



# Sistema de monitoreo inteligente de consumo de agua

Autor:

Ing. Paolo Gonzalo Bazán Hernández

Director:

Mg. Ing. José Antonio Espinoza Aldave (FIUBA)

Codirector:

Ing. Ricardo Valega Márquez (ID4)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos  
entre el 21 de octubre de 2021 y el 09 de diciembre de 2021.*

## Índice

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar . . . . .	5
2. Identificación y análisis de los interesados . . . . .	8
3. Propósito del proyecto . . . . .	8
4. Alcance del proyecto . . . . .	9
5. Supuestos del proyecto. . . . .	10
6. Requerimientos . . . . .	10
7. Historias de usuarios ( <i>Product backlog</i> ). . . . .	11
8. Entregables principales del proyecto . . . . .	13
9. Desglose del trabajo en tareas . . . . .	13
10. Diagrama de Activity On Node. . . . .	14
11. Diagrama de Gantt . . . . .	16
12. Presupuesto detallado del proyecto . . . . .	19
13. Gestión de riesgos . . . . .	19
14. Gestión de la calidad . . . . .	21
15. Procesos de cierre . . . . .	24

## Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento	21/10/2021
1	Se completa hasta el punto 1 inclusive	04/11/2021
2	Se completa hasta el punto 9 inclusive y correcciones de rev.1	11/11/2021
3	Se completa hasta el punto 12 inclusive y correcciones de rev.2	21/11/2021
4	Se completa hasta el punto 15 inclusive, correcciones de rev.3 y observaciones de directores	28/11/2021
5	Se completa correcciones de rev.4	03/12/2021

## Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 21 de octubre de 2021

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Paolo Gonzalo Bazán Hernández que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Internet de las Cosas se titulará “Sistema de monitoreo inteligente de consumo de agua”. Consistirá en la implementación de un prototipo de un sistema de control del flujo de agua de un punto de salida, y tendrá un presupuesto preliminar estimado de 660 hs de trabajo y USD 8208, con fecha de inicio 21 de octubre de 2021 y fecha de presentación pública 15 de octubre de 2022.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Ariel Lutenberg  
Director posgrado FIUBA

Marleny López Machuca  
Cliente particular

Mg. Ing. José Antonio Espinoza Aldave  
Director del Trabajo Final

Ing. Ricardo Valega Márquez  
Co-Director del Trabajo Final

## 1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

### Situación problemática

En un estudio llevado a cabo por el Centro de Resiliencia de Estocolmo publicado en el 2009, se identificó que el planeta Tierra tiene nueve límites, procesos o parámetros interconectados que son determinantes para mantener la estabilidad del planeta. De cruzar estos límites, se afectará el equilibrio vital con consecuencias y cambios irreversibles que pueden desencadenar el colapso de nuestra sociedad.

Uno de estos parámetros es el uso del agua dulce. Si bien la Tierra tiene mucha agua, la gran parte es salada y solo el 2.5 % es dulce. Este porcentaje es cada vez menor por el cada vez mayor uso de la agricultura, que representa el 70 % del total de agua dulce. Por otro lado, esta tasa va incrementándose anualmente por el crecimiento poblacional. Por lo tanto, es indispensable promover una cultura de ahorro de este líquido vital.

El mundo no está en camino de alcanzar el Objetivo de Desarrollo Sostenible núm. 6 sobre agua y saneamiento, fijado por la ONU en 2015. Existe una crisis mundial de agua.

El artículo "Avances Climáticos: el camino al COP26 y más allá" del *World Economic Forum* señala algunos temas críticos al respecto:

- En el ámbito humano y social, aproximadamente una de cada cuatro personas en el mundo no tiene acceso a agua potable administrada de forma segura en el hogar, y en solo unos pocos años aproximadamente dos tercios de la población mundial podrían enfrentar escasez de agua.
- En el ámbito económico, hace referencia a un informe que menciona que la escasez de agua será la mayor amenaza relacionada con el clima para los activos corporativos como las fábricas en las próximas décadas.
- La falta de agua está desencadenando conflictos violentos en distintas latitudes y creando nuevos migrantes y refugiados.

Según diversos artículos, existen seis causantes de la crisis mundial del agua:

1. Sobrepoblación
2. Ganadería
3. Cambio climático
4. Agua contaminada
5. Fugas
6. Industria

El enfoque del proyecto es atender la problemática de la quinta causal y cómo IoT puede contribuir a minimizar este aspecto. Como se resalta en la figura 1 del *World Economic Forum*, las tecnologías emergentes pueden ayudar a frenar el desperdicio de agua y monitorear mejor los sistemas de agua.

