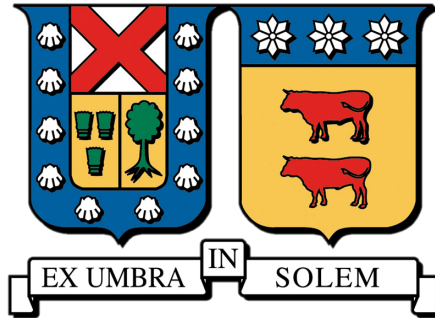


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA
VALPARAÍSO - CHILE



“Sistema de gestión de suministro alternativo de agua potable para emergencias de corte de suministro.”

Joaquín Rodríguez Crema
Lucas Villarroel Román

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
CIVIL TELEMÁTICO

Profesores Examinadores
Nicolás Jara Carvallo PhD.
José Manuel Martínez Verdugo PhD.

DICIEMBRE 2021

Agradecimientos Joaquín

Gracias a cada persona que me acompañó en este camino, a los que llegaron y los que partieron, cada una de esas personas dejó un grano de arena en la persona que seré en la vida. Un especial agradecimiento a mi familia, mis padres, mis hermanas, mi novia, quienes me brindaron tanto apoyo en estos años y, a pesar de la distancia, nunca me dejaron solo. A mis amigos, amigos de la vida, quienes me acogieron y enseñaron tanto, con ellos compartí los mejores momentos dentro de la Universidad y aún mejores fuera de ella. También a mi amigo y compañero, Lucas, con quien nos apoyamos codo a codo siempre, pudiendo lograr este trabajo en conjunto.

Finalmente solo queda decir: ¡Aguante Telemática y toda su gente!

Agradecimientos Lucas

A mi mamá y papá, por el apoyo y cariño en las decisiones que he tomado. A Joaquín, compañero y cómplice de esta memoria, por su compañerismo que dio como frutos un gran trabajo en conjunto. A mis amigos de la vida, por los momentos y el apoyo en estos tiempos. A los cabros de la USM, que con los que compartí y aprendí cosas más allá de lo académico. Gracias a toda la carrera y comunidad telemática, por estos años de formación y desarrollo como persona.

Resumen

El agua es el recurso más importante para la vida diaria de las personas. Su uso es, sin duda, algo fundamental y transversal en la hidratación, higiene, alimentación e incluso en labores productivas de distintos rubros. Es por ello que, hoy en día, es fundamental contar con un suministro de agua potable, esto en Chile se ha logrado a tal magnitud que un 95 % de la población cuenta con un suministro de ella, lo que se ha logrado debido a la urbanización y concesión de agua para las distintas zonas del país.

Sin embargo, los cortes del suministro de agua potable son un riesgo latente; roturas de matriz, fallas en el sistema, fenómenos naturales y, también, la indudable sequía que afecta gravemente a diversas zonas del país, son algunos de los factores impredecibles que ponen en jaque a las empresas sanitarias y movilizan a los equipos de emergencia para intentar responder a las miles de personas que se pueden ver afectadas.

En este trabajo de título se investiga una manera de entregar solución al problema de manejar e informar en tiempo real la respuesta de suministro alternativo en casos de corte de agua potable, buscando una propuesta que sea económica, fácil de implementar, eficaz y eficiente. Se propone la creación de un sistema que permite el monitoreo en tiempo real de los camiones y estanques utilizados para solventar la necesidad de agua de las personas, logrando que tanto la empresa sanitaria como los clientes afectados, puedan atender más rápidamente sus requerimientos.

El sistema consta de 3 ejes principales: una interfaz para los trabajadores de la empresa, administradores y operadores encargados de resolver la demanda de las personas, una interfaz para clientes, para obtener información en tiempo real del suministro alternativo de agua potable y, dispositivos *IoT* para la medición y notificación del suministro de agua durante la emergencia.

Como se menciona anteriormente, el subsistema para la empresa permite que estos puedan administrar eventos de corte, de manera que desde cualquier lugar se pueda generar un evento georreferenciado con las características propias del evento. También, por otro lado, es capaz de iniciar trabajos operativos, con lo cual se puede utilizar la

interfaz para el seguimiento y control de camiones dispuestos para el manejo de la emergencia, así como de los estanques de agua repartidos para ello.

Por su lado, el subsistema para clientes permite, utilizando una interfaz sencilla, realizar el descubrimiento y seguimiento del despliegue de suministro alternativo de manera pública, con esto los clientes serán capaces de encontrar su punto más cercano de recolección de agua y observar cuando esta se encuentra disponible. Consecuentemente, se podrá mantener información actualizada en tiempo real, aliviando el trabajo a los equipos de comunicaciones.

El tercer componente mencionado, se encarga de la obtención de los datos de manera remota y autónoma con respecto al resto del sistema, para que, utilizando distintas redes de comunicación inalámbrica, como lo son la telefonía móvil y *Bluetooth Low Energy*, puedan comunicar la información de agua disponible en cada estanque.

El sistema completo está desarrollado de forma en que su implementación sea rápida y de bajo costo, con una baja complejidad de adaptación y sin la necesidad de intervenir ni adaptar vehículos para su funcionamiento, lo que hace que el sistema sea escalable inclusive para un solo evento de emergencia específico donde se requiera contratar recursos y camiones externos a la compañía. ***keywords: Suministro de agua, empresa sanitaria, sistema de monitoreo, aplicación móvil, dispositivos IoT***

Abstract

Water is the most important resource for people's daily lives. Its use is, undoubtedly, something fundamental and transversal in hydration, hygiene, food and even in productive work in different areas. That is why, nowadays, it is essential to have a supply of drinking water, this has been achieved in Chile to such an extent that 95 % of the population has a supply of it, which has been achieved due to urbanization and water concession for the different areas of the country.

However, drinking water supply cuts are a latent risk; water matrix breaks, system failures, natural phenomena and also the undoubted drought that severely affects several areas of the country, are some of the unpredictable factors that put in check the sanitation companies and mobilize emergency teams to try to respond to the thousands of people who may be affected.

In this work we investigate a way to provide a solution to the problem of managing and reporting in real time the response of alternative supply in cases of drinking water cut-off, looking for a proposal that is economical, easy to implement, effective and efficient. It is proposed the creation of a system that allows real-time monitoring of trucks and tanks used to solve the need for water of the people, achieving that both the sanitation company and the affected customers can meet their requirements more quickly.

The system consists of 3 main components: an interface for the company's workers, administrators and operators in charge of resolving people's demand, an interface for customers to obtain real-time information on the alternative drinking water supply, and IoT devices for measuring and notifying the water supply during the emergency.

As mentioned above, the component for the company allows them to manage water outage events, so that from anywhere a georeferenced event can be generated with the characteristics of the event. On the other hand, it is also capable of initiating operational work, so that the interface can be used to monitor and control the water trucks available for emergency management, as well as the water tanks distributed for this purpose.

On the other hand, the subsystem for customers allows, using a simple interface, the discovery and monitoring of the deployment of alternative supply in a public way, with this, customers will be able to find their nearest water collection point and observe when it is available. Consequently, it will be possible to keep information updated in real time, relieving the work of the communications teams.

The third component is responsible for obtaining data remotely and autonomously with respect to the rest of the system, so that, using different wireless communication networks, such as mobile telephony and Bluetooth Low Energy, they can communicate the information of available water in each pond.

The complete system is developed in such a way that its implementation is fast and low cost, with a low complexity of adaptation and without the need to intervene or adapt vehicles for its operation, which makes the system scalable even for a single specific emergency event where it is required to hire resources and trucks external to the company.

Glosario

- **Software:** Conjunto de programas y rutinas que le permiten a un equipo realizar una tarea determinada.
- **Hardware:** Conjunto de elementos físicos o materiales que constituyen una computadora o un dispositivo informático.
- **Servicio:** Conjunto de actividades que buscan satisfacer las necesidades de un usuario. Desde el punto de vista de SOA, son la representación lógica de una actividad de negocio que tiene un resultado de negocio específico.
- **Servidor:** Conjunto de computadoras capaz de atender las peticiones de un cliente y devolverle una respuesta en concordancia. Los servidores se pueden ejecutar en cualquier tipo de computadora, incluso en computadoras dedicadas a las cuales se les conoce individualmente como “*el servidor*”.
- **Nube:** Servidores a los que se accede a través de Internet, y al software y bases de datos que se ejecutan en éstos. Los servidores de la nube están ubicados en centros de datos por todo el mundo.
- **Página Web:** Documento digital, capaz de contener texto, sonido, vídeo, programas, enlaces, imágenes, hipervínculos, etc, a la cual se puede acceder mediante un navegador web.
- **Base de Datos:** Conjunto de datos pertenecientes a un mismo contexto y almacenados sistemáticamente para su posterior uso.
- **Access Point:** Punto de Acceso. Dispositivo de red que permite a equipos con capacidad inalámbrica acceder a una red determinada.
- **Interfaz de Usuario:** Medio con el cual el usuario interactúa para comunicarse con la máquina, equipo, computadora o dispositivo. Suelen ser fáciles de entender y manejar.

- **Backend:** Parte de un sistema computacional o aplicación que no es directamente accedido por el usuario. Generalmente se encarga de almacenar y manipular los datos.
- **Método HTTP:** Conjunto de métodos de petición para indicar la acción que se desea realizar para un recurso determinado. Aunque estos también pueden ser sustantivos, estos métodos de solicitud a veces son llamados “*HTTP verbs*”.
- **Bluetooth Low Energy:** Tecnología inalámbrica de corto alcance que permite la comunicación inalámbrica de datos entre dispositivos digitales, diseñada para proporcionar un bajo consumo de energía.
- **Media Access Control:** Identificador único asignado por el fabricante a una pieza de hardware de red (como una tarjeta inalámbrica o una tarjeta Ethernet).
- **Global Positioning System:** Es un sistema de navegación global por satélite que proporciona información relativa a ubicación.
- **Framework:** Esquema que ofrece una estructura base para elaborar un proyecto.
- **Access Point Name:** Es el nombre de un punto de acceso para que un dispositivo móvil se pueda conectar a internet.

Siglas

- **BLE:** *Bluetooth Low Energy.*
- **GUI:** *Graphical User Interface.*
- **GPS:** *Global Positioning System.*
- **APN:** *Access Point Name.*
- **MAC:** *Media Access Control.*

- **OMS:** Organización Mundial de la Salud.
- **API:** *Application Programming Interface*.
- **IoT:** *Internet of Things*.
- **IDE:** *Integrated Development Environment*.
- **EVA:** Estimador de Volumen de Agua.

Índice de figuras

2.1. Operación Actual Esval	11
4.1. Diagrama del Esquema General del Sistema	20
4.2. Dispositivos EVA	23
4.3. Interfaces Aplicación Móvil 1	30
4.4. Interfaces Aplicación Móvil 2	31
4.5. Interfaces Aplicación Móvil 3	31
4.6. Interfaces Aplicación Móvil 4	32
4.7. Interfaces Aplicación Móvil 5	32
4.8. Fase 0 - Inicio	33
4.9. Fase 1 - Visualización de cortes	33
4.10. Fase 2 - Visualización de mapa	34
4.11. Fase 3 - Visualización de estanques y camiones	34
5.1. Testeo de Rango EVA 00	42
5.2. La aplicación se encuentra compilada para dispositivos Android.	43
5.3. Interfaz vista desde el teléfono	43
5.4. compilación y publicación exitosos	44
5.5. Interfaz aplicación web vista desde un computador	44
5.6. Publicación Cloud Functions	45
6.1. Interfaces Aplicación Móvil Implementadas	48
6.2. Interfaces Aplicación Móvil Implementadas	49

6.3. Interfaces Aplicación Móvil Implementadas	50
6.4. Interfaces Aplicación Móvil Implementadas	51
6.5. Inicio	52
6.6. Listado de eventos	52
6.7. Vista de mapa	53
6.8. Vista de mapa para evento específico	53
6.9. Creación de un evento.	55
6.10. Capturas de creación de evento	55
6.11. Inicio de operador	56
6.12. Capturas de interacciones mencionadas	56
6.13. Recibir información desde EVAs.	57
6.14. Seguimiento en tiempo real desde <i>app</i> móvil y web.	58
6.15. Capturas de interacciones mencionadas	59
6.16. Finalizar operador	60
6.17. Capturas de interacciones mencionadas	60
6.18. Finalizar evento	61
6.19. Capturas de interacciones mencionadas	61
8.1. Tabla comparativa Frameworks de desarrollo móvil	66

