la precipitación del mes de marzo. Se divide la serie en dos preferiblemente con el mismo número de elementos, se calcula la media y varianza de cada muestra y se calcula el valor *t* con la ecuación (5). Si el valor del estadístico de *t* calculado es menor que el valor crítico de *t* (dos colas), no existen diferencias estadísticamente significativas entre las muestras. El valor crítico de *t* se calcula mediante la Tabla de Distribución de *T* de Student.

**Tabla 7**

*T Student*

	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>
<b>Media</b>	150,86	169,97
<b>Varianza</b>	2560,56	9869,97
<b>Observaciones</b>	7	7
<b>Grados de libertad</b>	12	
<b>Valor crítico de <i>t</i> (dos colas)</b>	2,17	
<b>Valor de <i>t</i> calculado</b>	-0,45	

*Nota.* En la tabla se muestra los resultados de *T* student.

## **Diseño del SCALL**

En el diseño del sistema de captación de agua de lluvia es necesario tomar como consideración los factores técnicos, sociales y económicos.

### ***Factor Técnico***

Los factores técnicos que se debe tomar en cuenta son la producción u oferta y la demanda del agua:

- a) Producción u “oferta” de agua; tiene relación directa con la precipitación pluvial durante un año con variaciones estacionales de la misma. Es necesario contar con datos suministrados por la persona encargada en la ejecución del proyecto.
- b) Demanda de agua; Esta demanda va a depender de las necesidades del consumidor y los usos que se le da al agua.

### ***Factor Económico***

Se relaciona directamente con la inversión requerida para la implementación del sistema y del área de captación y el volumen de almacenamiento, reflejando muchas veces una limitación para la parte interesada.

### ***Factor Social***

Para la evaluación de obras de ingeniería a nivel comunitario, es importante tener en cuenta los factores sociales, son representados por los hábitos y costumbres que puedan sobresaltar la sostenibilidad de la intervención.

Para el análisis se debe considerar la conveniencia de adopción de soluciones individuales y colectivas, el tipo de material utilizado para la fabricación de techos, la existencia de materiales alternativos en el lugar de la implementación del proyecto.

### ***Requisitos Previos***

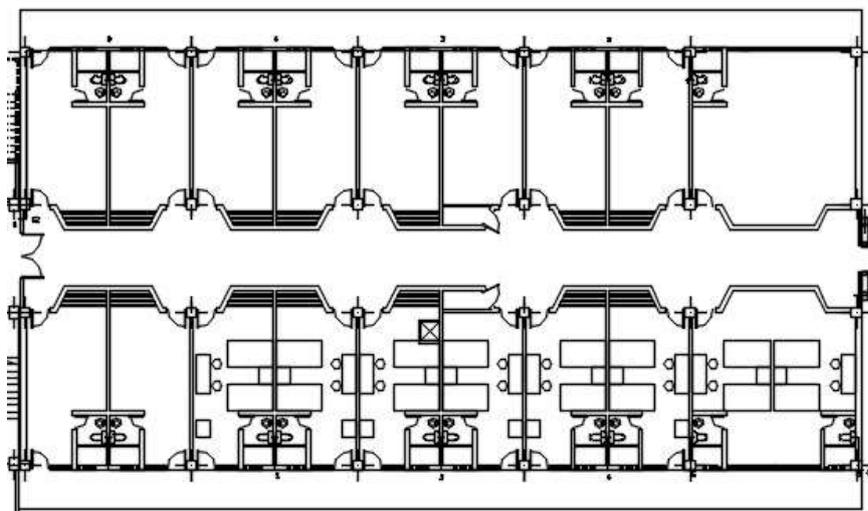
- a) Para el diseño del sistema de captación de agua lluvia para abastecer de agua debe basarse en los datos de precipitación mensual de por lo menos diez años.
- b) La oferta del agua lluvia es determinado a partir del promedio del mensual relacionando a las precipitaciones adecuados al período de tiempo para el análisis.
- c) La demanda de agua en el diseño de sistemas de captación de agua de lluvia se tiene que tomar una consideración de (4) litros de agua por persona/día para ser destinada solamente para el consumo humano. (Palacios N., 2010)

### **Área de Captación**

Se refiere al área destinada a la recolección de agua lluvia misma que debe constar de superficie y una pendiente adecuada para la facilitación del proceso de escurrimiento hacia el sistema de recolección. En el presente proyecto utilizaremos el techo de la edificación Residencia Universitaria bloque de hombres, cuya losa de hormigón armado es de 754,985 metros cuadrados.

**Figura 28**

*Losa del último piso de la Residencia Universitaria*



*Nota.* En la figura se muestra la Losa del último piso de la Residencia Universitaria.

### ***Recolección y Conducción***

La Residencia Universitaria ya cuenta con canaletas sumideros y bajantes en PVC de 4", los cuales se encargan de recolectar y conducir el agua lluvia por los techos hacia el alcantarillado, este diseño no tomara en cuenta la instalación de nuevas tuberías, se complementa los bajantes para trasladarlos hacia el tanque de almacenamiento.

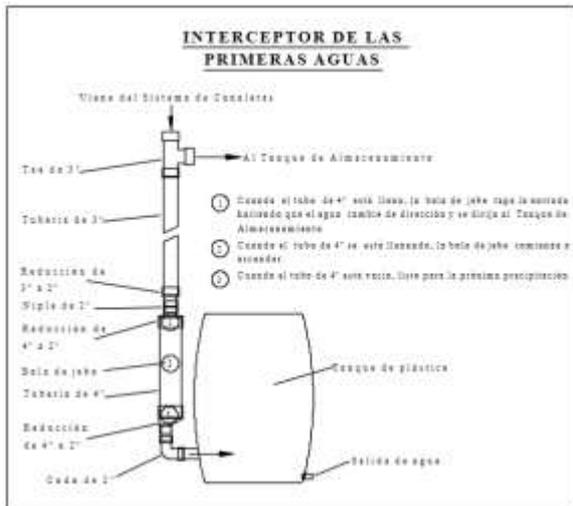
### ***Tanque Interceptor de Primeras Aguas***

También es conocido como dispositivo de descarga para las primeras aguas que provienen del lavado del techo y que contiene materiales que se pueden encontrar al momento del inicio de la lluvia. Este dispositivo contribuye que el material indeseable no ingrese al tanque de almacenaje y de este modo reduce la contaminación del agua almacenada, para el diseño del dispositivo es necesario tomar en cuenta el volumen de agua pretendido para lavar el techo y que está estimado en 1 litro por metro cuadrado de techo.

El tanque interceptor tendrá una válvula de flotador, la cual permitirá el llenado, en el nivel deseado, la válvula automáticamente detendrá el paso del agua hacia el interceptor y la dirigirá hacia el tanque de almacenamiento(Palacios N., 2010).

### **Figura 29**

*Interceptor de las primeras aguas.*



*Nota.* En la figura se muestra el interceptor de las primeras aguas. Fuente: (Acosta J., 2016)

### ***Tanque de Almacenamiento***

Es la obra destinada a almacenar el volumen de agua de lluvia necesaria para el consumo diario de las personas beneficiadas con este sistema, en especial durante el período de sequía. La unidad de almacenamiento debe ser duradera y al efecto debe cumplir con las especificaciones siguientes:

- Impermeable para no tener problemas de agua por goteo o transpiración,
- Su altura no debe superar los 2 metros por las presiones,
- Debe contar con tapa, con el fin de evitar el ingreso de polvo, insectos y de la luz solar,
- Disponer una escotilla con tapa sanitaria con suficiente espacio para el ingreso del personal de limpieza,
- La entrada y el rebose tienen que contener mallas con el fin de que no ingresen insectos y animales pequeños (Acosta J., 2016).

Los factores principales que intervienen en el dimensionamiento del tanque de almacenamiento son las precipitaciones, área de captación y la demanda, pero lograr satisfacer con estos parámetros muchas veces resulta limitado por los altos costos, siendo el tanque de almacenamiento el componente más costoso debido a sus grandes dimensiones, por lo cual analizaremos dos métodos, el primero conocido como el “Cálculo del Volumen del Tanque de Almacenamiento” se relaciona a la base de datos de la precipitación de los 10 ó 15 últimos años. Este cálculo se lo utiliza para la determinación de la cantidad de agua para la recolección de agua por metro cuadrado de superficie de techo y a partir de ella se determina.

En este método para cumplir con la demanda en los meses de sequía da como resultado tanques con volúmenes altos, por lo cual hemos utilizado el método de Dixon en el cual relaciona la oferta y la demanda con el fin de calcular la demanda que puede ser satisfecha de la manera más eficiente en cuanto a lo técnico y económico.

A continuación, se presentan el desarrollo de los dos modelos de cálculo a emplearse:

### **Determinación de la Precipitación Promedio Mensual.**

Con los datos promedio mensuales de la precipitación de los últimos 10 ó 15 años se puede calcular el valor promedio mensual del total de años valorados, puede expresarse en milímetros de precipitación por mes, o litros por metro cuadrado. Se calcula mediante la siguiente ecuación.

#### **Ecuación 7** *Precipitación promedio mensual*

$$Pp_i = \frac{\sum_{i=1}^{j=n} p_i}{n}$$

Donde:

n: Número de años evaluados,

$p_i$ : Valor de precipitación mensual del mes "i", (mm)

$Pp_i$ : Precipitación promedio mensual del mes "i" de todos los años evaluados. (mm)

### **Determinación de la Demanda.**

Con la dotación asumida por persona se puede calcular la cantidad de agua necesaria para atender las necesidades de la familia o familias a beneficiarse en cada uno de los meses.

#### **Ecuación 8 Determinación de la demanda**

$$D_i = \frac{Nu \times Nd \times Dot}{1000}$$

Donde:

Nu: número de usuarios que se benefician del sistema.

Nd: número de días del mes analizado

Dot: dotación (lt/persona.día)

$D_i$ : demanda mensual (m<sup>3</sup>)

### **Determinación del Volumen del Tanque de Abastecimiento.**

Teniendo en cuenta los promedios mensuales de precipitaciones de todos los años evaluados, el material del techo y el coeficiente de escorrentía, se procede a determinar la cantidad de agua captada para diferentes áreas de techo y por mes.

#### **Ecuación 9 Determinación del volumen del tanque**

$$A_i = \frac{Pp_i \times Ce \times Ac}{1000}$$

Donde:

$Pp_i$  : precipitación promedio mensual (litros/m<sup>2</sup>)

$Ce$  : coeficiente de escorrentía

$Ac$  : área de captación (m<sup>2</sup>)

$A_i$  : Abastecimiento correspondiente al mes "i" (m<sup>3</sup>)

Como base se toma en cuenta los valores obtenidos en la determinación de la demanda mensual de agua y oferta mensual de agua lluvia, con esto ya se puede calcular el valor acumulado de cada uno de ellos mensualmente por el mes de mayor precipitación u oferta de agua.

El área mínima de techo proporciona una diferencia acumulativa próxima a cero (0) y el volumen de almacenamiento se asemeja a la mayor diferencia acumulada. Las áreas de techo mayor al valor mínimo permitirán dar mayor seguridad para el abastecimiento del agua.

El acumulado de la oferta y la demanda en el mes "i" podrá determinarse por:

**Ecuación 10** *El acumulado de la oferta y la demanda del mes i*

$$Aa_i = Aa_{(i-1)} + \frac{Pp_i \times Ce \times Ac}{1000}$$

$$Da_i = Da_{(i-1)} + \frac{Nu \times Nd \times Dot}{1000}$$

$Aa_i$  : volumen acumulado al mes "i".

$Da_i$  : demanda acumulada al mes "i".

**Ecuación 11** *Demanda acumulada del mes i*

$$V_{i(m3)} = A_{i(m3)} - D_{i(m3)}$$

$V_i$  : volumen del tanque de almacenamiento necesario para el mes "i".

$A_i$  : volumen de agua que se captó en el mes "i".

$D_i$  : volumen de agua demandada por los usuarios para el mes "i".

### ***Método de Dixon***

Este modelo se lo utiliza con el fin de ahorro de agua lluvia y estimar los volúmenes de almacenamiento necesarios (Dixon, 1999) a continuación se describe detalladamente el modelo.

La etapa de dimensionamiento encuentra un volumen óptimo de almacenamiento que ayude a cubrir el mayor tiempo posible la demanda de agua lluvia p

El modelo de Dixon ayuda en el cálculo del volumen de agua en el almacenamiento ( $S_t$ ) para un intervalo de tiempo terminante a partir del volumen máximo del almacenamiento ( $S_{max}$ ), la demanda ( $D_t$ ) y el volumen de agua lluvia ( $R_t$ ) que interviene en el almacenamiento generado del escurrimiento de la cubierta, la unidad de tiempo propuesta en esta metodología es el día. La relación entre las variables involucradas y el diagrama de flujo del mismo modelo. Las variables involucradas en el cálculo del volumen máximo de almacenamiento son las siguientes:

$R_t$  (mm): Precipitación diaria.

$A_c$  ( $m^2$ ): Área de Captación. (adimensional)

Cap: Coeficiente de aprovechamiento.

$t$  (días) : Tiempo.

$T$  (días): Periodo Total de Modelación.

$D_t$  ( $m^3$ ): Demanda Total de Agua Lluvia en un día.

$R_t$  ( $m^3$ ): Volumen de agua lluvia.

$S_t$  ( $m^3$ ): Volumen de agua en el almacenamiento.

$S_{max}$  ( $m^3$ ): Volumen máximo de almacenamiento.

$W_t$  ( $m^3$ ): Volumen de pérdidas por excedencia.

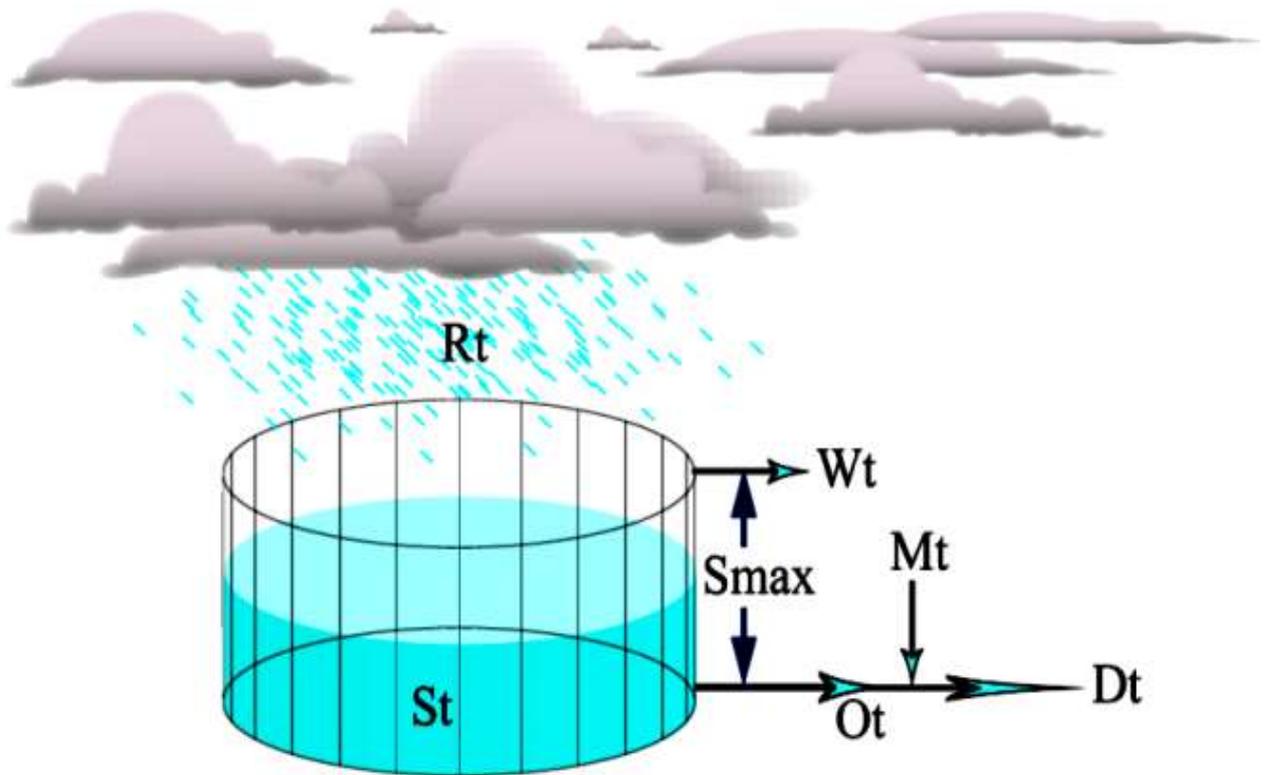
$O_t$  ( $m^3$ ): Volumen de salida desde el almacenamiento.

