Sistema de monitoreo de contaminación atmosférica producida por el parque automotor de la ciudad de Tuluá usando el Internet de las Cosas

PRESENTADO POR:

Edwin Camilo Baquero Pabón

Leidy Marcela Tamayo Yepes

DIRECTOR

ALVARO SALAZAR VICTORIA

Ingeniero electrónico

Especialista en Telemática

UNIDAD CENTRAL DEL VALLE DEL CAUCA – UCEVA

FALCUTAD DE INGENIERIA

INGENIERIA DE SISTEMAS

TULUA – VALLE DEL CAUCA

2019

Sistema de monitoreo de contaminación atmosférica producida por el parque automotor de la ciudad de Tuluá usando el Internet de las Cosas

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO OPCION PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO DE SISTEMAS

UNIDAD CENTRAL DEL VALLE DEL CAUCA – UCEVA

FALCUTAD DE INGENIERIA

INGENIERIA DE SISTEMAS

TULUA – VALLE DEL CAUCA

2019

Nota de aceptación:

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Firma del presidente del jurado

_____

Firma del jurado

_____

Firma del Jurado

Tuluá – Valle del Cauca, Julio 2020

DEDICATORIA

Dedicamos este logro a nuestros padres por brindarnos la oportunidad de crecer profesionalmente, por el apoyo y la motivación necesaria para finalizar este camino y por la confianza depositada en nosotros. Igualmente, a nuestros hermanos y demás familiares que confían en nuestras capacidades y nos regalan siempre palabras de aliento.

AGRADECIMIENTOS

Damos gracias infinitas a Dios por la sabiduría, el entendimiento y la inteligencia que nos brinda a diario y que nos permitió culminar esta etapa en nuestras vidas, a nuestros padres por su apoyo y acompañamiento incondicional en cada momento, a los docentes que de alguna manera marcaron nuestras vidas y nos permitieron enriquecer nuestros conocimientos. Gracias…

CONTENIDO

CONTENIDO 6
RESUMEN 9
INTRODUCCIÓN 15
CAPITULO I. GENERALIDADES 16
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 16
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 17
1.3 JUSTIFICACIÓN 18
1.4 OBJETIVOS 19
1.4.1 GENERAL 19
1.4.2 ESPECIFICOS 19
1.5 ALCANCE 20
1.6 ESTADO DEL ARTE 21
CAPÍTULO II. MARCOS DE REFERENCIA 23
2.1 MARCO TEÓRICO 23
SOFTWARE 23
2.1.1 Arquitectura de Micro servicios 23
2.1.1.1 Api Rest 24
2.1.1.2 Backend 25
2.1.1.3 Frontend 28
2.1.1.4 Persistencia 29
2.1.1.5 Internet de las Cosas IoT 32
2.2.1.6 Metodologías de desarrollo de software 39
2.1.1.7 Control de Versiones 51
2.1.1.8 Calidad del Aire 52
2.1.2 Green IT: Tecnologías para el medioambiente 57
2.2 MARCO LEGAL 58
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN 60
3.1 INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL 60
3.1.1 Formulación del problema 60
3.1.2 Hipótesis 61
3.1.3 Realización de un diseño adecuado a la hipótesis 61

3.1.4 Recogida y análisis de datos 61
3.1.5 Conclusiones de la investigación experimental 63
3.2 INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA-CUALITATIVA 64
3.2.1 Proceso de muestreo 64
3.2.1.1 Plantear Objetivos 64
3.2.1.2 Definir población 66
3.2.1.3 Especificación del marco muestral 66
3.2.1.4 Escoger tipo de muestreo 67
3.2.1.5 Selección y tamaño de la muestra 67
3.2.1.6 Recolección de datos 68
3.2.1.7 Procesar y analizar datos 71
CAPÍTULO IV INGENIERIA 75
4.1 ANALISIS DE REQUERIMIENTOS 75
4.1.1 Modelo de dominio 75
4.1.2 Prototipo inicial de la GUI 77
4.1.3 Diagrama de despliegue o de nodos y componentes 79
4.1.4. Diagrama de robustez 79
4.2 ANÁLISIS Y DISEÑO PRELIMINAR 80
4.2.1 Tablas de caso de uso de requisitos 80
4.3 DISEÑO GENERAL 82
4.3.1 Diagramas de secuencia 82
4.3.2 Diagramas de estados 83
4.3.3 Diagramas de actividades 84
4.3.4 Diagramas de clases 85
4.4 DISEÑO DE DATOS 86
4.4.1 Esquema de base de datos 86
4.5 DISEÑO DE INTERFACES 88
4.5.1 Interfaces 88
4.5.2 Diagrama de navegación entre ventanas 89
4.6 DESARROLLO 90
4.6.1 Descripción de la técnica de programación 90
4.6.1.1 Scrum como metodología para la gestión de equipos de desarrollo 91

4.6.1.2 Node-Red 92
4.6.1.4 Seguridad y comunicación 93
4.6.2 Pruebas de aceptación del usuario 96
CAPITULO V RESULTADOS 97
Objetivo Específico No.1 97
Objetivo Específico No.2 102
Objetivo Específico No.3 102
Objetivo Específico No.4 103
CAPITULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 105
5.1 CONCLUSIONES 105
5.2 RECOMENDACIONES 107
Bibliografía 108

RESUMEN

El presente trabajo de grado está enfocado en la construcción del prototipo de una estación de monitoreo de agentes contaminantes del aire, los cuales son emitidos por el parque automotor en la ciudad de Tuluá.

Siguiendo algunos criterios importantes de las metodologías de desarrollo de software Iconix y Scrum, se desarrolló un sistema de información web, el cual permite visualizar la información obtenida por la estación de monitoreo, proporcionando información para que la ciudadanía conozca el estado de la calidad del aire de manera histórica y en tiempo real, mediante la implementación de la tecnología IoT para la integración y conectividad de todo el sistema.

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Protocolo MQTT 34
Ilustración 2. Fases de la metodología de desarrollo de software Iconix 40
Ilustración 3. Metodología de desarrollo de software Scrum 43
Ilustración 4. Formula del ICA. 55
Ilustración 5. Gráfica generada por la página web SMAQ 62
Ilustración 6. Datos de Investigación 64
Ilustración 7. Fórmula para determinar tamaño de la muestra. 67
Ilustración 8. Encuesta en línea 69
Ilustración 9. Encuesta en línea 70
Ilustración 10. Encuesta en línea 71
Ilustración 11. Gráfica de la encuesta 72
Ilustración 12. Gráfica de la encuesta 72
Ilustración 13. Gráfica de la encuesta 73
Ilustración 14. Diagrama del Modelo de Dominio 76
Ilustración 15. Interfaz Principal. 77
Ilustración 16. Interfaz Mapa 78
Ilustración 17. Diagrama de despliegue. 79
Ilustración 18. Diagrama de robustez - Caso de uso visualizar mapa. 79
Ilustración 19. Diagrama de Secuencia – Reportes. 82
Ilustración 20. Diagrama de Secuencia - Estación. 82
Ilustración 21. Diagrama de Estados - Agregar Estación. 83
Ilustración 22. Diagrama de Actividades - Actualizar Dispositivo. 84
Ilustración 23. Diagrama de Clases Entidad Dispositivo y estación. 85
Ilustración 24. Diagrama Entidad Relación. 87
Ilustración 25. Captura de Interface Principal. 88
Ilustración 26. Diagrama de navegación. 89
Ilustración 27. Tecnologías y frameworks utilizados. 91
Ilustración 28. Programación en Node red. 92
Ilustración 29. Funcionamiento de SSH. 94
Ilustración 30. Características del sensor MICS-4514 99
Ilustración 31. Características del sensor PMS7003. 100
Ilustración 32. Diagrama de bloques del hardware. 101
Ilustración 33. Gráfica Reporte. 103

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estado del Arte 21
Tabla 2. PostgreSQL vs MySQL 32
Tabla 3. Concentraciones típicas de componentes de gas en el tubo de escape del vehículo, en el aire de fondo natural y en la relación de concentración del tubo de escape / aire de fondo 54
Tabla 4. Estándar Puntos de Corte del ICA 56
Tabla 5. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio. 58
Tabla 6. Promedio por mes de contaminantes medidos 62
Tabla 7. Comparación de los diseños básicos de investigación. 65
Tabla 8. Cuadro comparativo de Investigación Cualitativa y Cuantitativa 66
Tabla 9. Cuadro explicativo de variables. 67
Tabla 10. Ficha técnica de la encuesta realizada 74
Tabla 11. Formato caso de uso de requisitos. 80
Tabla 12. Prueba de aceptación del usuario página web SMAQ. 96
Tabla 13. Características y Beneficios del sensor CCS811. 98
Tabla 14. Cálculo del ICA mes de agosto. 104

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Estado del arte

ANEXO B. Metodología de investigación

ANEXO C. Casos de uso de requisitos

ANEXO D. Prototipo inicial de las gui

ANEXO E. Interfaces página web smaq

ANEXO F. Diagrama de estados, actividades y robustez

GLOSARIO

API (interfaz de programación de aplicaciones): es un conjunto de rutinas que provee acceso a funciones de un determinado software.

APLICACIÓN WEB: software codificado a través de un navegador que recolecta y procesa información con un fin específico.

CASOS DE USO: diagrama que modela el conjunto de pasos, actores y elementos que intervienen para cumplir una tarea dentro de un sistema.

CONTAMINANTES CRITERIO: Los contaminantes criterios se han identificado como los contaminantes que son perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos

FRAMEWORK: es un entorno de trabajo para el desarrollo de aplicaciones.

GPRS (General Packet Radio Service): es una extensión de la tecnología de comunicaciones móviles GSM. En ella la información es dividida en pequeños bloques, los que posteriormente se reagrupan al llegar al destino. Este tipo de transmisión permite una mayor capacidad y velocidad.

HOST: es un ordenador que funciona como el punto de inicio y final de las transferencias de datos. Más comúnmente descrito como el lugar donde reside un sitio web. Un host de Internet tiene una dirección de Internet única (dirección IP) y un nombre de dominio único o nombre de host.

ICA (Índice Calidad del Aire): es un indicativo que permite de manera cualitativa identificar la calidad del aire de la ciudad y su efecto en la salud humana.

INTERFAZ: entorno que permite la interacción entre el usuario y la máquina.

I^2C (Inter-Integrated Circuit): significa circuito integrado, es un protocolo de comunicación serial desarrollado por Phillips Semiconductors.

MCU (Micro-controller unit): circuito integrado que incluye todos los componentes de un sistema microprocesador.

MDD (Model Driven Development), representa un enfoque, definido por el Object Management Group (OMG), para resolver algunos de estos problemas y para la mejora de las prácticas actuales de la ingeniería de software.

PIB (Producto Interno Bruto): es una magnitud macroeconómica que expresa el valor monetario de la producción de bienes y servicios de demanda final de un país o región durante un período determinado, normalmente de un año o trimestrales.

REQUERIMIENTO: solicitud propia del cliente con el fin de orientar al programador hacia las especificaciones del producto.

RESPONSIVE: capacidad de una aplicación web para adaptar su interfaz a varios dispositivos.

SMAQ: anagrama que define el nombre de la página web Air Quality Monitoring System.

SOFTWARE: componente lógico de un computador o dispositivo que permite dirigir al hardware hacia la realización de una tarea específica.

UML (Lenguaje Unificado de Modelado): es un lenguaje gráfico para visualizar, especificar, construir y documentar un sistema

INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es un problema que nos afecta a todos, no solamente seres humanos, sino también, seres vivos como animales y medio ambiente. Sin embargo, a pesar de las graves consecuencias que puede traer este problema, no cesan las acciones que continúan generando pésimas consecuencias.