Índice general

1. Introducción	5
1.1. Objetivos	7
1.1.1. Objetivo General	7
1.1.2. Objetivos Específicos	7
1.2. Estructura	8
2. Marco Teórico	9
2.1. Empresas Sanitarias	10
2.1.1. Cortes de Agua	10
2.2. Escasez Hídrica	12
3. Estado del Arte	13
4. Desarrollo de la plataforma	17
4.1. Hitos Principales del Proyecto	18
4.2. Requerimientos	19
4.3. Arquitectura del Sistema	20
4.3.1. Diseño de los módulos del sistema	22
4.3.1.1. Estimador de Volumen de Agua	22
4.3.1.2. Sistema y base de datos en la nube	23
4.3.1.3. Aplicación Móvil	24
4.3.1.4. Aplicación Web	27

4.3.2.	Diseño de Interfaces	29
4.3.2.1.	Interfaz Aplicación Móvil	30
4.3.2.2.	Interfaz Aplicación Web	33
4.4.	Entorno de Soporte y Desarrollo	35
4.4.1.	Estimador de Volumen de Agua	35
4.4.2.	Sistema en la Nube	36
4.4.3.	Aplicación Móvil	36
4.4.4.	Aplicación Web	38
4.5.	Gestión de Riesgos	39
5.	Verificación	41
5.1.	Verificación	41
5.1.1.	Sensor Ultrasónico	41
5.1.2.	Comunicación BLE	42
5.1.3.	Comunicación GPRS/GSM	42
5.1.4.	Aplicación Móvil	42
5.1.5.	Aplicación Web	43
5.1.6.	Firebase	45
6.	Resultados	47
6.1.	Interfaz Aplicación Móvil	48
6.2.	Interfaz Aplicación Web	52
6.3.	Caso de Uso - Demostración.	54
7.	Conclusiones y Trabajos futuros	63
7.1.	Trabajos Futuros	64
8.	Anexos	65
8.1.	Comparación Frameworks	66

Capítulo 1

Introducción

El día martes 9 de febrero de 2021 una rotura en la conducción de agua que abastece a las ciudades de Coquimbo y La Serena, causó un corte de suministro de agua potable que afectó a más de 70.000 clientes durante más de 12 horas continuas.[1] [2]

Para Esval y su filial Aguas del Valle, empresa del rubro sanitario concesionaria de la extracción, purificación y distribución de agua en la zona afectada (abastece a cerca de 1.5 millones de personas en 10 provincias de Chile entre las regiones de Valparaíso y Coquimbo), este incidente dejó en evidencia algunos problemas, tanto la gestión del suministro alternativo como la comunicación de información, debido a que ambas se vieron sobrepasadas y colapsadas, causando una serie de multas y quejas por parte de los afectados.

Si bien el sistema funciona correctamente en condiciones normales, tras este incidente, se llegó a la conclusión de replantear el funcionamiento de la plataforma actual, que notifica a la empresa y sus clientes sobre el suministro alternativo de agua potable, y buscar una solución que digitalice los procesos realizados en terreno, en pos de agilizar la gestión, con el objetivo de aumentar los índices de satisfacción con los clientes y evitar futuros problemas con emergencias hídricas.

Es en este contexto que Esval se acerca a la Universidad Técnica Federico Santa María, específicamente al Programa de Memorias Multidisciplinarias, donde realizó el

siguiente desafío: **¿Cómo desarrollar y comunicar oportunamente un despliegue eficiente para la gestión de suministro alternativo y abastecer a clientes afectados por discontinuidad de agua?**

El proyecto *Punto de Agua* surge con el objetivo de dar respuesta a esta interrogante, cubriendo las necesidades de todas aquellas personas que sufren del corte de suministro continuo de agua potable durante periodos prolongados de tiempo, mediante sensores y un sistema en la nube, para así notificar a los clientes y a la empresa sanitaria, información importante relativa al suministro alternativo de agua potable, en este caso métricas sobre estanques y camiones aljibes que se encuentren trabajando en la emergencia.

Como resultado de esto se crea un sistema de despliegue y comunicación utilizando dispositivos móviles de fácil acceso y bajo costo, permitiendo el seguimiento en tiempo real de los camiones y estanques disponibles en la emergencia, tanto a las personas, como a los agentes operativos de la empresa, mejorando la gestión de los recursos.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Generar un sistema que ayude a monitorear y comunicar a tiempo real las necesidades de las empresas sanitarias y los clientes afectados por la discontinuidad del sistema de agua potable.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Definir el impacto del proyecto y cómo éste puede afectar a las personas y empresas.
- Analizar las tecnologías disponibles para el desarrollo del proyecto, que presenten un bajo costo y una rápida implementación.
- Crear aplicación móvil multiplataforma capaz de monitorear y capturar información de los eventos en tiempo real.
- Crear aplicación web alojada en la nube, indispensable para que los clientes puedan realizar seguimiento del suministro alternativo.
- Crear dispositivo de medición para la estimación de agua disponible dentro de un estanque.
- Comunicar dispositivos de medición con la aplicación móvil.
- Desarrollo *backend* del sistema para la conexión de las distintas funcionalidades y el almacenamiento de los datos.

1.2. Estructura

Este documento se estructura de la siguiente forma:

- En el segundo capítulo se analiza la situación nacional con respecto al manejo del agua potable. El análisis se hace en términos estructurales del sistema, distribución de empresas sanitarias y legislación.
- En el tercer capítulo se muestra como el problema presentado para el desarrollo de la memoria ha sido abordado tanto nacional como internacionalmente.
- En el cuarto capítulo se presentan las diversas herramientas, definición de hitos, requerimientos, arquitectura, diseño de cada uno de los módulos, gestión de riesgos, y los entornos de soporte y desarrollo.
- En el quinto capítulo se presentan las pruebas de verificación y validación aplicadas a los diseños.
- Por su parte, en el sexto capítulo se presentan los resultados finales obtenidos tanto visuales como de funcionalidad.
- Y finalmente, en el séptimo capítulo se presentan conclusiones sobre el sistema junto con trabajos futuros y posibles mejoras aplicables a este.

Capítulo 2

Marco Teórico

El agua es un recurso básico y fundamental para los quehaceres diarios, sin embargo, todavía existen 1.800 millones de personas en el mundo que se abastecen de una fuente de agua potable contaminada con heces y se estima que más de 663 millones de personas aún viven sin acceso a este recurso natural de forma segura. La Organización Mundial de la Salud señala que se deben mejorar estos indicadores, avanzando en la cobertura de agua potable y en el tratamiento de las aguas servidas residuales, lo que es un desafío no menor, considerando que para 2050 alrededor del 70 % de la población mundial vivirá en polos urbanos, un alza del 50 % respecto de la que ocurre hoy. [8]

Esto se acentúa debido a la actual crisis hídrica, no solo presente en el país sino que de una manera global, donde en cada emergencia causada por una falla en el sistema o por fuerza mayor, se trabaja para continuar abasteciendo a los usuarios afectados, mientras se logra dar solución al problema.

Según los datos del año 2020 del Ministerio de Desarrollo Social y Familia, porcentaje de hogares que obtiene el agua proveniente de una red pública corresponde a un 93.4 % en la V Región y a un 90.6 % en la IV Región. Por lo que un eventual corte en estas regiones causaría graves estragos en el suministro de agua de usuarios puesto que menos de un 10 % de los usuarios no está acostumbrado a recolectar agua desde otra vía que no sea una red de abastecimiento de agua potable. [7]

2.1. Empresas Sanitarias

A lo largo del territorio nacional, existen 24 empresas sanitarias, de las cuales Esval y su filial Aguas del Valle dan suministro a aproximadamente 900 mil clientes, un número similar a la empresa Essbio (cerca de 800 mil clientes) empresa que opera en la Región del Biobío, e inferior a la sanitaria más grande del país, Aguas Andinas, que opera en la Región Metropolitana atendiendo casi a 1.9 millones de clientes, afectando a casi 8 millones de personas. Estas 3 son destacadas porque trabajan en las 4 conurbaciones más grandes del país las cuales son: Gran Santiago, Gran Concepción, Gran Valparaíso y la conurbación La Serena-Coquimbo.

Las compañías, mencionadas anteriormente, promueven el cuidado del agua en sus redes sociales, buscando llegar a la mayor cantidad de personas, esto para evitar los futuros problemas derivados de la sequía y la escasez hídrica que azota el mundo. Anticipando la época estival, estas publicaciones se intensifican, reafirmando el compromiso de estas empresas por el cuidado del agua y el cambio de hábitos hídricos.

2.1.1. Cortes de Agua

Basándose en las encuestas de percepción de clientes de la empresa Esval del 2020 muestra que uno de los problemas principales reportados por sus usuarios, son los cortes de suministro, con una tasa general de problemas por sobre de la nacional. Durante los últimos 5 años ese problema permanece entre los 3 problemas principales que son reportados. [3]

El Decreto 41 del Ministerio de Salud dicta las condiciones básicas que debe cumplir un sistema de suministro de agua potable alternativo, en este caso con el soporte de camiones aljibes. Temas como el estado mínimo de un camión, la desinfección y calidad del agua y la fiscalización, son explicados, resaltando su relevancia durante emergencias sanitarias. [4]

Con lo mencionado, anteriormente, se puede apreciar que si existen márgenes dentro de la ley, para las empresas sanitarias actúen en emergencias de corte o también en

cortes programados.

Actualmente, la operación frente a un corte en la compañía Esval presenta diferentes pasos y múltiple coordinación entre departamentos, como *Contact Center*, operadores de redes, y Atención al Cliente (ATC).

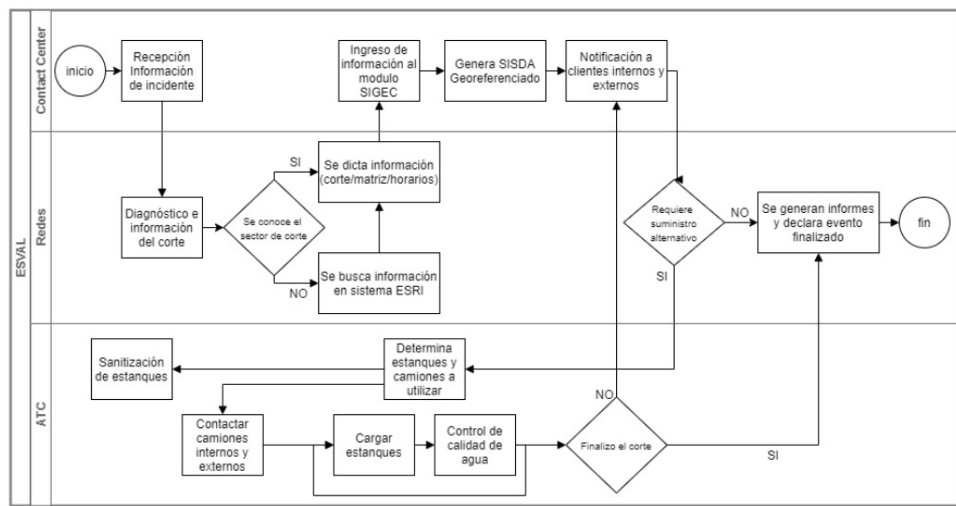


Figura 2.1: Operación Actual Esval

Se puede apreciar que este proceso, cumple con las normativas estipuladas en el Decreto 41, y mediante la visualización y comprensión de esta operación, el proyecto Punto de Agua, puede trabajar para agilizar ciertos procedimientos que actualmente pueden considerarse engorrosos, digitalizando este desarrollo.

2.2. Escasez Hídrica

Tal como se proyecta en múltiples estudios, un futuro con escasa disponibilidad es más que latente. Las causas varían desde fenómenos climáticos, tales como sequías, descenso de caudales de ríos, lo que sumado a las alzas de temperatura que experimenta el mundo debido al calentamiento global, pone en jaque el futuro hídrico nacional y global. [5]

En el país, se han planteado diversas medidas acción para aminorar los graves efectos que este problema causa:

- Declarar zonas de prohibición para la extracción de aguas subterráneas.
- Modificar normativas del Código de Aguas en temas de fiscalización y sanciones.
- Coordinar intervención de cauces y redistribución de aguas de acuerdo a los requerimientos.