$M_t$  ( $m^3$ ): Volumen de demandas no satisfechas.

$I_t$  ( $m^3$ ): Volumen de entrada acumulado.

### **Figura 30**

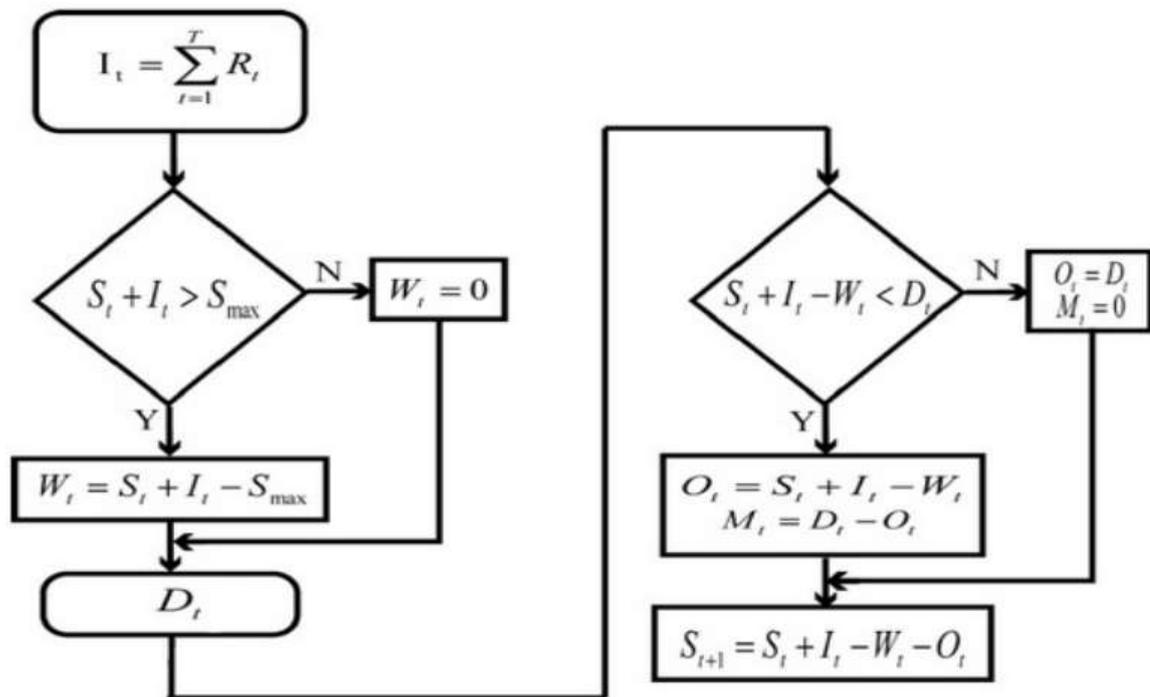
*Esquema del modelo de almacenamiento de agua lluvia de Dixon.*



*Nota.* En la figura se muestra el uso de un pluviómetro de tipo balancín. Fuente: (Bentancourth J. y Echeverry J., 2017)

**Figura 31**

Diagrama de flujo del modelo de almacenamiento de agua lluvia de Dixon.



Nota. En la figura se muestra el flujo del modelo de almacenamiento de agua de lluvia.

Fuente: (Bentancourth J. y Echeverry J., 2017)

### Pasos para Determinar del Volumen Óptimo.

Para la determinación del volumen óptimo de almacenamiento manejando el modelo de Dixon se tienen que seguir los siguientes pasos:

Paso 1: Determinar el volumen (I) de agua lluvia que se recolecta en el área (A) en tiempo (t=1).

### Ecuación 12 Volumen de agua lluvia

$$I_1 = P \times C_{ap} \times A$$

Se afecta la cantidad de agua lluvia almacenada por un factor (Cap) por lo tanto se debe tener en cuenta las pérdidas que se suscitan en la superficie de captación por efecto de la evaporación y/o infiltración.

Paso 2: Se admite un volumen máximo de almacenamiento que sería ( $S_{max}$ ) comparando con la sumatoria de los volúmenes iniciales ( $S_0$ ) y de entrada ( $I$ ).

**Ecuación 13** *Formula de los volúmenes iniciales y de entrada*

$$S_0 + I_1 > S_{max}$$

Si la anterior proposición es falsa, no hay pérdidas por excedencia.

$$W_1 = 0$$

Si es verdadera, se calculan las pérdidas por excedencia ( $W$ ) como:

**Ecuación 14** *Cálculo de las pérdidas de excedencia*

$$W_1 = S_0 + I_1 - S_{max}$$

Paso 3: Comparar el volumen de agua en almacenaje con la demanda diaria.

**Ecuación 15** *Comparación del volumen de agua*

$$S_0 + I_1 - W_1 < D$$

Si la anterior proposición es falsa, entonces: el volumen de salida es igual a la demanda total

$$O_1 = D$$

Si es verdadera, entonces: el volumen de salida es igual al volumen en el almacenamiento

**Ecuación 16** *Volumen de salida*

$$O_1 = S_0 + I_1 - W_1$$

Las demandas no satisfechas (M) se calculan así:

**Ecuación 17 Demandas no satisfechas**

$$M_1 = D - O_1$$

Paso 4: Calculo del volumen inicial del tanque para el día siguiente:

**Ecuación 18 Volumen inicial en el tanque**

$$S_1 = S_0 + I_1 - W_1 - O_1$$

Paso 5: Se realizan los 4 primeros pasos para cada uno de los registros diarios de precipitación

Paso 6: Una vez obtenidos los valores acumulados de la demanda total diaria (Dt) y de las demandas no satisfechas (Mt), para el período de estudio, se calcula el valor de WSE mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 19 Calculo del WSE**

$$WSE = \frac{\sum_{t=1}^T Dt - \sum_{t=1}^T Mt}{\sum_{t=1}^T Dt}$$

Paso 7: Se realizan los pasos del 1 al 6 cambiando el valor del volumen máximo de almacenamiento (Smax), se recomienda usar una serie de (25) volúmenes máximos de almacenamiento.

Paso 8: Determinar el volumen óptimo de almacenamiento. Se realiza una gráfica de (Smax) vs WSE y se selecciona la opción más viable que soporte en épocas de sequía, pero que su volumen sea moderado.

**Coeficiente de Aprovechamiento de Agua Lluvia**

Este coeficiente se lo utiliza con el fin de representar el volumen que se puede

aprovechar de agua lluvia después de las diferentes pérdidas que se pueden tener al momento de la captación por absorción y/o evaporación, con revisión bibliográfica que se desarrolló en este estudio se determina que independientemente del método utilizado para el dimensionamiento de los tanques de almacenamiento, los coeficientes de aprovechamiento de agua lluvia utilizados varían entre 0,8 y 0,9, entre otros. Para el desarrollo de este estudio el valor del coeficiente de aprovechamiento de agua lluvia se obtendrá de acuerdo con la siguiente tabla.

**Tabla 8**

*Coeficiente del aprovechamiento de agua lluvia*

Material del tejado	Coeficiente		Fuente
	Mínimo	Máximo	
<b>Metal</b>	0,9	0,95	Wiken (1978)
<b>Grava</b>	0,9	0,95	Wiken (1978)
<b>Asfalto</b>	0,9	0,95	Wiken (1978)
<b>Fibra de vidrio</b>	0,9	0,95	Wiken (1978)
<b>Plástico</b>	0,9	0,95	Wiken (1978)
<b>Inclinado con teja cerámica</b>	0,9	0,95	Van den bossche apud vaes e Berlamont (1999)
<b>Inclinado con teja esmaltada</b>	0,75	0,95	Hofkes(1981) a Frasier (1975)
<b>Tejas cerámicas</b>	0,9	0,9	Hofkes(1981) a Frasier (1975)
<b>Tejas corrugadas de metal</b>	0,8	0,9	Hofkes(1981) a Frasier (1975)
<b>Tejas de asbesto de cemento</b>	<b>0,7</b>	0,9	Almeida (2008)

*Nota.* En la tabla del coeficiente de aprovechamiento del agua lluvia. Fuente: (Bentancourth J. y Echeverry J., 2017)

### ***Filtración o Tratamiento***

Es muy relevante que el agua para el consumo humano sea tratada. Este tratamiento debe contener una remoción de partículas que no fueron retenidas por el dispositivo de intercepción de las primeras aguas, y en segundo lugar al acondicionamiento bacteriológico.

Figura 32

## Cosecha de agua lluvia



Nota. En la figura se muestra la cosecha de agua lluvia. Fuente: (Rolando M., 2019)

### Sistema de Bombeo

Este será el encargado de dirigir el agua del tanque de almacenamiento al tanque de distribución que estará ubicado en la parte más alta del edificio desde el cual se enviará a gravedad a la red de distribución y los aparatos sanitarios.

Para el cálculo del sistema de bombeo vamos a seguir el siguiente procedimiento;

#### Descarga.

Se debe determinar el caudal mínimo de descarga, que es definido por la siguiente fórmula:

**Ecuación 20** Caudal mínimo de descarga

$$Qr = \frac{C_D}{X}$$

Donde:

CD: consumo diario (m<sup>3</sup>)

X: tiempo de llenado(s)

Con el valor calculado anteriormente es posible determinar a partir de la fórmula de Bresse el diámetro de la tubería de descarga:

**Ecuación 21** *Diámetro de la tubería de descarga*

$$Dr = 1,3\sqrt{Q_r} \times \sqrt[4]{X'}$$

Donde:

Dr: Diámetro nominal de descarga (m)

X': número de horas de funcionamiento por día/24h

Qr: Caudal de descarga (m<sup>3</sup>/s)

Una vez determino el diámetro de la tubería de descarga se procede a calcular los valores de longitud equivalente de las pérdidas de cargas localizadas en cada accesorio utilizada en la línea de descarga

### **Succión.**

Para este proceso se debe tomar en cuenta que cumpla la siguiente condición: Ds>Dr (Diámetro de la tubería de succión mayor al diámetro de la tubería de descarga). De igual forma se calcula las pérdidas del tramo a succión.

### Altura manométrica.

En la determinación de la potencia de la bomba de los datos ya obtenidos ( $Q$ ,  $D_r$ ,  $D_s$ ), es indispensable saber la altura manométrica. Esta altura depende de la pérdida de carga en la succión y la pérdida de carga en la descarga. Estas pérdidas fueron calculadas a partir de la siguiente fórmula.

#### Ecuación 22 *Altura Manométrica*

$$H = j \times (l_r + l_e)$$

Donde:

$j$ : Pérdida de carga unitaria.

$l_r$ : Longitud real de la tubería

$l_e$ : Longitud equivalente (pérdidas localizadas)

La pérdida de carga unitaria ( $j$ ) necesaria para el cálculo es obtenida a partir de la siguiente ecuación:

#### Ecuación 23 *Pérdida de la carga unitaria*

$$j = 10,65 \frac{Q^{1,85}}{C^{1,85} D^{4,87}}$$

Donde:

$Q$  = Caudal ( $m^3/s$ )

$C$  = Coeficiente de Hazen-Williams (para PVC,  $C=150$ )

$D$  = Diámetro de la tubería

Teniendo los valores de  $H_r$  y de  $H_s$ , se puede obtener la altura manométrica con la

fórmula presentada a continuación:

**Ecuación 24** *Altura Manométrica*

$$H_m = H_r + H_s + H_g$$

Donde:

$H_r$  = Perdida de carga en el trecho de descarga.

$H_s$  = Perdida de carga en el trecho de succión.

$H_g$  = Desnivel entre el nivel mínimo en el tanque inferior y la salida de agua en el tanque superior.

**Potencia Requerida.**

La potencia requerida por la bomba entonces se calcula a partir del valor de  $H_m$ , el caudal de recalque o descarga, y la eficiencia esperada de la bomba. Este valor se determina a partir de la siguiente expresión:

**Ecuación 25** *Cálculo de la Potencia Requerida*

$$N = \frac{\gamma \times Q_r \times H_m}{e_M}$$

Donde:

$\gamma$  : Peso específico del agua a 20°C

$Q_r$ : Caudal de descarga

$H_m$ : Altura manométrica

$e_M$  : Eficiencia del sistema

Con la potencia requerida se selecciona la bomba para el adecuado funcionamiento del sistema.

### ***Red de Distribución***

Para el diseño de la red de distribución se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. Tiene que ser diseñado y cerrado en una pulgada la red de distribución principal.
2. La distribución en los baños debe ser diseñado y cerrado en 3/4 de pulgada.
3. Las conexiones de los aparatos tienen que ser diseñados en media pulgada (1/2”).
4. En la entrada, se puede instalar una válvula de rueda o registro de paso directo.
5. A la entrada de cada baño, cocina y patio de ropa, debe instalarse una válvula de paso directo.
6. El sanitario tiene que estar dispuesto de una válvula

El sistema de distribución que se implementara es a gravedad, en el cual el agua es conducida desde el tanque bajo al tanque de distribución desde este se encarga de alimentar a las columnas. El sistema puede ser abierto o de anillo, pero debe garantizar el suministro permanente. El procedimiento de cálculo se detalla a continuación:

Se calcula las unidades de suministro y unidades de salida que intervienen en el tramo que se está realizando el cálculo mediante la siguiente tabla.

### **Tabla 9**

*Unidades de suministro*

Aparatos	Público			Privado		
	Fría	Caliente	Total	Fría	Caliente	Total
Ducha o tina	2,00	2,00	4,00	1,50	1,50	2,00
Bidé o lavamanos				1,00	1,00	2,00
Lavaplatos				1,50	1,50	2,00
Lavaplatos eléctrico	3,00	3,00	6,00	2,00	2,00	3,00
Lavadora	2,00	2,00	4,00	2,00	1,00	3,00
Inodoro con fluxómetro	10,00		10,00	6,00		6,00
Inodoro de tanque	5,00		5,00	3,00		3,00
Orinal de fluxómetro	10,00		10,00			
Orinal de llave	2,00		2,00			
Lavamanos de llave	4,00		4,00			
Fregadero uso hotel	4,00		4,00	10		10
Lavadero				20		20

*Nota.* En la tabla se muestra el cálculo del suministro. Fuente: (Perez R., 2010)

Se determina el coeficiente de simultaneidad mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 26** *Coeficiente de simultaneidad*

$$K1 = \frac{1}{(S - 1)^{1/2}}$$

Donde:

K1: Coeficiente de simultaneidad

S: Número de salidas

Identificamos los accesorios y calculamos las pérdidas por el método de la longitud equivalente.

**Ecuación 27** *Fermat*

$$j = \frac{4C V^{1,75}}{D^{1,25}}$$

$$j = \frac{6,1C Q^{1,75}}{D^{4,75}}$$

Donde:

$j$  = Pérdida de carga en m/m

$C$  = Coeficiente de fricción

$V$  = Velocidad media en m/s

$D$  = Diámetro en m.

$Q$  = Caudal en m<sup>3</sup> /s

Hazen y Williams

$$j = \left( \frac{Q}{280C D^{2,63}} \right)^{1,85}$$

Donde:

$Q$  = Está dado en m<sup>3</sup> /s

$V$  = Velocidad media en m/s

$C$  = Coeficiente de fricción

$D$  = Diámetro de la tubería en m.

$j$  = Pérdida de carga en m/m

Sumamos la longitud de accesorios, la longitud horizontal y vertical de la tubería y obtenemos la longitud total.

Por último, calculamos las pérdidas totales multiplicando la longitud total por las pérdidas de carga y la presión total sumando la pérdida de velocidad  $h_v$ , la longitud vertical, pérdida total y la presión anterior o valor asumido para la primera interacción.

Se tiene que verificar que las presiones estén dentro del rango mínimo y recomendado para el correcto funcionamiento de la red de distribución.

## Cálculos y Resultados

### Datos Obtenidos de los Sensores IoT

Del registro de datos del mes de julio receptados mediante los sensores IoT tenemos los datos presentados en la siguiente tabla.