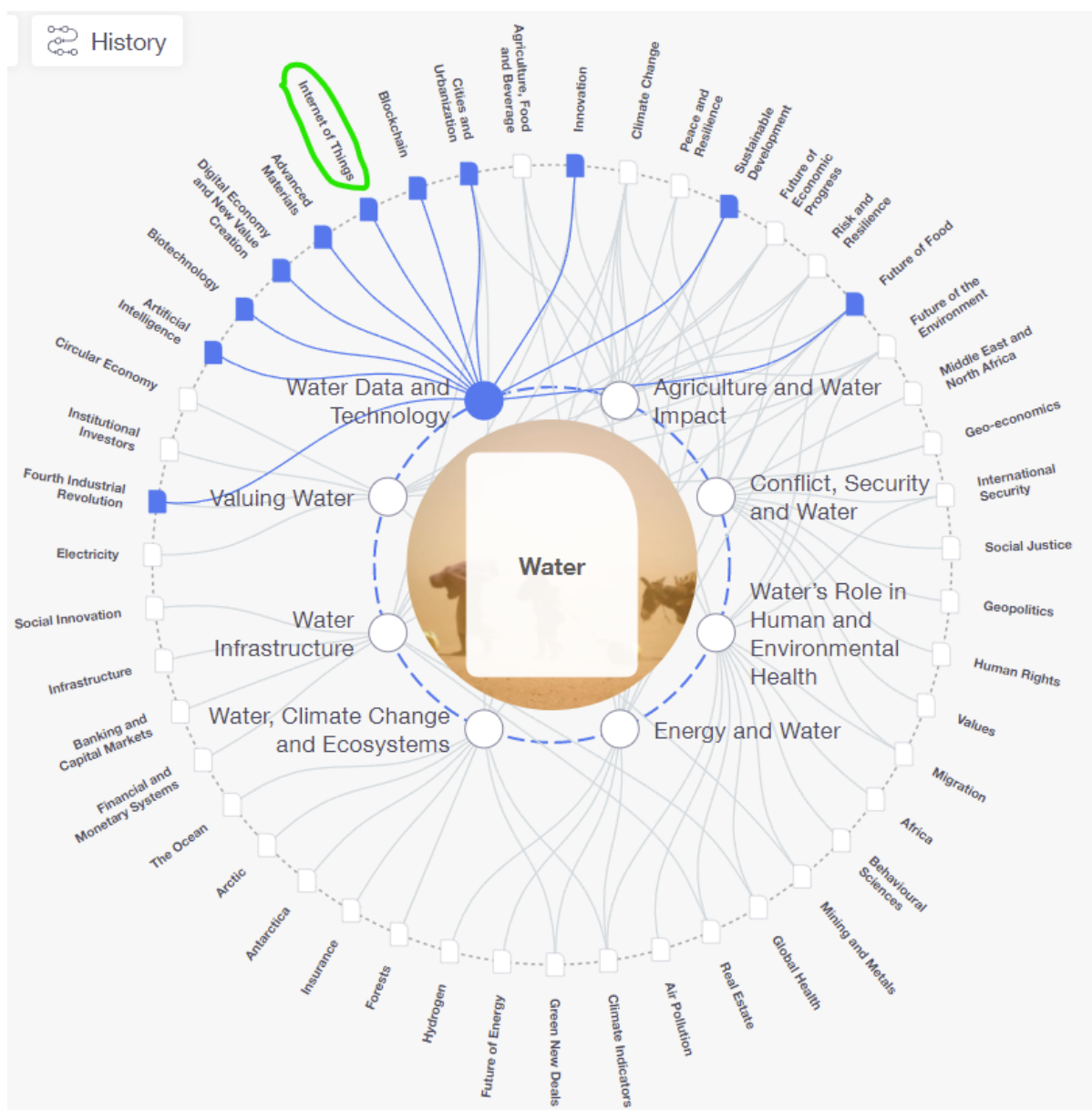


Figura 1. Diagrama del *World Economic Forum* sobre los aspectos del agua en el mundo de hoy. Se hace énfasis en su relación de las tecnologías emergentes.

En las ciudades, con la complejidad de las redes urbanas de agua potable y la multiplicación de puntos de agua, también se incrementan las fugas por agrietamiento o rotura de las tuberías. Se estima que estos eventos representan un 20 % del agua perdida. Ante eventos de esta naturaleza, dependiendo de la magnitud de la fuga, si se tratara por ejemplo, de la rotura de la tubería alimentadora de una casa, la inundación será advertida rápidamente por sus residentes. Sin embargo, si las fugas fueran ligeras, será difícil tener una detección temprana. Por lo tanto, las acciones correctivas tomarán tiempo en ejecutarse.

Para un mejor entendimiento, se puede hacer un cálculo sencillo para identificar la cantidad de agua que se podría desperdiciar en un hogar que tuviera un solo punto de agua defectuoso, y que pierda 30 gotas por minuto. Este ritmo podría pasar inadvertido por el propietario, pero sí logrará perder alrededor de 43200 gotas al día, lo que equivale a 10 litros. Anualizado este cálculo, se llega a 3650 litros al año de agua perdida.

La necesidad principal a satisfacer en el mercado es la carencia de información en tiempo real que permita la rápida atención de fugas y prevenga el desperdicio de agua potable en los hogares u organizaciones.

### **Solución planteada en proyecto a realizar**

El proyecto busca construir un prototipo de sistema que permita el control del consumo de agua potable y la detección de fugas en redes caseras o residenciales.

El proyecto propuesto se abordará con un sensor inalámbrico de caudal de agua que permita la lectura del caudal que pasa por el punto monitoreado. Los datos deberán ser enviados a través del protocolo MQTT para su almacenamiento en una base de datos. En el frente de visualización de la información, se propone la creación de una aplicación que permita mostrar el flujo de agua en el punto monitoreado, así como su consumo acumulado durante un período de tiempo definido.

El principal desafío del presente proyecto es la identificación del sensor que permita la correcta medición del flujo de agua. En el mercado existe disponibilidad de contadores de caudal de agua. Sin embargo, se trata de sensores intrusivos, ya que requieren alterar la plomería para incorporarlos. Se busca que el proyecto no sea intrusivo para una fácil utilización. Para lograr este objetivo, se necesitará usar dispositivos que utilicen la técnica de ultrasonido, que si bien existen en el mercado, no lo hace de forma masiva.

Los contadores inteligentes de caudal de agua poseen tecnología madura que las empresas que gestionan el agua potable en las ciudades, como AySA, irán desplegando paulatinamente. A mediano/largo plazo, estos dispositivos enviarán la información en tiempo real a sus sistemas centrales y eventualmente, se compartirá con los usuarios finales.

La motivación del presente proyecto es poder brindar al mercado una herramienta económica para la medición de caudal en tiempo real. Esta solución podrá estar disponible para hogares, organizaciones o para quienes brinden servicios relacionados. Se podrá conocer de forma temprana el consumo actual y detectar, basándose en comparación de consumos anteriores, fugas de agua potable.

En la figura 2 se presenta el diagrama a alto nivel de la solución.

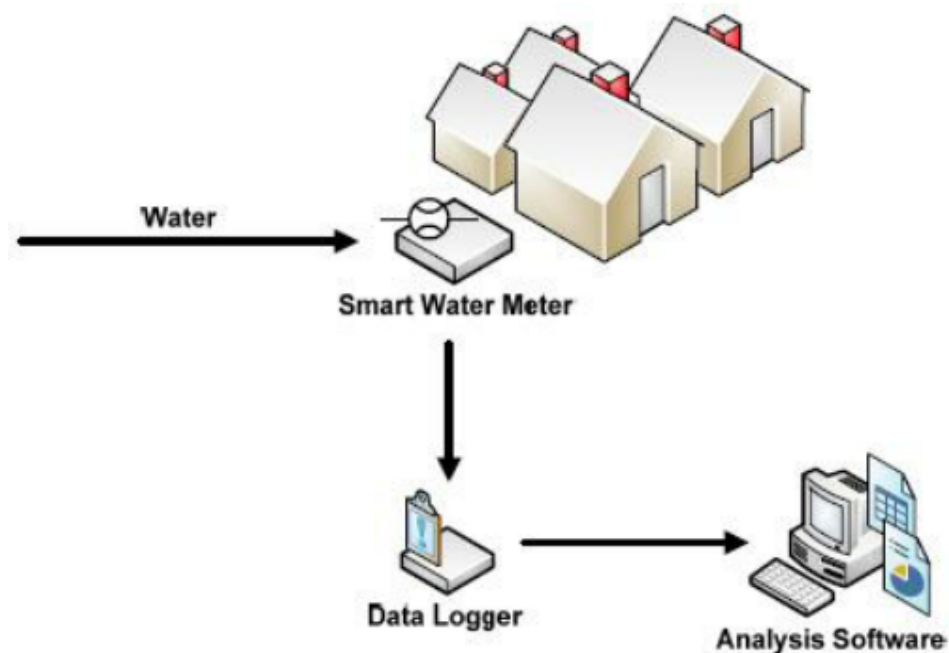


Figura 2. Diagrama a alto nivel de la solución.