Se espera que esta escasez continúe azotando al mundo por varias décadas más, por lo que es necesario un llamado a la acción a evitar que se llegue a un escenario donde la crisis ya sea irreparable. Según la Dirección General de Aguas 2021, fue el año con más decretos de escasez hídrica, con más de 20 mandatos en 172 comunas, que se aplican a casi 8 millones de habitantes, lo que equivale al 45 % de la población nacional, y particularmente en zonas rurales afecta a más de 1 millón de personas. [6]

Capítulo 3

Estado del Arte

A nivel mundial las empresas sanitarias enfrentan los eventos de emergencia de cortes del suministro alternativo, debiendo responder de la mejor manera posible con los recursos que disponen a los clientes. Para poder entregar una correcta solución, es de vital importancia en primer lugar asegurar la calidad del agua según las regulaciones locales, ya que esta agua irá hacia el directo consumo de las personas. Así mismo, se debe tener una capacidad responsiva, es decir, no solo una respuesta rápida y preparada, sino que esta se ajuste a la envergadura del problema en cada momento. También se debe tener en cuenta que las soluciones sean apropiadas para cada lugar, puesto que existen diversas demandas y requerimientos en distintos sectores, por lo que las respuestas se deben adecuar para cada uno de ellos. La comunicación efectiva es una de las aristas más importantes, pues mantener el foco en un buen diálogo durante todo el proceso es la base del éxito de una solución. Es de esta manera, que entregar un buen servicio y una ágil respuesta ante estos incidentes, le entregan un valor agregado a la empresa. [9]

En el mercado internacional, las empresas sanitarias han digitalizado sus operaciones en pos de informar correctamente el estado de los incidentes de cortes. Es por ello, que en sus sitios web, incluyen un mapa donde quedan demarcados los eventos de corte del suministro de agua potable dentro de la red, entregando la información clara de la ubicación y estado del proceso, puntos de entrega de suministro alternativo, líneas

de comunicación específicas, encargados del trabajo operacional, entre otras. Una de estas compañías es *South East Water*, de Melbourne, Australia, una de las sanitarias con mejor evaluación del mundo y que cuenta con una solución de este estilo donde se presenta la información mencionada. [10]

Por otro lado, con tal de prestar ayuda a las sanitarias, en el mercado también se encuentran empresas externas dirigidas a este sector. Por ejemplo, *Water Direct* se dedica al suministro alternativo de agua potable en el Reino Unido. Enfocados a tercerizar el suministro de agua en emergencias, sus soluciones implementadas cuentan con una larga lista de opciones, desde camiones aljibes, hasta estanques de agua totalmente reciclables al terminar su uso. Se encargan de hacer la gestión del suministro alternativo y un rápido despliegue a través de todo el país con las soluciones más apropiadas para cada caso. [11]

En el panorama nacional, actualmente operan 20 empresas sanitarias dedicadas a la distribución de agua potable a lo largo del país, posicionando a Chile en el top 10 en saneamiento gracias al 100 % de cobertura de agua potable en zonas urbanas y el 100 % de cobertura en tratamiento de aguas servidas en las ciudades. [8]

Una de las principales sanitarias del país es Aguas Andinas, la que abastece en gran parte a la ciudad de Santiago. En eventos de emergencia, esta empresa dispone dentro de su página web oficial “*aguasandinas.cl*” una pestaña que entrega información acerca de cortes de agua programado y de emergencia, donde se aprecia gráficamente mediante la interfaz de *Google Maps* las áreas afectadas por los cortes, el nivel de los estanques a tiempo real y los puntos de distribución con los horarios correspondientes. También disponen un teléfono de emergencia para solicitar cualquier ayuda o reclamo. [12]

Ante este problema planteado, se han desarrollado algunos trabajos académicos donde existe un enfoque similar al pretendido:

- **Medición nivel de agua:** El 2014, profesionales de la Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco de México presentaron un trabajo que consistió en el diseño y construcción de un sistema de medición y monitoreo remoto de nivel

en tanques de almacenamiento de agua usando sensores ultrasónicos y transmisión inalámbrica con el estándar IEEE802.15.4. Se realizaron pruebas en la mañana, tarde y noche con temperaturas de agua entre 10°C y 45°C debido a la posible variación que esta podría generar en la medición. Los resultados arrojados comprobaron la confiabilidad del sensor obteniéndose valores similares a mediciones manuales. [13]

- **Posicionamiento de autobuses:** En 2014, se realizó en *GITAM University*, India un sistema de posicionamiento para autobuses utilizando dispositivos móviles *Android*. Este sistema buscaba entregar información acerca de la zona donde se encontraba el autobús, permitiendo seguir su recorrido y posicionándolo sobre un mapa de *Google Maps*. En este trabajo se utilizaron tecnologías como *GPS* y comunicaciones *GSM* para ofrecer el rastreo de una flota de una manera económica, flexible, confiable y fácil de implementar. [14]

Estas investigaciones presentan una aproximación a lo que se busca. Por un lado, el primer estudio menciona el uso de un sistema de monitoreo de nivel de agua, lo que es replicable, ya sea mediante el uso de otro *hardware* y *software*, el concepto puede extraído para ser reproducido en este proyecto, agregando ideas tales como una plataforma central y el uso de comunicación entre dispositivos para adecuarlo a la solución requerida.

Por otro lado, de la segunda solución abarca la arista del seguimiento de vehículos usando dispositivos móviles se extrae el concepto de usar la tecnología *GPS* y *GSM* para obtener la información, y así ser enviada a un sistema en la nube, el que capture y despliegue los datos.

Con estos trabajos analizados, se extraen conceptos relevantes para este proyecto, que tiene como foco generar una solución innovadora tecnológicamente.

Capítulo 4

Desarrollo de la plataforma

En esta sección se analizan los hitos principales que se deben cumplir para la finalización del proyecto, los requisitos funcionales trabajados en conjunto con la contraparte que, en términos generales, definen las características y funcionalidades que debe tener un prototipo funcional de la solución, así como también la arquitectura de la solución propuesta y el diseño de los distintos módulos que componen la respuesta a la problemática presentada en secciones anteriores.

4.1. Hitos Principales del Proyecto

En un primer lugar, es necesario definir cuales serán los Hitos principales de este proyecto:

- **Planificación de la solución:** Establecer el trabajo a seguir durante el desarrollo del proyecto. Definir los hitos, requisitos funcionales y no funcionales, tareas, objetivos, etc.
- **Diseños de la solución:** Definir y diseñar la arquitectura del sistema y su composición en base a módulos y subcomponentes.
- **Diseño de interfaces:** Generación de *mock-up* de las interfaces utilizando el software *Adobe XD*, esto con el fin de validar el diseño antes de realizar el desarrollo.
- **Dispositivo realiza mediciones:** El dispositivo tiene la capacidad de medir a través de sus sensores ultrasónicos.
- **Dispositivo se comunica con la aplicación móvil:** El dispositivo logra conectarse con el teléfono y enviar los datos medidos a la aplicación móvil.
- **Comunicación entre aplicación y sistema en la nube:** La aplicación es capaz de enviar y recibir distintos datos desde el sistema en la nube.
- **Aplicación web desplegada:** La aplicación web se encuentra alojada en el servidor y es accesible a través de los exploradores de internet.

Una vez que estos hitos se encuentren listos, el proyecto Punto de Agua se encontraría en la etapa de prototipo funcional, por lo que se podría comenzar a generar un prototipo comercial.

4.2. Requerimientos

Luego de reuniones con la contraparte, conversaciones con operadores del sistema alternativo de agua potables y encargados de atención al cliente, se llega a que los requisitos funcionales a implementar son los siguientes:

- **RF1:** El sistema debe recibir, registrar y notificar la ubicación de los camiones aljibes.
- **RF2:** El sistema debe determinar la posición donde se ubica cada estanque.
- **RF3:** El sistema debe recibir, registrar y notificar el nivel del agua de cada estanque durante la emergencia.
- **RF4:** El dispositivo de sensado debe poder transmitir la información medida.
- **RF5:** Los sensores ubicados en los estanques deben poder medir el nivel de agua.
- **RF6:** La aplicación debe poder obtener y enviar la ubicación del dispositivo de sensado en tiempo real.
- **RF7:** La aplicación móvil debe poder recibir la información de dispositivos de sensado que se encuentren cercanos.
- **RF8:** La aplicación debe poder iniciar y terminar su operación para un evento de corte específico.
- **RF9:** La aplicación debe poder crear, configurar y finalizar un evento de corte.
- **RF10:** La aplicación debe autenticar a los administradores.
- **RF11:** La interfaz web debe poder mostrar el estado de los estanques y la ubicación de los camiones en tiempo real durante la emergencia.

4.3. Arquitectura del Sistema

La arquitectura del sistema se puede dividir en 4 grandes componentes principales interconectados entre sí. En el siguiente diagrama se puede observar cada uno de éstos y la manera en que interactúan.

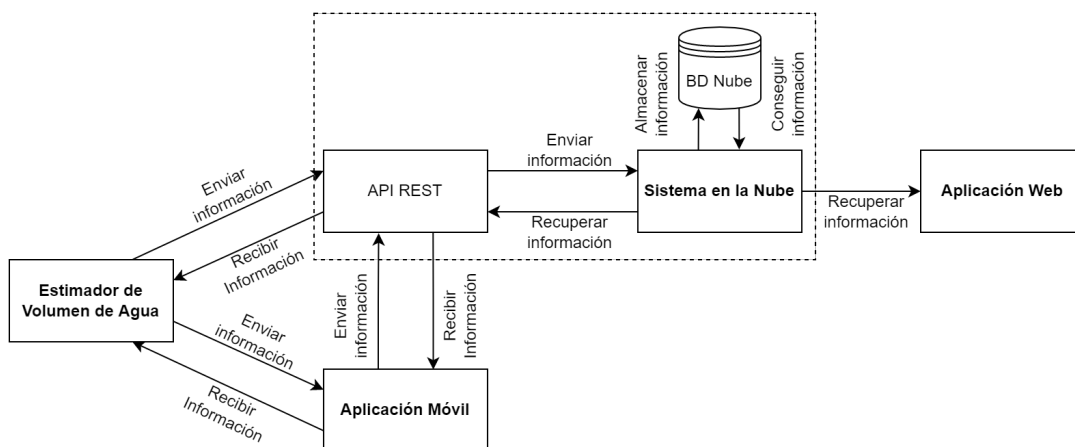


Figura 4.1: Diagrama del Esquema General del Sistema

Una breve descripción de cada uno de estos módulos se puede observar a continuación:

- **C1 Estimador de Volumen de Agua:** Referenciado a lo largo de este trabajo como *EVA*; corresponde a los dispositivos de hardware a instalar en los estanques de agua. Serán los encargados de medir y estimar la cantidad de agua disponible en cada estanque y enviar esta información a través de *BLE* o red celular para su uso en el sistema.
- **C2 Sistema en la Nube:** Componente central del sistema que corresponde a la agrupación de elementos encargados de la comunicación y almacenamiento de los datos de usuarios y eventos para el sistema, además, cumple la tarea de alojar la interfaz de la aplicación web.
- **C3 Aplicación Móvil:** Corresponde a la aplicación para dispositivos móviles, donde los encargados del sistema podrán generar y seguir los eventos de corte,

mientras que los operadores enviarán datos del desarrollo de este en tiempo real sin la necesidad de interactuar con el equipo.

- **C4 Aplicación Web:** Corresponde a la aplicación accesible desde exploradores de internet, donde cualquier persona puede comprobar y corroborar el desarrollo de un evento de corte en tiempo real.

4.3.1. Diseño de los módulos del sistema

En esta sección se abordan los Módulos que no corresponden a interfaces de usuarios, sino más bien a lo que se relaciona con el apartado de *backend* del sistema y el dispositivo físico sobre el que se diseña la solución.

4.3.1.1. Estimador de Volumen de Agua

Corresponde a un microcontrolador ESP32 dedicado a las tareas de medición y comunicación del dispositivo. Fue elegida por sobre otras alternativas disponibles en el mercado, como por ejemplo *Arduino*, ESP8266, debido a que ofrecía la mejor relación entre su precio y las tecnologías implementadas de base, como lo es *BLE*. Además, la versatilidad del microcontrolador y bajo consumo energético, son elementos claves y decisivos para el dispositivo.

Los EVA, cumplen con el objetivo de medir el nivel de agua mediante el sensor de proximidad ultrasónico que posee, para luego ser enviada hacia la *API Rest*, mediante el microcontrolador ESP32, que envía la información al sistema en la nube utilizando diferentes redes inalámbricas dependiendo del modelo. Cabe remarcar que el desarrollo está enfocado a que estarán posicionados al interior de un estanque de agua, por lo que un gabinete los resguardará en caso de imprevistos.

Dentro del dispositivo, se encuentran desarrollados tres módulos principales que permiten el funcionamiento del sistema y la capacidad de realizar las tareas de medición y comunicación:

- **Módulo de Medición de Nivel:** Posee como funcionalidad la activación del sensor equipado en el dispositivo, y medir el tiempo de viaje de la onda que transcurre hasta la recepción del pulso enviado. Este tiempo es proporcional a la distancia que existe entre el sensor y el agua, por ende, conociendo las dimensiones del estanque, se puede determinar la cantidad de litros disponibles.
- **Módulo de comunicación BLE:** Posee como funcionalidad realizar el manejo de la conexión mediante *BLE*, en decir, gestiona la conexión, el envío y recepción

de paquetes y la desconexión. Cabe resaltar que este módulo solo se encuentra equipado en el primer prototipo, referenciado a lo largo de este trabajo como EVA00.