**.Tabla 10**

*Datos obtenidos de los sensores IoT*

<b>Julio</b>	<b>T máx.</b>	<b>T min</b>	<b>Precipitación</b>
<b>1</b>	36,5	11	1,2
<b>2</b>	26,6	14,6	0
<b>3</b>	28,9	19,7	0
<b>4</b>	30,2	14,9	0
<b>5</b>	31,9	12,1	0
<b>6</b>	34,2	10	0
<b>7</b>	34,5	10,3	0
<b>8</b>	32,3	14,1	0
<b>9</b>	33,2	10	1,2
<b>10</b>	29,2	11,6	0
<b>11</b>	30,7	11,6	0
<b>12</b>	31,5	10,9	0
<b>13</b>	28,9	10	0,3
<b>14</b>	31,8	12,8	0
<b>15</b>	30,7	22,3	0
<b>16</b>	29,3	14,5	0
<b>17</b>	29,38	20,3	0
<b>18</b>	27,5	25,1	0
<b>19</b>	29,2	13,2	0,3
<b>20</b>	34,1	10,1	0,9
<b>21</b>	35,1	10,1	0
<b>22</b>	30,2	13,4	0
<b>23</b>	27,7	15,2	0
<b>24</b>	37	15,3	0

<b>Julio</b>	<b>T máx.</b>	<b>T min</b>	<b>Precipitación</b>
<b>25</b>	36,3	18,3	0
<b>26</b>	34,3	12,1	0,6
<b>27</b>	38,4	10,9	0,9
<b>28</b>	23,1	18,4	0
<b>29</b>	30,4	19,6	0
<b>30</b>	37,7	15,6	0
<b>31</b>	27,15	14,9	0
	31,5	14,3	5,4

*Nota.* En la tabla se muestra los datos obtenidos de los sensores IoT

Como podemos ver la temperatura máxima promedio es de 31,5° C, la temperatura mínima promedio es de 14,3° C y la precipitación mensual es de 5,4mm que está por debajo de la media histórica mensual del mes de julio.

#### **Datos Rellenados y Validados de la Estación Meteorológica del IASA.**

En la siguiente tabla

#### **Tabla 11**

*Datos rellenos y validados de la estación meteorológica del IASA*, se presentan los valores mensuales de precipitación de la serie temporal del 2000 al 2019, rellenos mediante el método de regresión lineal simple y validados con los métodos test de rachas, curva de doble masa y t de Student, los mismos que se utilizaran para el diseño del tanque

de almacenamiento.

**Tabla 11**

*Datos rellenos y validados de la estación meteorológica del IASA*

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
<b>2000</b>	249,3	117,3	187,24	204,5	159,8	74,92	28,7	5	73,7	65,2	111,16	60,4
<b>2001</b>	123	140,4	179,8	82,9	41,7	36,95	34,7	0	67,2	41,9	156,3	265
<b>2002</b>	80,7	72,4	219,3	170,6	86,8	29	17,1	28	23,7	176	119	228
<b>2003</b>	109,1	142,7	109,1	157,3	102,6	169,9	4,13	213	67,1	167	146,5	120
<b>2004</b>	164,8	43,44	78,8	80,2	72,6	3,1	5,75	0,2	152	176	173,7	249
<b>2005</b>	109,1	142,7	114,6	140,5	17,57	45,4	30,5	31	41,3	83,1	112,2	235
<b>2006</b>	144,1	125,6	167,2	167,2	227,2	75,3	21	10	22,4	155	235,7	10,1
<b>2007</b>	48,5	107,5	<b>206,5</b>	169,6	<b>91,74</b>	69,7	33	17	2,6	247	225	176

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2008	157,67	202,1	325,3	222,7	200,7	78,1	8,2	74	71,1	231	202,6	190
2009	132,2	50,8	195	236,9	350,6	279,6	130	170	159	172	240,2	131
2010	34,6	85,2	46,5	146	149,2	32,5	145	14	48,2	84,1	228,9	214
2011	126	298,8	230,4	219,6	76,2	35,4	57,3	59	16,3	331	163,1	126
2012	180,2	167,2	127,7	151,6	57	18,6	17,1	10	37,2	142	122,4	63,1
2013	87,7	197,6	58,4	97,5	86,5	5	19,7	112	64,9	122	109	103
2014	241,2	136,6	260,9	86,4	29	29	2,2	5	38,3	81,6	146,8	191
2015	40,7	152,6	277,1	95,2	50,4	3,1	16,9	0	17,7	91	6,4637	33
2016	182,5	55,4	154,29	201,5	37,1	30,7	6,8	0	82,2	178	41,8	173
2017	124,5	128,9	173,25	152,7	112,7	57,7	33	41	56,8	144	161,6	152
2018	72	134,4	151,4	137,3	209,2	48,9	33,5	22	42,2	62	191,7	151
2019	115,35	160,6	235,51	129,4	74,9	31,1	15,3	0	51,4	121	233,4	175
<b>Promedio</b>	126,16	133,1	174,91	152,5	111,7	57,7	33	41	56,8	144	156,38	152

*Nota.* En la tabla se muestra datos rellenados y validados de la estación meteorológica del IASA.

### **Tanque Interceptor de Primeras Aguas**

Área de captación: 754,95 m<sup>2</sup>

### **Ecuación 28 Tanque interceptor**

$$V_{int} = \frac{1l}{m^2} * A_{captación}$$

$$V_{int} = \frac{1l}{m^2} * 754,95m^2$$

$$V_{int} = 754,95 \text{ lt}$$

Por lo tanto, asumimos un tanque interceptor de primeras aguas de 1m<sup>3</sup>

### **Tanque de Almacenamiento**

#### **Método del Cálculo del Volumen del Tanque de Almacenamiento.**

Para el cálculo del volumen de almacenamiento debemos determinar la población que ocupa el edificio Residencia Universitaria de hombres, de acuerdo a los planos tenemos que habitan en el primer piso 15 personas, en el segundo 23, en el tercer 38 y en el último piso 40 personas con un total de 116 habitantes.

La dotación se determinó en base a la utilización que se le suministrará al agua recolectada, en este caso se reutilizara para inodoros y urinarios por lo que la dotación es de 15 lt/hab/día, el coeficiente de escorrentía es de 0,8 correspondiente a una losa de concreto y como volumen de reserva mínima se tomó 1m<sup>3</sup>. En la siguiente tabla se presentan los datos de entrada.

**Tabla 12**

*Método del "Cálculo del Volumen del Tanque de Almacenamiento"*

<b>Variable</b>	<b>Formula</b>			
<b>Población Beneficiada</b>	<b>P</b>	<b>=</b>	<b>116,00</b>	<b>habitantes</b>
<b>Dotación</b>	<b>Dot</b>	<b>=</b>	<b>15,00</b>	<b>l/hab/día</b>
<b>Coeficiente de Escorrentía</b>	<b>C</b>	<b>=</b>	<b>0,80</b>	

**Reserva mínima**  $V_r = 1,00 \text{ m}^3$

---

*Nota.* En la tabla se muestra el Método del “Cálculo del Volumen del Tanque de Almacenamiento”.

Se ordena desde el mes con mayor precipitación y se coloca el número de días de cada uno, mediante la siguiente ecuación **Ecuación 29** *Calculo de Di*, determinamos la demanda de cada mes.

**Ecuación 29** *Calculo de Di*

$$D_i = \frac{N_u \times N_d \times D_{ot}}{1000}$$

$$D_i = \frac{116 \times 31 \times 15}{1000} = 53,94 \text{ m}^3$$

**Tabla 13**

*Demanda*

<b>Mes</b>	<b>N° días (N<sub>D</sub>)</b>	<b>Dotación (l/hab/día)</b>	<b>Demanda (m<sup>3</sup>)</b>
<b>Marzo</b>	31	15,00	53,94
<b>Abril</b>	30	15,00	52,20
<b>Mayo</b>	31	15,00	53,94
<b>Junio</b>	30	15,00	52,20
<b>Julio</b>	31	15,00	53,94
<b>Agosto</b>	31	15,00	53,94
<b>Setiembre</b>	30	15,00	52,20
<b>Octubre</b>	31	15,00	53,94
<b>Noviembre</b>	30	15,00	52,20
<b>Diciembre</b>	31	15,00	53,94
<b>Enero</b>	31	15,00	53,94
<b>Febrero</b>	28	15,00	48,72

*Nota.* En la tabla se muestra la demanda mensual

Una vez ordenados los datos de precipitación, determinada el área de captación de

754,95m<sup>2</sup> y el coeficiente de escorrentía de 0,8, calculamos el volumen mensual que es capaz de almacenar el sistema con la siguiente ecuación:

**Ecuación 30** *Acumulado de cada uno de los meses*

$$A_i = \frac{P_{pi} \times C_e \times A_c}{1000}$$

$$A_i = \frac{174,91 \times 0,8 \times 754,95}{1000} = 105,64 \text{ m}^3$$

Teniendo los valores de la demanda y la oferta mensual de agua lluvia, procedemos a calcular el acumulado de cada uno de los meses. A continuación, calculamos las diferencias mensual y acumulada entre el volumen de almacenamiento y la demanda, que se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 14**

*Diferencia mensual y acumulada entre el volumen de almacenamiento y la demanda*

Mes	Precipitación (mm)	Almacenamiento (m <sup>3</sup> )		Demanda (m <sup>3</sup> )		Diferencia (m <sup>3</sup> )	Diferencia (m <sup>3</sup> )
		V captado	V acumulado	D parcial	D Acumulado	D Mensual	Acumulada
<b>Marzo</b>	174,91	105,64	105,64	53,94	53,94	51,70	51,70
<b>Abril</b>	152,48	92,09	197,73	52,20	106,14	39,89	91,59
<b>Mayo</b>	111,67	67,44	265,17	53,94	160,08	13,50	105,09
<b>Junio</b>	57,70	34,85	300,02	52,20	212,28	-17,35	87,74
<b>Julio</b>	32,97	19,91	319,94	53,94	266,22	-34,03	53,72
<b>Agosto</b>	40,51	24,47	344,40	53,94	320,16	-29,47	24,24
<b>Setiembre</b>	56,78	34,29	378,69	52,20	372,36	-17,91	6,33
<b>Octubre</b>	143,52	86,68	465,38	53,94	426,30	32,74	39,08
<b>Noviembre</b>	156,38	94,45	559,82	52,20	478,50	42,25	81,32
<b>Diciembre</b>	152,26	91,96	651,78	53,94	532,44	38,02	119,34

re							
<b>Enero</b>	126,16	76,20	727,98	53,94	586,38	22,26	141,60
<b>Febrero</b>	133,12	80,40	808,38	48,72	635,10	31,68	173,28

*Nota.* En la tabla se muestra la diferencia mensual y acumulada entre el volumen de almacenamiento y la demanda.

Verificamos que no existan diferencias acumuladas negativas ya que esto implicaría que no se cumple con la demanda de los interesados.

Para el cálculo del volumen tomamos la máxima diferencia acumulada 173,28m<sup>3</sup> más el volumen de regulación de 1m<sup>3</sup>, dándonos como resultado un tanque de 174 m<sup>3</sup> para proveer agua durante un periodo de 1 año. Como podemos observar el costo de construcción de un tanque de estas dimensiones es significativo por lo que muchas veces hace que no sea viable el proyecto. Por eso hemos utilizado el modelo de Dixon para el cálculo de volumen de almacenamiento con un periodo de retención diario el cual se presenta a continuación.

### **Método de Dixon.**

Para determinar el volumen óptimo de almacenamiento utilizado del modelo de Dixon se debe seguir el siguiente procedimiento

Paso 1: Se calcula el volumen de agua lluvia que se obtiene en el área en tiempo (t=1 día).

#### **Ecuación 31 Volumen I**

$$I_1 = P \times C_{ap} \times A$$

En donde tenemos que el área de captación es de 754.95 m<sup>2</sup>, el coeficiente de aprovechamiento de agua lluvia es 0.9 y la precipitación promedio histórica del primer día es de 2.31mm.

$$I_1 = \frac{2,31 \times 0,9 \times 754,95}{1000}$$

$$I_1 = 1,57 \text{ m}^3$$

Paso 2: Se supone un volumen máximo de almacenamiento ( $S_{max}$ ) y se compara con la suma de los volúmenes iniciales ( $S_0$ ) y de entrada ( $I$ ).

El valor asumido de  $S_{max}$  es de  $15 \text{ m}^3$ , y el valor de  $S_0$  al ser el primer dato es 0

$$S_0 + I_1 > S_{max}$$

**Ecuación 32** *Valor asumido de  $S_{max}$*

$$1,57 + 0 > 15$$

Si la proposición anterior es falsa, no hay pérdidas por excedencia.

$$W_1 = 0$$

Paso 3: Se debe ir comparando el volumen de agua en almacenaje con la demanda diaria.

$$S_0 + I_1 - W_1 < D$$

La demanda diaria del edificio es de  $1,74 \text{ m}^3$

$$0 + 1,57 - 0 < 1,74$$

Si la anterior proposición es verdadera, entonces: el volumen de salida es igual a:

$$O_1 = S_0 + I_1 - W_1$$

$$O_1 = 0 + 1,57 - 0$$

$$O_1 = 1,57$$

Paso 4: Calculo del volumen inicial del tanque para el día siguiente:

$$S_1 = S_0 + I_1 - W_1 - O_1$$

$$S_1 = 0 + 1,57 - 0 - 1,57$$

$$S_1 = 0$$

Las demandas no satisfechas (M) se calculan así:

$$M_1 = D - O_1$$

Paso 5: Se realizan los pasos del 1 al 4 para cada uno de los registros diarios de precipitación

Paso 6: Obtenidos los valores que se acumulan de la demanda total diaria ( $D_t$ ) y las demandas no son satisfechas ( $M_t$ ), para el período de estudio, se calcula el valor de WSE mediante la siguiente ecuación

**Ecuación 33** *Fórmula del WSE*

$$WSE = \frac{\sum_{t=1}^T D_t - \sum_{t=1}^T M_t}{\sum_{t=1}^T D_t}$$

En este caso para un volumen  $S_{max}$  de 15m<sup>3</sup> obtuvimos una demanda total acumulada de 635.10m<sup>3</sup> y una demanda insatisfecha de 73.73m<sup>3</sup> con lo que tenemos un potencial de ahorro de 88.39%

$$WSE = \frac{635,10 - 73,73}{635,10} * 100 = 88,39\%$$

Paso 7: Se realizan los 6 primeros pasos solo varia el valor del volumen máximo de almacenamiento ( $S_{max}$ )., es recomendable el uso de una serie de (25) volúmenes máximos de almacenamiento. Los mismos que encontramos en la siguiente tabla:

**Tabla 15***Cálculo del WSE*

<b>V(s máx.)</b>	<b>%WSE</b>
0,1	65,13
0,5	72,69
1	79,37
1,5	83,09
2	84,48
2,5	85,55
3	86
4	86,54
5	86,82
6	86,97
7	87,13
8	87,29
9	87,45
10	87,6
15	88,39
20	89,18

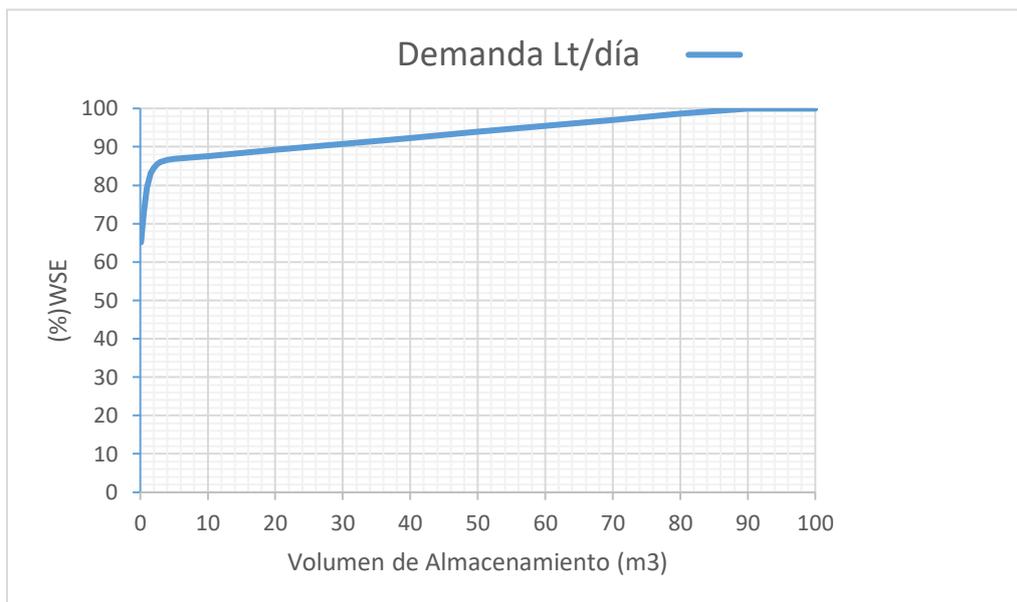
<b>30</b>	90,75
<b>40</b>	92,33
<b>50</b>	93,9
<b>60</b>	95,48
<b>70</b>	97,05
<b>80</b>	98,63
<b>90</b>	99,96
<b>100</b>	99,96

*Nota.* En esta tabla se observa el cálculo del WSE para diferentes volúmenes.