¡Claramente, el planeta pide auxilio!, poco a poco se está deteriorando y sin embargo, a pesar de que muchas personas han empezado a actuar de manera diferente y positiva para el bien del medio ambiente; también son muchísimas las personas que aún no han entendido el grave problema que se está viviendo y el que se aproxima.

El problema de contaminación atmosférica ha generado graves enfermedades en el ser humano y lo más difícil es que este fenómeno no va a decrecer sino se toman acciones de mejora, pero… ¿Cómo tomar acciones de mejora si desconocemos el estado del aire que respiramos? Gracias a este interrogante, surge el estudio del siguiente trabajo de grado.

Son muchas las causantes de la contaminación atmosférica y de una falta de la calidad en el aire que respiramos; en el siguiente trabajo de grado, mediante la metodología de investigación con un estudio descriptivo y de enfoque cuantitativo, se identificarán las características de la población, del lugar donde se realizará la instalación de las estaciones de monitoreo y la medición de algunos agentes contaminantes del aire emitidos principalmente por el parque automotor de la ciudad de Tuluá.

Del mismo modo, se evidenciará la construcción de estaciones de monitoreo, las cuales enviarán la información a un sistema de información denominado SMAQ en el que se podrá observar el estado de la calidad del aire en ese espacio.

CAPITULO I. GENERALIDADES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La contaminación del aire es uno de los mayores problemas de todo el planeta en la actualidad, que se ve reflejado principalmente en las ciudades. Además, contribuye al deterioro de la salud y del ambiente.

El aumento en la contaminación del aire es provocado por componentes tóxicos tales como plomo, dióxido de nitrógeno, ozono, dióxido de azufre, monóxido de carbono, partículas de polvo, entre otras. Las entidades emisoras de partículas contaminantes pueden ser fijas o móviles. Las fijas como estufas, quema de basura, industria y centrales de producción de energía son responsables del 25% de la contaminación, mientras que las móviles como carros, transporte público, aeronaves, aportan el mayor número de partículas nocivas para el aire con el 75%.

De acuerdo con estudios realizados por la organización mundial de la salud (OMS) más de 7 millones de personas murieron como consecuencia de la exposición de la contaminación atmosférica en 2012.[1]

En Colombia el Ministerio de Ambiente emitió el decreto 2254 de 2017, la cual establece los niveles máximos permitidos para contaminantes, los procesos de medición para la calidad del aire y los niveles de alerta.

A pesar de las normas establecidas en Colombia, la contaminación va en aumento en las ciudades con mayor número de habitantes como es el caso de Medellín y el

[1]Organización Mundial de la Salud. (25 de marzo de 2014). *Cantidad de muertes cada año por la contaminación del aire*. Obtenido de Organización Mundial de la Salud: http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/es/

Valle de Aburrá que han estado en el último año en alerta roja por la baja calidad de aire. También ciudades como Bogotá y Yumbo presentan altos índices de contaminación, pero su geografía les ayuda a que el material contaminante circule[2].

La ciudad de Tuluá no es ajena a este problema, para el año 2016, la ciudad contaba con una población de 214.095 habitantes y su tasa de crecimiento es de 1.8% anual. En consecuencia, la cantidad de vehículos aumenta de manera acelerada, el transporte público crece, la cantidad de desechos orgánicos se incrementan, entre otros factores que aumenta la contaminación del aire. Según el periódico el tabloide "La existencia de más de 100 mil vehículos rodando por las calles tulueñas emitiendo altas cantidades de ozono, se constituye en el factor más preocupante"[3]

En la actualidad, el municipio de Tuluá no cuenta con un sistema de monitoreo de calidad del aire, por ende, se desconoce el nivel de contaminación de los diversos sectores de la ciudad, no se conoce cuáles son los puntos de la ciudad que presentan mayor actividad contaminante y como se ve afectada la salud de las personas que viven en esos puntos. En consecuencia, no se cuenta con la información necesaria para tomar decisiones que contrarresten los efectos del aire contaminado.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo se puede medir, almacenar y transmitir información sobre la contaminación producida por el parque automotor de la ciudad de Tuluá?

---

[2]Univalle. (27 de Abril de 2017). Contaminación del aire en Colombia, un problema que respiramos todos. Obtenido de http://www.univalle.edu.co/medio-ambiente/contaminacion-del-aire-en-colombia-un-problema-que-respiramos-todos

[3]Tabloide, E. (17 de mayo de 2017). Cantidad de vehiculos en la ciudad de Tuluá. El Tabloide. Obtenido de http://www.eltabloide.com.co/en-tulua-la-contaminacion-es-leve/

1.3 JUSTIFICACIÓN

El municipio de Tuluá requiere de un sistema que permita conocer los niveles de contaminación tanto históricos como en tiempo real, para dar cumplimiento a los decretos y normas ambientales impuestas por el Ministerio de Medio Ambiente sobre la calidad del aire que rige a las instituciones municipales como el decreto 948, artículo 130, donde se establece las sanciones a municipios, distritos y entidades públicas que incurran en violaciones de contaminación atmosférica.[4]

El desarrollo del proyecto sería una herramienta importante para diversas entidades del estado en el sector del medio ambiente y de la salud, debido a que les brindaría cifras reales de agentes contaminantes suspendidos en el aire, permitiéndoles proyectar cómo se verá afectada la comunidad para tomar decisiones adecuadas que conlleven a la solución del problema de contaminación.

De acuerdo con lo anterior, se hace pertinente diseñar e implementar un sistema de captura y despliegue de información de contaminación con una arquitectura adecuada para la aplicación. Dicho sistema permitiría la captura de los niveles de contaminación producidos por el parque automotor en la ciudad de Tuluá, esta información se transmitiría en tiempo real al sistema para ser posteriormente accedidos por los usuarios. La transmisión de datos se realizaría por medio de una tecnología de comunicación de alcance metropolitano.

La importancia de esta investigación radica en el impacto social y ambiental que puede tener en un futuro ya que con la información obtenida se pueden implementar acciones para mejorar la calidad del aire de los ciudadanos de Tuluá.

---

[4]Bogotá, A. d. (Junio 5). Decreto 948, Ministerio del Medio Ambiente: Obtenido de : https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/54-dec_0948_1995.pdf

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 GENERAL

Diseñar un sistema de monitoreo de calidad del aire que permita medir los índices de contaminación atmosférica ocasionados por el parque automotor en la ciudad de Tuluá

1.4.2 ESPECIFICOS

- Seleccionar el método de la sensorica adecuada para la medición de calidad de aire.
- Diseñar el dispositivo receptor y emisores correspondientes que permitan capturar y enviar información de los agentes contaminantes monitoreados.
- Desarrollar un sistema de información web que visualice los índices de los agentes contaminantes capturados en tiempo real que permita generar gráficos estadísticos que facilite la interpretación de los datos, utilizando tecnologías del internet de las cosas (IoT).
- Implantar y evaluar el sistema de monitoreo en las estaciones de muestreo de la ciudad.

1.5 ALCANCE

- Diseñar e implementar un prototipo del sistema de monitoreo de calidad del aire que permita acceso a los dispositivos en tiempo real, la consulta de los datos capturados y generación de reportes.
- Capturar muestras de monóxido de carbono y nitrógeno en los sitios seleccionados de acuerdo al desarrollo de la investigación, almacenándolas en una base de datos.
- Evaluar el sistema de monitoreo por medio de pruebas para conocer el desempeño del sistema y el comportamiento de los agentes monitoreados.

1.6 ESTADO DEL ARTE

Tabla 1. Estado del Arte

TITULO	AUTOR	TECNOLOGIAS UTILIZADAS
Medición de los niveles de contaminación de CO y CO2, a través de un sistema electrónico basado en PLC´s, para el monitoreo de la calidad del aire en la Universidad Católica de Cuenca, Sede Azogues	Juan Carlos Ortega Castro , Rafael García Abad	Plc, Redes de sensores y sistemas de telecomunicaciones
A Real-Time Monitoring System of Industry Carbon Monoxide Based on Wireless Sensor Networks	Jiachen Yang, Jianxiong Zhou, Zhihan Lv, Wei Wei and Houbing Song	Redes wifi, tecnología IoT, Redes de sensores
Air Quality Monitoring and Analysis in Qatar using a Wireless Sensor Network Deployment	Elias Yaacoub, Abdullah Kadri, Mohammed Mushtaha, and Adnan Abu-Dayya	Redes de sensors, IoT, red WPAN
AIR QUALITY IN BOGOTA: ABSENCE OF INFORMATION AND DATA CAPTURE IN 2015 THROUGH ANALYSIS IN A GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM	Javier Enrique Aguilar Galindo1	Sistema de información geográfica, redes de sensores
Air Quality Monitoring System using Raspberry Pi and Web Socket	A. Mari Kirthima Aravind Raghunath	IoT, Raspberry pi, Redes de sensors inalámbricos, web socket

A Wireless Sensor Network Air Pollution Monitoring System	Kavi K. Khedo, Rajiv Perseedoss, Avinash Mungur	Redes de sensors inalámbricos WSN, IoT

Fuente: El Autor

CAPÍTULO II. MARCOS DE REFERENCIA

2.1 MARCO TEÓRICO

SOFTWARE

2.1.1 Arquitectura de Micro servicios

El concepto de arquitectura de micro servicios ha surgido recientemente impulsado por la industria (p. ej. Netflix, Amazon) y está ganando una creciente popularidad. El enfoque refiere a una forma de diseñar software como un conjunto de pequeños servicios independientes que cooperan entre sí mediante protocolos livianos de comunicación. Los servicios se construyen y despliegan de forma individual, y usualmente se apoyan en procesos de integración y despliegue continuo.

El término micro servicios (MS), a pesar de la atención recibida, carece aún de una definición estandarizada. Una de las caracterizaciones más citadas pertenece a Fowler y Lewis, que lo definen como "una forma de construir una aplicación como un conjunto de pequeños servicios, donde cada uno ejecuta en su propio proceso y se comunica mediante protocolos livianos”. Los autores agregan que cada servicio da soporte a una funcionalidad de negocio puntual y se despliega de forma independiente y automatizada. Mencionan también que, para la implementación de cada servicio, pueden usarse diferentes tecnologías y persistencia de datos, lo cual permite utilizar la tecnología apropiada para cada funcionalidad.

Newman destaca por otro lado, que cada micro servicio además de ser autónomo, se encarga de una única tarea, de la cual es responsable. Esto se alinea al enfoque de Robert Martin para un buen diseño, denominado principio de responsabilidad única (Single Responsability Principle). Para determinar cuáles micro servicios son construidos y su responsabilidad, se descompone el dominio del problema en

funcionalidades de negocio (i.e. business capability), con base a las cuales se construyen los micro servicios.

Fowler y Lewis afirman que la arquitectura de micro servicios cambia el enfoque tradicional de comunicación entre servicios, en contraste con arquitecturas orientadas a servicios (Service Oriented Architecture, SOA). En particular, la arquitectura de micro servicios plantea simplificar el protocolo de comunicación, y mover la complejidad y el ruteo a los propios micro servicios. Esto se contrapone a protocolos habituales en SOA como WS-Addressing o WS-Choreography donde la complejidad está en parte resuelta por el protocolo. Fowler y Lewis refieren al enfoque como "componentes inteligentes, comunicaciones tontas" ("Smart endpoints, dumb pipes"). En dicho enfoque, se propone utilizar protocolos livianos como HTTP y REST, o mensajería con intermediarios simples como RabbitMQ. (Nebel, 2018)[5]

En el proyecto realizado cada entidad se trabajó como un micro servicio, con los cuales se conectaba la aplicación angular.