- **Módulo de comunicación GSM:** Posee como funcionalidad realizar el manejo de la conexión mediante *GPRS* o *GSM*, de una manera similar al módulo anterior. Cabe resaltar que este módulo solo se encuentra equipado en el segundo prototipo, referenciado a lo largo de este trabajo como EVA01.

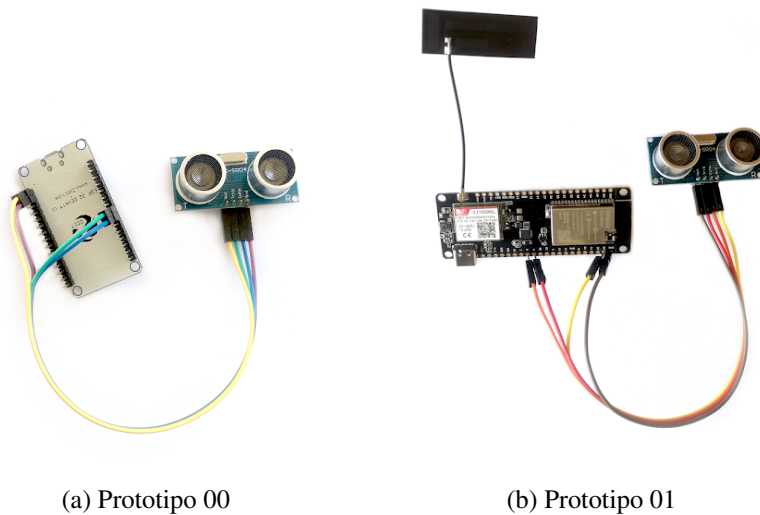


Figura 4.2: Dispositivos EVA

4.3.1.2. Sistema y base de datos en la nube

Tanto el Sistema en la Nube como la Base de Datos, que guarda la información necesaria para el funcionamiento del sistema, se encuentran almacenados en el lado del servidor, que se ubica en la nube usando *Firebase* para alojar los datos. Este componente del sistema tiene como propósito recibir, almacenar y comunicar la información sobre la ejecución del suministro alternativo para el resto de las plataformas. De esta forma incluye tanto las bases de datos utilizadas, los *endpoints* de comunicación y otras funcionalidades del sistema. Es por ello que este sistema requiere manejar ciertos

tipos de datos para mantener la información en la base de datos, las clases y estructuras almacenadas son las siguientes:

- En primer lugar, la estructura llamada “Evento”, la cual contiene datos como: un número identificador (ID), nombre del evento, zonales afectados, sectores afectados, además de *timestamps* para demarcar el inicio y término del evento.
- Luego, como siguiente clase, “Operador”, el cual corresponde al trabajador asignado al evento de corte, tiene como datos: un número identificador (ID), su nombre completo, un número de evento asignado, el tipo de operador que corresponde, patente de vehículo y un teléfono celular en caso de contacto.
- “EVA”, corresponde al tercer ente, el cual hace referencia a los dispositivos de medición presentados anteriormente. Contiene datos como: un número identificador (ID), una dirección *MAC*, el tiempo de su última medición y el valor obtenido en su última medición.
- Finalmente, “Ubicación” corresponde a la última estructura, la cual se compone de: posición, dato de la clase *Geopoint* de *Firebase*, la cual corresponde a los valores las coordenadas de latitud y longitud, el estado, el tipo, ya sea un operador o un EVA, además de su número de identificación.

Además, cada una de las 4 clases mencionadas anteriormente tiene implementados los *endpoints* respectivos para crear, editar y eliminar datos almacenados. Estas comunicaciones se realizan en formato *JSON* tanto desde la aplicación móvil como desde los dispositivos EVA. Por último, puesto que la aplicación web está alojada de manera conjunta al sistema en la nube, puede acceder a los datos de manera directa.

4.3.1.3. Aplicación Móvil

En la búsqueda de una manera para rastrear los vehículos desplegados sin la necesidad de intervenir estos en la instalación de aparatos electrónicos, y que además, sea lo más económica posible, se opta por incorporar la funcionalidad mencionada dentro

del desarrollo de una aplicación móvil para teléfonos celulares, debido a que cuentan con la tecnología GPS ya equipada.

La aplicación móvil, denominada Punto de Agua, se incorpora en el sistema para cumplir con dos grandes propósitos. El primero, administrar y gestionar los eventos de corte, esto se debe poder realizar de manera remota y sencilla, debido a la complejidad geográfica que puede presentar cada evento. El segundo propósito es proveer de datos en tiempo real al sistema, tanto de camiones como estanques desplegados en terreno.

Con el fin de lograrlo, se utilizarán tres distintas tecnologías de comunicación implementadas en el dispositivo: comunicación celular (a través de 4G, 3G u otra red de telefonía disponible), BLE y GPS, estas tecnologías permitirán realizar distintas funcionalidades como la comunicación con el sistema en la nube, posicionamiento georeferenciado, comunicación con dispositivos EVA, entre otras.

Para el desarrollo de la aplicación móvil se opta por utilizar el *framework* de *Flutter*. Esto se debe principalmente a su característica multiplataforma que, utilizando un mismo código fuente, permite compilar la aplicación para dispositivos móviles con sistema operativo *Android* como *IOS* (los que representan la mayor parte del mercado disponible), como también en formato de aplicación web. Si bien esta característica no es única dentro de los *frameworks* de desarrollo móvil, el desempeño de las aplicaciones compiladas, su utilización de las bibliotecas nativas de los sistemas operativos (punto clave en la comunicación GPS y BLE) y su rapidez de programación le dan una mayor ventaja comparativa frente a la competencia como *React Native* o *Ionic*. Una comparación más detallada puede verse en los anexos.

Por otra parte, la utilización de este componente del sistema está propuesto para dos tipos distintos de usuarios detallados a continuación:

- **Administradores:** son el personal encargado de la gestión administrativa y coordinadora de la emergencia, están facultados para contratar operadores, asignar tareas y ordenar el despliegue del suministro alternativo. Por su cargo, este usuario conoce interfaces de sistemas de gestión digitales y cuenta con un teléfono

móvil disponible en todo momento para las tareas del cargo.

- **Operadores:** son los agentes encargados de la ejecución de tareas en terreno durante el evento de emergencia, dentro de estos se destacan los choferes de camiones de reparto de estanques y aljibes, así como los encargados del control de calidad de agua. Este usuario, por lo general no está familiarizado con sistemas similares o el uso de aplicaciones móviles, por lo que se debe asegurar que la interacción con ella sea la mínima posible.

Punto de Agua, además de implementar las interfaces requeridas para la interacción y uso de la aplicación (las que son detalladas más adelante), implementa tres submódulos o proveedores principales, para realizar las funcionalidades más importantes. Estos se detallan a continuación:

- **Proveedor de datos:** es el encargado del manejo de la información crítica del sistema, utiliza una librería dedicada para extraer y cargar datos directamente a la base de datos *Firebase* que se encuentra en la Nube, por lo que establece un pilar fundamental en el uso, edición, actualización y notificación de información para el sistema.
- **Proveedor de comunicación BLE:** su objetivo es el de manejar la conectividad del dispositivo a través de la red *Bluetooth* para la conexión con dispositivos EVA. Para ello, este proveedor encapsula el formato de comunicación serial sobre los paquetes de comunicación BLE, estableciendo las siguientes funcionalidades principales:
 - Descubrir y filtrar dispositivos *BLE*, con tal de seleccionar solo los dispositivos de interés.
 - Conectar y suscribir el dispositivo móvil a las características de recepción y envío de datos de los dispositivos EVA.
 - Recepción de paquetes, decodificación y notificación de datos mediante BLE.

- **Proveedor de geolocalización:** mediante la tecnología *GPS* incluida dentro de los teléfonos inteligentes, este proveedor se encarga de determinar la ubicación en tiempo real de este, notificando tanto por un cambio significativo con respecto a la posición anterior, como de manera periódica.

Por todo lo anterior, los teléfonos móviles a utilizar deben tener instalada la aplicación móvil a utilizar y disponer conexión a la red de telefonía celular, además de una carga total, esto con el fin de maximizar la duración del equipo frente a la emergencia sin la necesidad de tener una alimentación de corriente eléctrica.

4.3.1.4. Aplicación Web

La aplicación web por su parte, es un componente diseñado para responder a la necesidad de información de los clientes afectados por un corte en el suministro de agua potable. Su finalidad es desplegar la información de eventos de corte y el estado de camiones aljibes y estanques desplegados en tiempo real. De esta forma, su implementación debe cumplir con ser de carácter público, disponible a través de internet para todos los clientes de la empresa por igual.

Por otro lado, dado que esta componente del sistema no es un punto de entrada de información, su arquitectura es sencilla y depende principalmente de las suscripciones a los datos almacenados dentro de la base de datos del sistema en la nube.

Para el desarrollo de esta aplicación se opta por utilizar el mismo *framework* de desarrollo de la aplicación móvil, debido a que de esta forma se disminuye tanto el costo de implementación, como también se agiliza la escritura de código, dado que gran parte del código necesario está incorporado dentro de la aplicación móvil.

Las funcionalidades que incorpora esta parte del sistema son las siguientes:

- **Cargar eventos:** se encarga de buscar, enlistar y georeferenciar los eventos de corte en curso.
- **Presentar mapa:** es la funcionalidad del sistema encargada de presentar el mapa de la zona de operación o zona afectada por un corte.

- **Cargar estanques:** su finalidad es reconocer los estanques asignados a un evento (o los estanques que han sido desplegados en general) y graficarlos en las ubicaciones geográficas correspondientes.
- **Cargar camiones:** de la misma manera que la función anterior, se encarga de obtener y graficar los camiones aljibes desplegados.

4.3.2. Diseño de Interfaces

Otra parte importante de los componentes del sistema son las interfaces de usuario implementadas dentro de la aplicaciones móvil y web, las que se encargan de interactuar con los distintos tipos de usuarios del sistema. Debido a esto, es que las interfaces deben cumplir ciertos criterios mínimos a cumplir en el diseño. Las características requeridas son:

- Características mínimas aplicación móvil:

- Intuitiva.
- Dinámica.
- Fácil acceso a funcionalidades.
- Rápida.
- Minimización del error.

- Características mínima aplicación web:

- Llamativa.
- Intuitiva.
- Poco texto.
- Sencilla.

4.3.2.1. Interfaz Aplicación Móvil

Para poder evitar cualquier tipo de problema causado por la mala manipulación del dispositivo, teniendo en cuenta que uno de los tipos de usuarios de esta aplicación tienen, en general, dificultad con la usabilidad de la aplicación, se consideran para el diseño la menor interacción posible y, además, el uso de elementos de gran tamaño.

Los diseños de interfaces para esta aplicación, creados utilizando la herramienta de *Adobe XD*, son los siguientes:



Figura 4.3: Interfaces Aplicación Móvil 1



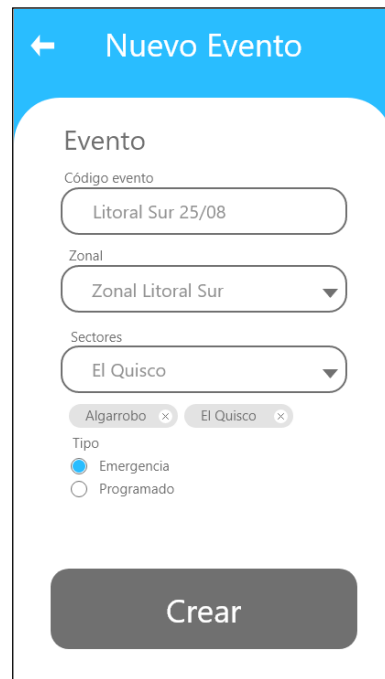
Figura 4.4: Interfaces Aplicación Móvil 2