Paso 8: Determinar el volumen óptimo de almacenamiento. La grafica N/D presenta la gráfica de (Smax) vs WSE se consigue un gran aumento en el potencial de ahorro (WSE) comparado con el volumen inmediatamente anterior.

### Gráfico 3

*Demanda Lt/día*



*Nota.* En esta tabla se observa la demanda Lt/día.

Este método se basa principalmente en analizar el potencial de ahorro WSE que es la diferencia de la demanda total y la demanda insatisfecha, con el volumen del tanque de

almacenamiento para que este sea lo más eficiente posible. Por eso asumimos un volumen de 15m<sup>3</sup> con el cual tendremos una eficiencia de 88,39% que cubriría hasta finales del mes de junio sin problemas de demanda. Y tomaremos un volumen de regulación de 1m<sup>3</sup> con lo cual el tanque final de almacenamiento es de 16m<sup>3</sup>

### ***Diseño Estructural***

#### **Criterios de Diseño.**

Para este diseño se consideró los siguientes criterios:

- El tipo de tanque reservorio su diseño debe ser semi enterrado.
- Las paredes del reservorio deben someterse al esfuerzo que origina la presión del agua y del suelo.
- El techo será una losa de concreto armado, la misma que se apoyará sobre una viga perimetral.
- Se diseñará una zapata corrida la cual dará soporte al peso de los muros de forma indirecta del peso del techo y la viga perimetral.
- Al lado del tanque reservorio, debe constar una caja de control, en su interior se ubicarán los accesorios de control de entrada, salida y limpieza del reservorio.

Datos de entrada:

$$f'c = 210 \frac{kg}{cm^2}$$

$$fy = 4200 \frac{kg}{cm^2}$$

$$\delta_{agua} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$\delta_s = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

### Redimensionamiento

V: volumen del reservorio 16,00 m<sup>3</sup>.

Di: Diámetro interior del reservorio.

De: Diámetro exterior del reservorio.

ep: Espesor de la Pared.

et: Espesor de la losa de cubierta.

H: Altura del Muro.

h: Altura del Agua.

a: Cámara de aire.

### Cálculo de la Altura del Muro (H).

Se realizó las siguientes consideraciones respecto a las consideraciones prácticas en relación al volumen a almacenar.

**Tabla 16**

*Cálculo de la altura, volumen y altura de aire del muro*

Volumen (m <sup>3</sup> )	Altura (m)	Altura de aire (m)
10-60	2,20	0,60
60-150	2,50	0,80
150-500	2,50-3,50	0,80
600-1000	6,50 como máx,	0,80
Más 1000	10,00 como máx,	1,00

*Nota.* En esta figura se observa el cálculo de la altura, volumen y altura de aire del muro.

Fuente: Teresa Villagarcia (2018)

Se asumió:

h: 2,00 m

a: 0,30 m

Altura de salida de agua (hs:)0,15 m

**Ecuación 34** *Altura de salida de agua*

$$H = h + a + hs$$

$$H = 2.00 + 0.30 + 0.15$$

$$H = 2.45 \text{ m}$$

Por lo tanto, tenemos una altura total (Ht)

**Ecuación 35** *Altura total*

$$Ht = H + E. losa$$

$$Ht = 2,45 + 0,15$$

$$Ht = 2,60$$

**Cálculo del Diámetro Interior (Di).**

**Ecuación 36** *Cálculo del diámetro interior*

$$Di = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot h}}$$

$$Di = \sqrt{\frac{4 \cdot (16)}{\pi \cdot (2,00)}}$$

$$Di = 3,19 \text{ m}$$

*se asume un Di = 3,20 m*

Cálculo del espesor de la pared (ep).

Se consideran las siguientes formulas:

**Ecuación 37** *Cálculo del espesor de la pared*

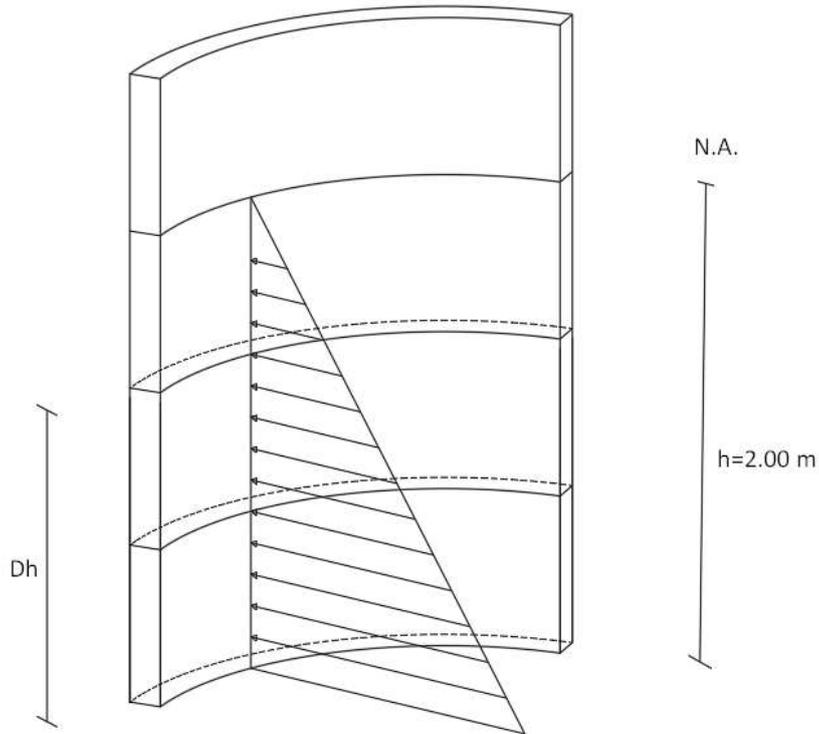
$$ep = \left(7 + \frac{2 \cdot h}{100}\right) \text{ cm}$$

$$ep = \left(7 + \frac{2 \cdot 200}{100}\right) \text{ cm}$$

$$ep = 10,00 \text{ cm}$$

**Figura 33**

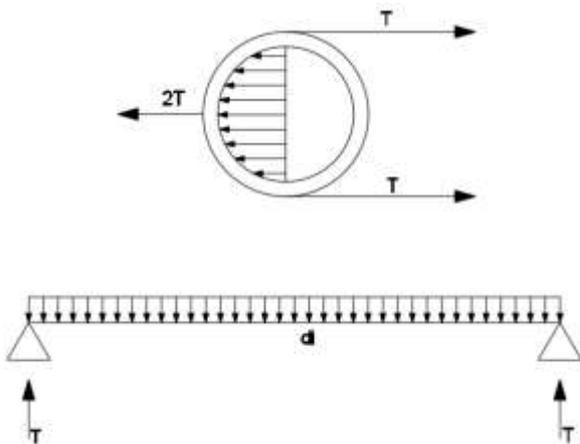
*Altura de la pared*



*Nota.* En la figura se muestra la altura de la pared. Fuente: Teresa Villagarcia (2018)

### Figura 34

*Fuerza de tracción de la pared*



*Nota.* En la figura se muestra la fuerza de tracción de la pared. Fuente: Teresa Villagarcia

(2018)

Por lo que se dedujo la siguiente formula:

**Ecuación 38** *Cálculo de la tracción*

$$T = \frac{1000 * h * Dh * Di}{2}$$

Analizando para un Dh igual a 1m.

Reemplazar:

$$T = \frac{1000 * 2,00 * 1,00 * 3,20}{2}$$

T = 3200 kg.

La tracción será máxima cuando el agua llega H=2.40 m.

$$T_{max} = \frac{1000 * h * Dh * Di}{2}$$

$$T_{max} = 3920 \text{ kg}$$

La fuerza de tracción admisible del concreto se estima de 10% a 15% de su resistencia a la compresión, es decir:

**Ecuación 39** *Fuerza de tracción admisible*

$$T_c = f'c * 10\% * 1.00 \text{ m} * ep$$

$$3920 \text{ kg} = 210 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 10\% * 100 \text{ cm} * ep$$

$$ep = 1,87 \text{ cm es } \leq e1, \text{ no se tendrá en cuenta.}$$

Por facilidad de construcción y práctica es recomendable usar como espesor de

pared:

$$ep = 15,00 \text{ cm.}$$

### **Cálculo del Diámetro Exterior (De).**

Tenemos la siguiente ecuación:

#### **Ecuación 40** *Cálculo del diámetro exterior*

$$De = Di + 2 * ep$$

$$De = 3,20 + 2(0,15)$$

$$De = 3,50 \text{ m.}$$

### **Diseño Estructural de la Losa de Azotea del Tanque.**

#### **Análisis de cargas.**

#### **Tabla 17**

##### *Análisis de cargas*

<b>Variable</b>	<b>Resultado</b>
<b>Peso propio de la losa 10 cm</b>	240 kg/m <sup>2</sup>
<b>Impermeabilizantes y enjarres</b>	120 kg/m <sup>2</sup>
$w_m$	360 kg/m <sup>2</sup>
$w_v$	250 kg/m <sup>2</sup>

*Nota.* En la figura se muestra el análisis de carga.

#### **Ecuación 41** *Cálculo del tipo de losa*

$$m = \frac{la}{lb} = 1$$

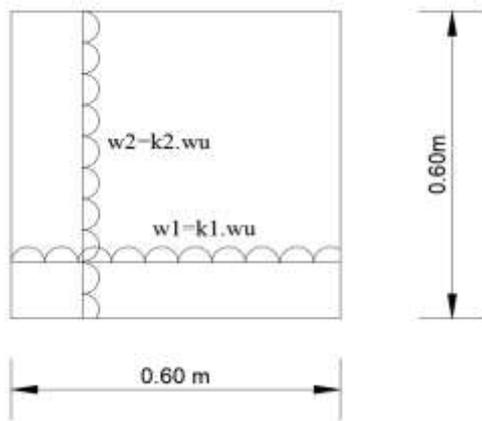
Donde:

$la = \text{lado corto}$

$lb = \text{lado largo}$

**Figura 35**

*Análisis de cargas en el tanque reservorio*



*Nota.* En la figura se muestra el análisis de cargas en el tanque reservorio. Adaptado de Villagarcía (2018)

$$k_1 = \frac{1}{1 + m^4} = 0,50$$

$$k_2 = \frac{m^4}{1 + m^4} = 0,50$$

Por lo tanto:

$$w_m = 0,50 * 360 = 180 \frac{kg}{m}$$

$$w_v = 0,5 * 250 = 125 \frac{kg}{m}$$

Para el cálculo estructural se procedió a utilizar el programa "Ftool", del cual nos proporciona las fuerzas axiales, cortantes y momentos máximos y mínimos para las condiciones de las cargas.

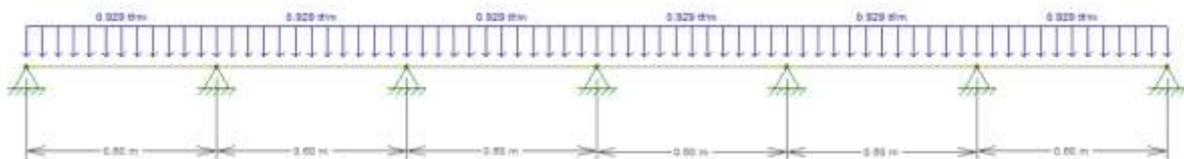
La resistencia requerida de  $W_t$  que debe resistir la carga muerta y la carga viva se lo realiza de acuerdo al reglamento ACI 318 "9.2.1".

$$W_T = 1.4 w_m + 1.7 w_v$$

$$W_T = 1,4 * 360 + 1,7 * 250 = 929,00 \frac{kg}{m}$$

**Figura 36**

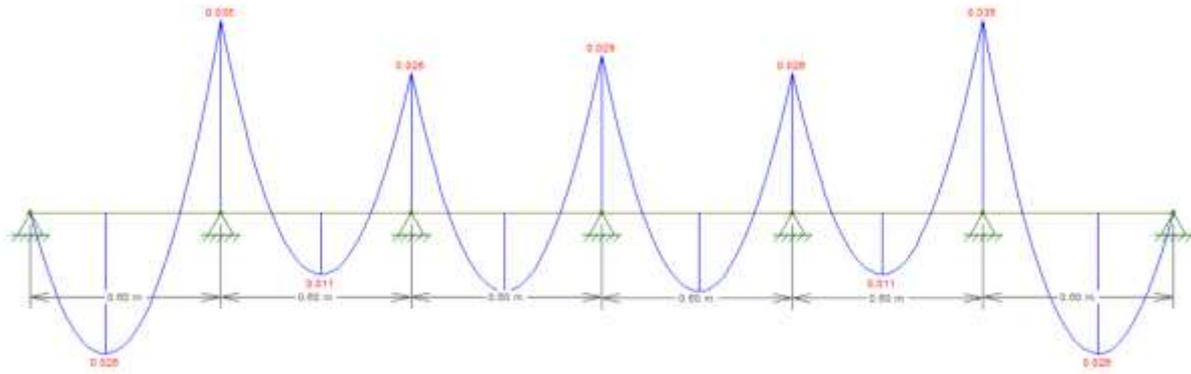
*Análisis de cargas*



*Nota.* En la figura se muestra el análisis de cargas.

**Figura 37**

*Diagrama de cargas*



Nota. En la figura se muestra el diagrama de las cargas.

Resultado:

$$Mu_{neg} = 35 \text{ kg} - \frac{m}{m}$$

$$Mu_{pos} = 26 \text{ kg} - \frac{m}{m}$$

Por lo tanto:

$$w = 0,847 - \sqrt{0,718 - \frac{1,88 \cdot Mu}{b \cdot d^2 \cdot f'c}}$$

$$As = \rho * b * d$$

$$S = \frac{A\phi}{\rho * d}$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

$$h = 10 \text{ cm}$$

$$d = 6 \text{ cm}$$

$$\rho_{min} = \frac{14}{fy}$$

$$\rho_{min} = \frac{14}{4200} = 0,0033$$

$$A_{s_{min}} = \rho * b * d = 0.00333 * 100 * 6 = 2,00 \text{ cm}^2$$

Tabla 18

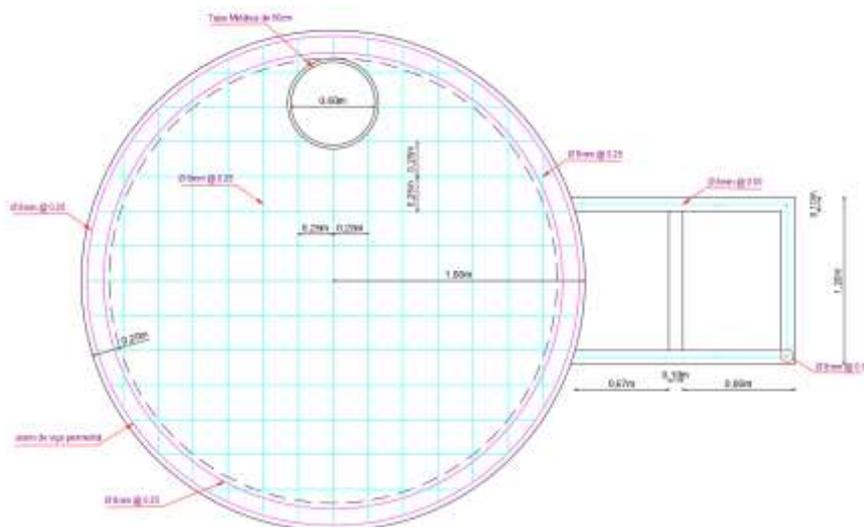
Cálculos del análisis de cargas

M(Tn-m)	b (cm)	d(cm)	As (cm <sup>2</sup> )	As min	As diseño	Ø	Total	Disposición
<b>0,035</b>	100,00	6,00	0,5063	2,00	2,00	<b>Ø 8mm "</b>	2,01	Ø 8mm @ <b>0,25</b>
M(Tn-m)	b (cm)	d(cm)	As (cm <sup>2</sup> )	As min	As diseño	Ø	Total	Disposición
0,026	100,00	6,00	0,1148	2,00	2,00	<b>Ø 8mm "</b>	2,01	Ø 8mm @ <b>0,25</b>

Nota. En la figura se muestra el cálculo del análisis de cargas.