2.1.1.1 Api Rest

Los servicios web son servidores web diseñados específicamente para satisfacer las necesidades de un sitio o cualquier otra aplicación. Los programas cliente utilizan interfaces de programación de aplicaciones (API) para comunicarse con los servicios web. En términos generales, una API expone un conjunto de datos y funciones para facilitar la interacción entre programas de computadora y permitirles intercambiar información. El estilo arquitectónico REST se aplica comúnmente al

[5]Andrés Nebel (octubre 2018). Arquitectura de Microservicios para Plataformas de Integración. Universidad de la República, Instituto de Computación Uruguay. Obtenido de: https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/20586/1/tm-nebel.pdf

diseño de API para servicios web modernos. Una API web que se ajuste al estilo arquitectónico REST es una API REST.

Tener una API REST hace que un servicio web sea "RESTful". Una API REST consiste en un conjunto de recursos interconectados. Este conjunto de recursos se conoce como el modelo de recursos de la API REST (Massé, 2012)[6].
Actualmente, adoptar api rest para un diseño representa una competencia en el mercado y si lo que se desea es lograr la atención de los clientes, esta opción es estéticamente agradable, además, si se logran diseñar bien permite la atracción de clientes desarrolladores para que utilicen servicios web.

2.1.1.2 Backend

Backend es la capa de acceso a datos de un software o cualquier dispositivo, que no es directamente accesible por los usuarios, además contiene la lógica de la aplicación que maneja dichos datos. El backend también accede al servidor, que es una aplicación especializada que entiende la forma como el navegador solicita cosas.

En otras palabras, backend es la parte que se conecta con la base de datos y el servidor que utiliza dicho sitio web, por eso decimos que el backend corre del lado del servidor.

Algunos de los lenguajes de programación de Backend son Python, PHP, Ruby, C# y Java, y así como en Frontend, cada uno de los anteriores tiene diferentes frameworks que te permiten trabajar mejor según el proyecto que estás desarrollando. (Platzi, 2018)[7]

---

[6] Massé, Mark (2012) Libro REST API Design Rulebook. Massé, Mark Obtenido de: https://www.amazon.com/REST-API-Design-Rulebook-Consistent-ebook/dp/B005XE5A7Q
[7] Platzi (2018). ¿Qué es Backend?. Platzi. Obtenido de: https://platzi.com/blog/que-es-frontend-y-backend/?gclid=EAIaIQobChMIjvKE19y54gIVC1qGCh0flwArEAAYASAAEgJ6gPD_BwE

Spring Boot

Spring boot es una solución de tipo convención-sobre-configuración (convention-over-configuration[8]) para spring, que permite crear aplicaciones stand-alone[9] (que se ejecutan por si mismas) y preconfiguradas según las mejores prácticas establecidas por el equipo spring. Además, hace uso de toda la plataforma spring y de bibliotecas de terceros para obtener un desarrollo rápido con menos inconvenientes.

Ventajas

Spring boot ofrece las siguientes ventajas a sus desarrolladores:

- Fácil de entender y desarrollar aplicaciones de Spring.
- Aumenta la productividad.
- Reduce el tiempo de desarrollo**.**

Metas:

Spring boot está diseñado con los siguientes objetivos:

- Para evitar configuraciones complejas XML usadas en spring
- Desarrollar aplicaciones de spring con grado producción de una manera sencilla.

---

[8] convention-over-configuration***:*** Es un paradigma de diseño de software usado por frameworks que intentan disminuir el número de decisiones que un desarrollador debe tomar sin que pierda flexibilidad.

[9] Stand-alone: En software se refiere a una aplicación que funciona de forma autónoma.

- Para reducir el tiempo de desarrollo y ejecutar la aplicación de forma independiente.
- Ofrece una forma más fácil de comenzar con la aplicación.
- Configuración automática de spring cuando sea posible.
- Servidores tomcat o jetty embebidos.
- Archivos POM (Project Object Model) sugeridos para simplificar la configuración de maven
- Proveer características “listo para producción” tales como métricas, health checks, y configuración externalizada.

Jakarta EE

Java EE ha sido una plataforma importante para aplicaciones empresariales de misión crítica. Con el fin de acelerar el desarrollo de aplicaciones de negocios nativas en la nube, los principales proveedores de software colaboraron para mover las tecnologías Java EE a la Fundación Eclipse, donde evolucionarán bajo la marca jakarta EE.

Principios rectores

El grupo de trabajo de jakarta EE busca:

- Entregar lanzamientos más frecuentes.
- Menores barreras para la participación
- Desarrollar la comunidad
- Administrar la marca jakarta EE en nombre de la comunidad

La clave de este enfoque es un proceso de especificación basado en la comunidad, donde se alienta a la comunidad a participar en un proceso abierto que refleje con mayor precisión las necesidades de la comunidad en general.

Se espera que la plataforma de jakarta EE evolucione rápidamente, incorporando innovaciones de Java por parte de comunidades de código abierto, como Eclipse MicroProfile en nuevas versiones de la plataforma que permita desarrollar fácilmente aplicaciones portables nativas en la nube.

Jakarta EE Busca impulsar de la mejor manera aplicaciones de misión crítica, nativas en la nube, y aprovechar la madurez de las implementaciones y la gran base mundial de desarrolladores Java (Eclipse, 2019)[10].

2.1.1.3 Frontend

El frontend es la parte de un sistema que provee una interfaz entre un usuario y un sistema. En el ámbito web, son todas las tecnologías de diseño y desarrollo web que corren en el navegador y que se encargan del despliegue de la información y de la interactividad con el usuario.

En el ámbito web, HTML, CSS y JavaScript son los lenguajes principales del frontend, de los que se desprenden una cantidad de frameworks y bibliotecas que expanden sus capacidades para crear cualquier tipo de interfaces de usuarios. React, Vue, Redux, Angular, Bootstrap, Foundation, LESS, Sass, Stylus y Post CSS son algunos de ellos (Platzi, 2018)[11].

---

[10] Eclipse Foundation (2019). El futuro de aplicaciones nativas en la nube. Eclipse. Obtenido de: https://jakarta.ee/about/

[11] Platzi (2018). ¿Qué es Frontend?. Platzi. Obtenido de: https://platzi.com/blog/que-es-frontend-y-backend/?gclid=EAIaIQobChMIjvKE19y54gIVC1qGCh0flwArEAAYASAAEgJ6gPD_BwE

Angular

Es un framework JavaScript utilizado para crear aplicaciones SPA (*Single Page Application*). La aplicación se escribe en lenguaje TypeScript ya que permite escribir clases para luego pasarlo a JavaScript, facilitando así la orientación a objetos.

<<Angular facilita la creación de aplicaciones web, combina plantillas declarativas, inyección de dependencia, herramientas de extremo a extremo y mejores prácticas integradas para resolver los desafíos de desarrollo. Angular permite la creación de aplicaciones para contextos web, móvil o de escritorio>>[12] (Angular Org, 2019)

En el proyecto realizado, se cuenta con una aplicación angular llamada SMAQ, la cual se conecta con los micro servicios.

2.1.1.4 Persistencia

Persistencia es la característica de una entidad de software que le permite persistir aunque el sistema no esté en ejecución, es decir, la entidad es almacenada ya sea en un archivo, una base de datos, en dispositivos como memorias, o en sistemas externos.

Para que sea posible la persistencia la entidad debe ser serializable, es decir que pueda ser enviada bit tras bit en una secuencia de bytes a través de un canal de comunicación. De esta forma, la entidad puede ser enviada a bases de datos, archivos o a sistemas remotos o externos.

[12] Angular (2019) Introducción al framework Angular. Obtenido de https://angular.io/docs

También debe tener la capacidad de identificar la versión de tipo, es decir la versión de la clase con la cual fue construida la entidad, esto para asegurar que se reciben objetos de la clase correcta.

Java Persistant API – JPA

JPA es una especificación de una API que define la administración de datos relacionales en una aplicación Java. La API asigna un conjunto de conceptos que definen qué objetos dentro de la aplicación deben persistir y cómo debe persistirlos[13].

Hibernate

Hibernate es una de las implementaciones de **JPA** más maduras, de amplio uso y apoyada por una comunidad activa. Además, implementa todas las clases de javax.persistence.

Proporciona herramientas como:

- Hibernate Tools
- Hibernate Validators
- Hibernate Search

[13] Hibernate org (2019) Tus datos relacionales objetivamente. Hibernate. Obtenido de: http://hibernate.org/orm/

Hibernate ORM permite escribir con facilidad aplicaciones cuyos datos sobreviven al proceso de ejecución de la aplicación. Como *framework* ORM (Mapeo Objeto-Relacional), hibernate se preocupa por la persistencia de los datos, por medio de las bases de datos relacionales (a través de JDBC).

Además de su propia API "nativa", hibernate también es una implementación de la especificación de la API de persistencia de Java (JPA). Como tal, se puede utilizar fácilmente en cualquier entorno compatible con JPA, incluidas las aplicaciones Java SE, los servidores de aplicaciones Jakarta EE, los contenedores Enterprise OSGi. (Hibernate Org, 2019)[14]

Gestor de base de datos PostgreSQL

PostgreSQL es un potente sistema de base de datos relacional de objetos de código abierto que utiliza y amplía el lenguaje SQL combinado con muchas características que almacenan y escalan de forma segura las cargas de trabajo de datos más complicadas. Los orígenes de PostgreSQL se remontan a 1986 como parte del proyecto “POSTGRES” en la Universidad de California en Berkeley y tiene más de 30 años de desarrollo activo en la plataforma central.

PostgreSQL se ha ganado una sólida reputación por su arquitectura probada, confiabilidad, integridad de datos, conjunto de características sólidas, extensibilidad y la dedicación de la comunidad de código abierto detrás del software para ofrecer constantemente soluciones innovadoras y de alto rendimiento. PostgreSQL se ejecuta en todos los sistemas operativos principales, ha sido compatible con ACID desde 2001 y tiene complementos potentes como el popular extensor de base de

[14] Hibernate org (2019) Tus datos relacionales objetivamente. Hibernate. Obtenido de: http://hibernate.org/orm/

datos geoespacial “PostGIS” (The PostgreSQL Global Development Group, 1996-2019).[15]

Tabla 2. PostgreSQL vs MySQL

PostgreSql	MySql
Lenguaje de programación C	Lenguaje de programación C y C++
Tiene un motor de almacenamiento individual	Multiples motores de almacenamiento (InnoDB, MyISAM)
Tiene la opción de soporte "cascade" para soltar objetos dependientes de la tabla	No es compatible con la opción "cascade"
Cuenta con las funciones analíticas que permiten realizar cálculos de una manera más sencilla evitando consultas sql complejas u operaciones de combinación	No cuenta con funciones analíticas
Admite tipos de datos avanzados (array, json, hstore y datos definidos por el usuario)	Admite solo tipos estándar de sql
Admite tipos de datos de dirección ip	No admite tipos de datos de dirección ip
Permite la expresión de tablas comunes CTE	Permite la expresión de tablas comunes CTE, solo a partir de la versión 8.0
Admite vistas materializadas, las cuales permiten almacenar de forma física el resultado de una consulta y actualizar los datos de manera periódica.	No admite vistas materializadas
Admite la restricción "check"	Ignora la restricción "check"
Permite herencia de la tabla	No permite herencia de la tabla
Admite la función de un disparador la cual es invocada automaticamente cuando ocurre un evento asociado a una tabla.	La función de un disparador es limitada a algunos comandos.

Fuente: El autor

2.1.1.5 Internet de las Cosas IoT

El Internet de las cosas (IoT), es un nuevo paradigma tecnológico concebido como una red global de máquinas y dispositivos capaces de interactuar entre sí (M2M[16]).

[15] The PostgreSQL Global Development Group (1996-2019). Acerca de postgresql. Postgresql. Obtenido de: https://www.postgresql.org/about/

[16] M2M (máquina a máquina) es un concepto genérico que se refiere al intercambio de información o comunicación en formato de datos entre dos máquinas remotas.