Figura 4.5: Interfaces Aplicación Móvil 3

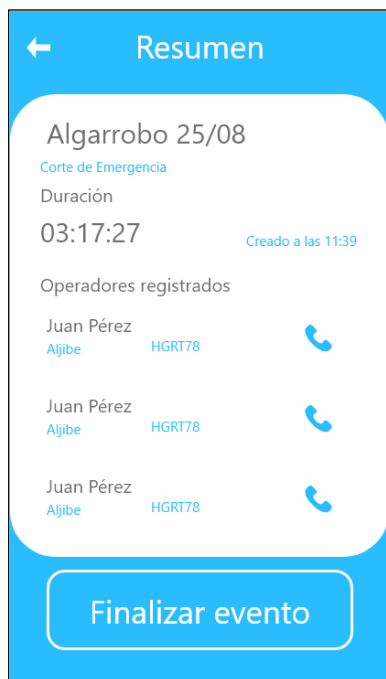


(a) Fase 4 - Inicio administración

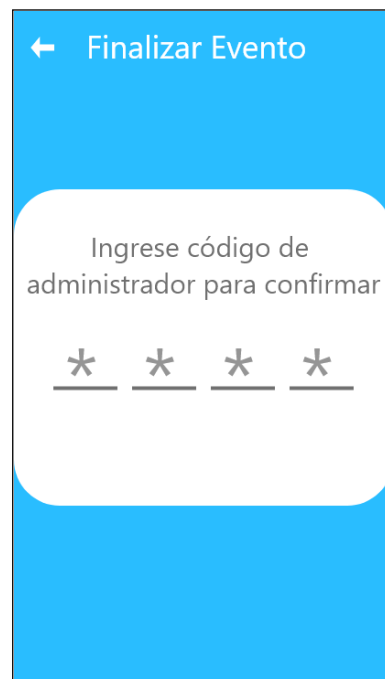


(b) Fase 5 - Nuevo evento

Figura 4.6: Interfaces Aplicación Móvil 4



(a) Fase 6 - Resumen evento



(b) Fase 6.1 - Finalización evento

Figura 4.7: Interfaces Aplicación Móvil 5

4.3.2.2. Interfaz Aplicación Web

En tanto a la aplicación web, esta busca ser una solución de información masiva, por lo que su diseño debe ser intuitivo y sencillo, buscando que la gran mayoría de las personas puedan utilizarlo sin dificultad. De esta manera, los diseños de interfaces para este componente son los siguientes:

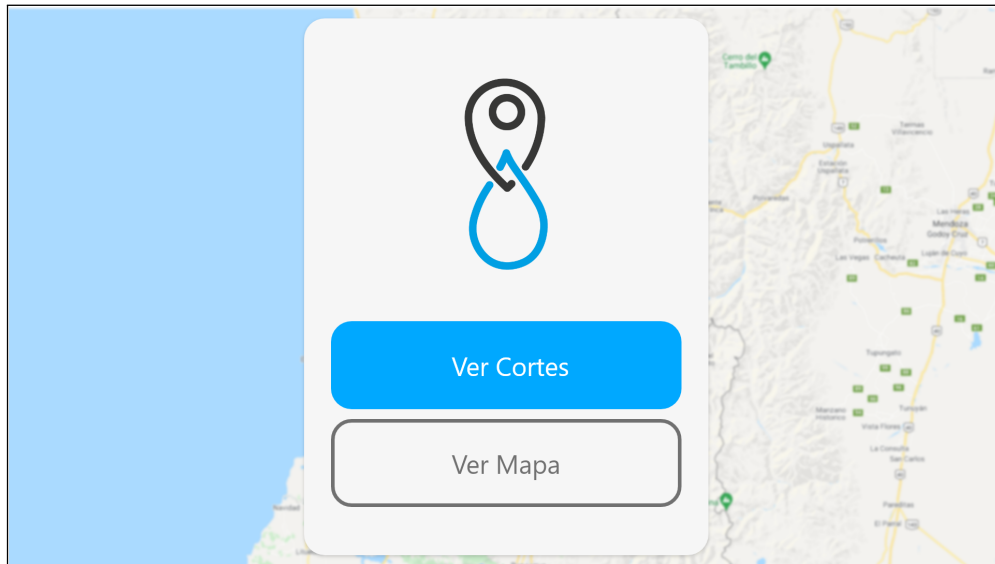


Figura 4.8: Fase 0 - Inicio

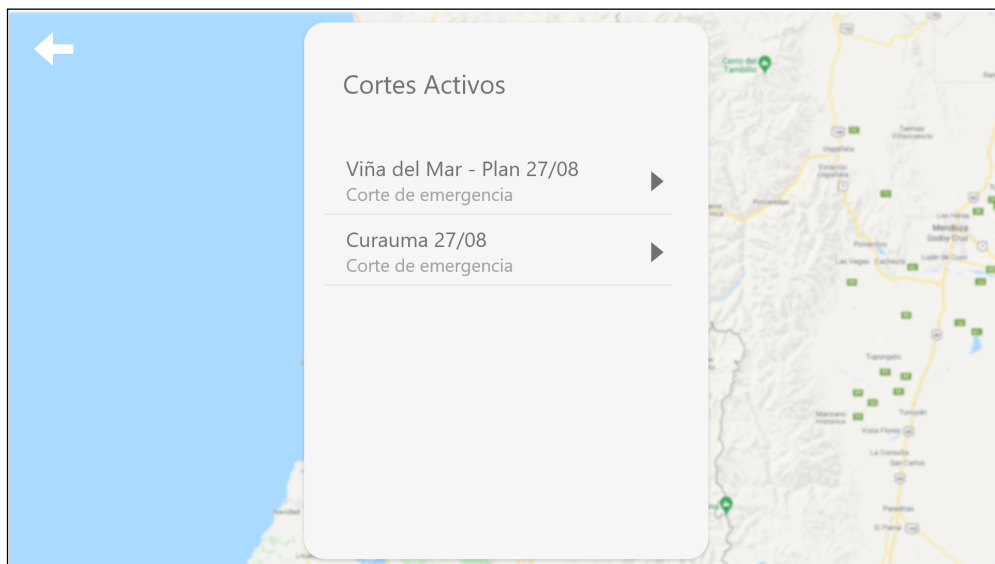


Figura 4.9: Fase 1 - Visualización de cortes

4.4. Entorno de Soporte y Desarrollo

Para el entorno de desarrollo, considerando el hardware escogido para el desarrollo de los prototipos:

4.4.1. Estimador de Volumen de Agua

Con respecto al dispositivo EVA, fue utilizado el *IDE* de *Arduino* para el desarrollo del código que fue subido al microcontrolador ESP32. Por lo que para esta implementación son necesarias las siguientes librerías::

```
1  #include "ArduinoJson/ArduinoJson.h"
2  #include <BLEDevice.h>
3  #include <BLEServer.h>
4  #include <BLEUtils.h>
5  #include <BLE1902.h>
```

Las que tienen como funcionalidad, proporcionar compatibilidad con *Bluetooth Low Energy* para ESP32 utilizando *Arduino* como plataforma. Cabe mencionar que esto corresponde al desarrollo del EVA00, dispositivo que utiliza la tecnología *Bluetooth Low Energy (BLE)* para la comunicación.

Por otro lado, en relación al dispositivo EVA01, además de las librerías mencionadas anteriormente, se le suman las siguientes:

```
1  #include <Wire.h>
2  #include <TinyGsmClient.h>
3  #include <ArduinoHttpClient.h>
4  #include <Adafruit_Sensor.h>
5  #include <Adafruit_BME280.h>
```

Las que tienen como finalidad, facilitar la compatibilidad con *GSM* para el microcontrolador ESP32, y también con la antena *GSM* acorde al módulo de comunicación SIM800L que posee el microcontrolador.

4.4.2. Sistema en la Nube

En el caso del sistema en la nube, se utilizan las tecnologías de *Firebase Realtime Database*, *Firestore Database* y *Cloud Functions* para su implementación. Para esta última, la cual es la encargada de ejecutar tareas automáticamente desde el lado del servidor, es necesario incorporar las siguientes dependencias para su desarrollo:

```
node: v14.18.1
npm: 6.14.15
firebase-tools:6.14.15
```

Además de:

```
"firebase-admin": "^9.8.0",
"firebase-functions": "^3.14.1"
```

Para poder iniciar la escritura de las funcionalidades es necesario realizar la inicialización del proyecto y de la herramienta *functions*. Para ello se ejecutan los comandos:

```
firebase init
firebase init functions
```

Finalmente, para cargar las funcionalidades en el servidor y comenzar a utilizarlas es requerido realizar el comando:

```
firebase deploy --only functions
```

4.4.3. Aplicación Móvil

Por su parte, como se ha mencionado con anterioridad, el desarrollo de la aplicación móvil se realizó utilizando el *framework* de *Flutter*, en su última versión (correspondiente a la 2.5.3). Es por ello que, para configurar la aplicación e implementar las distintas funcionalidades requeridas dentro de la aplicación, las dependencias de paquetes externos son las siguientes:

```
node: v14.18.1
npm: 6.14.15
firebase-tools:6.14.15
```

Además de:

```
cupertino_icons: ^1.0.2
flutter_native_splash: ^1.2.1
flutter_launcher_icons: ^0.9.2
provider: ^6.0.0 http: ^0.13.3
permission_handler: ^8.1.6
flutter_verification_code : ^1.1.0
location : ^4.2.0
flutter_secure_storage: ^4.2.1
cloud_firestore : ^2.5.3
geoflutterfire : ^3.0.1
firebase_auth: ^3.1.1
firebase_core: ^1.6.0
animate_do: ^2.0.0
intl : ^0.17.0
url_launcher: ^6.0.12
google_maps_flutter: ^2.0.10
flutter_blue :
  git:
    url : git://github.com/CsabaConsulting/flutter_blue
    ref : master
```

Además, considerando los requisitos de cada uno de los paquetes mencionados, la versión mínima de *Android* para poder utilizar la aplicación es el SDK 21, correspondiente a la versión 5.0 del sistema operativo, la cual fue lanzada el 14 de noviembre de 2014. Esto supone que la amplia mayoría de teléfonos existentes soportan el software generado.

Para poder compilar y generar la versión de lanzamiento de la aplicación es requerido utilizar el comando:

```
flutter build appBundle
```

4.4.4. Aplicación Web

En el caso de la aplicación web, debido a que cumple con utilizar una misma base y *framework* que la aplicación móvil, disminuyendo la dificultad y cantidad de sus funcionalidades, las dependencias de la aplicación son las siguientes:

```
cupertino_icons: ^1.0.2
provider: ^6.0.0 http: ^0.13.3
cloud_firestore : ^2.5.3
geoflutterfire : ^3.0.1
firebase_core: ^1.6.0
intl : ^0.17.0
google_maps_flutter: ^2.0.10
```

Por otro lado, para realizar la compilación y generar la aplicación web se debe utilizar el comando:

```
flutter build web
```

Finalmente, con el fin de publicar y alojar la aplicación web dentro de la nube de *Firebase* se debe de tener instalado *firebase-tools* en su última versión de npm (6.14.15) y utilizar el siguiente comando:

```
firebase deploy --only hosting
```

4.5. Gestión de Riesgos

Una vez que se tienen los prototipos funcionales y estos comienzan a ser usados en terreno, el proyecto Punto de Agua, tanto los dispositivos EVA como el sistema en la nube, se enfrentan contra los siguientes riesgos y problemas:

- **Problemas con la red telefónica:** Debido a que es por este medio, por el cual se envían los datos de todo el funcionamiento en terreno, si al mismo tiempo de ocurrido un evento de emergencia se genera un corte de la red telefónica (caso poco probable) el sistema estaría totalmente inutilizable hasta la reparación del sistema de comunicación.
- **Deterioro de los equipos:** Pese a que los dispositivos en terreno se encontrarán protegidos en un gabinete, al estar expuestos a distintas variables ambientales como temperatura, agua y humedad, los EVA pueden presentar fallas parciales o totales. Si bien, considerando la protección con la que contarán deberían estar seguros, se debe minimizar y asegurar que para un prototipo comercial este riesgo está mitigado.
- **Bajo financiamiento:** Si el mismo sistema no crea suficiente interés de parte de los principales compradores, el desarrollo de este proyecto a gran escala y su comercialización a otras empresas podría verse detenido.
- **Seguridad informática:** La seguridad informática es de vital importancia en todo sistema informático. Y debido a que la información es necesaria para la operación y toma de decisiones durante un evento de emergencia y de ello depende el suministro alternativo de agua potable para los clientes, se debe asegurar y proteger la información de posibles ataques u alteraciones. Esto además de mantener un soporte para asegurar el funcionamiento frente a posibles caídas del sistema en la nube.
- **Batería EVA:** El consumo energético del dispositivo EVA, es importante que sea

monitoreado, para evitar ocurrencias donde la alimentación se vea detenida y el sistema ubicado en el estanque deje de funcionar, causando una falla en el flujo de datos.

Capítulo 5

Verificación

En esta sección se presenta el plan de verificación, validación y de *testing* para las interfaces y módulos diseñados, culminando con el análisis de los resultados y la evaluación de los riesgos a los que se ve contrapuesto la solución propuesta.