Figura 38

Diseño del tanque



*Nota.* En la figura se muestra el diseño del tanque.

**Tabla 19**

*Parámetros para el diseño del tanque*

Losa de techo : e =10 cm	$(\pi \times d_i \times e) \times \gamma_c =$	1,41 Tn
Viga perimetral	$\pi \times d_c \times b \times d \times \gamma_c =$	1,01 Tn
Muros o pedestales laterales	$\pi \times d_c \times e \times h \times \gamma_c =$	9,28 Tn
Peso de zapata corrida	$\pi \times d_c \times b \times h \times \gamma_c =$	1,01 Tn
Peso de Losa de fondo	$\pi \times d_i^2 \times e \times \gamma_c / 4 =$	2,90 Tn
Peso del agua	$\pi \times d_i^2 \times h \times \gamma_a / 4 =$	17,29 Tn
Peso Total a considerar:		32,90 Tn

*Nota.* En la tabla se muestra los parámetros para el diseño del tanque.

### **Diseños y Cálculos.**

Considerando lo siguiente:

Cuando el reservorio este vacío, la estructura se encuentra sometida a la acción del suelo, produciendo un empuje lateral; como un anillo sometido a una carga uniforme, repartida en su perímetro.

Cuando el reservorio está lleno, la estructura se encuentra sometida a la acción del agua, comportándose como un pórtico invertido siendo la junta de fondo empotrada.

### **Diseño del Reservorio (Vacío).**

Momentos flectores:

#### **Ecuación 42 Momentos flectores**

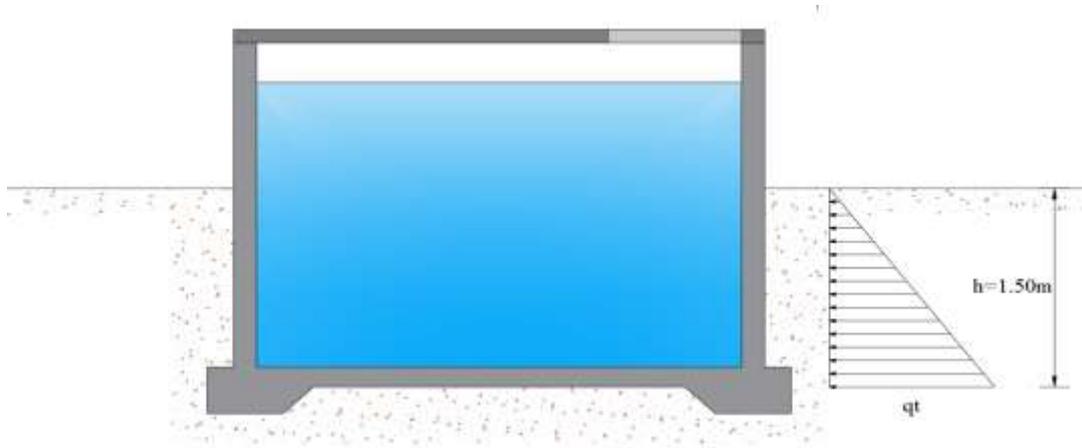
$$M = M_o \cdot M_1 \cdot x_1 = qt \cdot \frac{r^2}{2} (1 - \cos\phi) - qt \cdot \frac{r^2}{6}$$

Cálculo del valor de qt:

según estudios del suelo tenemos:

Peso específico del suelo  $\delta_s = 1,5 \text{ Tn}/\text{m}^3$

**Figura 39** Peso específico del suelo



*Nota.* En la figura se muestra el peso específico del suelo.

Se considera la presión del terreno sobre las paredes del reservorio a una altura de  $h = 1,50\text{m}$ .

Sabemos:

**Ecuación 43** *Presión del terreno*

$$K_a = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

Cuando la carga es uniforme:

**Ecuación 44** *Carga Uniforme*

$$\frac{W_s}{c} \Rightarrow \frac{P_s}{c} = \frac{W_s}{c} * k_a$$

Siendo:

$$\frac{Ps}{c} = \text{presión de sobrecarga} = \delta s \cdot h = Ka \cdot qt$$

$$qt = \delta s \cdot h / Ka$$

Reemplazando:

$$Ka = 1,698$$

$$qt = 1,32 \text{ Tn/m}^2$$

Aplicando el factor de carga útil:

**Ecuación 45** Factor de carga útil

$$qtu = 1,55 * qt = 2,05 \frac{\text{Tn}}{\text{m}^2}$$

**Cálculo de los Momentos Flectores.**

**Ecuación 46** Cálculo de los momentos flectores

$$L_{\text{anillo}} = 2 * \pi * 1,75 = 11,00 \text{ m}$$

Cuando:

$$0 \leq \theta \leq \pi/3$$

$$M_u = qt \cdot \frac{r^2}{2} (1 - \cos\theta) - qt \cdot \frac{r^2}{6}$$

**Tabla 20**

*Momentos flectores  $0 \leq \theta \leq \pi/3$*

$\theta$	Mu ( T-m / anillo)	Mu ( T-m / m-anillo)
0,00°	-1,048	-0,095
10,00°	-1,000	-0,091

<b>20,00°</b>	-0,858	-0,078
<b>30,00°</b>	-0,627	-0,057
<b>40,00°</b>	-0,312	-0,028
<b>48,15°</b>	-0,002	0,000
<b>60,00°</b>	0,524	0,048

*Nota.* En la tabla se muestra los momentos flectores.

Cuando:

$$0 \leq \theta \leq \pi/6$$

$$M_u = qt \cdot \frac{r^2}{2} (1 - \text{sen}\theta) - qt \cdot r^2 [1 - \text{cos}(30 - \theta)]$$

**Tabla 21**

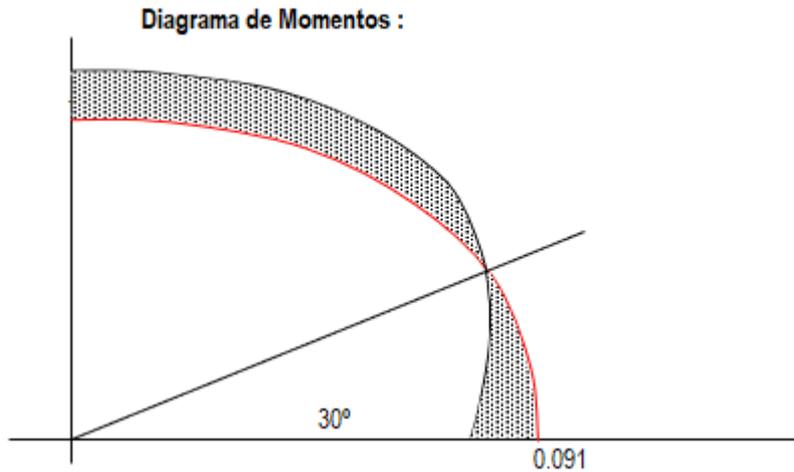
*Momentos flectores cuando  $0 \leq \theta \leq \pi/6$*

<b><math>\theta</math></b>	<b>Mu ( T-m / anillo)</b>	<b>Mu ( T-m / m-anillo)</b>
<b>0,00°</b>	1,000	0,091
<b>5,00°</b>	2,281	0,207
<b>10,00°</b>	2,219	0,202
<b>15,00°</b>	2,116	0,192
<b>20,00°</b>	1,973	0,179
<b>25,00°</b>	1,792	0,163
<b>30,00°</b>	1,572	0,143

*Nota.* En la tabla se muestra los momentos flectores.

**Figura 40**

*Diagrama de momentos*



*Nota.* En la figura se muestra el diagrama de momentos. Fuente: Teresa Villagarcia (2018)

### Cálculo de Esfuerzos Cortantes.

#### Ecuación 47 Cálculo de esfuerzos cortantes

Cuando:

$$0 \leq \theta \leq \pi/3$$

$$Q = \left(\frac{1}{r}\right) * \frac{dm}{d\theta} = qtu.r. \frac{\text{sen}\theta}{2}$$

**Tabla 22**

*Esfuerzos cortantes cuando  $0 \leq \theta \leq \pi/3$*

$\theta$	Qu ( T-m / anillo)
0,00°	0,000
10,00°	0,312
20,00°	0,615
30,00°	0,898

<b>40,00°</b>	1,155
<b>50,00°</b>	1,376
<b>60,00°</b>	1,556

*Nota.* En la figura se muestra los esfuerzos cortantes cuando  $0 \leq \theta \leq \pi/3$

Cuando:

$$0 \leq \theta \leq \pi/6$$

$$Q_u = qtu.r \left[ 1 - \frac{\cos\phi}{2} - \text{sen}(30 - \phi) \right]$$

**Tabla 23**

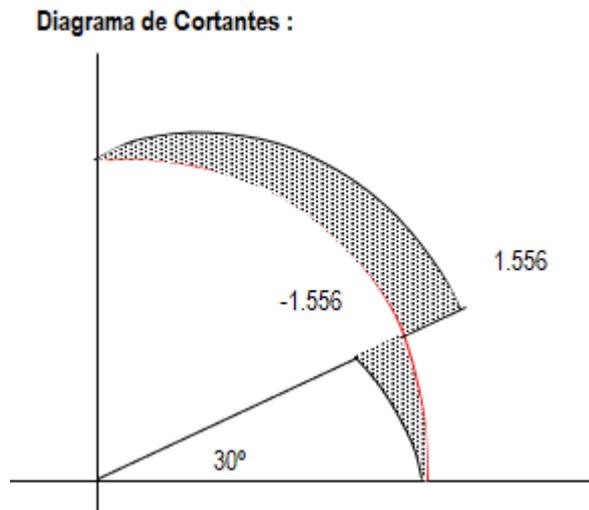
*Esfuerzos cortantes cuando  $0 \leq \theta \leq \pi/6$*

<b>Ø</b>	<b>Qu (T-m / anillo)</b>
<b>0,00°</b>	0,000
<b>10,00°</b>	-0,271
<b>20,00°</b>	-0,540
<b>30,00°</b>	-0,805
<b>40,00°</b>	-1,064
<b>50,00°</b>	-1,315
<b>60,00°</b>	-1,556

*Nota.* En la tabla se muestra los esfuerzos cortantes cuando  $0 \leq \theta \leq \pi/6$

**Figura 41**

### Diagrama de cortantes



*Nota.* En la figura se muestra el diagrama de cortantes. Fuente: Teresa Villagarcia (2018)

### **Cálculo de Acero en las Paredes del Reservorio Debido a los Esfuerzos**

#### **Calculados.**

#### **Acero Horizontal:**

Cálculo del acero en las paredes

$$ep = 15cm$$

$$recubrimiento = 4 cm$$

$$\beta = 0,85$$

$$\phi = 0,90$$

$$\rho_{min} = 0,0020$$

$$f'c = 210 kg/cm^2$$

#### **Tabla 24**

*Cálculos del diseño del reservorio*

M(Tn-m)	b (cm)	d(cm)	a (cm)	As (cm <sup>2</sup> )	As min
0,09	100,00	11,00	0,052	0,22	2,20
<b>As diseño</b>	∅		Total		Disposición
<b>2,20</b>	<b>8,00 mm</b>		2,01	∅8 @	<b>0,25</b>

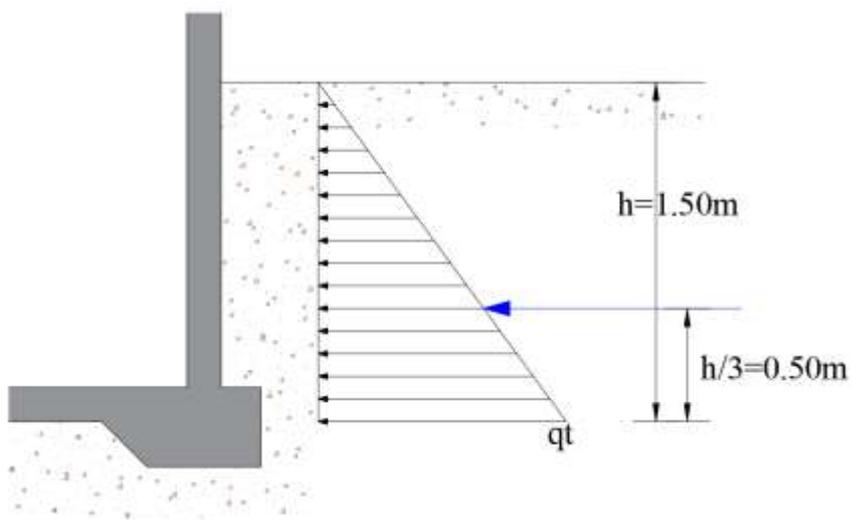
*Nota.* En la tabla se muestra los cálculos del diseño del reservorio

**Acero Vertical:**

Se encuentra el momento de volteo:

**Figura 42**

*Altura de las paredes del reservorio*



*Nota.* En la figura se muestra la altura de las paredes del reservorio.

**Ecuación 48** *Momento de volteo*

$$P = qt_w \frac{h}{2} = 1,540 Tn$$

$$Mv = P, \frac{h}{3} = 0,770 Tn - m$$

$$Mv_u = 1,6 * Mv = 1,232 Tn - m$$

**Tabla 25***Momento de volteo*

<b>M(Tn-m)</b>	<b>b (cm)</b>	<b>d(cm)</b>	<b>a (cm)</b>	<b>As (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>As min</b>
<b>1,23</b>	100,00	11,00	0,721	3,06	2,20
<b>p=As/bd</b>	∅	Total		Disposición	
<b>0,0028</b>	<b>10,00 mm</b>	3,14	∅10 @		<b>0,25</b>

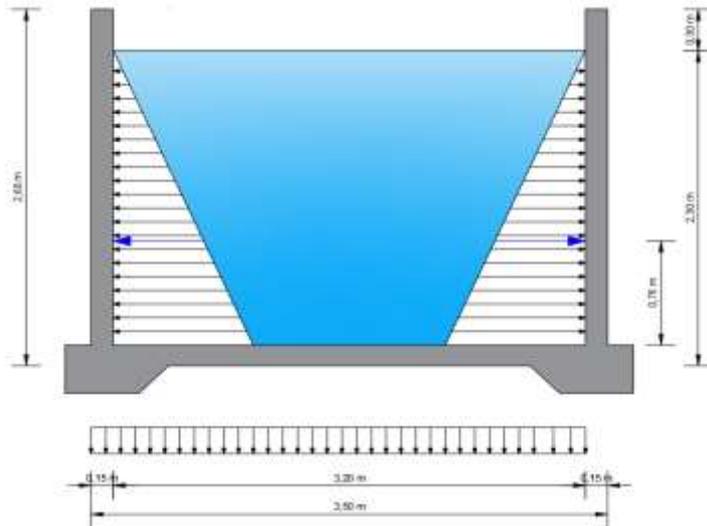
*Nota.* En la tabla se muestra el momento de volteo.

**Diseño del Reservorio (Lleno) Considerando: La Unión de Fondo y Pared Rígida (empotramiento).**

Se considera el fondo y las paredes empotradas, se estaría originando momentos de flexión en las paredes y en el fondo de la losa, ambas comparten una armadura para evitar agrietamiento.

**Figura 43**

*Diseño del reservorio*

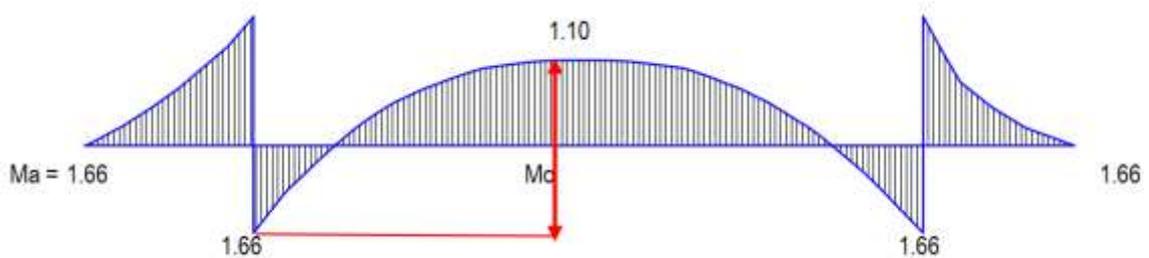


*Nota.* En la figura se muestra el diseño del reservorio.

Diagrama de momentos:

**Figura 44**

*Diagrama de momentos*



Nota. En la figura se muestra cálculo de momentos.