## 2. Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Cliente	Marleny López Machuca	Cliente particular	—
Responsable	Ing. Paolo Gonzalo Bazán Hernández	FIUBA	Alumno
Orientador	Mg. Ing. José Antonio Espinoza Aldave	FIUBA	Director
Colaborador	Ing. Ricardo Valega Márquez	ID4	Co-director

- Orientador: posee conocimiento y experiencia en soluciones TI que ayudará en la estrategia y definición de los objetivos del proyecto. Cuenta con escaso tiempo disponible. Se deberán planificar reuniones con anticipación de 15 días.
- Colaborador: posee conocimiento y experiencia en soluciones IoT que ayudará en los conceptos y aspectos técnicos del proyecto. Cuenta con escaso tiempo disponible. Se deberán planificar reuniones con anticipación de 15 días.

## 3. Propósito del proyecto

El propósito del proyecto es la construcción de un prototipo de sistema que permita el control del consumo de agua potable y la detección de fugas en redes caseras o empresariales.

A través de una solución profesional, simple y práctica, se busca minimizar la falta de información en tiempo real de la pérdida de agua que existe en los hogares y eventualmente a



industrias y otros sectores. Esto podrá contribuir, en algo, a la sensibilización de estas pérdidas del líquido vital.

A nivel académico, el propósito es mejorar el conocimiento sobre sensorización de caudal de fluidos, específicamente de agua. Se busca ampliar el conocimiento en la integración de los componentes de medición, protocolos de comunicación y servicios de software que pongan en valor la información sobre el consumo de agua potable.

#### 4. Alcance del proyecto

El presente proyecto tiene como alcance:

1. Diseño, identificación e implementación de prototipo de solución de telemetría para medición de caudal de agua en una tubería residencial de hasta 1" de diámetro:
  - Que esté basada en utilización de sensores de medición de caudal de agua con tecnología ultrasónica.
  - Donde los sensores no sean instalados "en línea" en la tubería o cañería, sino que sean instalados de forma no intrusiva, es decir, sin intervenirla.
  - En la que la comunicación hacia la solución de software sea inalámbrica, utilizando preferentemente protocolo Wi-Fi.
2. Diseño y construcción de un prototipo de software para la captura y procesamiento de datos que estará basado en tecnología de contenedores.
3. Diseño y construcción de un prototipo de software front-end para la presentación de datos en tiempo real y de forma histórica.

El presente proyecto no incluye:

- Detección de caudal de otro tipo de fluidos.
- Inclusión de servicios de nube.
- Gestión de analítica de datos.

**Beneficios.** Los beneficios de este producto son:

- Instrumento no intrusivo a la cañería.
- Dispositivo ligero y manejable.
- Rápida programación e instalación.
- Amplia aplicación en cañerías hasta de 1" ubicables en distintos sectores.
- Detección de flujo de agua en tiempo real.

## 5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- Se dispondrá de tiempo suficiente para el cumplimiento de los objetivos y entregables.
- Se dispondrá de los recursos económicos suficientes para la adquisición de los materiales necesarios para la construcción del prototipo y software asociado.
- Se dispondrá de los recursos técnicos suficientes y oportunamente para la construcción del prototipo en tiempo y forma.
- Se dispondrá de orientación oportuna por parte de todos los involucrados de acuerdo a su rol.
- Los niveles de precisión de los dispositivos de telemetría elegidos están dentro del rango del 95 %.
- Se dispondrá de red inalámbrica Wi-Fi con nivel de recepción de señal aceptable (-60 dBm).

## 6. Requerimientos

Los requerimientos del proyecto serán listados de acuerdo al siguiente criterio:

- Su clasificación será: funcionales, interfases, testing y documentación.
- La prioridad de los requerimientos se listan de mayor a menor.
- El cumplimiento de estos requerimientos es mandatorio, salvo se especifique si fuera opcional.

### 1. Requerimientos funcionales:

- 1.1. La conexión de los dispositivos debe ser de forma inalámbrica.
- 1.2. Los dispositivos de medición de caudal de agua deberán usar tecnología ultrasónica.
- 1.3. El sistema debe atender las salidas de agua de servicios higiénicos y/o de tuberías de hasta 1".
- 1.4. La transmisión de datos debe ser ligera y debe consumir baja energía.
- 1.5. El software embebido debe poder encapsularse en un contenedor docker.
- 1.6. El sistema debe incluir notificaciones que permitan alertar a usuarios de la alteración del caudal cuando supere el 10 % al promedio histórico.
- 1.7. Los sensores deberán conectarse a una red de forma predeterminada.
- 1.8. Opcionalmente, el sistema debe tener capacidad portátil para conexión de datos, alimentación eléctrica e instalación de plomería.
- 1.9. Opcionalmente, el sistema debe adecuarse a los lineamientos establecidos en la ISO 30141:2018.

### 2. Requerimientos de interfases:

- 2.1. La aplicación debe funcionar en los navegadores web Chrome y Mozilla.
  - 2.2. La aplicación web debe funcionar de forma responsiva en dispositivos Android e iOS.
  - 2.3. La aplicación web debe permitir el registro de ubicación del sensor y asociarla con la colección de datos.
  - 2.4. La aplicación web debe mostrar el caudal de agua de cada sensor en tiempo real.
  - 2.5. La aplicación web debe mostrar el caudal histórico de cada sensor y el promedio de los últimos 7 días.
  - 2.6. Opcionalmente, el sistema tendrá control de accesos configurable.
3. Requerimientos de testing:
- 3.1. El aplicativo web tendrá un banco de pruebas unitarias para aseguramiento de calidad y funcionamiento.
  - 3.2. El dispositivo de telemetría tendrá un banco de pruebas unitarias para aseguramiento de calidad y funcionamiento.
  - 3.3. El sistema en general tendrá un banco de pruebas integrables.
4. Requerimientos de documentación:
- 4.1. Documentación con arquitectura tecnológica y funcional.
  - 4.2. El sistema debe contar con documentación de cobertura de señal.
  - 4.3. El sistema debe incluir documentación con estudio de parámetro para medición de caudal de agua usando sensores ultrasónicos.
  - 4.4. Desarrollo web deberá estar documentado bajo el método de anotaciones.
  - 4.5. Documentación de plan de pruebas y resultados.
  - 4.6. Video demostrativo de uso del prototipo.
  - 4.7. Informe final.
  - 4.8. Se utilizará un sistema de control de versiones.