El IoT es reconocido como una de las áreas más importantes de la tecnología futura y está recibiendo una gran atención de una amplia gama de industrias. (En lee, 2015)

El IoT como una red de redes

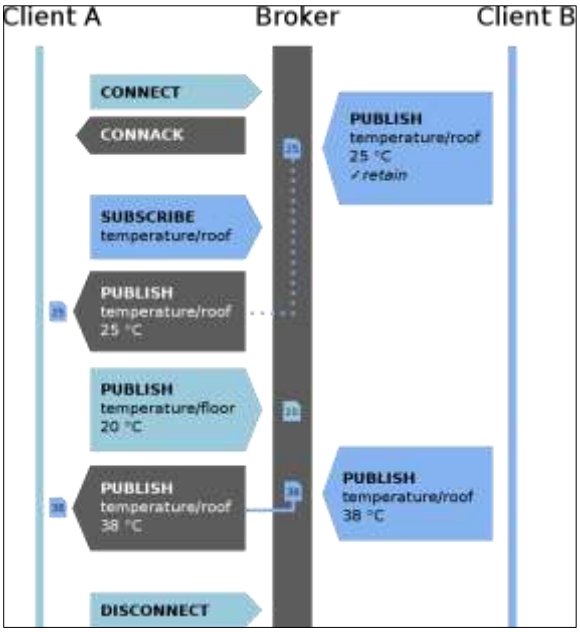
En la actualidad, el IoT se compone de un conjunto disperso de redes dispares diseñadas a medida.

> Los automóviles de hoy en día, por ejemplo, cuentan con diversas redes para controlar el funcionamiento del motor, las funciones de seguridad, los sistemas de comunicaciones, etc. Los edificios comerciales y residenciales también tienen varios sistemas de control para la calefacción, la ventilación y el aire acondicionado (HVAC); el servicio telefónico; la seguridad, y la iluminación. A medida que evoluciona el IoT, estas redes y muchas otras, se conectarán y contarán con mayores funciones de seguridad, análisis y gestión[17]

[17] Dave Evans (abril 2011) Internet of Things, la próxima evolución del internet lo está cambiando todo. Cisco. Obtenido de https://www.cisco.com/c/dam/global/es_es/assets/executives/pdf/Internet_of_Things_IoT_IBSG_0411FINAL.pdf

Protocolo MQTT

Ilustración 1. Protocolo MQTT



Fuente: Wikipedia.[18]

MQ Telemetry Transport (MQTT) es un protocolo de mensajería de publicación/suscripción ligera. El protocolo MQTT proporciona sólidas características de mensajería para comunicarse con sistemas remotos y dispositivos, y también minimiza los requisitos de ancho de banda de red y de recursos del dispositivo. El protocolo se ha diseñado para dispositivos en entornos limitados, como los sistemas incorporados, teléfonos móviles y sensores con memoria y capacidad de procesamiento limitadas, y para sistemas que se conectan a redes no fiables. MQTT utiliza el estilo de mensajería de publicación/suscripción

[18] Wikipedia (julio 5 2018). Ejemplo de una conexión MQTT (QoS) con conexión, publicación / suscripción y desconexión. Wikipedia. Obtenido de: https://en.wikipedia.org/wiki/MQTT#/media/File:MQTT_protocol_example_without_QoS.svg

que permite que el proveedor de la información (editor) se separe del consumidor de la información (suscriptor). Por consiguiente, el protocolo MQTT es ideal para el mundo de comunicaciones de máquina a máquina, o de la Internet de las cosas. (IBM, 2019)[19]

Para el proyecto realizado se eligió este protocolo Mqtt por su variedad de ventajas frente a temas de seguridad, pues cuenta con un mecanismo propio de seguridad (usuario y clave), además, es ideal para obtener un menor consumo de energía en las estaciones ya que trabajan 24/7.

Por otra parte, el uso de este protocolo que actualmente representa uno de los estándares para aplicaciones IoT, permite que exista un beneficio de forma competitiva en el mundo laboral.

Sistemas embebidos

Un sistema embebido, empotrado o incrustado es un sistema de cómputo que es de menor tamaño que un sistema de propósito general como los PC. Además, la capacidad de procesamiento, almacenamiento y memoria RAM en general es mucho menor que los sistemas de propósito general.

Está compuesto por un SoC (*System On a Chip*) el cual contiene el procesador, puertos de entrada-salida, procesador gráfico, audio, periféricos como convertidores A/D, buses SPI/I2C, UART, etc. Integra la mayor cantidad posible de elementos para realizar diseños de “computadores en una única tarjeta” SBC (*Single Board Computer*).

[19] Comunidad IBM (enero 21 2019). Proceso de mensajes MQTT. IBM org. Obtenido de: https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SSMKHH_10.0.0/com.ibm.etools.mft.doc/bc62000_.htm

Los sistemas embebidos, además, tienen un propósito específico (aunque puede ser reconfigurable) y están embebidos o incrustados en la aplicación, como por ejemplo el computador de los frenos de un automóvil, o el computador que controla una unidad de aire acondicionado (de aquí el termino embebido).

Raspberry PI

Es una placa computadora (SBC) de bajo coste, se podría decir que es un ordenador de tamaño reducido, del orden de una tarjeta de crédito, desarrollado en el Reino Unido por la Fundación Raspberry PI (Universidad de Cambridge) en 2011, con el objetivo de estimular la enseñanza de la informática en las escuelas, aunque no empezó su comercialización hasta el año 2012.

El concepto es el de un ordenador desnudo de todos los accesorios que se pueden eliminar sin que afecte al funcionamiento básico. Está formada por una placa que soporta varios componentes necesarios en un ordenador común y es capaz de comportarse como tal. (Raspberry Pi, 2016)[20]

Este mini computador es la placa base de las estaciones de monitoreo realizadas, debido a que tiene un poder de procesamiento superior a los dispositivos con los que realizamos la comparación, además es muy comercial y los sensores los dispositivos externos (sensores) se adaptan de manera eficiente.

[20] Fundación Raspberry Pi (2016). Acerca de raspberry. Rapberry Pi. Obtenido de: https://www.raspberrypi.org/about/

Raspbian

Raspbian es el sistema operativo oficial soportado por la fundación, el cual viene preinstalado con una variedad de software ideales para el ámbito educativo, la programación y el uso general. Además cuenta con Python, Scratch, Sonic Pi, Java y más. (Fundación Raspberry pi, 2016)[21]

Sensórica

Sensórica es un concepto genérico que hace referencia a diferentes tipos de sensores para múltiples aplicaciones en la industria e investigación de sensores. Bajo esta palabra de sensorica se entiende tanto las unidades que emite una señal analógica, como las unidades que emite una señal binaria (encendido o apagado). En todos aquellos lugares donde no sea posible detectar magnitudes eléctricas se requiere la sensórica. Convierte una magnitud física en una magnitud eléctrica. (PCE Inst., s.f.)[22]

La sensórica es una parte fundamental del sistema de monitoreo SMAQ, por tal razón se realizaron distintas comparaciones para elegir la más adecuada.

[21] Fundación Raspberry Pi (2016). Raspbian. Raspberry Pi. Obtenido de: https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/

[22] PCE Instruments (septiembre 30 2014) Sensórica. PCE. Obtenido de: https://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/sistemas/sensorica.htm

Material particulado

El material particulado es uno de los contaminantes atmosféricos más estudiados en el mundo, este se define como el conjunto de partículas sólidas y/o líquidas (a excepción del agua pura) presentes en suspensión en la atmósfera, que se originan a partir de una gran variedad de fuentes naturales o antropogénicas y poseen un amplio rango de propiedades morfológicas, físicas, químicas y termodinámicas.

La presencia en la atmósfera de este contaminante ocasiona variedad de impactos a la vegetación, materiales y el hombre. Además, la presencia del material particulado está asociada con el incremento del riesgo de muerte por causas cardiopulmonares en muestras de adultos. (SUÁREZ, 2012).

Sensores de material particulado

Los equipos utilizados para la medición de material particulado, succionan una cantidad medible de aire ambiente hacia una caja de muestreo a través de un filtro, durante un periodo de tiempo conocido, generalmente 24 horas. El filtro es pesado antes y después para determinar el peso neto ganado. El volumen total de aire muestreado se determina a partir de la velocidad promedio de flujo y el tiempo de muestreo. La concentración total de partículas en el aire ambiente se calcula como la masa recolectada dividida por el volumen de aire muestreado, ajustado a las condiciones de referencia. Existen dos muestreadores de este tipo que se diferencian en su controlador de flujo, pueden ser de sistema MFC (controlador de flujo de tipo másico) o VFC (controlador de flujo de tipo volumétrico). Otros equipos son instalados directamente sobre las personas, llamados también bombas de muestreo personal. La bomba personal permite realizar mediciones directas de partículas PM10, tomando muestras de aire para medir la concentración de

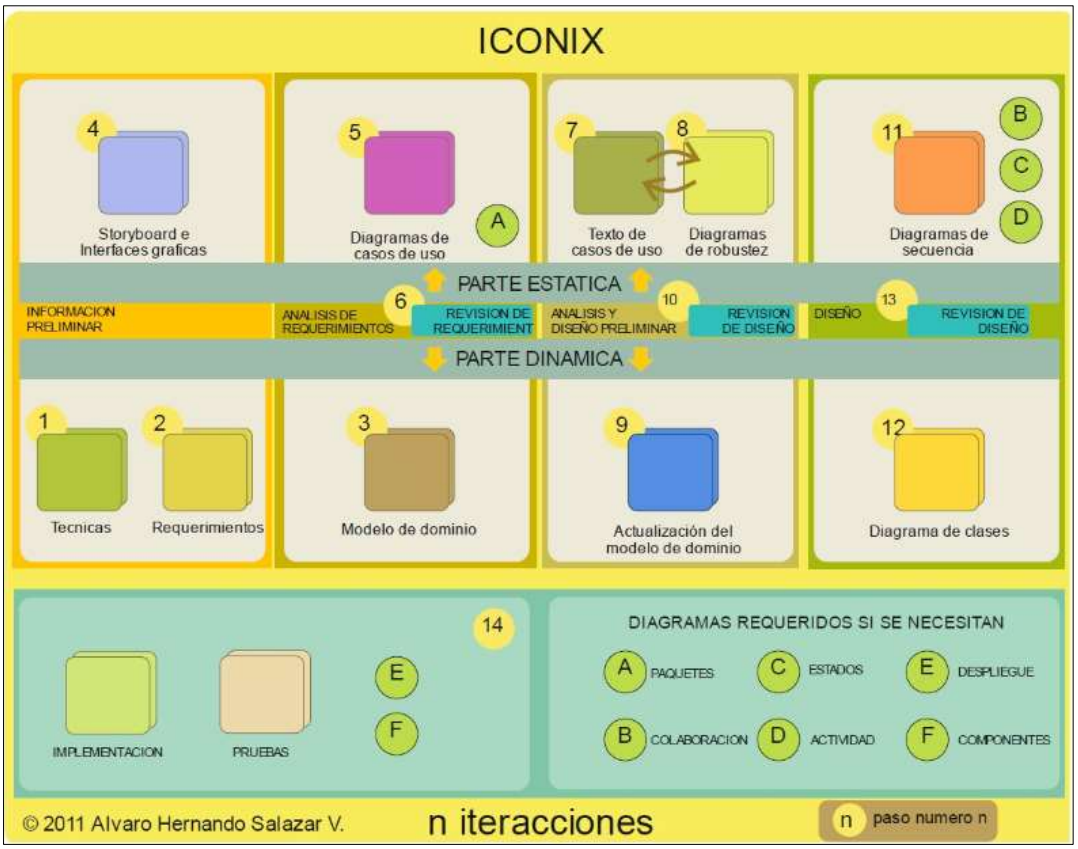
partículas en suspensión (líquido o sólido), proporcionando una continua y directa lectura, así como el registro electrónico de la información. (SUÁREZ, 2012)