5.1. Verificación

Para verificar que las tecnologías escogidas cumplen realmente con los requerimientos para los cuales fueron diseñados es que se realizaron las siguientes pruebas:

5.1.1. Sensor Ultrasónico

En primer lugar, es necesario corroborar si la medición de distancia a través del sensor ultrasónico es exacta. Por lo cual, se realizaron distintas mediciones variando la distancia vertical entre el sensor y un vaso con agua, simulando la superficie líquida del estanque. Los resultados de esta prueba son:

Distancia medida manualmente [cm]	Distancia medida sensor [cm]
28.2	28.2314
56.5	56.4887
85	85.0143

5.1.2. Comunicación BLE

Primeramente, se debe verificar el funcionamiento de la comunicación *BLE* en un ambiente urbano como el que se espera en el funcionamiento de los dispositivos, el resultado de la prueba dio como distancia máxima de comunicación 71,23 [m] entre un dispositivo móvil y el EVA. Lo que se puede observar en la siguiente imagen:

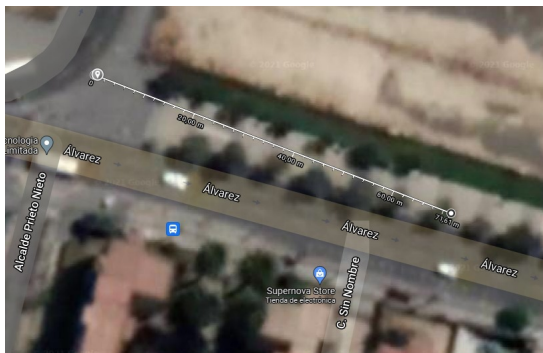


Figura 5.1: Testeo de Rango EVA 00

5.1.3. Comunicación GPRS/GSM

Para empezar, es necesario confirmar si el dispositivo es capaz de enviar información a la base de datos, para lo cual se le integró una antena y una tarjeta *SIM*. En un principio, el EVA01 no era capaz de conectarse al *APN* correspondiente, lo que causó reemplazar la antena que venía con el microcontrolador.

Una vez subsanado este problema, el dispositivo pudo realizar un envío de información hacia la base de datos, pudiéndose conectar al *APN* correspondiente y al *host* de *Firebase* para enviarle información.

5.1.4. Aplicación Móvil

Luego del desarrollo, es necesario confirmar si la aplicación se encuentra en una versión lista para compilación y publicación. Para ello es necesario comprobar si se puede obtener el archivo *appBundle* de la aplicación (requerido para la publicación en tiendas). De esta forma, el comando arroja lo siguiente:

```
PS C:\Users\asus\Dev\memoria\punto_agua_1> flutter build appbundle

Building with sound null safety

Removed unused resources: Binary resource data reduced from 175KB to 146KB: Removed 16%
Running Gradle task 'bundleRelease'... 217,5s
✓ Built build\app\outputs\bundle\release\app-release.aab (19.7MB).
PS C:\Users\asus\Dev\memoria\punto_agua_1> 
```

Figura 5.2: La aplicación se encuentra compilada para dispositivos Android.

Lanzando la aplicación que se observa a continuación:

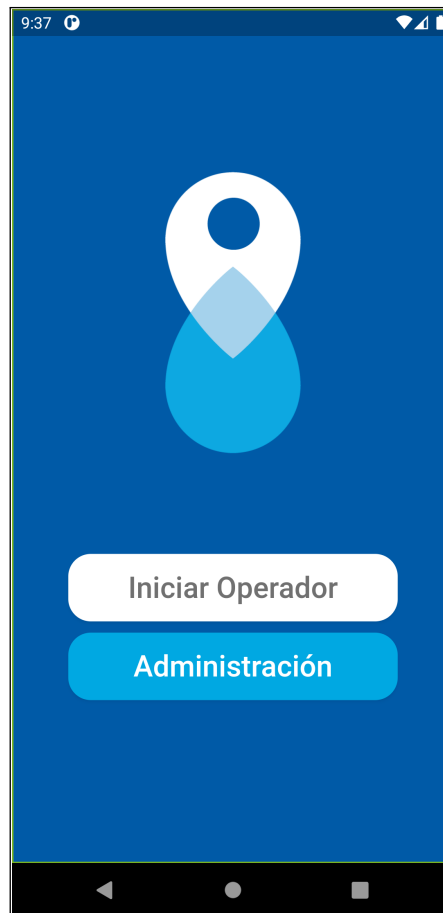


Figura 5.3: Interfaz vista desde el teléfono

5.1.5. Aplicación Web

Si bien se tenía en cuenta la posibilidad de utilizar el mismo *framework* y código para realizar una aplicación móvil y una web, este proceso no había sido comprobado

con anterioridad, es por ello que para comprobar su funcionamiento y poder observar dentro de un explorador web con los ajustes realizados, se realizan las tareas de compilación y publicación de la versión web dentro de los servidores de *Firebase*. Los resultados de esta verificación se pueden ver en las siguientes capturas:

```
PS C:\Users\asus\Dev\memoria\web_punto_agua> flutter build web
Waiting for another flutter command to release the startup lock...

Building with sound null safety

Compiling lib\main.dart for the Web... 64,5s
PS C:\Users\asus\Dev\memoria\web_punto_agua>
PS C:\Users\asus\Dev\memoria\web_punto_agua> firebase deploy --only hosting

=== Deploying to 'punto-de-agua'...

i deploying hosting
i hosting[punto-de-agua]: beginning deploy...
i hosting[punto-de-agua]: found 22 files in build/web
+ hosting[punto-de-agua]: file upload complete
i hosting[punto-de-agua]: finalizing version...
+ hosting[punto-de-agua]: version finalized
i hosting[punto-de-agua]: releasing new version...
+ hosting[punto-de-agua]: release complete

+ Deploy complete!

Project Console: https://console.firebase.google.com/project/punto-de-agua/overview
Hosting URL: https://punto-de-agua.web.app
```

Figura 5.4: compilación y publicación exitosos

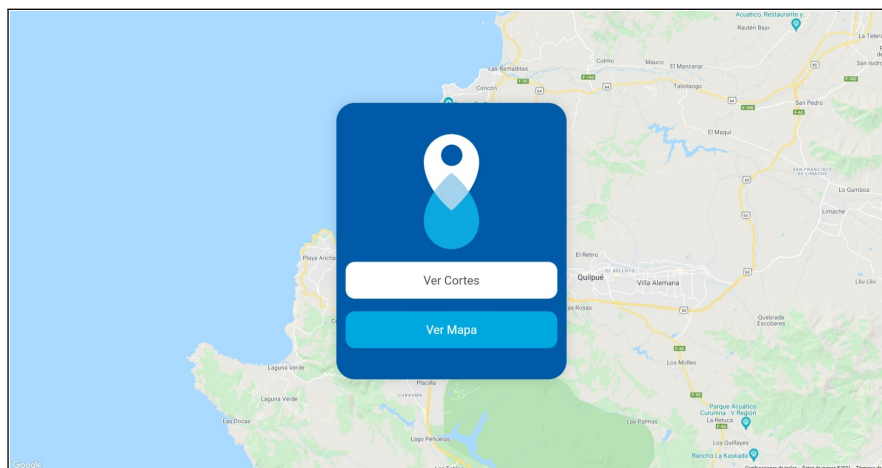


Figura 5.5: Interfaz aplicación web vista desde un computador

5.1.6. Firebase

Las herramientas de *Firebase* son claves para el funcionamiento del sistema en la nube. Para ello, una herramienta indispensable es la de *Cloud Functions*, que permiten realizar tareas de manera automática desde el servidor. Para verificar su implementación correcta, se realiza la publicación de las funciones desarrolladas en *Node.js*, las cuales atraviesan una capa de pruebas para verificar su correcto funcionamiento. El resultado de esta verificación se puede observar en la siguiente imagen:

```
PS C:\Users\asus\Dev\memoria\functions\functions> firebase deploy --only functions

=== Deploying to 'punto-de-agua'...

i deploying functions
> eslint .

+ functions: Finished running predeploy script.
! functions: package.json indicates an outdated version of firebase-functions.
Please upgrade using npm install --save firebase-functions@latest in your functions directory.
i functions: ensuring required API cloudfunctions.googleapis.com is enabled...
i functions: ensuring required API cloudbuild.googleapis.com is enabled...
+ functions: required API cloudfunctions.googleapis.com is enabled
+ functions: required API cloudbuild.googleapis.com is enabled
i functions: preparing functions directory for uploading...
i functions: packaged functions (35.96 KB) for uploading
+ functions: functions folder uploaded successfully
i functions: updating Node.js 14 function createEventCode(us-central1)...
i functions: updating Node.js 14 function migrateToFirestore(us-central1)...
+ functions[createEventCode(us-central1)] Successful update operation.
+ functions[migrateToFirestore(us-central1)] Successful update operation.
i functions: cleaning up build files...

+ Deploy complete!

Project Console: https://console.firebase.google.com/project/punto-de-agua/overview
```

Figura 5.6: Publicación Cloud Functions

Capítulo 6

Resultados

En esta sección se muestran los resultados obtenidos correspondientes al prototipo funcional. Primeramente se analizan las interfaces implementadas en las aplicaciones móvil y web, ajustando detalles con respecto a los diseños presentados e incorporando nuevas funcionalidades dentro de la aplicación móvil. Luego, se revisa un caso de uso paso a paso del funcionamiento completo del sistema, a través de todos los componentes mencionados dentro de este trabajo, lo que permite observar en su totalidad el resultado obtenido.

6.1. Interfaz Aplicación Móvil

En la siguiente sección se muestran las Interfaces Desarrolladas para la aplicación móvil. Estas interfaces aún cuentan con detalles estéticos a mejorar, debido a que son el resultado para el prototipo funcional, mas no para el producto comercial. Por otro lado, el resultado varía frente al presentado en los diseños en cuanto a estilos y colores de algunas vistas. Además, se agregan funcionalidades no contempladas en un inicio, como el uso directo del visualizador de mapa dentro de las funcionalidades del administrador.

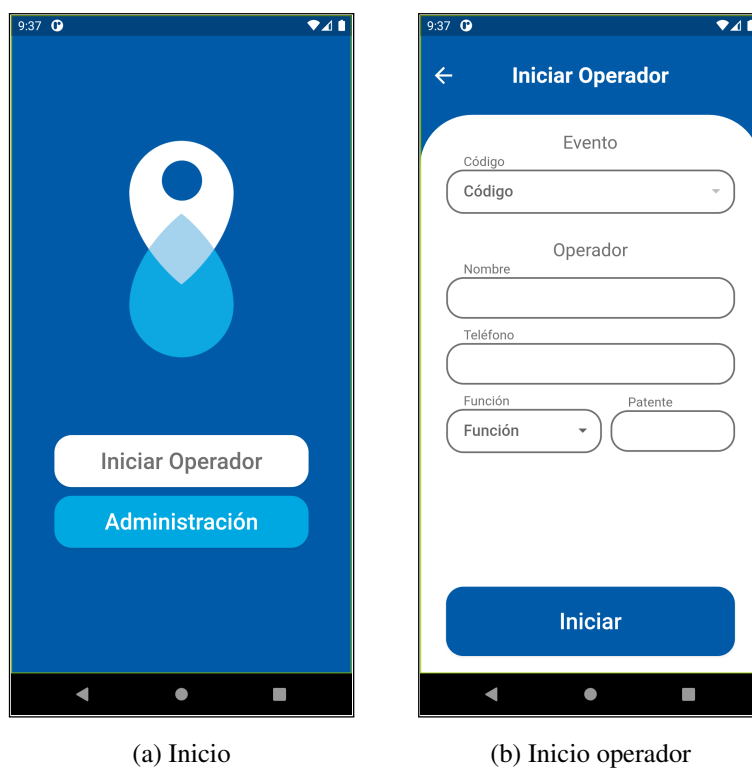


Figura 6.1: Interfaces Aplicación Móvil Implementadas

(a) Inicio operador relleno

(b) Confirmación inicio operador

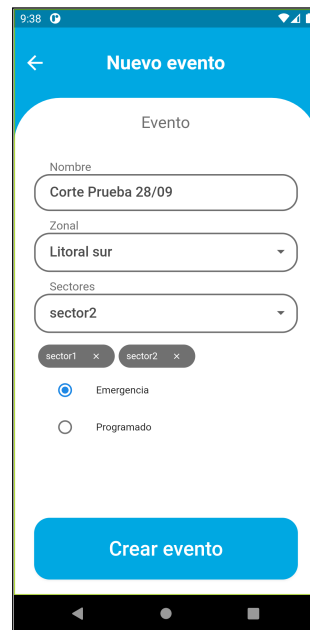
(c) Operación activa

(d) Login administración

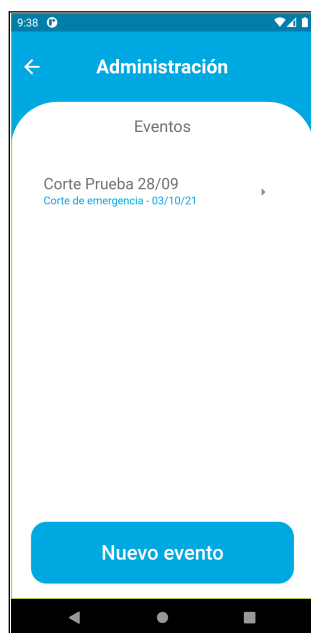
Figura 6.2: Interfaces Aplicación Móvil Implementadas