## 7. Historias de usuarios (*Product backlog*)

A continuación se listan las historias de usuario y su ponderación, que es un número entero que representa el tamaño de la historia comparada con otras historias de similar tipo. Está basada en la serie de Fibonacci.

Los criterios para la ponderación son los siguientes:

#	Criterio	Peso
1	<b>Dificultad del trabajo a realizar</b>	
	Bajo	1
	Medio	3
	Alto	5
2	<b>Complejidad del trabajo a realizar</b>	
	Bajo	1
	Medio	5
	Alto	13
2	<b>Riesgo-incertidumbre del trabajo a realizar</b>	
	Bajo	1
	Medio	5
	Alto	13

Las historias de usuario son las siguientes:

- Como usuario final quiero que la medición del caudal sea lo más precisa posible para tener confianza en la solución y compararla con mediciones de la empresa de suministro de agua.
  - Dificultad : 5
  - Complejidad : 8
  - Riesgo : 13
  - Total : 26
  - **Story Points : 34**
- Como usuario final quiero que la aplicación web sea responsiva para que sea usada desde computadoras y móviles.
  - Dificultad : 3
  - Complejidad : 8
  - Riesgo : 5
  - Total : 16
  - **Story Points : 21**
- Como usuario final deseo que la solución proporcione información histórica por ubicación del sensor para poder comparar con consumos pasados.
  - Dificultad : 4
  - Complejidad : 10
  - Riesgo : 7
  - Total : 21
  - **Story Points : 21**
- Como usuario final deseo que la solución notifique ante alteración del patrón de consumo cuando se desvíe en al menos un 10 % respecto al consumo histórico para tener una alerta temprana de posibles fugas.
  - Dificultad : 5
  - Complejidad : 15

- Riesgo : 10
- Total : 30
- ***Story Points : 34***

5. Como usuario final deseo que la solución sea portátil para poder moverla a distintos ambientes.

- Dificultad : 4
- Complejidad : 5
- Riesgo : 13
- Total : 24
- ***Story Points : 34***

## 8. Entregables principales del proyecto

Los entregables del proyecto son:

- Prototipo final de solución.
- Aplicación web implementada.
- Documentación del proyecto:
  - Diagrama de arquitectura de solución.
  - Diagrama de circuitos esquemáticos.
  - Código fuente del software.
  - Diagrama de instalación.
  - Memoria técnica final.

## 9. Desglose del trabajo en tareas

### 1. Planificación del proyecto: 40 hs

- 1.1. Elaboración del plan de proyecto (20 hs).
- 1.2. Análisis de factibilidad (10 hs).
- 1.3. Validaciones de calidad (10 hs).

### 2. Investigación inicial: 60 hs

- 2.1. Investigación sobre sensores de medición de flujo de agua con tecnología ultrasónica (30 hs).

2.2. Indagación sobre nivel de programación de sensores identificados (20 hs).

2.3. Proceso de adquisición de sensores (10 hs).

### 3. Diseño de arquitectura de solución: 60 hs

3.1. Arquitectura tecnológica (15 hs).

3.2. Arquitectura de aplicación (20 hs).

3.3. Arquitectura de integración (10 hs).

3.4. Arquitectura de datos (15 hs).

### 4. Desarrollo de aplicación web: 150 hs

4.1. Desarrollo front end (50 hs).

4.2. Desarrollo back end (60 hs).

4.3. Pruebas unitarias de aplicación (30 hs).

4.4. Habilitación de infraestructura (10 hs).

### 5. Desarrollo de sistema embebido: 150 hs

5.1. Desarrollo de algoritmo de medición de caudal de agua (50 hs).

5.2. Desarrollo de algoritmo de comunicaciones (40 hs).

5.3. Encapsulamiento de aplicación en contenedores (20 hs).

5.4. Pruebas unitarias de sistema embebido en dispositivo de telemetría (40 hs).

### 6. Integración y pruebas integrales: 100 hs

6.1. Integración de componentes (40 hs).

6.2. Pruebas integrales de sistema y corrección de errores (60 hs).

### 7. Elaboración de documentación: 100 hs

7.1. Confección de memoria técnica (60 hs).

7.2. Informes de avance (20 hs).

7.3. Presentación de defensa (20 hs).

**Cantidad total de horas: 660 hs**

## 10. Diagrama de Activity On Node

El proyecto tiene dos líneas de actividades paralelas, que son:

- Actividades de planeamiento, diseño, desarrollo de aplicación web y back-end.
- Actividades asociadas a la investigación, adquisición de sensores y desarrollo del sistema embebido.

La ruta crítica incluye la primera línea de actividades, aquellas de mayor complejidad y dificultad, hasta el final del proyecto.

Se presenta el diagrama de *Activity On Node* a partir del WBS definido en la etapa anterior. Las unidades mostradas en la gráfica están expresadas en **horas** y la ruta crítica se muestra con las flechas azules.