2.2.1.6 Metodologías de desarrollo de software

El desarrollo de software no es una tarea fácil. Como resultado a este problema ha surgido una alternativa desde hace mucho: la metodología. Las metodologías imponen un proceso disciplinado sobre el desarrollo de software con el fin de hacerlo más predecible y eficiente. Lo hacen desarrollando un proceso detallado con un fuerte énfasis en planificar, inspirado por otras disciplinas de la ingeniería. Las metodologías ingenieriles han estado presentes durante mucho tiempo. No se han distinguido precisamente por ser muy exitosas, aún menos por su popularidad. La crítica más frecuente a estas metodologías es que son burocráticas. Hay tanto que hacer para seguir la metodología que el ritmo entero del desarrollo se retarda. (Expósito, 2008)

Metodología de desarrollo Iconix

Ilustración 2. Fases de la metodología de desarrollo de software Iconix



Fuente: Álvaro Salazar-Director del Trabajo de Grado

Iconix es una metodología pesada-ligera de desarrollo del software que se halla a medio camino entre un RUP (Rational Unified Process) y un XP (extreme Programming). Iconix deriva directamente del RUP y su fundamento es el hecho de que un 80% de los casos pueden ser resueltos tan solo con un uso del 20% del UML, con lo cual se simplifica muchísimo el proceso sin perder documentación al dejar solo aquello que es necesario. Esto implica un uso dinámico del UML de tal forma que siempre se podrán utilizar otros diagramas además de los ya estipulados

si se cree conveniente. Iconix se guía a través de casos de uso y sigue un ciclo de vida iterativo e incremental. El objetivo es que a partir de los casos de uso se obtenga el sistema final.

Fases De Iconix

Iconix se estructura en cuatro fases. La primera de ellas es el análisis de requisitos, seguida del análisis y diseño preliminar, a continuación, viene el diseño y finaliza con su implementación. Previamente a esto, sin embargo, se deberá realizar un pequeño storyboard de la interfaz gráfica, con dibujos de las pantallas principales del sistema a partir de las reuniones con el cliente. (Sampieri, 2014)

1) Análisis de Requisitos: En esta primera fase se realiza un modelo de dominio, que no es más que un diagrama de clases extremadamente simplificado. Este modelo contiene únicamente aquellos objetos de la vida real cuyo comportamiento o datos deban ser almacenados en el sistema.

   A partir de este pequeño modelo, se realiza un pequeño prototipo basándose en la storyboard de la interfaz gráfica obtenida previamente, el cual se mostrará al cliente y se refinará en sucesivas reuniones. Normalmente este prototipo suele converger en dos o tres iteraciones. Una vez el prototipo ya es final y se han obtenido todos los requisitos del sistema por parte del cliente, se procede a realizar los casos de uso. Estos diagramas de casos de uso se agrupan en diagramas de paquetes (es decir, utilizan referencias entre diagramas de casos de uso para simplificar su lectura) y se asocia cada requisito a un caso de uso para obtener la trazabilidad.

2) Análisis y Diseño Preliminar: A partir de cada caso de uso se obtienen sus correspondientes fichas de caso de uso.

La ficha está formada por un nombre, que suele ser el del caso de uso, posee una breve descripción (generalmente en vista usuario, es decir, que hace de forma intuitiva, no como), una precondición que debe cumplir antes de iniciarse, una postcondición que debe cumplir al terminar si termina correctamente, un flujo normal que sigue el sistema en caso de que todo vaya correctamente y un flujo alternativo en caso de que haya cualquier problema. El resto de campos son opcionales. Después será necesario realizar lo que se conoce como diagrama de robustez, el cual pertenece al proceso Iconix y tampoco forma parte del UML.

El objetivo del diagrama de robustez es añadir nuevas relaciones a los diagramas de clase, de forma que se tenga un esqueleto aceptable de la arquitectura y del diseño. Con esto y las fichas, se reafina el diagrama de clases tanto como sea necesario y se obtiene una nueva versión preparada para la siguiente fase.

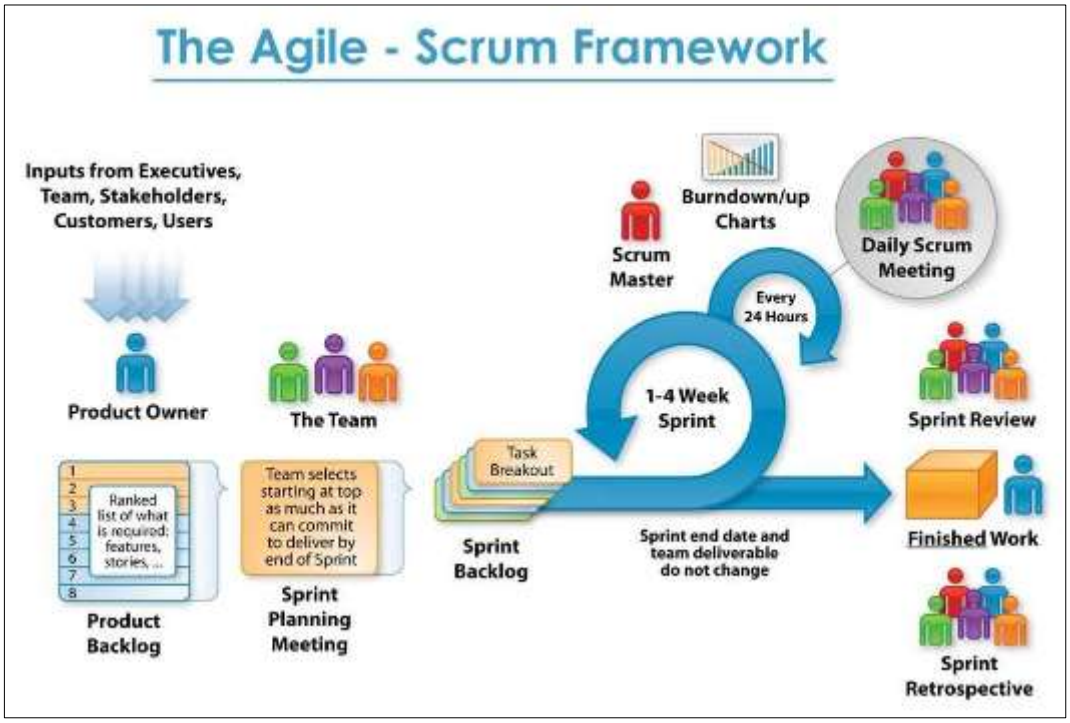
3) Diseño: En esta fase se proceden a realizar los diagramas de secuencia, los cuales derivan directamente de las fichas de caso de uso. Esto implica que una vez finalizado el diseño, tras refinar nuevamente el diagrama de clases, se podrá verificar directamente gracias a este factor de trazabilidad, y seguir con la siguiente fase

4) Implementación: De cara a poder distribuir el software correctamente, puede ser adecuado realizar un diagrama de componentes en algunos casos, pero no siempre es necesario. En cualquier caso, aquí es donde se escribe el código tal y como fue especificado en las fases anteriores y se planean las

pruebas basándose en los requisitos iniciales, al nivel que fuese necesario. Aquí es donde se hace uso real de la trazabilidad.

Metodología de desarrollo Scrum

Ilustración 3. Metodología de desarrollo de software Scrum



Fuente: Medium.com[23]

Scrum es un marco de trabajo de procesos que ha sido usado para gestionar el desarrollo de productos complejos desde principios de los años 90. Scrum no es un proceso o una técnica para construir productos; en lugar de eso, es un marco de trabajo dentro del cual se pueden emplear varios procesos y técnicas. Scrum

[23] Medium es un servicio de publicación de blogs.

muestra la eficacia relativa de las prácticas de gestión de producto y las prácticas de desarrollo de modo que podamos mejorar.

El marco de trabajo Scrum consiste en los Equipos Scrum y sus roles, eventos, artefactos y reglas asociadas. Cada componente dentro del marco de trabajo sirve a un propósito específico y es esencial para el éxito de Scrum y para su uso. (Sutherland, 1991-2016)

Teoría de Scrum

Scrum se basa en la teoría de control de procesos empírica o empirismo. El empirismo asegura que el conocimiento procede de la experiencia y de tomar decisiones basándose en lo que se conoce. Scrum emplea un enfoque iterativo e incremental para optimizar la predictibilidad y el control del riesgo.

Tres pilares soportan toda la implementación del control de procesos empírico: transparencia, inspección y adaptación.

Transparencia

Los aspectos significativos del proceso deben ser visibles para aquellos que son responsables del resultado. La transparencia requiere que dichos aspectos sean definidos por un estándar común, de tal modo que los observadores compartan un entendimiento común de lo que se están viendo.

Inspección

Los usuarios de Scrum deben inspeccionar frecuentemente los artefactos de Scrum y el progreso hacia un objetivo para detectar variaciones indeseadas. Su inspección no debe ser tan frecuente como para que interfiera en el trabajo. Las inspecciones son más beneficiosas cuando se realizan de forma diligente por inspectores expertos en el mismo lugar de trabajo.

Adaptación

Si un inspector determina que uno o más aspectos de un proceso se desvían de límites aceptables y que el producto resultante será inaceptable, el proceso o el material que está siendo procesado deben ajustarse. Dicho ajuste debe realizarse cuanto antes para minimizar desviaciones mayores.

Valores de Scrum

Cuando el Equipo Scrum incorpora y vivencia los valores de compromiso, coraje, foco, apertura y respeto, los pilares Scrum de transparencia, inspección y adaptación se materializan y fomentan la confianza en todo el mundo. Los miembros del equipo Scrum aprenden y exploran estos valores a medida que trabajan en los eventos, roles y artefactos de Scrum.

El Equipo Scrum (Scrum Team)

El equipo scrum consiste en un dueño de producto (Product Owner), el equipo de desarrollo (Development Team) y un scrum master. Los equipos scrum son auto organizados y multifuncionales. Los equipos auto organizados eligen la mejor forma de llevar a cabo su trabajo y no son dirigidos por personas externas al equipo. Los equipos multifuncionales tienen todas las competencias necesarias para llevar a cabo el trabajo sin depender de otras personas que no son parte del equipo. El modelo de equipo en scrum está diseñado para optimizar la flexibilidad, la creatividad y la productividad.

Tamaño del equipo SCRUM

Después de estudios realizados por Jeff Sutherland y Ken Schwaber, creadores de la metodología scrum, [24]definieron que el tamaño ideal para el equipo de trabajo no debía ser de más de 4 personas para lograr así obtener una productividad de incluso el 400 %.

En el proyecto realizado, el tamaño del equipo fue de 3 personas, las cuales tenían los siguientes roles:

- Product Owner: Alvaro Salazar, director del proyecto.
- The Development Team: Edwin Baquero Pabón y Marcela Tamayo Yepes.
- Scrum Master: Edwin Baquero Pabón.

[24] Jeff Sutherland y Ken Schwaber (Julio 2016) La guía de Scrum. Obtenido de: https://www.scrumguides.org/docs/scrumguide/v2016/2016-Scrum-Guide-Spanish-European.pdf

El Dueño del Producto (Product Owner)

El dueño del producto es el responsable de maximizar el valor del producto y el trabajo del equipo de desarrollo. El cómo se lleva a cabo esto podría variar ampliamente entre distintas organizaciones, equipos scrum e individuos. El dueño de producto es la única persona responsable de gestionar la lista del producto (Product Backlog).