**Ecuación 49** *Cálculo de momentos*

$$P = \left( \delta a \cdot \frac{H^2}{2} \right) * 1,00 \text{ m} = 2,31 \text{ Tn}$$

$$Ma = P \cdot \frac{H}{3} = 1,66 \text{ Tn} - \text{m}$$

$$Mu = Ma * 1,55 = 2,57 \text{ Tn} - \text{m}$$

Para el momento en el fondo de la losa se despreciará por completo la resistencia del suelo.

Presión en el fondo

$$W = \delta a \cdot H = 2,15 \text{ Tn/m}$$

Carga repartida

$$Mo = W \cdot \frac{D^2}{8} = 2,75 \text{ Tn/m}$$

La tracción en el fondo será:

$$T = W \cdot \frac{D}{2} = 3,44 \text{ Tn}$$

**Cálculo de Acero en las Paredes del Reservorio Debido a los Esfuerzos**

**Calculados**

**Acero vertical**

$$Ma_u = 2,57 \text{ Tn/m}$$

Tabla 26

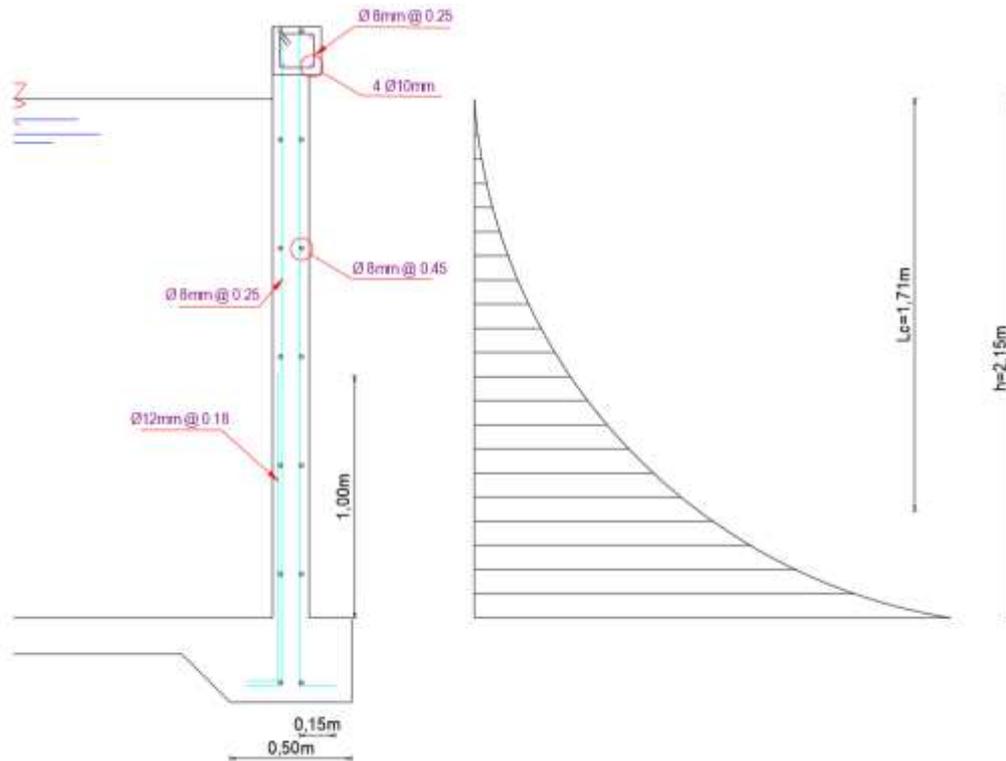
*Cálculo del acero vertical*

<b>M(Tn-m)</b>	<b>b (cm)</b>	<b>d(cm)</b>	<b>a (cm)</b>	<b>As (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>As min</b>
<b>2,57</b>	100,00	11,00	1,56	6,65	2,20
<b><math>\rho=As/bd</math></b>		<b><math>\emptyset</math></b>	<b>Total</b>		<b>Disposición</b>
<b>0,0060</b>		<b>12,00 mm</b>	7,54	$\emptyset 12$ @	<b>0,15</b>

*Nota.* En la figura se muestra el cálculo del acero vertical.

Figura 45

*Diseño de acero en las paredes del reservorio*



Nota. En la figura se muestra diseño del acero en las paredes.

#### Ecuación 50 Cálculo del acero en las paredes

$$Y = K \cdot x^3$$

Cuando:

$$x = 2,15$$

$$Y = Ma_u = 2,57$$

$$K = 0,258$$

$$\frac{Ma_u}{2} = K * Lc^3 = 1,284$$

$$Lc = 1,71 \text{ m}$$

Cortante asumido por el concreto en una franja de 1,00 m

**Ecuación 51 Cortante**

$$V_c = \phi * 0.5\sqrt{210} * b * d$$

$$V_c = 6,77 \text{ Tn}$$

La tracción en el fondo de la losa

$$V_u = T = 3,44 \text{ Tn}$$

$$T < V_c, \text{OK}$$

**Acero Horizontal:**

Las tracciones en un anillo, se considera las presiones máximas en cada anillo. Ya que los esfuerzos son variables de acuerdo a la profundidad, el anillo se lo divide en 5 secciones con una altura de 0,49 m de altura.

**Ecuación 52 Cálculo de las tracciones en un anillo**

$$T = \frac{1000 * h * h_i * d_i}{2}$$

$$h = 0,49\text{m}$$

$$d_i = 3,20 \text{ m}$$

**Tabla 27**

*Los dos primeros anillos conformarán uno solo*

<b>h i =</b>	<b>Long. (m)</b>
<b>h1 =</b>	0,74
<b>h2 =</b>	1,23
<b>h3 =</b>	1,72
<b>h4 =</b>	2,21

*Nota.* En la tabla se muestra que los dos primeros anillos conforman uno solo.

Reemplazando en la ecuación:

**Tabla 28**

*Reemplazo en la ecuación*

<b>Anillo</b>	<b>T (Ton)</b>
<b>1</b>	0,576
<b>2</b>	0,960
<b>3</b>	1,345
<b>4</b>	1,729

*Nota.* En la tabla se muestra reemplazando en la ecuación.

$$T = F_s \cdot A_s \qquad F_s = 0.5 \cdot F_y = 2100 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_{s\_min} = 0,002 \cdot 0,49\text{m} \cdot 0,11\text{m} = 1,08 \text{ cm}^2$$

Separación:

$$S_{max} = 1,5 \cdot e = 0,225 \text{ m}$$

Esfuerzos de tracción:

**Tabla 29**

*Esfuerzos de Tracción*

Anillo	T(Kg)	As (cm <sup>2</sup> )	As (usar)	Ø	Total cm <sup>2</sup>	Disposición
1	576,24	0,27	1,08	<b>8,00 mm</b>	1,09	Ø8 @ <b>0,45</b>
2	960,40	0,46	1,08	<b>8,00 mm</b>	1,09	Ø8 @ <b>0,45</b>
3	1344,56	0,64	1,08	<b>8,00 mm</b>	1,09	Ø8 @ <b>0,45</b>
4	1728,72	0,82	1,08	<b>8,00 mm</b>	1,09	Ø8 @ <b>0,45</b>

Nota. En la tabla se muestra los esfuerzos de tracción.

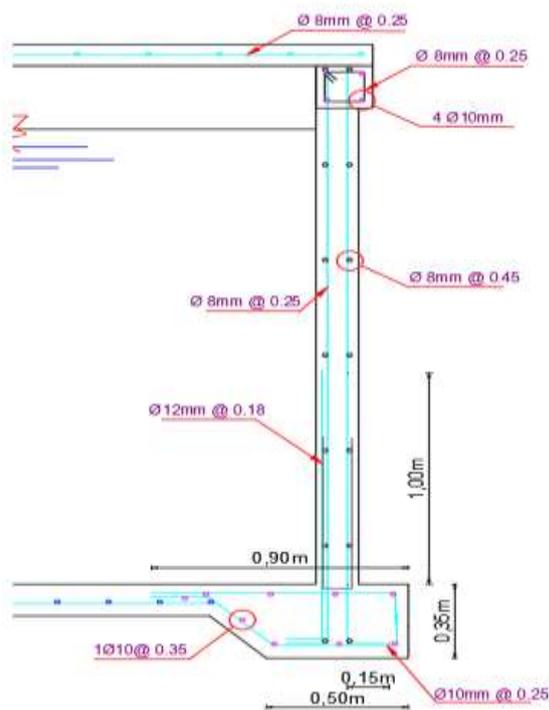
Acero horizontal, se considera 2/3 del acero mínimo.

$$\frac{2}{3} * 1,08 \text{ cm}^2 = 0,72 \text{ cm}^2$$

Ø 8mm @ 0,50 m

**Figura 46**

*Diseño del acero horizontal.*

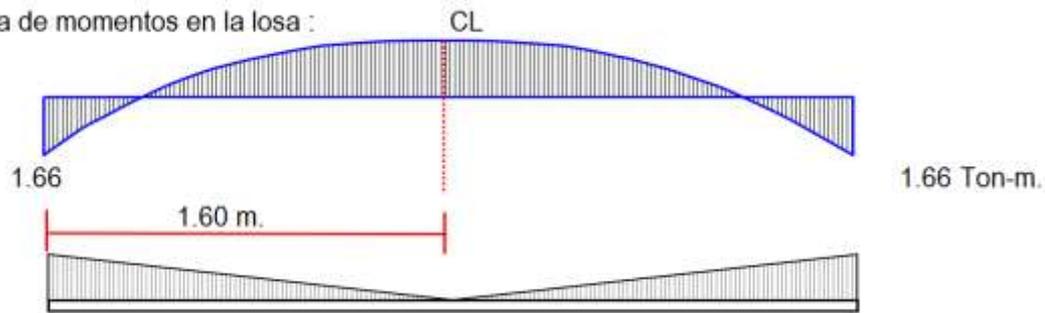


Nota. En la figura se muestra el diseño del acero horizontal.

**Figura 47**

### Diseño y cálculo de la losa de fondo

Diagr ma de momentos en la losa :



Nota. En la figura se muestra Diseño y cálculo de la losa de fondo.

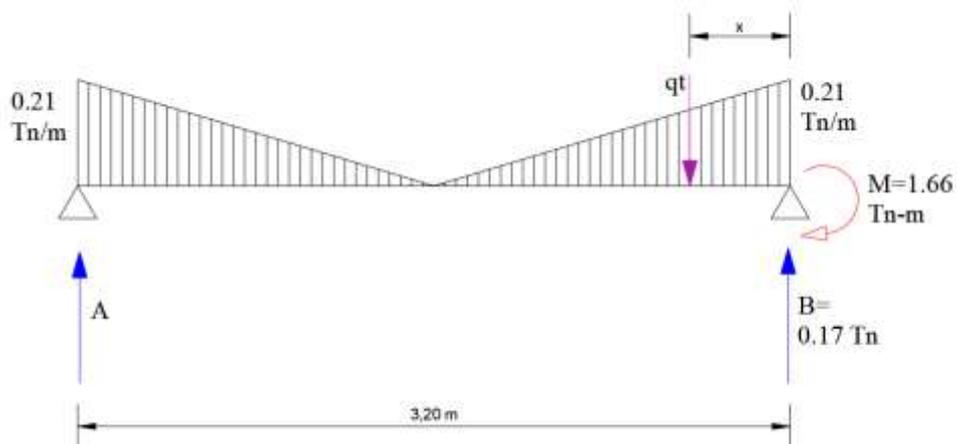
$$\text{Peso total} = \delta a * H * \pi * R^2 = 17,29 \text{ Tn}$$

**Ecuación 53** Carga unitaria por unidad de longitud.

$$q = H * \frac{\delta a}{\text{Longitud del circulo}} = 0,21 \frac{\text{Tn}}{\text{m}}$$

**Figura 48**

Carga unitaria por unidad de longitud



Nota. En la figura se muestra la carga unitaria por unidad de longitud

Cálculo del cortante a una distancia X:

Se hallará el valor de “qx” en función de “x”

$$q_x = 0,134 * (1,60 - X)$$

Cortante Vx

**Ecuación 54** Cortante Vx

$$V_x = R - P - 0,5 * (q' + q_x) * X =$$

$$0,171 - 0,214 X + 0,067 X^2$$

Momento Mx

**Ecuación 55** Momento Mx

$$M_x = -M + (R - P) * X - q_x * \frac{X^2}{2} - \frac{(q' - q_x)x^2}{3}$$

$$M_x = -1,66 + 0,171x - 0,107x^2 + 0,022x^3$$

**Tabla 30**

*Diseño y cálculo de la losa de fondo*

<b>X (m)</b> =	<b>0,00</b>	<b>0,27</b>	<b>0,53</b>	<b>0,80</b>	<b>1,07</b>	<b>1,33</b>	<b>1,60</b>
<b>V (Ton)</b> =	0,17	0,23	0,30	0,38	0,48	0,58	0,68
<b>M(Tn-m)</b> =	-1,66	-1,62	-1,59	-1,58	-1,57	-1,57	-1,57

*Nota.* En la tabla se muestra el diseño y cálculo de la losa de fondo.

Verificación del cortante, asumido por el concreto en una franja de 1.00m

**Ecuación 56** Verificación del cortante

$$V_c = \emptyset * 0,5\sqrt{210} * b * d \quad ; d = 0,15m$$

$$V_c = 9,24 Tn$$

La tracción máxima en la losa es de:

$$V_u = T = 0,68 Tn$$

$$T < V_c, OK$$

$$Ma_u = 1,55 * 1,57 = 2,43 Tn - m$$

**Tabla 31**

*Tracción máxima en la losa*

<b>M(Tn-m)</b>	<b>b (cm)</b>	<b>d(cm)</b>	<b>a (cm)</b>	<b>As (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>As min</b>
<b>2,43</b>	100,00	11,00	1,47	6,25	2,20
<b>p=As/bd</b>	<b>Ø</b>	<b>Total</b>	<b>Disposición</b>		
<b>0,0057</b>	<b>12,00 mm</b>	6,28	Ø12	@	<b>0,18</b>

*Nota.* En la tabla se muestra la tracción máxima en la losa.

**Acero de repartición, As min**

**Tabla 32**

*Acero de repartición*

<b>Ø</b>	<b>Total</b>	<b>Disposición</b>		
10,00 mm	2,24	Ø10	@	<b>0,35</b>

*Nota.* En la tabla se muestra el acero de repartición.

### **Diseño y Cálculo de Acero en la Cimentación**

Acero Negativo:

**Ecuación 57** *Acero negativo*

$$Ma_u = 2,57 \text{ Tn} - m$$

$$L_c = \begin{cases} 12\phi \\ d \end{cases} ; \quad L_c = \begin{cases} 12 * 1,2 = 14,40 \text{ cm} \\ 11,00 \text{ cm} \end{cases}$$

**Tabla 33**

*Cálculo y diseño de acero en la cimentación*

<b>M(Tn-m)</b>	<b>b (cm)</b>	<b>d(cm)</b>	<b>a (cm)</b>	<b>As (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>As min</b>	<b>p=As/bd</b>
<b>2,57</b>	100,00	11,00	1,56	6,65	2,20	0,0060
<b>∅</b>	Total			Disposición		
12,00 mm	6,28	∅12	@		<b>0,18</b>	

*Nota.* En la tabla se muestra el cálculo y diseño de acero en la cimentación.

*Diseño de la zapata corrida:*

**Tabla 34**

*Análisis de cargas:*

<b>Losa de techo</b>	<b>1,41 Tn</b>
<b>Viga perimetral</b>	1,01 Tn
<b>Muro del reservorio</b>	9,28 Tn
<b>Peso de la zapata</b>	1,01 Tn
<b>Total</b>	<b>12,71 Tn</b>

*Nota.* En la tabla se muestra el análisis de cargas.