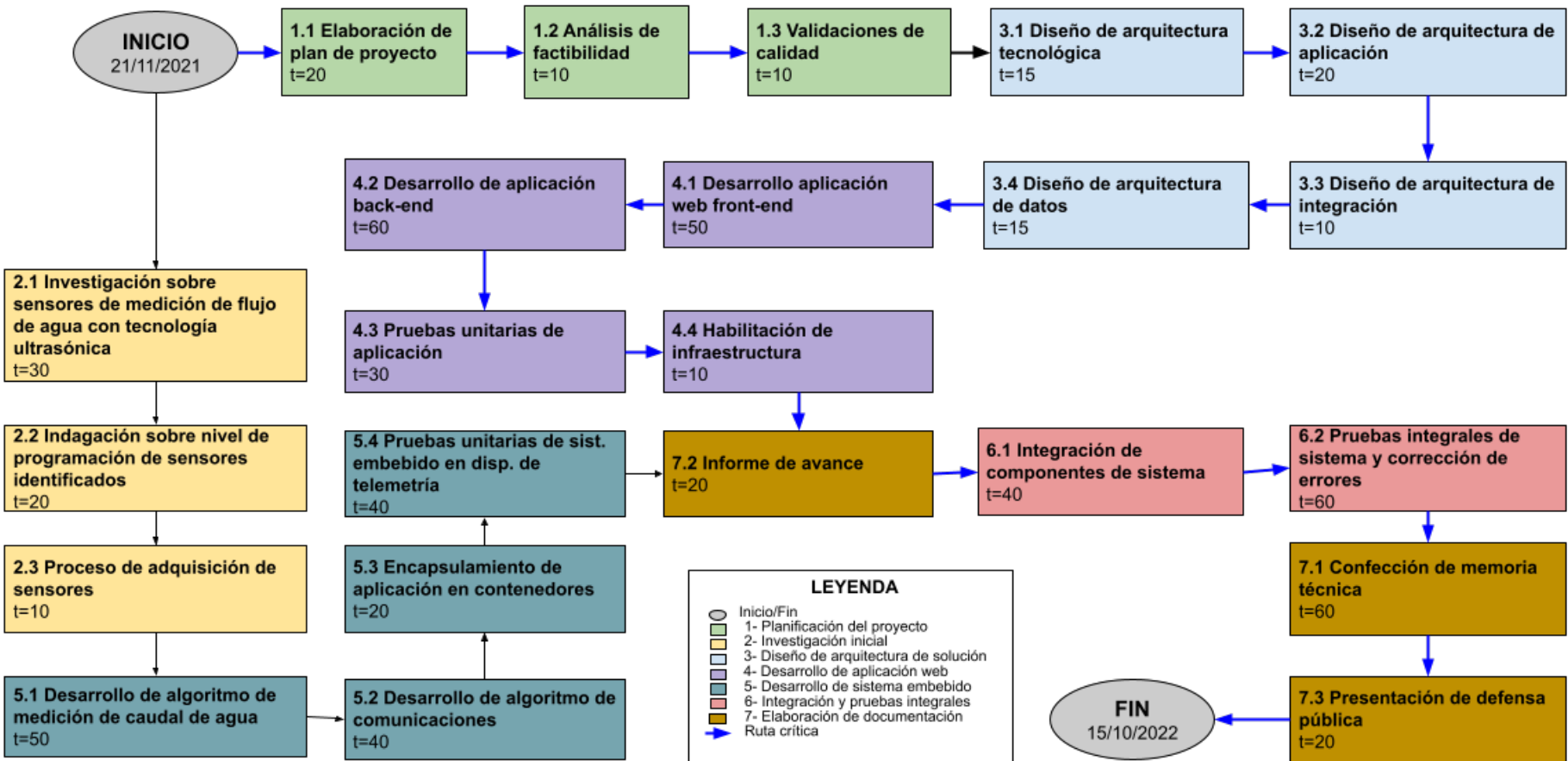


Figura 3. Diagrama en *Activity on Node*.

## 11. Diagrama de Gantt

A continuación en la figura 4 se listan las actividades con las fechas de inicio y fin establecidas para el proyecto. Se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- La asignación de un (01) recurso de tipo desarrollador.
- El trabajo diario será de tres (03) horas por seis (06) días por semana.
- Vacaciones desde el 15 de diciembre de 2021 al 28 de febrero de 2022 y desde el 11 al 22 de julio de 2022.

Actividad	Fecha inicio	Fecha fin
Proyecto Trabajo Final	21/10/2021	15/10/2022
Planificación del proyecto	21/10/2021	16/11/2021
Elaboración del plan de proyecto	21/10/2021	3/11/2021
Análisis de factibilidad	4/11/2021	10/11/2021
Validaciones de calidad	11/11/2021	16/11/2021
Investigación inicial	21/10/2021	29/11/2021
Investigación sensores ultrasónicos de medición de flujo de agua	21/10/2021	9/11/2021
Indagación programación de sensores	10/11/2021	22/11/2021
Proceso de adquisición	23/11/2021	29/11/2021
Diseño de arquitectura de solución	17/11/2021	15/12/2021
Diseño de arquitectura tecnológica	17/11/2021	26/11/2021
Diseño de arquitectura de aplicación	27/11/2021	3/12/2021
Diseño de arquitectura de integración	4/12/2021	10/12/2021
Diseño de arquitectura de datos	11/12/2021	15/12/2021
Desarrollo de aplicación web	16/12/2021	11/06/2022
Desarrollo front-end	16/12/2021	30/03/2022
Desarrollo back-end	31/03/2022	11/05/2022
Pruebas unitarias de aplicación	12/05/2022	1/06/2022
Habilitación de infraestructura	2/06/2022	11/06/2022
Llegada de HW	12/03/2022	12/03/2022
Desarrollo de sistema embebido	12/03/2022	9/06/2022
Desarrollo de algoritmo medición de caudal	12/03/2022	15/04/2022
Desarrollo de algoritmo de comunicaciones	16/04/2022	13/05/2022
Encapsulamiento de aplicación en contenedores	14/05/2022	27/05/2022
Pruebas unitarias de sist embebido	28/05/2022	9/06/2022
Integración y pruebas integrales	19/06/2022	4/08/2022
Integración de componentes de sistema	19/06/2022	2/07/2022
Pruebas integrales y corrección de errores	3/07/2022	4/08/2022
Documentación	12/06/2022	15/10/2022
Informe de avance 4B	12/06/2022	18/06/2022
Presentación de Avance 4B	19/06/2022	19/06/2022
Confección memoria técnica	5/08/2022	24/08/2022
Elaboración Presentación defensa pública	25/08/2022	31/08/2022
Presentación defensa pública	16/10/2022	16/10/2022

Figura 4. Diagrama de listado de actividades.

En las figuras 5 y 6 se muestra el diagrama de Gantt realizado para el proyecto.