El Equipo de Desarrollo (Development Team)

El equipo de desarrollo consiste en los profesionales que realizan el trabajo de entregar un incremento de producto “terminado” que potencialmente se pueda poner en producción al final de cada sprint. Solo los miembros del equipo de desarrollo participan en la creación del incremento.

El Scrum Master

El scrum master es el responsable de asegurar que scrum se entienda y se adopte. Los scrum masters hacen esto asegurándose de que el equipo scrum trabaja ajustándose a la teoría, prácticas y reglas de scrum. El scrum master es un líder que está al servicio del equipo scrum. El scrum master ayuda a las personas externas al equipo scrum a entender qué interacciones con el equipo scrum pueden ser útiles y cuáles no. El scrum master ayuda a todos a modificar estas interacciones para maximizar el valor creado por el Equipo Scrum.

Eventos de Scrum

En scrum existen eventos predefinidos con el fin de crear regularidad y minimizar la necesidad de reuniones no definidas en scrum. Todos los eventos son bloques de tiempo (time-boxes), de tal modo que todos tienen una duración máxima. Una vez que comienza un sprint, su duración es fija y no puede acortarse o alargarse. Los demás eventos pueden terminar siempre que se alcance el objetivo del evento, asegurando que se emplee una cantidad apropiada de tiempo sin permitir desperdicio en el proceso.

El Sprint

El corazón de scrum es el sprint, el cual consiste en un lazo de tiempo (time-box) de un mes o menos y en el que se desarrolla un incremento de producto “terminado” utilizable y potencialmente desplegable.

Scrum Diario (Daily Scrum)

El scrum diario consiste en una reunión con un bloque de tiempo de 15 minutos para que el equipo de desarrollo sincronice sus actividades y cree un plan para las siguientes 24 horas. Esto se lleva a cabo inspeccionando el trabajo avanzado desde el último scrum diario y haciendo una proyección acerca del trabajo que podría completarse antes del siguiente.

Revision de Sprint (Sprint Review)

Al finalizar el sprint se realiza una revisión de sprint con el fin de inspeccionar el incremento y modificar la lista de producto si fuese necesario. Durante esta etapa, el equipo scrum y los interesados colaboran acerca de lo que se hizo durante el sprint. Basándose en esto y en cualquier cambio a la lista de producto durante el sprint, los asistentes colaboran para determinar las siguientes cosas que podrían hacerse para optimizar el valor.

Retrospectiva de Sprint

La retrospectiva de sprint representa una oportunidad para el equipo scrum de inspeccionarse a sí mismo y de crear un plan de mejoras que sean abordadas durante el siguiente Sprint.

Artefactos de Scrum

Los artefactos de scrum representan trabajo o valor en diversas formas que son útiles para proporcionar transparencia y oportunidades para la inspección y adaptación. Los artefactos definidos por scrum están diseñados específicamente para maximizar la transparencia de la información clave, necesaria para asegurar que todos tengan el mismo entendimiento del artefacto.

Lista de Producto (Product Backlog)

La lista de producto es una lista ordenada de todo lo que podría ser necesario en el producto y es la única fuente de requisitos para cualquier cambio a realizarse en el producto. El dueño del producto (Product Owner) es el responsable de la lista de producto, incluyendo su contenido, disponibilidad y ordenación.

Lista de Pendientes del Sprint (Sprint Backlog)

La lista de pendientes del sprint es el conjunto de elementos de la lista de producto seleccionados para el sprint, más un plan para entregar el incremento de producto y conseguir el Objetivo del sprint. La lista de pendientes del sprint es una predicción hecha por el equipo de desarrollo acerca de qué funcionalidad formará parte del próximo incremento y del trabajo necesario para entregar esa funcionalidad en un incremento “terminado”.

Transparencia de los Artefactos Scrum

Las decisiones para optimizar el valor y controlar el riesgo se toman basadas en el estado percibido de los artefactos. En la medida en que la transparencia sea completa, estas decisiones tienen unas bases sólidas. En la medida en que los artefactos no son completamente transparentes, estas decisiones pueden ser

erróneas, el valor puede disminuir y el riesgo puede aumentar (Sutherland, 1991-2016)[25]

¿Por qué se eligió Scrum, como metodología de desarrollo?

Al ser una metodología ágil con técnicas para la gestión de equipos y la eficiencia operativa se ajusta a este trabajo de grado debido a que permite aumentar y controlar la eficiencia del trabajo desarrollado a medida que se va realizando, permitiendo encontrar mejoras, aumentar la eficiencia de las personas involucradas en el proyecto de manera dinámica y coordinada, a la vez que se optimizan los recursos.

Otra de las razones de utilizar Scrum se encuentra enfocada en la popularidad que esta metodología tiene en la industria, permitiendo así que el equipo involucrado en este proyecto adquiera experiencia valiosa de una de las metodologías más utilizadas actualmente en el desarrollo de software, por lo tanto, se obtendrá una ventaja competitiva en el mercado laboral.

2.1.1.7 Control de Versiones

El control de versiones es un sistema que registra los cambios realizados sobre un archivo o conjunto de archivos a lo largo del tiempo, de modo que puedas recuperar versiones específicas más adelante.

[25] Jeff Sutherland y Ken Schwaber (Julio 2016) La guía de Scrum. Obtenido de: https://www.scrumguides.org/docs/scrumguide/v2016/2016-Scrum-Guide-Spanish-European.pdf

El control de versiones te permite revertir archivos a un estado anterior, revertir el proyecto entero a un estado anterior, comparar cambios a lo largo del tiempo, ver quién modificó por última vez algo que puede estar causando un problema, quién introdujo un error y cuándo, y mucho más. Usar un VCS también significa generalmente que, si pierdes archivos, puedes recuperarlos fácilmente (Straub, 2014)[26].

Git

Git es un sistema de control de versiones distribuido, cuyo principal objetivo es ayudar en el desarrollo de cualquier tipo de aplicación manteniendo una gran cantidad de código de un gran número de programadores diferentes.

Esta herramienta fue impulsada por Linux Torvalds y el equipo de desarrollo del Kernel de Linux, que al igual que este sistema operativo, lo lanzaron como código abierto, además de encontrárnoslo para las distintas plataformas del mercado. (Acens Telefónica, 2014)[27].

2.1.1.8 Calidad del Aire

La contaminación atmosférica es generada por la emisión, acumulación y mezcla de contaminantes en el aire provenientes de fuentes naturales (Ej. volcanes y plantas) y fuentes antropogénicas (Ej. industrias, servicios y vehículos).

---

[26] Straub, Scott Chacon y Ben, Capítulo 1 (2014). Pro Git. Acerca del control de versiones. Obtenido de : https://uniwebsidad.com/libros/pro-git/capitulo-1/acerca-del-control-de-versiones

[27] Acens Telefónica (2014) Bases de datos no sql. Acens. Obtenido de: https://www.acens.com/wp-content/images/2014/02/bbdd-nosql-wp-acens.pdf

De acuerdo con la forma en que se liberan los contaminantes al aire, las fuentes de emisión se clasifican en: fuentes fijas en las que las emisiones se generan en un lugar determinado e inamovible (Ej. Industrias y quemas agrícolas controladas) y fuentes móviles en las que, por razón de su uso o propósito, las emisiones se generan durante el desplazamiento de la fuente (Ej. vehículos, trenes y aviones).

De conformidad con los principales inventarios de emisión de contaminantes al aire del país, el material particulado - MP, los óxidos de azufre SOx, los óxidos de nitrógeno NOx, el monóxido de carbono CO (contaminantes criterio) y el dióxido de carbono CO2, son los contaminantes que se generan en mayor cantidad, lo anterior como consecuencia del uso masivo de combustibles fósiles, la re-suspensión de polvos y la explotación minera.

Las acciones enfocadas a la reducción de las emisiones al aire de contaminantes criterio, metales pesados, dioxinas, sustancias generadoras de olores ofensivos y ruido, entre otras, son indispensables para mejorar la calidad de vida de los colombianos y proteger sus riquezas naturales. (Sistema de Información Ambiental de Colombia, s.f.)[28].

En Colombia, el monitoreo y control de la contaminación atmosférica ha tomado día a día mayor relevancia, debido a que, según cifras de la Organización Mundial de la Salud, una de cada ocho muertes ocurridas a nivel mundial, es ocasionada por la contaminación del aire. A nivel nacional, el Departamento Nacional de Planeación estimó que, durante el año 2015, los efectos de este fenómeno estuvieron asociados a 10.527 muertes y 67,8 millones de síntomas y enfermedades. Adicionalmente, los costos ambientales asociados a la contaminación atmosférica en Colombia, durante los últimos años se incrementaron pasando de 1,1% del PIB de 2009 ($5,7 billones

[28] Sistema de Información Ambiental de Colombia. Calidad del Aire. SIAC. Obtenido de: http://www.siac.gov.co/calidadaire

de pesos) a 1,59% del PIB de 2014 ($12 billones de pesos) y del 1,93% del PIB en 2015 ($15.4 billones de pesos), lo cual pone en evidencia la necesidad de seguir implementando estrategias para controlar, evaluar y monitorear estas sustancias. (IDEAM, 2014) [29]

Uno de los mayores problemas que conllevan a la contaminación atmosférica e impide que exista una calidad en el aire que se respira, es la contaminación provocada por el parque automotor, a continuación, se evidenciará, todos los gases contaminantes provenientes de los tubos de escape de los vehículos.

Tabla 3. Concentraciones típicas de componentes de gas en el tubo de escape del vehículo, en el aire de fondo natural y en la relación de concentración del tubo de escape / aire de fondo

Gas component	Tail pipe conc. (ppm)	Natural backgr. air conc. (ppm)	Tail pipe / Backgr. air conc. ratio
H_2O	70000	20000	3,5
CO_2	70000	390	180
CO	1000	0,4	2500
NO	300	0,001	300000
NO_2	35	0,02	1750
O_2	-50000	209000	-0,239234

Fuente: EveryAware[30]

En el proyecto realizado, se diseñaron dos estaciones ubicadas en diferentes sitios de la ciudad, las cuales miden gases emitidos por el parque automotor

[29] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). Contaminación atmosférica. IDEAM. Obtenido de: http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire

[30] EveryAware, (marzo 1 2011). Informe sobre selección de sensor, calibración y pruebas. Mejorar la conciencia ambiental a través de las tecnologías de información social. Obtenido de: http://www.everyaware.eu/resources/deliverables/D1_1.pdf

principalmente. Para calcular la calidad del aire de cada estación se debe tener en cuenta lo siguiente:

Metodología de cálculo del ICA

El ICA se calcula a partir de las mediciones de los contaminantes monitoreados en las estaciones SMAQ y los puntos de cortes preestablecidos para cada contaminante, con la siguiente expresión:

Ilustración 4. Formula del ICA.

$$ICA_p = \frac{I_{Alto} - I_{bajo}}{PC_{Alto} - PC_{bajo}} x \left(C_p - PC_{bajo}\right) + I_{bajo}$$

Fuente: Resolución 2254 de 2017

Donde:

ICA$_P$ = Índice de calidad del aire para el contaminante ***p***.

C$_P$ = Concentración medida para el contaminante ***p***.

PC$_{Alto}$= Punto de corte mayor o igual a ***C$_P$***.

PC$_{bajo}$ = Punto de corte menor o igual a ***C$_P$***.

I$_{Alto}$= Valor del ICA correspondiente al ***PC$_{Alto}$.***

I$_{bajo}$= Valor del ICA correspondiente al ***PC$_{bajo}$***.

El valor que se reporta corresponde al mayor valor que se obtenga del cálculo de cada uno de los contaminantes evaluados.

En la siguiente tabla se presentan los puntos de corte para el cálculo del ICA, para cada uno de los contaminantes.