El estudio del suelo indica:

**Ecuación 58** *Cálculo de la zapata*

$$q_u = 0,80 \frac{Kg}{cm^2}$$

Ancho de la zapata ( $b$ );  $b = \text{Peso por metro} \frac{\text{lineal}}{q_u}$

$$b = \frac{1,26}{8} = 0,16 \text{ m}$$

Por efectos constructivos asumiremos  $b=0,50 \text{ m}$

$$\sigma_n = \frac{\text{peso metro lineal}}{b} = \frac{1,26}{0,50} = 0,253 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

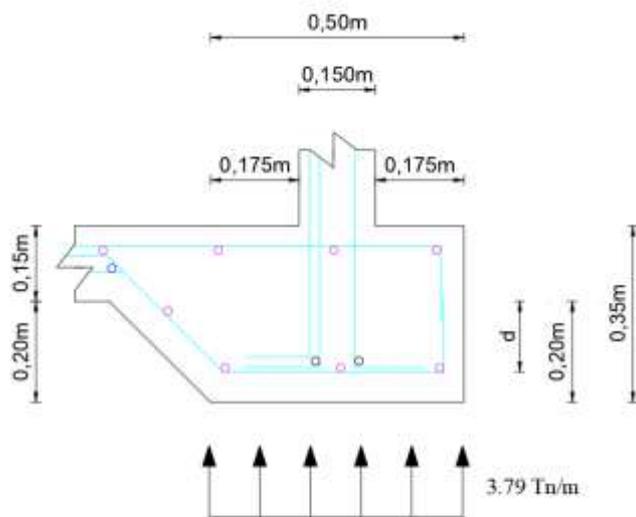
$$0,253 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} < 0,80 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}; \text{ok}$$

La presión neta de diseño:

$$\delta_{nd} = \delta_s * \sigma_n = 1,50 \frac{\text{Tn}}{\text{m}^3} * 0,253 = 3,79 \frac{\text{tn}}{\text{m}^2}$$

**Figura 49**

*Prediseño de la Zapata*



*Nota.* En la figura se muestra el diseño de la zapata. Elaborado por: Anchatuña y Navarro (2021)

Se conoce que el cortante crítico se encuentra a una distancia “d” del muro.

**Ecuación 59** Cortante asumido por el concreto

$$Vu = 3,79 * \frac{18 - d}{b * d}$$

$$b = 75 \text{ cm}$$

Cortante asumido por el concreto:

$$Vc = \phi 0,5 \sqrt{210} = 61,59 \frac{Tn}{m^2}$$

$$h = d + r + \frac{\phi}{2}$$

$$h = 7,07 \text{ cm}$$

asumimos:  $h = 20 \text{ cm}$

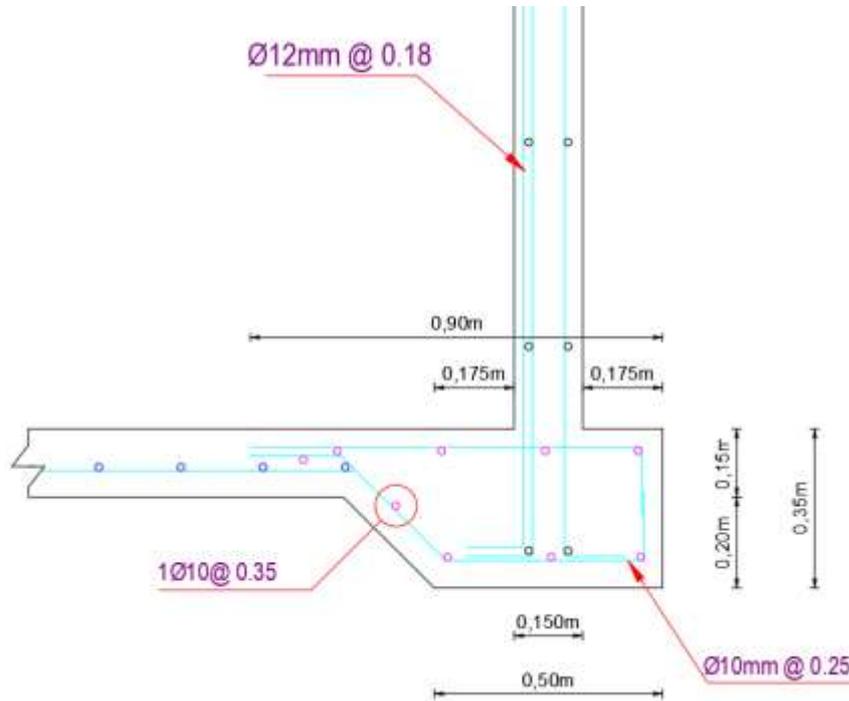
$$M = 3,79 \frac{tn}{m^2} * \frac{0,175^2}{2} = 0,058 \text{ Tn} - m$$

**Tabla 35**

*Cálculos del diseño de la zapata*

M(Tn-m)	b (cm)	d(cm)	As (cm <sup>2</sup> )	As min	p=As/bd
<b>0,058</b>	100,00	15,00	0,10	3,00	0,0020
$\emptyset$		Total		Disposición	
10,00 mm		3,14		$\emptyset 10 @$	<b>0,25</b>

*Nota.* En la tabla se muestra los cálculos del diseño de la zapata

**Figura 50***Diseño de la zapata*

*Nota.* En la figura se muestra el diseño de la zapata.

### Sistema de Bombeo

#### Descarga

El tiempo de llenado que se recomienda para tanques de mil litros es menor o igual a 1 hora, entonces para el llenado del tanque de abastecimiento que será de 2 m<sup>3</sup> se asume 2 horas. El consumo de agua diariamente es de 1,74 m<sup>3</sup>/día. Por lo tanto, el canal de descarga será:

$$Q_r = \frac{1,74}{2} = 0,87 \frac{m^3}{hora}$$

Con el valor calculado anteriormente es posible determinar a partir de la siguiente ecuación el diámetro de la tubería de descarga:

$$Dr = 1,3\sqrt{Q_r} \times \sqrt[4]{X'}m$$

$$Dr = 1,3\sqrt{\frac{0,87 \text{ m}^3/h}{3600s}} \times \sqrt[4]{\frac{8h}{24 \text{ horas}}}$$

$$Dr = 0,015m$$

Como es tubería pequeña asumimos la mínima recomendada de 20mm.

Una vez determino el diámetro de la tubería de descarga se procede a calcular los valores de longitud equivalente de las pérdidas de cargas localizadas en cada accesorio utilizada en la línea de descarga Hr. Los valores de la longitud equivalente fueron tomados de la tabla presentada a continuación:

**Figura 51.**

*Perdidas de carga localizadas.*

DN		Joelho 90°	Joelho 45°	Curva 90°	Curva 45°	Tê 90° Passagem Direita	Tê 90° Saída de lado	Tê 90° Saída Bilateral	Entrada Normal	Entrada de Borda	Saída de Canalização	Válvula de Pé e Crivo	Válvula de Retenção Tipo Leve	Válvula de Retenção Tipo Pesado	Registro de Globo Aberto	Registro de Gaveta Aberto	Registro de Ângulo Aberto
DE (mm)	D. ref. (pol.)																
20	½"	1,1	0,4	0,4	0,2	0,7	2,3	2,3	0,3	0,9	0,8	8,1	2,5	3,6	11,1	0,1	5,9
25	¾"	1,2	0,5	0,5	0,3	0,8	2,4	2,4	0,4	1,0	0,9	9,5	2,7	4,1	11,4	0,2	6,1
32	1"	1,5	0,7	0,6	0,4	0,9	3,1	3,1	0,5	1,2	1,3	13,3	3,8	5,8	15,0	0,3	8,4
40	1¼"	2,0	1,0	0,7	0,5	1,5	4,6	4,6	0,6	1,8	1,4	15,5	4,9	7,4	22,0	0,4	10,5
50	1½"	3,2	1,3	1,2	0,6	2,2	7,3	7,3	1,0	2,3	3,2	18,3	6,8	9,1	35,8	0,7	17,0
60	2"	3,4	1,5	1,3	0,7	2,3	7,6	7,6	1,5	2,8	3,3	23,7	7,1	10,8	37,9	0,8	18,5
75	2½"	3,7	1,7	1,4	0,8	2,4	7,8	7,8	1,6	3,3	3,5	25,0	8,2	12,5	38,0	0,9	19,0
85	3"	3,9	1,8	1,5	0,9	2,5	8,0	8,0	2,0	3,7	3,7	26,8	9,3	14,2	40,0	0,9	20,0
110	4"	4,3	1,9	1,6	1,0	2,6	8,3	8,3	2,2	4,0	3,9	28,6	10,4	16,0	42,3	1,0	22,1

*Nota.* En la figura se muestra las pérdidas de la carga localizadas. Fuente: (Bentancourth J. y Echeverry J., 2017)

A continuación, se presentan los accesorios a usar y la cantidad:

**Tabla 36**

*Proceso de descarga del sistema de bombeo*

<b>Conexiones/registros</b>	<b>DN (mm)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Le(m)</b>	<b>Le total (m)</b>
<b>Registro de compuerta</b>	20	1	0,1	0,1
<b>Válvula de retención</b>	20	1	2,5	2,5
<b>Codo de 90°</b>	20	4	1,1	4,4
<b>Entrada Tanque</b>	20	1	0,9	0,9

*Nota.* En la tabla se muestra el proceso de descarga.

La suma de las longitudes equivalentes de cada accesorio es de 7,9 m, de igual forma sumamos la longitud total de la tubería obteniendo un valor de 68,81 m.

### **Succión**

Para cumplir con la condición  $D_s > D_r$  (Diámetro de la tubería de succión mayor al diámetro de la tubería de descarga). Asumimos una tubería de diámetro 1 pulgada. De igual forma se calcula las pérdidas del tramo a succión.

**Tabla 37**

*Succión*

<b>Conexiones/registros</b>	<b>DN(mm)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Le(m)</b>	<b>Le total (m)</b>
<b>Registro de compuerta</b>	32	1	0,3	0,3

*Nota.* En la tabla se muestra el proceso de succión

La longitud equivalente total sería de 0,3m y el valor de la longitud del tramo de tubería es de 1m.

### **Altura Manométrica**

Perdida de carga en el tramo de descarga

El caudal de trabajo es de 0,87 m<sup>3</sup>/h por lo que se realizó la conversión a m/seg.

Altura manométrica

$$0,87 \frac{m^3}{h} \times \frac{1h}{60min} \times \frac{1min}{60seg} = 0,00024167 \frac{m^3}{seg}$$

$$j = 10,65 \frac{0,00024167^{1,85}}{150^{1,85} 0,02^{4,87}} = 0,038417$$

$$Hr = 0,038417 \times (68,81 + 7,9) = 2,95 \text{ m}$$

Perdida de carga en el tramo de succión

$$j = 10,65 \frac{0,00024167^{1,85}}{150^{1,85} 0,032^{4,87}} = 0,03895$$

$$Hs = 0,03895 \times (1 + 0,3) = 0,00506 \text{ m}$$

Teniendo los valores de Hr y de Hs, se puede obtener la altura manométrica

$$Hm = 2,95 + 0,00506 + 14 = 16,96 \text{ m}$$

La altura manométrica (Hm) calculada para el caso fue de 16,96 m (Con un valor de Hg=14 m).

### **Potencia Requerida**

La potencia requerida por la bomba entonces se calcula a partir del valor de Hm, el caudal de recalque o descarga, y la eficiencia esperada de la bomba.

Potencia requerida

$$N = \frac{9,79 \times 10^3 \frac{N}{m^3} \times 0,00024167 \times 16,96}{0,75} = 53,50 \text{ W}$$

Expresado en caballos entonces se obtiene un valor de:

$$53,50 W \times \frac{1 HP}{745,7 W} = 0,072 \sim 0,5HP$$

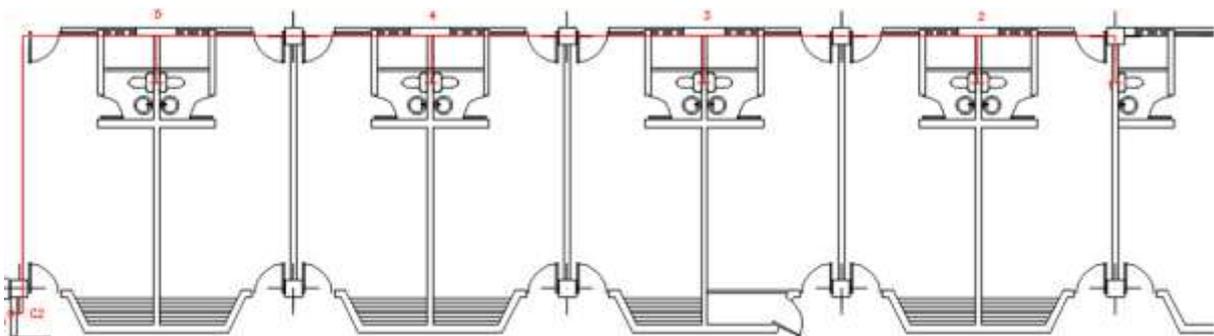
Por lo tanto, para el correcto funcionamiento del sistema necesitamos una bomba centrífuga de 0,5 HP

### Red de Distribución

En la siguiente imagen se presenta la distribución de los sanitarios y la red de distribución, el agua captada por el sistema de recolección se utilizará para exclusivamente para inodoros.

### Figura 52

*Distribución de red*



*Nota.* En la figura se muestra la red de distribución.

Una vez definida la red y los tramos, se procede a calcular el número de aparatos, las unidades sanitarias, número de salidas y el coeficiente de simultaneidad para determinar la carga total.

### Tabla 38

*Cálculo del número de entradas y salidas*

Tramo 1-2						
Aparato	Un	Salidas	k1	Total	Asumido	
1 sanitario	3	1	1	3	3	

*Nota.* En la tabla se muestra el cálculo de entradas y salidas.

A continuación, se identifican el número de accesorios existentes en el tramo y la longitud

equivalente de cada uno y la longitud total. Como se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 39**

*Número de accesorios existentes*

Accesorios	Cantidad	Le(m)	Total
<b>Codo r.m 1/2" 90° pvc</b>	3	0,28	0,84
<b>Valvula compuerta Cu 1/2"</b>	1	0,09	0,09
			0,93

*Nota.* En la tabla accesorios existentes en el tramo y la longitud equivalente de cada uno y la longitud total.

Con la carga total se calcula el caudal, la velocidad, perdidas, diámetro y presión en cada tramo de la tubería, en la siguiente tabla se presenta el resumen del cálculo de la red de distribución de la columna dos del segundo y tercer piso.

**Tabla 40**

*Cálculo de la red de distribución*

SEGUNDO Y TERCER PISO COL 2													
Punto o Tramo	Unidad Un	Q l/s	V m/s	h <sub>v</sub> m.c.a	C Fricción	j m/m	Ø pulg	Longitud de tubería en				J m.c.a	Presión m.c.a
								Horiz.	Vert.	Acc.	Total		
													<b>0,52</b>
<b>1 a 2</b>	3	0,19	1,5	0,11	0,0001	0,191	1/2	5,12	0,52	0,93	6,57	1,25	2,40
<b>2 a 3</b>	6	0,32	1,12	0,06	0,0001	0,069	3/4	8,6	0	1,6	10,2	0,70	3,17
<b>3 a 4</b>	7	0,38	1,33	0,09	0,0001	0,093	3/4	8,55	0	1,6	10,15	0,94	4,20
<b>4 a 5</b>	8	0,44	1,54	0,12	0,0001	0,121	3/4	8,57	0	1,6	10,17	1,23	5,55
<b>5 a 6</b>	10	0,5	1	0,05	0,0001	0,039	1	11,33	0	2,15	13,48	0,53	6,13

*Nota.* En la tabla se muestra cálculo de la red de distribución de la columna dos del segundo y tercer piso.

### Presupuesto

Una vez realizado el diseño del sistema de recolección de agua lluvia, se procede con el análisis de precios unitarios detallados en la siguiente tabla **Tabla 41**

Presupuesto sistema de captación de aguas lluvias.y se obtuvo el siguiente presupuesto.

**Tabla 41**

Presupuesto sistema de captación de aguas lluvias.

C O D	RUBRO DESCRIPCION	UNID AD	CONTRATADO		
			CANTI DAD	PRECI O U.	PRECIO TOTAL
<b>TANQUE DE ALMACENAMIENTO</b>					
1	Replanteo y nivelación	m2	27	5,38	147,77
2	Limpieza de terreno, incluye desbroce de maleza	m2	24,21	1,28	30,96
3	Excavación con maquinaria	m3	27,86	3,96	110,23
4	Desalojo de escombros a máquina a sitio aprobado por municipio	m3	34,82	7,20	250,71
5	Hormigón f'c=210Kg/cm2+encofrado	m3	7,78	1.362,01	10.596,42
6	Acero de refuerzo fy = 4200 Kg/cm2	kg	433,25	2,51	1.087,46
7	Tapa metálica D=0.6m	u	1	127,71	127,71
8	Suministro e instalación de Tubería y accesorios de PVC	m	29,26	32,38	947,57
<b>TANQUE INTERCEPTOR</b>					
9	Tanque interceptor 1100 lt, accesorios y tuberías.	glb	1	252,93	252,93
<b>SISTEMA DE BOMBEO</b>					
10	Bomba centrífuga 0,5 HP, accesorios y tuberías de succión e impulsión	glb	1	532,45	532,45
<b>RED DE DISTRIBUCION</b>					
11	Suministro e instalación de Tubería y accesorios presión PVC 1/2"	m	77,08	10,10	778,56
12	Suministro e instalación de Tubería y accesorios presión PVC 3/4"	m	160,42	4,41	708,15
13	Suministro e instalación de Tubería y accesorios presión PVC 1"	m	41,66	5,73	238,66
				Total	15.809,57

Nota. La tabla muestra el presupuesto del sistema de captación de agua lluvia.