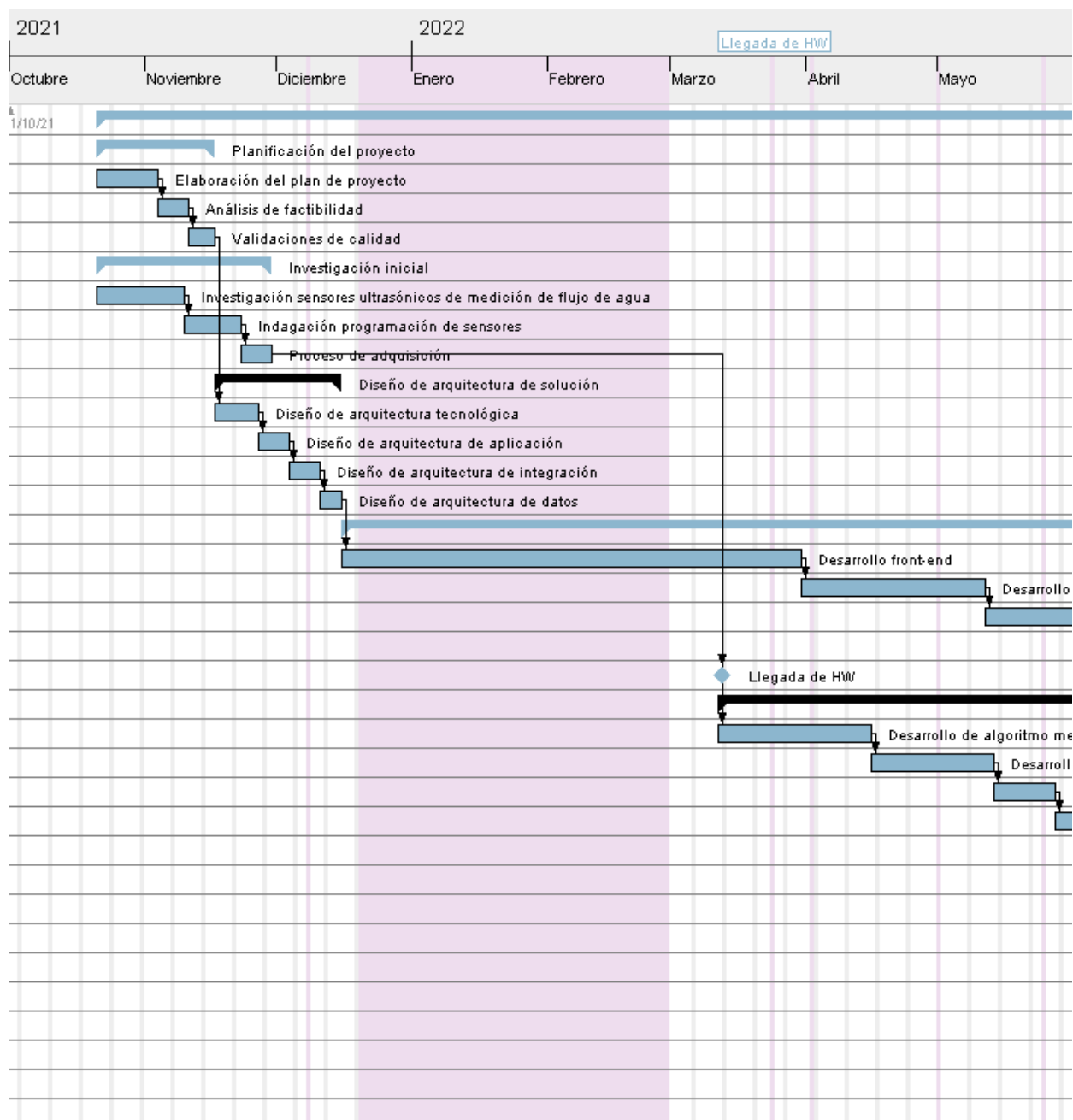


Figura 5. Diagrama de Gantt: octubre 2021 - mayo 2022.

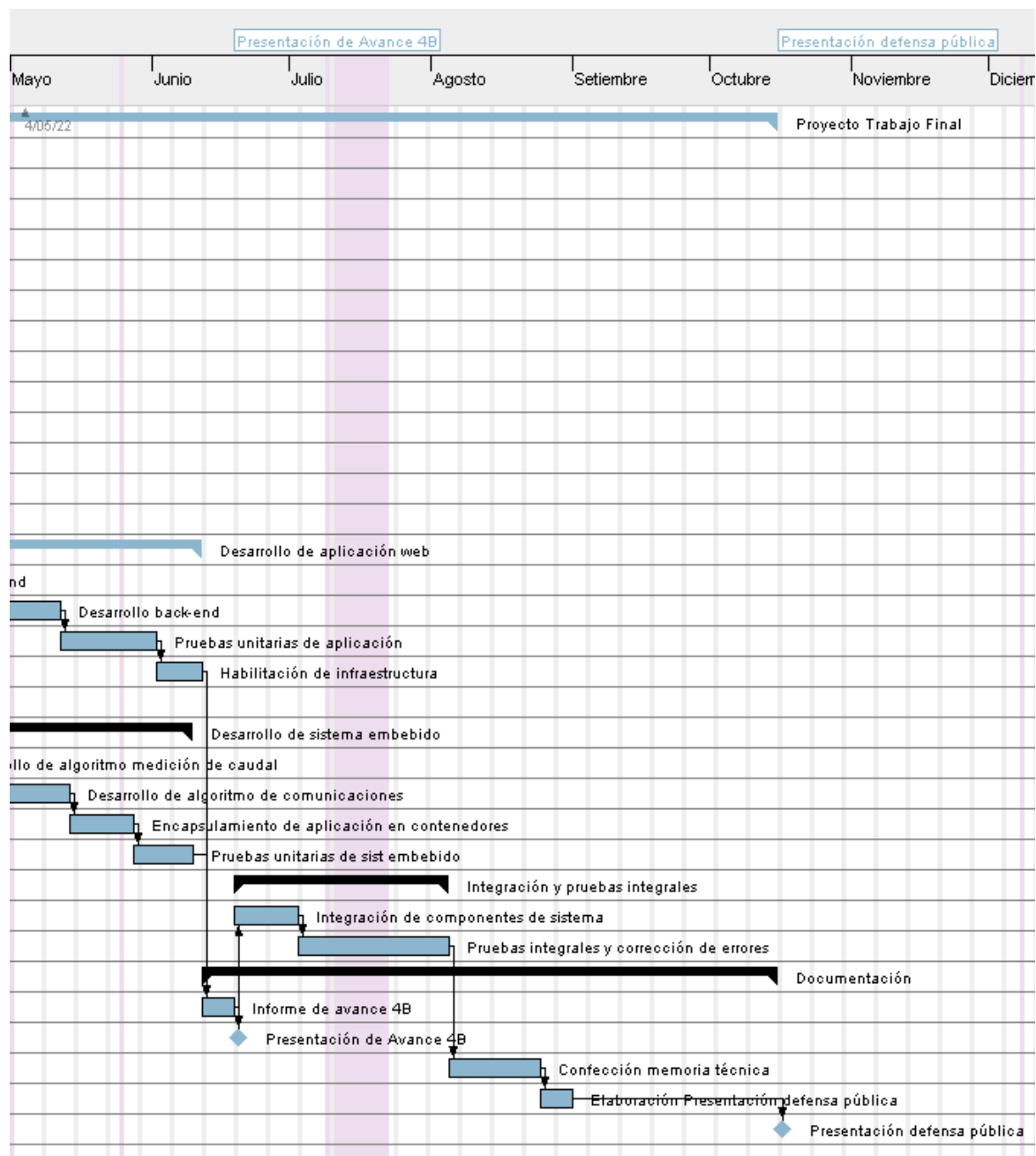


Figura 6. Diagrama de Gantt: mayo - diciembre 2022.