PUNTOS DE CORTE ICA

Tabla 4. Estándar Puntos de Corte del ICA

Índice de Calidad del Aire			Puntos de corte del ICA						
ICA	Color	Categoría	PM_{10} µg/m³ 24 horas	$PM_{2.5}$ µg/m³ 24 horas	CO µg/m³ 8 horas	SO_2 µg/m³ 1hora	NO_2 µg/m³ 1 hora	O_3 µg/m³ 8 horas	O_3 µg/m³ 1 hora (1)
0-50	Verde	Buena	0 – 54	0 – 12	0 – 5094	0 – 93	0 – 100	0 – 106	.....
51-100	Amarillo	Aceptable	55 – 154	13 – 37	5095 – 10819	94 – 197	101 – 189	107 – 138	.....
101 - 150	Naranja	Dañina a la salud de Grupos Sensibles	155 – 254	38 – 55	10820 – 14254	198 - 486	190 – 677	139 - 167	245 – 323
151 - 200	Rojo	Dañina a la salud	255 – 354	56 – 150	14255 – 17688	487 – 797	678 - 1221	168 - 207	324 – 401
201 - 300	Púrpura	Muy dañina a la salud	355 – 424	151 – 250	17689 – 34862	798 – 1583	1222 – 2349	208 - 393	402 – 794
301 - 500	Marrón	Peligrosa	425 - 604	251 – 500	34863 - 57703	1584 - 2629	2350 - 3853	394(2)	795 – 1185

Fuente: Resolución 2254 de 2017[31].

[31] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (noviembre 1 2017). “Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones. Obtenido de: https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/96-res%202254%20de%202017.pdf

2.1.2 Green IT: Tecnologías para el medioambiente

En términos generales Green IT o Green Computing, es como se conoce a los métodos de la industria de la informática para reducir las emisiones de CO2 en la fabricación de ordenadores y la reducción del consumo energético de los mismos. Hoy día los sistemas informáticos requieren de una gran cantidad de energía eléctrica para que los diferentes equipos que los componen puedan operar correctamente. Sin embargo, es un hecho que el alto consumo energético genera consecuencias tangibles tanto en costos como en el medioambiente, lo que ha hecho que las empresas consumidoras y productoras de equipos informáticos se preocupen por este aspecto y empiecen a tomar el Green IT como una estrategia para reducir la contaminación y el consumo de energía al mismo que tiempo que reducen coste de facturas y gestión. Algunas de las tecnologías o tendencias verdes que más se utilizan en las empresas son aquellas relacionadas con el ahorro de energía teniendo en cuenta los centros de datos, ya que es en ellos donde se realiza el mayor consumo de energía. (Javier Muñoz Giner, 2010)

Uno de los temas con mayor relevancia en la actualidad es el medio ambiente y todo lo relacionado con el cuidado y la conservación de este; se ha vuelto sumamente necesario que los gobiernos, las empresas y la sociedad misma, tengan como prioridad el cuidado del medio ambiente.

Es por esto que, en el proyecto realizado se utilizaron paneles solares para el funcionamiento de las estaciones y el mantenimiento de la infraestructura TI; tecnología que contribuye al proceso de mitigación en el impacto negativo que se tiene frente al ambiente.

2.2 MARCO LEGAL

De acuerdo con la Resolución 2254 de 2017 por la cual se modifica la resolución 0610 de 2010, se tomó como referencia los siguientes artículos: (Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017)[32]

Artículo 2: Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio.

En la tabla número 1, se establecen los niveles máximos permisibles a condiciones de referencia para contaminantes criterio, los cuales rigen desde el año 2018.

Tabla 5. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio.

Contaminante	Nivel máximo Permisible (µg/m3)	Tiempo de Exposición
PM10	50	Anual
	100	24 horas
PM2.5	25	Anual
	50	24 horas
SO2	50	24 horas
	100	1 hora

Contaminante	Nivel máximo Permisible (µg/m3)	Tiempo de Exposición
NO2	60	Anual
	200	1 hora
O3	100	8 horas
CO	5.000	8 horas
	35.000	1 hora

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

[32] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (noviembre 2017). Resolución 2254 de 2017. Obtenido de: https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minambienteds_2254_2017.htm

Artículo 6. Monitoreo de la Calidad del Aire por las autoridades competentes
Las autoridades ambientales competentes están obligadas a realizar mediciones de calidad del aire en el área de su jurisdicción, de conformidad con lo establecido en la presente resolución.

Artículo 7. Monitoreo en tiempo real de contaminantes del aire en puntos críticos

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, adoptará a nivel nacional el protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. A partir del 1 de enero de 2018 se deberá iniciar con la modernización de los equipos necesarios para el monitoreo en tiempo real de los contaminantes, definiendo, además el 31 de diciembre como la fecha límite para la modernización de estos equipos.

Artículo 8. Monitoreo y seguimiento de la calidad de aire por parte de proyectos, obras y actividades.

Las mediciones de calidad del aire realizadas por terceros, a solicitud del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial o de las autoridades ambientales competentes, deberán estar de acuerdo con lo establecido en el protocolo del monitoreo y seguimiento de calidad del aire.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1 INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

Para el desarrollo del trabajo de grado uno de los métodos de investigación que se implementó fue el experimental, debido a que es la que más se ajusta a los requerimientos del mismo.

Según Fidias Arias, “la investigación experimental es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos, a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente)”[33]

Este trabajo de grado se desarrolló por medio de la investigación experimental, debido a que se realiza el cálculo para determinar cómo está la calidad del aire en una determinada estación de la ciudad. En este caso el grupo de estudio es el aire de la ciudad, que se encuentra sometido a un estímulo como son los agentes contaminantes emitidos por el parque automotor. Con la interacción de estos dos factores se observa cómo los agentes contaminantes influyen sobre la calidad del aire de la ciudad de Tuluá.

3.1.1 Formulación del problema

¿Cómo afectan los agentes producidos por el parque automotor la calidad del aire de la ciudad de Tuluá?

[33] Fidias G. Arias (Julio 2012) El proyecto de investigación, introducción a la metodología científica, sexta edición. Obtenido de: https://es.slideshare.net/fidiasarias/fidias-g-arias-el-proyecto-de-investigacin-6ta-edicin

3.1.2 Hipótesis

Debido al incremento del parque automotor en la ciudad de Tuluá y a la contaminación que se presenta actualmente en ciudades cercanas como Cali y Yumbo, se cree que la calidad de aire de la ciudad se está viendo afectada directamente causando molestias en la salud de las personas.

3.1.3 Realización de un diseño adecuado a la hipótesis

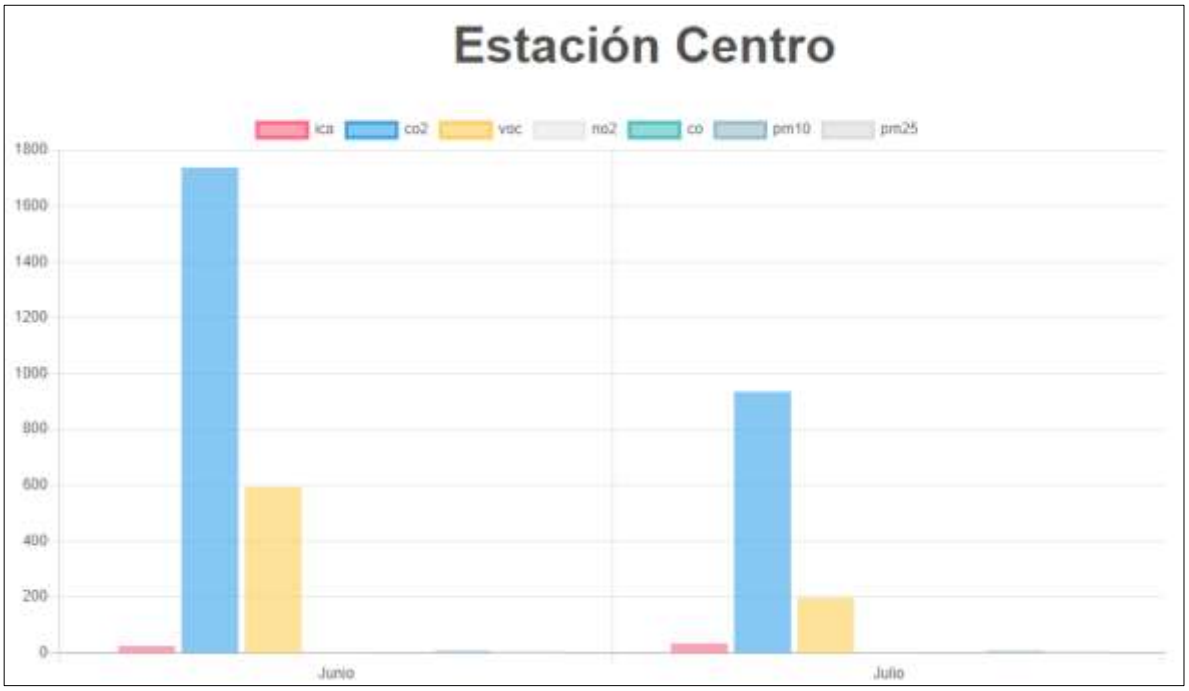
Con el fin de observar como se ve afectada la calidad del aire de la ciudad por el parque automotor se va a realizar la medición de agentes contaminantes del aire (material particulado, monóxido de carbono, dióxido de carbono) por medio de la estación SMAQ, la cual arrojará el resultado en tiempo real de dichos agentes. Luego tener las lecturas se aplica la fórmula del IQA y finalmente, el resultado de dicha operación arroja como resultado el índice de calidad del aire.

3.1.4 Recogida y análisis de datos

En esta investigación se utiliza la estación de monitoreo de calidad del aire SMAQ para obtener los datos.

La siguiente gráfica muestra las lecturas acumulada en la estación de monitoreo Smaq, estas lecturas van desde el día 01 de junio de 2020 hasta el 31 de julio de 2020.

Ilustración 5. Gráfica generada por la página web SMAQ



Fuente: El Autor

Tabla 6. Promedio por mes de contaminantes medidos

Agente medido	Promedio por mes (ppm)			
	Junio	ICA	Julio	ICA
Monóxido de Carbono (CO)	0,59	0,005	0,62	0,006
PM10	9,76	9,037	8,84	8,185
PM2.5	9,05	37,708	8,19	34,125
NO_2	0,89	0,445	0,72	0,36

Fuente: El Autor.