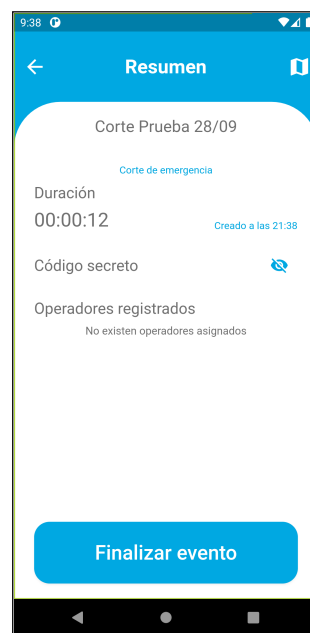
(a) Listado eventos vacío



(b) Nuevo evento

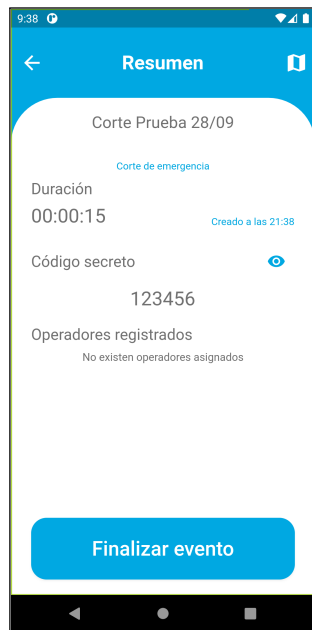


(c) Listado eventos

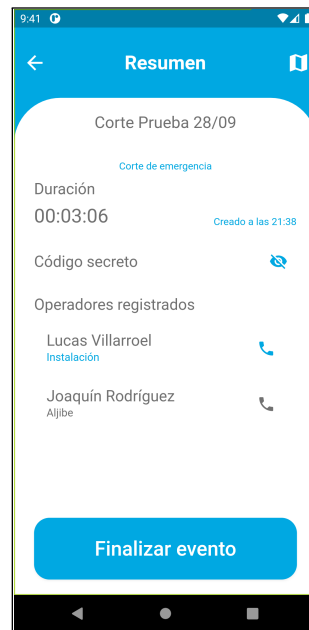


(d) Resumen evento

Figura 6.3: Interfaces Aplicación Móvil Implementadas



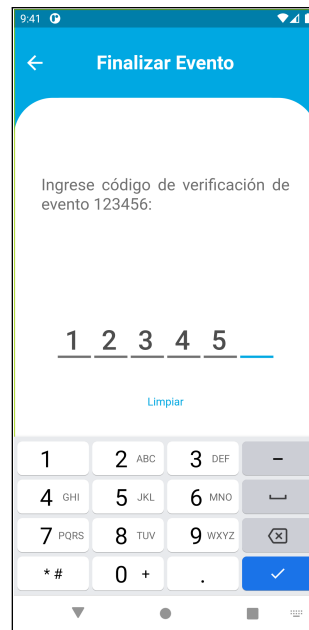
(a) Resumen con código secreto



(b) Resumen con operadores registrados



(c) Visualización de mapa



(d) Finalización de evento

Figura 6.4: Interfaces Aplicación Móvil Implementadas

6.2. Interfaz Aplicación Web

En la siguiente sección se muestran las Interfaz Desarrolladas para la aplicación web. Estas interfaces no contienen un desarrollo gráfico pulido ya que es el resultado para el prototipo funcional del sistema.

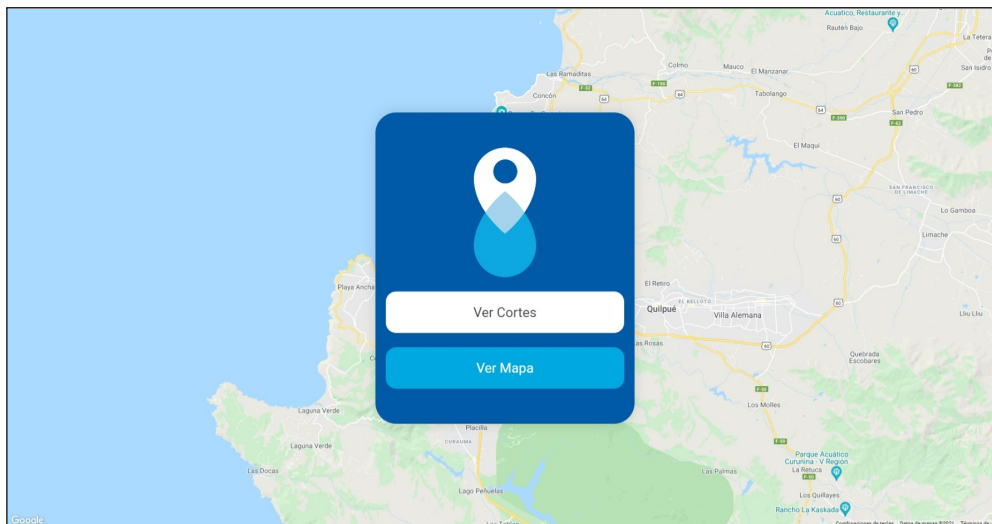


Figura 6.5: Inicio

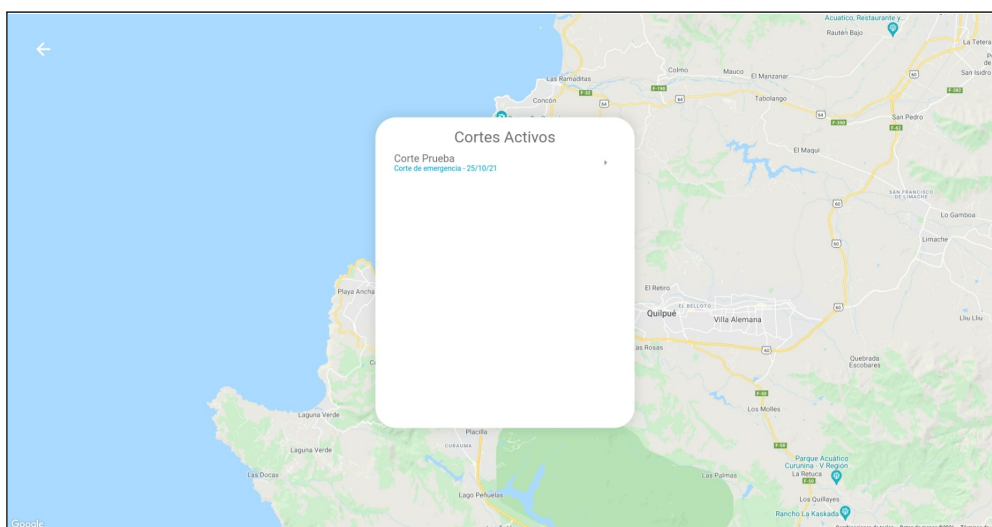


Figura 6.6: Listado de eventos

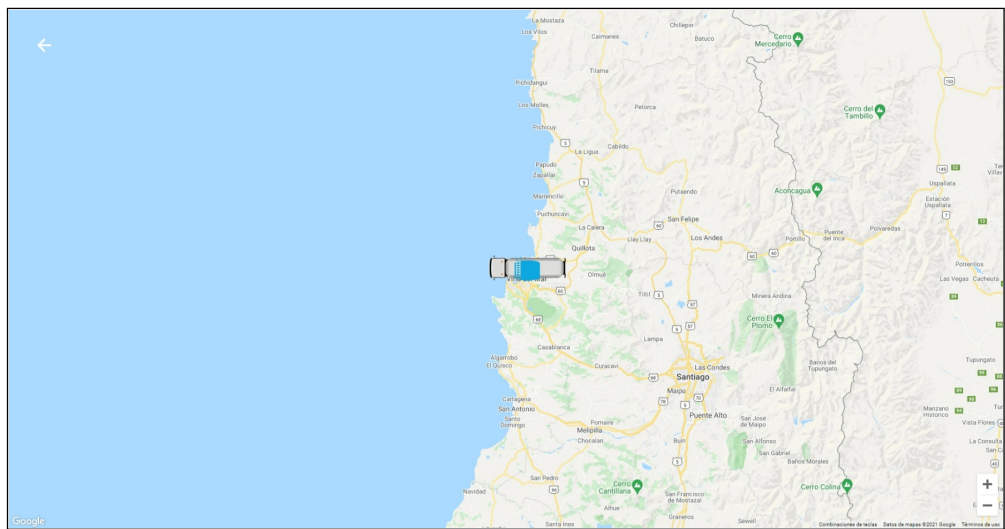


Figura 6.7: Vista de mapa



Figura 6.8: Vista de mapa para evento específico

6.3. Caso de Uso - Demostración.

Para demostrar el funcionamiento del sistema en forma general, se graba un video demostrativo que incorpora la interacción de todos los elementos mencionados a lo largo del trabajo. En este video se siguen una serie de pasos para verificar el correcto desempeño de las funcionalidades desarrolladas para el prototipo funcional, las cuales cubren, a grandes rasgos, la gestión del evento y el monitoreo en tiempo real.

Las funcionalidades de gestión del evento se pueden notar en los procesos de crear, administrar y detener eventos de emergencia dentro de la aplicación. Mientras que el monitoreo en tiempo real, hace alusión a la captura de datos desde los EVA y aplicación móvil.

Con el fin de poder ilustrar las tareas realizadas y su cronología, se presentan a continuación el paso a paso que se sigue en el video demostrativo.

- El administrador se “loguea” en la aplicación.
- El administrador crea un nuevo evento de emergencia.
- El administrador ve el resumen del evento.
- El administrador revisa el código de seguridad del evento.

La interacción mencionada puede verse en el siguiente diagrama de interacciones:

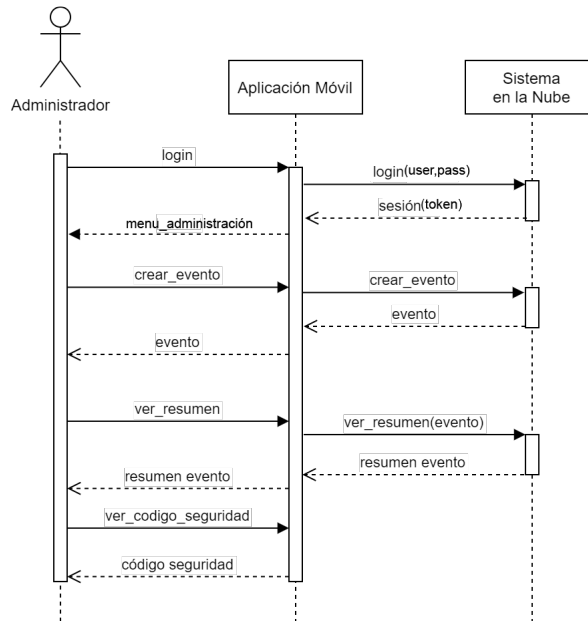


Figura 6.9: Creación de un evento.



Figura 6.10: Capturas de creación de evento

- El administrador abre el formulario de inicio de operadores.
- El administrador selecciona el evento correspondiente a sus funciones.
- El administrador ingresa el código de confirmación de evento.
- La aplicación comienza su funcionamiento enviando su ubicación.

La interacción mencionada puede verse en el siguiente diagrama de interacciones:

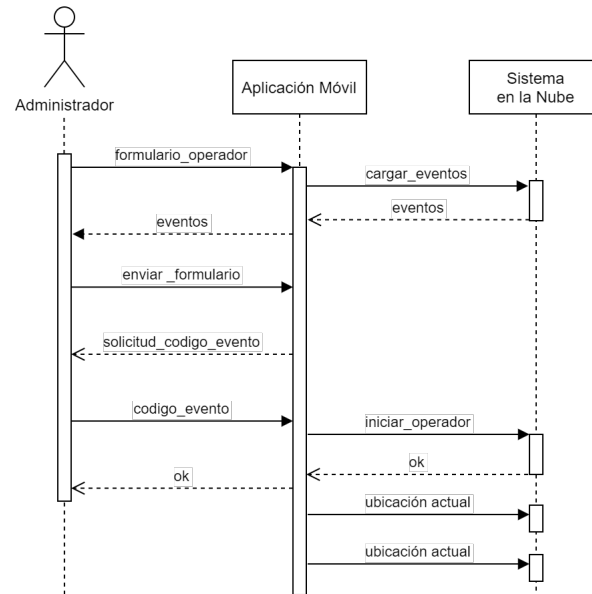


Figura 6.11: Inicio de operador



Figura 6.12: Capturas de interacciones mencionadas

- El EVA 01 comienza a enviar periódicamente su reporte de información al sistema en la nube.
- El operador envía actualizaciones de su ubicación en tiempo real al sistema en la nube, sin necesidad de interactuar con la aplicación.
- El operador al acercarse al EVA 00 recibe los datos medidos por el dispositivo y los envía al sistema en la nube.