## 12. Presupuesto detallado del proyecto

Se presenta el presupuesto del proyecto. Está expresado en dólares americanos (USD). Cotización del 21/11: \$100.58.

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Servicios de ingeniería	660 hs	10.00	6600.00
Sensor de caudal de agua ultrasónico	01 un	110.00	110.00
Unidad de cómputo Raspberry Pi	01 un	130.00	130.00
SUBTOTAL			6840.00
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
20 % de costo directo	01	1368.00	1368.00
SUBTOTAL			1368.00
TOTAL			8208.00

## 13. Gestión de riesgos

En esta sección se identificarán y evaluarán los riesgos del proyecto. La escala de medición será del 1 al 10:

- Severidad (S): mientras más severo, más alto es el número.
- Probabilidad de ocurrencia (O): mientras más probable, más alto es el número.

a) Identificación de los riesgos y estimación de sus consecuencias:

Riesgo 1: no contar oportunamente con componentes de hardware necesarios.

- Severidad (S): 10.  
Retraso de llegada de componentes alterará cronograma establecido.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 7.  
Es variable, debido a la situación actual en el mundo pueden ocurrir retrasos en la entrega de componentes, y por lo tanto la probabilidad de ocurrencia es elevada.

Riesgo 2: errónea elección de sensores ultrasónicos.

- Severidad (S): 10.  
Implica un trabajo de menor calidad o tener que realizar una nueva búsqueda de sensores y por consiguiente una demora en el cronograma establecido.
- Ocurrencia (O): 4.  
Es baja, ya que se verificarán las especificaciones técnicas disponibles para la correcta elección.

Riesgo 3: imposibilidad o alta complejidad de programación de los sensores ultrasónicos.

- Severidad (S): 10.  
La alta complejidad de programación acarreará la nueva elección de componentes y el consecuente retraso en el cronograma establecido.
- Ocurrencia (O): 6.  
La documentación disponible de los dispositivos adquiridos podría no contemplar métodos de programación soportados por estos.

Riesgo 4: bajo nivel de soporte para desarrollo de algoritmos de detección de flujo de agua.

- Severidad (S): 5.  
Implica la búsqueda de nuevas alternativas para replantear algoritmos y/o la elección de nuevo dispositivo más fiable.
- Ocurrencia (O): 4.  
Para la elección de los dispositivos se tomará en cuenta el nivel de precisión de acuerdo a los requerimientos fijados. En las pruebas unitarias deberá evaluarse si los algoritmos aplicados permiten una correcta precisión.

Riesgo 5: fallo de dispositivos de hardware por mala manipulación.

- Severidad (S): 10.  
La incorrecta manipulación del dispositivo que ocasione su falla impactará actividades por nueva adquisición de este y retrasará el cronograma establecido.
- Ocurrencia (O): 4.  
Solo una persona tendrá acceso a los dispositivos y se tomarán medidas para evitar fallo por descargas electrostáticas.

Riesgo 6: estimación incorrecta de tiempo de desarrollo de aplicaciones.

- Severidad (S): 9.  
Implica la no entrega del proyecto a tiempo.
- Ocurrencia (O): 10.  
Inexperiencia en desarrollo de aplicaciones y el poco tiempo disponible incrementan la probabilidad de ocurrencia.

b) Tabla de gestión de riesgos:

En la gestión de riesgos, se calculará el RPN (número de prioridad de riesgo) a partir de la multiplicación de los números dados en la severidad y la ocurrencia. El RPN se formula como  $RPN=S \times O$ .

Criterio adoptado: Se tomarán medidas de mitigación en los riesgos cuyos números de RPN sean mayores a 50.

Nota: los valores marcados con (\*) en la tabla corresponden luego de haber aplicado la mitigación.

Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*
1: No contar oportunamente con componentes de hardware necesarios	10	7	70	3	6	18
2: Errónea elección de sensores ultrasónicos	10	4	40	-	-	-
3: Imposibilidad o alta complejidad de programación de los sensores ultrasónicos	10	6	60	10	4	40
4: Bajo nivel de soporte para desarrollo de algoritmos de detección de flujo de agua	5	4	20	-	-	-
5: Fallo de dispositivos de hardware por mala manipulación	10	4	40	-	-	-
6: Estimación incorrecta de tiempo de desarrollo de aplicaciones	9	10	90	5	8	40

c) Plan de mitigación de los riesgos que originalmente excedían el RPN máximo establecido:

Se mostrarán los planes de mitigación de los riesgos 1, 3 y 6.

Riesgo 1: evaluar y adquirir lo antes posible los dispositivos necesarios para tenerlos oportunamente considerando el tiempo de transporte.

- Severidad (S): 3.

Retraso de llegada de componentes alterará cronograma establecido.

- Probabilidad de ocurrencia (O): 6.

Riesgo es mitigado con tiempo de anticipación de la compra.

Riesgo 3: revisión de reseñas y alternativa de implementar el sistema en un dispositivo de la familia Raspberry.

- Severidad (S): 10.

Se mantiene igual. La alta complejidad de programación acarreará la nueva elección de componentes y retraso en el cronograma establecido.

- Probabilidad de ocurrencia (O): 4.

Evaluación de capacidad de programación en dispositivo deberá reducir riesgo.

Riesgo 6: solicitud de apoyo con recurso alternativo para cerrar brechas de programación.

- Severidad (S): 9.

Se mantiene igual. Implica la no entrega del proyecto a tiempo.

- Probabilidad de ocurrencia (O): 4.

Contar con respaldo para avance de actividad reduce la probabilidad de ocurrencia.

## 14. Gestión de la calidad

Para cada uno de los requerimientos del proyecto se indican la verificación y validación correspondientes:

### 1. Requerimientos funcionales:

1.1. La conexión de los dispositivos debe ser de forma inalámbrica.

- Verificación técnica de conectividad con dirección MAC registrada en AP usando protocolo WiFi.
- Validación con el cliente con conexión de dispositivo a red inalámbrica.
- 1.2. Los dispositivos de medición de caudal de agua deberán usar tecnología ultrasónica.
  - Verificación de especificaciones técnicas de dispositivo.
  - Validación de referencia de caja o afiche comercial de dispositivo con mención a dicha tecnología.
- 1.3. El sistema debe atender las salidas de agua de servicios higiénicos y/o de tuberías de hasta 1".
  - Verificación de especificaciones técnicas de dispositivo.
  - Validación con el cliente para confirmar que dispositivo soporta conectarse a tuberías hasta de dicho diámetro.
- 1.4. La transmisión de datos debe ser ligera y debe consumir baja energía.
  - Verificación de especificaciones técnicas de dispositivo y/o medición de tráfico usando algún capturador de paquetes.
  - Validación con el cliente de confirmación con especialista.
- 1.5. El software embebido debe poder encapsularse en un contenedor docker.
  - Verificación técnica de archivo de configuración docker.
  - Validación con el cliente de poder ejecutar la lógica en un solo contenedor.
- 1.6. El sistema debe incluir notificaciones que permitan alertar a usuarios de la alteración del caudal cuando supere el 10 % al promedio histórico.
  - Verificación en simulación de evento de superación de umbral.
  - Validación con el cliente de llegada de notificación.
- 1.7. Los sensores deberán conectarse a una red de forma predeterminada.
  - Verificación técnica que sensor tiene configuración predeterminada activa en settings del dispositivo.
  - Validación con el cliente de que dispositivo no pregunta a qué red conectarse.
- 1.8. Opcionalmente, el sistema debe tener capacidad portátil para conexión de datos, alimentación eléctrica e instalación de plomería.
  - Verificación de especificaciones técnicas de todas o algunas de los requerimientos opcionales.
  - Validación de portabilidad de dispositivo.
- 1.9. Opcionalmente, el sistema debe adecuarse a los lineamientos establecidos en la ISO 30141:2018.
  - Verificación de documentación del proyecto que haga referencia a la ISO.
  - Validación en documentación de ISO de las referencias mencionadas.
- 2. Requerimientos de interfaces:
  - 2.1. La aplicación debe funcionar en los navegadores web Chrome y Mozilla.
    - Verificación de la ejecución de la aplicación en una computadora usada en el proyecto con ambos navegadores.
    - Validación con el cliente para confirmar compatibilidad en una computadora de terceros.
  - 2.2. La aplicación web debe funcionar de forma responsiva en dispositivos Android e iOS.

- Verificación de la ejecución de la aplicación en simuladores de Android y iOS.
  - Validación con el cliente para confirmar compatibilidad en el celular del cliente.
- 2.3. La aplicación web debe permitir el registro de ubicación del sensor y asociarla con la colección de datos.
- Verificación de query con id de sensor, sus ubicaciones y los datos capturados en la BD.
  - Validación con el cliente para visualizar los registros de ubicación del sensor y sus datos.
- 2.4. La aplicación web debe mostrar el caudal de agua de cada sensor en tiempo real.
- Verificación expresada en texto indicando los metros cúbicos por minuto que pasó por dicho sensor.
  - Validación con el cliente de encendido/apagado de caudal que permita sensar el caudal.
- 2.5. La aplicación web debe mostrar el caudal histórico de cada sensor y el promedio de los últimos 7 días.
- Verificación de query con id de sensor, sus ubicaciones y los datos capturados en la BD.
  - Validación con el cliente para visualizar los registros de ubicación del sensor y sus datos.
- 2.6. Opcionalmente, el sistema tendrá control de accesos configurable.
- Verificación de registro de usuario nuevo.
  - Validación con el cliente para logueo con dos usuarios diferentes.
3. Requerimientos de testing:
- 3.1. El aplicativo web tendrá un banco de pruebas unitarias para aseguramiento de calidad y funcionamiento.
- Verificación para confirmar si se cumplió con lo requerido antes de mostrar el sistema al cliente.
  - Validación con el cliente para confirmar que está de acuerdo en que se cumplió con lo requerido.
- 3.2. El dispositivo de telemetría tendrá un banco de pruebas unitarias para aseguramiento de calidad y funcionamiento.
- Verificación para confirmar si se cumplió con lo requerido antes de mostrar el sistema al cliente.
  - Validación con el cliente para confirmar que está de acuerdo en que se cumplió con lo requerido.
- 3.3. El sistema en general tendrá un banco de pruebas integrables.
- Verificación para confirmar si se cumplió con lo requerido antes de mostrar el sistema al cliente.
  - Validación con el cliente para confirmar que está de acuerdo en que se cumplió con lo requerido.
4. Requerimientos de documentación:
- 4.1. Documentación con arquitectura tecnológica y funcional.
- Verificación de documentación de arquitectura.
  - Validación con el cliente para confirmar que documentación fue entregada.

- 4.2. El sistema debe contar con documentación de cobertura de señal.
  - Verificación de cálculo del espectro de señal.
  - Validación con el cliente para confirmar que la documentación fue entregada.
- 4.3. El sistema debe incluir documentación con estudio de parámetros para medición de caudal de agua usando sensores ultrasónicos.
  - Verificación del cálculo de medición de caudal.
  - Validación con el cliente para confirmar que la documentación fue entregada.
- 4.4. Desarrollo web deberá estar documentado bajo el método de anotaciones.
  - Verificación en código de aplicación de algunas anotaciones.
  - Validación con el cliente para confirmar que documentación fue entregada.
- 4.5. Documentación de plan de pruebas y resultados.
  - Verificación para confirmar si se cumplió con lo requerido antes de mostrar el sistema al cliente.
  - Validación con el cliente para confirmar que la documentación fue entregada.
- 4.6. Video demostrativo de uso del prototipo.
  - Verificación de inclusión de casos de uso registrados.
  - Validación con el cliente para confirmar que en video se cumple con los requerimientos funcionales.
- 4.7. Informe final.
  - Verificación para confirmar si se cumplió con lo requerido.
  - Validación con el cliente para confirmar que la documentación fue entregada.
- 4.8. Se utilizará un sistema de control de versiones.
  - Verificación y descarga de una versión anterior a la vigente.
  - Validación con el cliente para confirmar que el archivo fue descargado.

## 15. Procesos de cierre

Durante la etapa de cierre se llevará a cabo una reunión donde se presentará al cliente, directores y jurado, los siguientes puntos:

- Pautas de trabajo que se seguirán para analizar si se respetó el Plan de Proyecto original:
  - A cargo de Paolo Bazán.
  - Se mencionarán las desviaciones ocurridas durante el proyecto y las actividades realizadas para su corrección.
  - Se analizarán los motivos de estas desviaciones ocurridas.
- Identificación de las técnicas y procedimientos útiles e inútiles que se emplearon, y los problemas que surgieron y cómo se solucionaron:
  - A cargo de Paolo Bazán.
  - Se deberán documentar durante el proyecto las herramientas y técnicas empleadas para evaluar su reusabilidad en siguientes proyectos.



- Organizar el acto de agradecimiento a todos los interesados, y en especial al equipo de trabajo y colaboradores:
  - A cargo de Paolo Bazán.
  - Se procederá con protocolo de cierre, agradeciendo a todos los participantes su contribución de esfuerzo y tiempo.