## Capítulo 5

### Conclusiones y Recomendaciones

#### Conclusiones

- Técnicamente es viable ya que el sistema permite almacenar un volumen anual de 573 m<sup>3</sup> que abastecería la demanda con una eficiencia de 88,39%. La inversión para el costo de implementación del sistema es 15.809,57 dólares, se considera que este proyecto tendrá una vida útil de 20 años. El ahorro de agua anual es de 504,24 dólares lo cual muestra que tendríamos un periodo de retorno de la inversión de 31 años por lo cual el proyecto no es económicamente viable.
- Los datos de precipitación recabados de la estación meteorológica del IASA que se encuentra a 8,56 km de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE fueron rellenados mediante el método de los promedios diarios y el método de regresión lineal y se validaron mediante el test de rachas, curva de doble masa y t de Student.
- La demanda diaria para abastecer el uso de inodoros en la residencia universitaria es de 1,74 m<sup>3</sup> y de 635,10 m<sup>3</sup> al año. La superficie de la terraza capaz de recoger el agua de lluvia es de 754,47 m<sup>2</sup> permite al sistema de captación con capacidad de 16 m<sup>3</sup> almacenar un volumen anual de 573 m<sup>3</sup>, que brinda un potencial de ahorro 88,39% en relación a la oferta y la demanda.
- Se implementó los sensores IoT en la residencia universitaria que recabaron información de las variables meteorológicas precipitación, humedad relativa y temperatura durante el periodo de un mes. Los datos fueron recolectados en tiempo real y subidos a la nube phpMyAdmin en internet. Se obtuvo una temperatura máxima promedio de 31,5°C, temperatura mínima promedio de 14,3°C y precipitación promedio de 5,4mm.

- El sistema diseñado de captación está compuesto por un tanque cisterna de 16 m<sup>3</sup> y un tanque superior 2 m<sup>3</sup> el cual posee un sistema de bombeo para la alimentación del tanque que se encuentra ubicado en la terraza. Este sistema funciona por gravedad y alimenta el sistema de filtración. Posteriormente el agua es distribuida a los inodoros de la residencia universitaria.

### **Recomendaciones**

- Para obtener datos significativos captados por los sensores IoT se debe extender por un periodo de tiempo superior a 1 año. Para realizar un análisis comparativo con los datos obtenidos de estaciones meteorológicas del INAMHI y verificar su confiabilidad.
- Se recomienda hacer el análisis económico para el sistema de captación de agua lluvia con un tanque de almacenamiento de 3 m<sup>3</sup> con una eficiencia del 86%, ya que resultaría un costo inferior y puede ser económicamente viable.
- Se debe tener en cuenta las condiciones socioeconómicas de la universidad, la accesibilidad y costo de los materiales, de los componentes del sistema de captación de agua lluvia además de la producción de agua que tendrá la implementación del sistema de captación.
- Para que este sistema de captación de agua lluvia garantice un buen funcionamiento durante su periodo de vida útil se tiene que realizar un mantenimiento periódicamente a sus componentes y proveer reparaciones respectivas en el caso de ser necesario.

## Capítulo 6

### Bibliografía

Silvia Núñez. (2020). Tipos de precipitaciones. *Ecología verde*. Obtenido de

<https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-precipitaciones-3086.html>

Acosta J. (2016). *Diseño de tanques automatizados para la reserva de aguas lluvias*.

Universidad Tecnológica de Pereira. Obtenido de

<https://core.ac.uk/download/pdf/84108317.pdf>

Aleksander Dietrichson. (2019). Métodos Cuantitativos. Obtenido de

<https://bookdown.org/dietrichson/metodos-cuantitativos/prueba-t-de-student-para-muestras-independientes.html>

Alonso Rodriguez. (2019). *Análisis de las series temporales a la luz de Deep Learning*. Real

Centro Universitario “Escorial-María Cristina” . Obtenido de

<http://www.rcumariacristina.net:8080/ojs/index.php/AJEE/article/view/395/pdf>

Anaya. (2009). *Antecedentes de la captación del agua lluvia*. CIDECALLI – CP. Obtenido de

<https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/investigacion-y-tecnologia-en-salud/inventarios/inventario-tecn-de-agua-de-consumo-humano/captacion-de-agua-para-consumo-humano/captando-agua-de-la-lluvia/presentacion-power-point/1852-antecedentes-de-la-capta>

Andrea Soledad Brendel, Vanesa Yael Bohn, María Cintia Piccolo. (2017). Variabilidad de la precipitación y su relación con los rendimientos agrícolas. *Creative Commons*

*Attribution*, LXXVIII(282), 1-29. doi:10.3989/estgeogr.201701

Andrés M. Alonso. (2005). *Introducción al Análisis de Series Temporales*. Obtenido de

<http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/amalonso/esp/seriestemporales.pdf>

Andrés Novoa, Fernando Guillén. (2018). *Desarrollo de una estación agro-meteorológica*.

- Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15601/1/UPS%20-%20ST003559.pdf>
- Andrés Sabas. (2016). Tecnología Inalámbricas para el IOT. SG 56. Obtenido de  
<https://sg.com.mx/revista/56/tecnologias-inalambricas-iot>
- Arevalo y Rodriguez. (2016). <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12676/1/UPS-CT006492.pdf>. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca. Obtenido de  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12676/1/UPS-CT006492.pdf>
- Azahara. (2018). *Qué es Smart Water*. Obtenido de <https://geographica.com/es/blog/que-es-smart-water/>
- Ballén. (2006). *Historia de los Sistemas de Aprovechamiento*. Obtenido de  
<http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/6serea/TRABALHOS/trabalhoH.pdf>
- Barrera V., J. S., Guzmán, F. A., & Valencia P., G. F. (2017). Diseño y construcción de una red IoT para el eficiente consumo de agua en el hogar. En E. Serna M., *DESARROLLO DE INNOVACIÓN EN INGENIERIA* (pág. 720). Bogotá, Colombia: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación IAI.
- Bentancourth J. y Echeverry J. (2017). *Sistema programable para el uso eficiente del recurso hídrico pluvial en una vivienda*. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira. Obtenido de  
<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/8506/00676B562.pdf;jsessionid=9A27C7A59D54E2DF1306B61723B3B38A?sequence=1>
- Cepal. (2017). *Diagnóstico de la Estadística del Agua en Ecuador*. Obtenido de  
<https://silo.tips/download/diagnostico-de-las-estadisticas-del-agua-en-ecuador-informe-final>
- Cisacad. (2021). *Introducción a IoT v2.0 Cuestionario del Capítulo 1 Respuestas*. Obtenido de <https://www.cisacad.net/introduccion-a-iot-v2-0-cuestionario-del-capitulo-1-respuestas/>
- Comisión Nacional del Agua. (2017). *Manual de Agua Potable*. Secretaría de Medio

Ambiente y Recursos Naturales. Obtenido de

[https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/CONAGUA%20s.f.%20Conducciones.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%20s.f.%20Conducciones.pdf)

Corporación de Cuencas de Tolima. (2014). *HIDROLOGIA*. Tolima. Obtenido de

[https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/POMCAS/2020/POMCA\\_RECIO\\_VE NADILLO/3\\_7\\_HIDROLOGIA\\_v04.pdf](https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/POMCAS/2020/POMCA_RECIO_VE NADILLO/3_7_HIDROLOGIA_v04.pdf)

Daniel Pérez, Redy Risco. (2019). Analysis of the implementation of LoRA and LoraWAN as a future. Obtenido de <https://www.usmp.edu.pe/campus/pdf/revista29/articulo10.pdf>

David Velandia, Andrés Ortiz. (2017). *Propuesta para la captación y uso de agua lluvia en las instalaciones de la universidad*. UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA.

Obtenido de

[https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15502/1/5\\_TRABAJO%20DE%20GRADO..pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15502/1/5_TRABAJO%20DE%20GRADO..pdf)

Decreto Supremo. (1979). *Ley del instituto Nacional de Meteorología e Hidrología*. Obtenido de [https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-10/LEY_DEL_INSTITUTO_NACIONAL_DE_METEOROLOG%3%8DA.pdf)

[10/LEY\\_DEL\\_INSTITUTO\\_NACIONAL\\_DE\\_METEOROLOG%3%8DA.pdf](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-10/LEY_DEL_INSTITUTO_NACIONAL_DE_METEOROLOG%3%8DA.pdf)

Enrique Cisneros . (2020). *Tanque de almacenamiento de agua de lluvia*. Obtenido de

<https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/tanque-de-almacenamiento-de-agua-de-lluvia-->

Enrique Ríos. (2010). *Incidencia de la variabilidad climática en los caudales mínimos del Ecuador*. Escuela Politécnica Nacional, Quito. Obtenido de

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1538/1/CD-2721.pdf>

F Villareal. (2016). Métodos estadísticos para la estimación de ingresos. Obtenido de

[http://www.cca.org.mx/funcionarios/biblioteca/html/finanzas\\_publicas/documentos/3/m3\\_metodos.pdf](http://www.cca.org.mx/funcionarios/biblioteca/html/finanzas_publicas/documentos/3/m3_metodos.pdf)

Francisco Gonzaga. (2015). *Diseño de un sistema de captación de agua lluvia para uso doméstico*. Universidad Técnica de Machala, Machala. Obtenido de

<http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/3115/1/SISTEMA%20DE%20CA>

PTACION%20DE%20AGUA%20LLUVIA.pdf

Frost A. (2011). *Antecedentes de la captación del agua lluvia*. Cidecalli. Obtenido de <https://docplayer.es/71271583-Antecedentes-de-la-captacion-del-agua-de-lluvia-ing-alberto-frost-restori.html>

Geek Factory. (2021). Obtenido de <https://www.geekfactory.mx/tienda/sensores/dht22-sensor-de-temperatura-y-humedad/>

Gonzaga. (2015). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA PARA USO*. UTMACH. Obtenido de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/3115/1/SISTEMA%20DE%20CAPTACION%20DE%20AGUA%20LLUVIA.pdf>

Gonzaga G. (2015). *Diseño de un sistema de captación de agua lluvia para uso domestico de la isla de Jambeli*. Obtenido de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/3115/1/SISTEMA%20DE%20CAPTACION%20DE%20AGUA%20LLUVIA.pdf>

Hidropluviales. (2018). *Captación agua de lluvia*. Obtenido de <https://hidropluviales.com/2018/07/05/captacion-agua-de-lluvia-2/>

Hugo Grossi Gallegos. (2020). *Energías Renovables y Medio Ambiente*. 33. Obtenido de <http://portalderevistas.unsa.edu.ar/ojs/index.php/erma/article/view/1447/1398>

IDEAM. (2018). *METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA VARIABLES MEOROLOGICAS*.

IDEAM. (2018). *Metodología de la operación estadística variables meteorológicas*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/11769/72085840/Documento+metodologico+variables+meteorologicas.pdf/8a71a9b4-7dd7-4af4-b98e-9b1eda3b8744>

Irene Moral Peláez. (2014). *Modelos de regresión: lineal simple y regresión logística*. Obtenido de <https://www.revistaseden.org/files/14-cap%2014.pdf>

Jairo Sánchez. (s.f.). *Control de apertura y cierre de las puertas de garage a través del internet*. Escuela Politécnica Nacional, Quito. Obtenido de

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20946/1/CD%2010470.pdf>

Jetstream, N. N. (2019).

<https://es.khanacademy.org/science/biology/ecology/biogeochemical-cycles/a/the-water-cycle>. *khanacademy*. Obtenido de

<https://es.khanacademy.org/science/biology/ecology/biogeochemical-cycles/a/the-water-cycle>

M Bianco. (2013). Modelo Lineal A. Obtenido de

[http://cms.dm.uba.ar/academico/materias/1ercuat2013/modelo\\_lineal/teoricas/ML\\_Parte%209\\_2013.pdf](http://cms.dm.uba.ar/academico/materias/1ercuat2013/modelo_lineal/teoricas/ML_Parte%209_2013.pdf)

Mario Guallpa. (2013). *Slidesahre*. Obtenido de

<https://es.slideshare.net/InfoAndina/introduccion-a-las-variables-meteorologicas-evapotranspiracion>

Marta Paris, L. S. (2018). SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA PARA CONSUMO HUMANO, SINÓNIMO DE AGUA SEGURA. *revista del Programa Hidrológico Internacional para América Latina y Caribe*, 10(1), 15-25. Obtenido de <http://aqua-lac.org/index.php/Aqua-LAC/article/view/187/165>

Ministerio de Salud Pública y asistencia Social. (2006). *Tratamiento y desinfección de agua para consumo humano por medio de cloro*. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, Departamento de Regulación de los Programas de la Salud y Ambiente, Guatemala. Obtenido de

<http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0214/doc0214.pdf>

Mirjana et.al. (2020). *Uso de tecnologías de la 4RI en agua y saneamiento en América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo. Obtenido de

<https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Uso-de-tecnologias-de-la-4RI-en-agua-y-saneamiento-en-America-Latina-y-el-Caribe.pdf>

Naciones Unidas. (2019). *Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos*. Obtenido de

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>

- Novoa. (2018). *DESARROLLO DE UNA ESTACIÓN AGRO-METEOROLÓGICA*. Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Quito. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15601/1/UPS%20-%20ST003559.pdf>
- OMS. (2018). *Guías para la calidad del*. Obtenido de <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1>
- Organización Mundial de la Salud. (2017). Obtenido de <https://www.who.int/es/news/item/13-12-2017-world-bank-and-who-half-the-world-lacks-access-to-essential-health-services-100-million-still-pushed-into-extreme-poverty-because-of-health-expenses>
- Palacios N. (2010). *Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas Antioquía*. Universidad de Antioquia. Obtenido de <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/1325/1/PropuestaSistemaAprovechamientoAguaLluvia.pdf>
- Paul Pickering. (2017). Desarrollar con LoRa para aplicaciones IoT de baja tasa y largo alcance. *Digi-key*. Obtenido de <https://www.digikey.com/es/articles/develop-lora-for-low-rate-long-range-iot-applications>
- Perez R. (2010). *Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Perez, Sierra, Casagrande, Vergara, Berna. (2003). Comportamiento de las precipitaciones (1918/2000) en el centro oeste de la provincia de Buenos Aires . *Rev.Fac. Agronomía*, 14(1/2), 1-8. Obtenido de <https://cerac.unlpam.edu.ar/index.php/semiarida/article/view/4643/4783>
- Pino D. (2008). *Captación de agua de lluvia, alternativa*. Instituto Politécnico Nacional . Obtenido de <http://www.conama10.conama.org/conama10/download/files/CT%202010/41008.pdf>

- Reyes C. (2014). *Descripción de Iso sistemas de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias*. Universidad Católica de Colombia. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2089/1/Recoleccion-aguas.pdf>
- Rolando M. (2019). Obtenido de <https://www.pinterest.com.mx/pin/249035054370383188/?autologin=true>
- Rotoplas. (2018). *Cómo funciona un sistema de captación de agua de lluvia*. Obtenido de <https://rotoplas.com.mx/como-funciona-un-sistema-de-captacion-de-agua-de-lluvia/>
- Solis H. (2019). *"La contaminación y sobreexplotación del agua son dos grandes retos de América Latina"*. Senagua. Obtenido de <https://www.iagua.es/noticias/senagua/h-solis-contaminacion-y-sobreexplotacion-agua-son-dos-grandes-retos-america-latina>
- Tapia P. (2020). *Tecnologías y servicios en ciudades inteligentes desde una perspectiva de negocios*. USMP, Lima. Obtenido de [https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/7394/tapia\\_mpv.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/7394/tapia_mpv.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Teresa Villagarcía. (2018). *Series Temporales*. Obtenido de <https://www.pacorabadan.com/wp-content/uploads/2019/11/Apuntes-de-series.pdf>
- Torres, R. (2019). La captación del agua de lluvia como solución en el pasado y el. *SCIELO*, 40(2), 127-128. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v40n2/1680-0338-riha-40-02-125.pdf>
- Van J. (2013). *Captación y almacenamiento de agua lluvia*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/i3247s/i3247s.pdf>

**Anexos**