La interacción mencionada puede verse en el siguiente diagrama de interacciones:

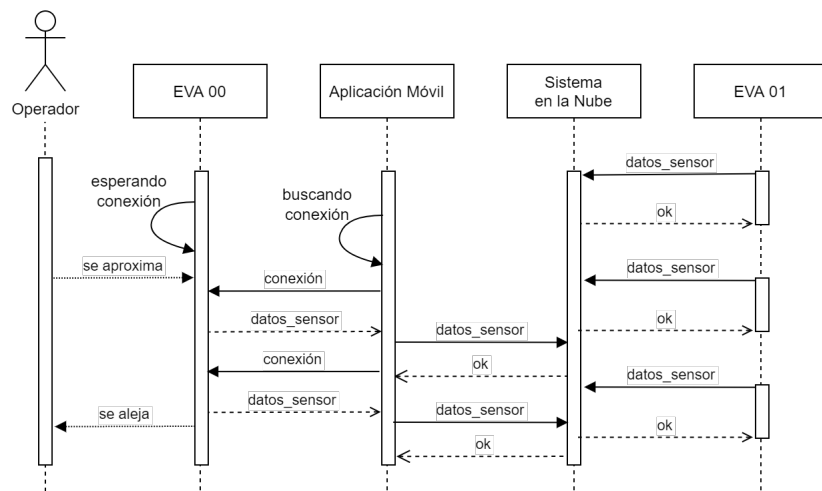


Figura 6.13: Recibir información desde EVAs.

- El administrador ingresa desde el resumen del evento al mapa del mismo en la aplicación móvil.
- El cliente ingresa a la sección de ver mapa dentro de la aplicación web.
- Las aplicaciones despliegan el mapa del sector del evento y presentan los estanques y camiones disponibles.
- Los distintos usuarios interactúan con el mapa para verificar información sobre los estanques y camiones.
- El sistema en la nube actualiza la información a las aplicaciones a medida que recibe nuevos datos.

La interacción mencionada puede verse en el siguiente diagrama de interacciones:

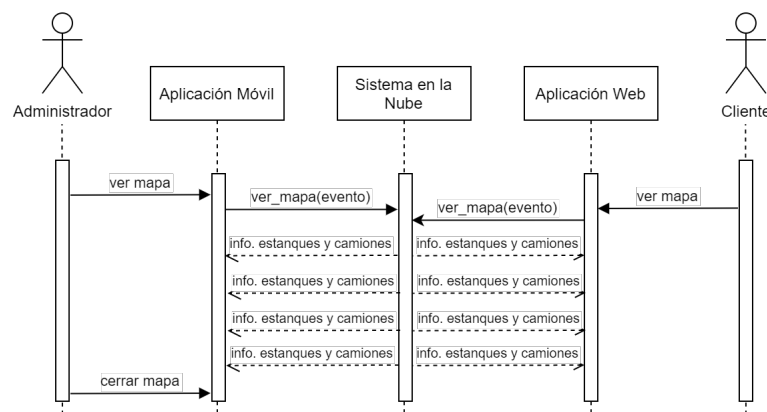
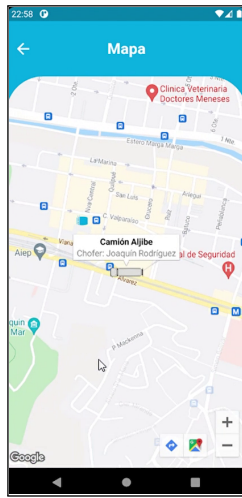


Figura 6.14: Seguimiento en tiempo real desde *app* móvil y web.



(a) Visualización
mapa



(b) Actualización
EVA01



(c) Actualización EVA00

Figura 6.15: Capturas de interacciones mencionadas

- El operador solicita finalizar la operación.
- El operador ingresa el código de verificación del evento.
- La aplicación móvil detiene el envío de información.
- El sistema en la nube confirma la finalización de la operación.

La interacción mencionada puede verse en el siguiente diagrama de interacciones:

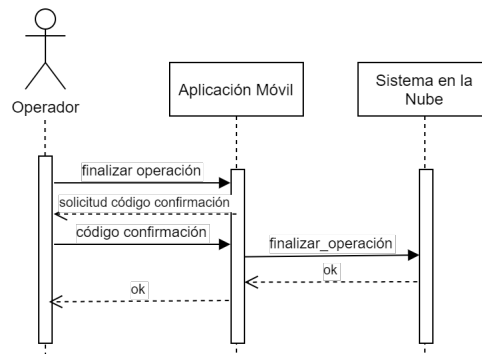
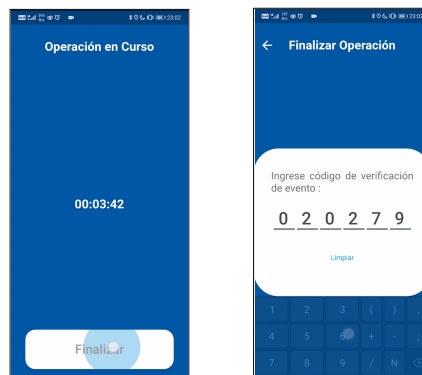


Figura 6.16: Finalizar operador



(a) Solicitud de finalización

(b) Código de confirmación

Figura 6.17: Capturas de interacciones mencionadas

- El administrador ingresa al resumen del evento.
- El administrador solicita la finalización del evento.
- El administrador ingresa el código de confirmación del evento.
- El sistema en la nube confirma la finalización del evento.

La interacción mencionada puede verse en el siguiente diagrama de interacciones:

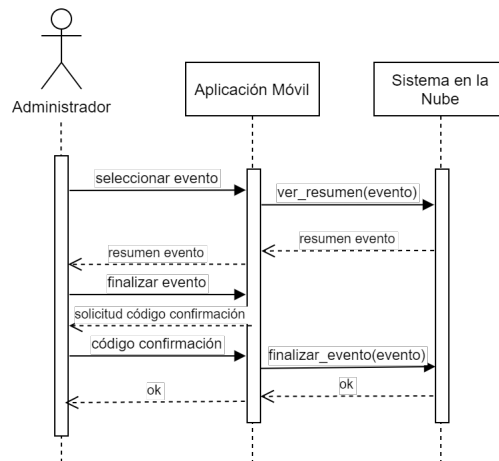
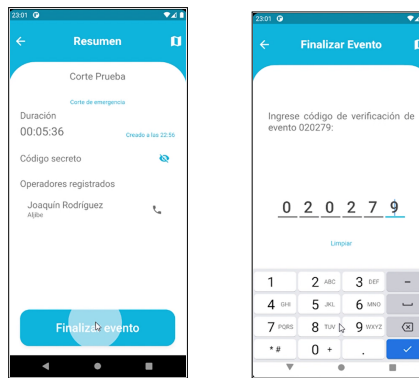


Figura 6.18: Finalizar evento



(a) Solicitud de finalización

(b) Código de confirmación

Figura 6.19: Capturas de interacciones mencionadas

El vídeo mencionado en esta sección puede ser visualizado en el siguiente enlace.

Capítulo 7

Conclusiones y Trabajos futuros

El problema hídrico nacional y global, ha llevado a buscar alternativas en las que las empresas sanitarias mejoren la gestión del suministro de agua potable para así controlar y aminorar la crisis. Además de la gestión principal de agua, como se busca en este proyecto, el suministro alternativo también debe mejorar su rendimiento en esta situación hídrica.

En este proyecto se trabajó para encontrar una forma para digitalizar y optimizar la gestión alternativa de agua potable de una manera innovadora y accesible. La solución, compuesta de una plataforma, que contiene una aplicación web y móvil, y dispositivos desplegados en terreno generó un sistema que cubre las necesidades correspondientes a un suministro alternativo, lo que demuestra que mediante usos creativos, se puede obtener el potencial del área de *IoT*.

Finalmente, se destaca que este prototipo es un sistema que está orientado a un sector de empresas sanitarias, pero mediante el uso de diferentes sensores, se le puede dar un nuevo enfoque al proyecto, así demostrando que es un sistema sólido y de bajo costo. Donde un administrador puede monitorear diferentes dispositivos y sus mediciones además de los operadores desplegados.

7.1. Trabajos Futuros

- **Curva de Consumo:** Mediante una curva de consumo, se podrá visualizar cuando es necesario ir al estanque para rellenarlo de agua. Además se podrán hacer cálculos de las áreas donde se consume la mayor cantidad, para así plantear si la ubicación de los estanques está planteada de buena manera.
- **Cloración del Agua:** Al momento del prototipo funcional, el sensor solamente informa el nivel del agua del estanque, a lo que sería necesario agregar otro dato igual de relevante, el estado de la potabilidad del agua. Lo cual corresponde a una cantidad de horas antes que deba ser clorada para no perder su potabilidad.
- **Parametrización de Dispositivos EVA:** Cada estanque tiene sus propias dimensiones, por lo que sería necesario que ya sea un operador o un administrador pueda establecer desde la plataforma los valores adecuados.
- **Divulgación y Captación:** Una vez se encuentre listo el prototipo comercial, es necesario atraer la atención hacia el Proyecto Punto de Agua, para que de esta forma los potenciales clientes conozcan su existencia.
- **Establecer Alianzas Clave:** Siguiendo la misma línea del punto anterior, es necesario generar lazos que permitan al proyecto prosperar, tales como empresas sanitarias, etc.

Capítulo 8

Anexos

8.1. Comparación Frameworks

	React Native	Ionic	Flutter	Android/iOS nativo
Lenguaje de programación	JavaScript	CSS, HTML5, TypeScript	Dart	Java, Kotlin / Swift
Soporte de plataformas	Android 4.1+, iOS 8+	Android 4.4+, iOS 8+, Windows 10	Android 4.1+, iOS 8+, Windows 10, web	Android e iOS
Interfaz de usuario	Uso nativo de elementos de IU	HTML, CSS	Uso nativo de elementos de IU y elementos propios	Uso nativo de elementos de IU
Desempeño	Cercano a nativo	Moderado	Excelente	Excelente
Desarrollo y testing	Promedio	Promedio	Rápido, soporta recargas en vivo	Rápido y conveniente
Uso de bibliotecas nativas	Bueno	Promedio, lejano en funcionalidades del sistema operativo	Excelente, cercano a las funcionalidades nativas de los dispositivos.	Excelente
Reusabilidad de código	90%	98%	90%	98%
Costo	Open-source	Open-source y planes pagados	Open-source	Open-source
Costo y tiempo a mercado	Más rápido y barato	Más rápido y barato	Más rápido y barato	Más lento y costoso
Mercado	Muy grande y consolidado	Grande y consolidado	Nuevo, pero creciente	Muy grande y consolidado

Figura 8.1: Tabla comparativa Frameworks de desarrollo móvil

Bibliografía

- [1] Corte de agua para La Serena y Coquimbo: estiman 70 mil clientes afectados; <https://www.elmostrador.cl/dia/2021/02/09/corte-de-agua-para-la-serena-y-coquimbo-estiman-70-mil-clientes-afectados/>
- [2] Corte de agua de emergencia afecta a sectores de La Serena y Coquimbo; <https://www.emol.com/noticias/Nacional/2021/02/09/1011754/Corte-agua-emergencia-La-Serena.html/>
- [3] Encuesta percepción de clientes Esval 2020; https://www.siss.gob.cl/586/articles-19021_ESVAL.pdf
- [4] Decreto 41 Reglamento sobre condiciones sanitarias para la provisión de agua potable mediante el uso de camiones aljibe; <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1114794>
- [5] Chile proyecta un duro escenario de escasez de agua para el año 2060; <https://www.elagoradiario.com/agua/chile-escasez-agua-futuro-balance>
- [6] 2021: El año con más Decretos de Escasez Hídrica; <https://dga.mop.gob.cl/noticias/Paginas/DetalledeNoticias.aspx?item=796>
- [7] Distribución de hogares según la fuente de obtención de agua; <https://datasocial.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/fichaIndicador/815/1>

- [8] Pacto Global. *Chile destaca en el "Top Ten" mundial de saneamiento de agua.*
<https://pactoglobal.cl>
- [9] Water Industry Journal. *Water supply interruption; incident management.*
<https://www.waterindustryjournal.co.uk>
- [10] South East Water.
<https://southeastwater.com.au>
- [11] Water Direct.
<https://www.water-direct.co.uk>
- [12] Aguas Andinas.
<https://www.aguasandinas.cl>
- [13] José V., Gerardo S., et al. (2014). Monitoreo remoto de nivel de agua usando el procesador de red Amber EM260. Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, Departamento de electrónica, Jalisco.
- [14] K. Sujatha, P. V. Nageswara Rao, K. J. Sruthi and A. A. Rao, "Design and development of android mobile based bus tracking system," 2014 First International Conference on Networks & Soft Computing (ICNSC2014), 2014, pp. 231-235.