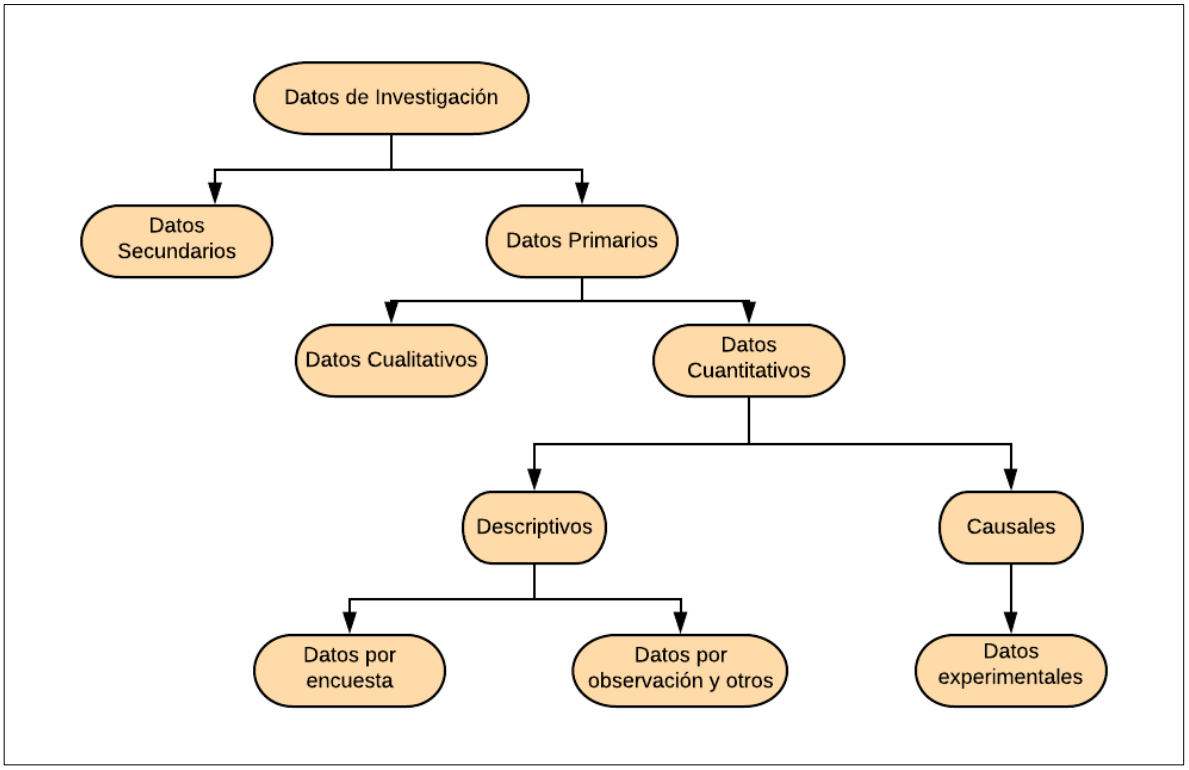
En la tabla anterior se calculó el ica para varios agentes contaminantes medidos en la estación de monitoreo. Así mismo, se puede visualizar que, aunque para estos meses no se evidencian afectaciones de grupos sensibles por la falta de calidad en el aire, se ven variaciones en valores de los agentes en los dos meses medidos.

3.1.5 Conclusiones de la investigación experimental

Al revisar los resultados arrojados por la estación de monitoreo SMAQ se puede concluir que el aire en la estación de monitoreo se encuentra en buenas condiciones y no representa una amenaza para el medio ambiente y la salud de algunos grupos de personas tales como niños, ancianos y personas enfermas. El índice de calidad del aire se calculó mediante la fórmula que expone la resolución 2254 de 2017 y se comparó con la tabla de puntos de corte del ICA de la misma resolución.

3.2 INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA-CUALITATIVA

Ilustración 6. Datos de Investigación



Fuente: El Autor.

3.2.1 Proceso de muestreo

3.2.1.1 Plantear Objetivos

Para dar cumplimiento al objetivo específico en donde se debe implantar y evaluar el sistema de monitoreo en las estaciones de muestreo de la ciudad se llevó a cabo una metodología de investigación.

El estudio realizado en este proyecto, es un estudio descriptivo porque se basó en la identificación de características de una población, del lugar donde se realizó la instalación de las estaciones de monitoreo y del proceso ambiental para determinar

los puntos óptimos para la ubicación precisa de las estaciones, además de la relación entre los factores involucrados.

De igual manera, la técnica representa un enfoque cuantitativo debido a que es un sistema de monitoreo con el cual se miden agentes contaminantes del aire en la ciudad.

Para Deobold B. Van Dalen y William J. Meyer, "El objetivo de la investigación descriptiva consiste en llegar a conocer las situaciones, costumbres y actitudes predominantes a través de descripción exacta de las actividades, objetos, procesos y personas. Su meta no se limita a la recolección de datos, sino a la predicción e identificación de las relaciones que existen entre dos o más variables"[34]

Se utilizó como instrumento de la metodología descriptiva la recolección de datos por encuestas a la población a la cual va dirigida el proyecto.

Tabla 7. Comparación de los diseños básicos de investigación.

	Exploratoria	Descriptiva	Causal
Objetivo:	Descubrir ideas y conocimientos	Describir características o funciones del mercado	Determinar relaciones causales
Características:	Flexible Versátil A menudo es la parte frontal del diseño de la investigación total	Se distingue por la formulación previa de hipótesis específicas Diseño planeado y estructurado de antemano	Manipulación de una o más variables independientes Control de otras variables mediadoras
Métodos:	Encuestas con expertos Encuestas piloto Datos secundarios (analizados cuantitativamente) Investigación cualitativa	Datos secundarios (analizados cualitativamente) Encuestas Paneles Datos por observación y otros	Experimentos

Fuente: Investigación de Mercados.[35]

[34] Deobold B. Van Dalen y William J. Meyer (2010). Manual de técnica de la investigación educacional. Obtenido de: http://biblioteca.usco.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=28382

[35] Naresh k. Malhotra. Investigación de Mercados. Comparación de los diseños básicos de investigación. Obtenido del Libro Investigación de Mercados, Quinta Edición.

Tabla 8. Cuadro comparativo de Investigación Cualitativa y Cuantitativa

	INVESTIGACIÓN CUALITATIVA	INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA
Objetivo	Lograr un entendimiento cualitativo de las razones y motivaciones subyacentes	Cuantificar los datos y generalizar los resultados de la muestra a la población de interés
Muestra	Número pequeño de casos no representativos	Número grande de casos representativos
Recolección de datos	No estructurada	Estructurada
Análisis de datos	No estadístico	Estadístico
Resultado	Establecer una comprensión inicial	Recomendar un curso de acción final

Fuente: Investigación de Mercados.

3.2.1.2 Definir población

La población a la cual fue dirigido el proyecto la representan los habitantes de la ciudad de Tuluá. No obstante, aunque el sistema monitorea partículas contaminantes provocadas especialmente por el parque automotor; el problema de contaminación atmosférica y la falta de calidad en el aire es un problema que afecta a todos los habitantes.

3.2.1.3 Especificación del marco muestral

Por medio del DANE[36] que es la entidad encargada de la planeación, levantamiento, procesamiento, análisis y difusión de las estadísticas oficiales de Colombia, se obtuvo la información más reciente de la cantidad poblacional de la ciudad de Tuluá, además de la cantidad de vehículos matriculados desde hace 25 años aproximadamente.

[36] DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

3.2.1.4 Escoger tipo de muestreo

El tipo de muestreo es probabilístico, porque la muestra será elegida de manera aleatoria, es decir, que todas las unidades que conforman la población tienen la misma probabilidad de salir en la muestra.

3.2.1.5 Selección y tamaño de la muestra

Ilustración 7. Fórmula para determinar tamaño de la muestra.

$$n = \frac{Z_\alpha^2 Npq}{e^2(N-1) + Z_\alpha^2 pq}$$

Fuente: Metodologías y técnicas de Investigación Empresariales.[37].

Tabla 9. Cuadro explicativo de variables.

Variable	Explicación	Valores
Z	Constante que depende del nivel de confianza asignada (Ejemplo: 95% de confianza da un Z=1,96) ver tabla.	1,65
N	Tamaño de la población	219148
e	Error muestral deseado	10,0%
p	Proporción de individuos que poseen en la población la característica de estudio.	0,5
q	Proporción de individuos que no poseen esa característica, es decir, es 1-p.	0,5
n	Numero de encuestas a realizar	68,0

Fuente: El Autor

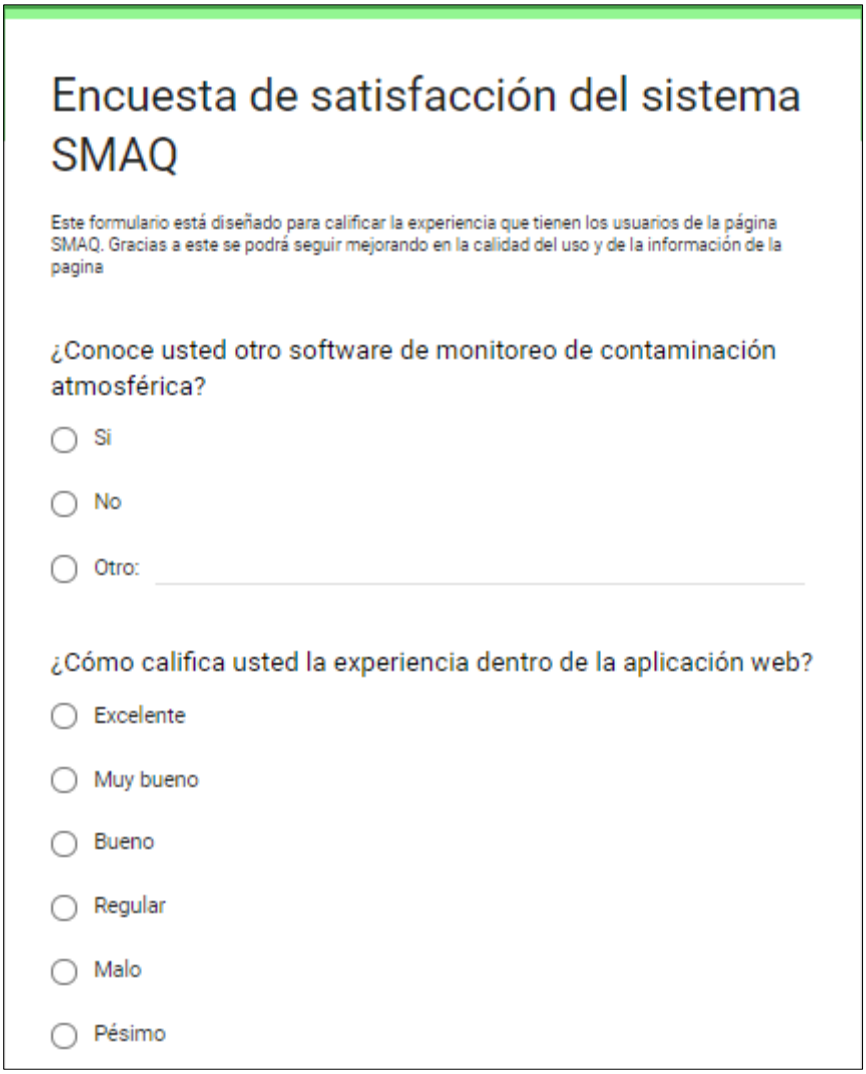
[37] Metodologías y técnicas de investigación empresarial. Proceso de Muestreo. Obtenido del Libro Metodologías y Técnicas de Investigación empresarial, Autores Elías Ramírez Plazas, Dagoberto Páramo Morales.

3.2.1.6 Recolección de datos

Por medio de la formula aplicada se obtuvo que la cantidad de personas a encuestar, es decir el tamaño de la muestra, fue 68.

- El tamaño de la población es conocido: 219.148 habitantes
- El error muestral deseado fue de 10 %
- El nivel de confianza asignado fue del 90% que corresponde al 1,65
- El instrumento utilizado para la recolección de los datos fue la encuesta que se aplicará mediante un formulario en línea.

Ilustración 8. Encuesta en línea



Encuesta de satisfacción del sistema SMAQ

Este formulario está diseñado para calificar la experiencia que tienen los usuarios de la página SMAQ. Gracias a este se podrá seguir mejorando en la calidad del uso y de la información de la pagina

¿Conoce usted otro software de monitoreo de contaminación atmosférica?

- Si
- No
- Otro:

¿Cómo califica usted la experiencia dentro de la aplicación web?

- Excelente
- Muy bueno
- Bueno
- Regular
- Malo
- Pésimo

Fuente: El Autor

Ilustración 9. Encuesta en línea

¿Cuánto tiempo se demoró dentro de la aplicación web?

- De 1 a 5 minutos
- De 5 a 10 minutos
- Más de 10 minutos

¿La aplicación web se ajusta al formato de pantalla del dispositivo desde el cual ingreso?

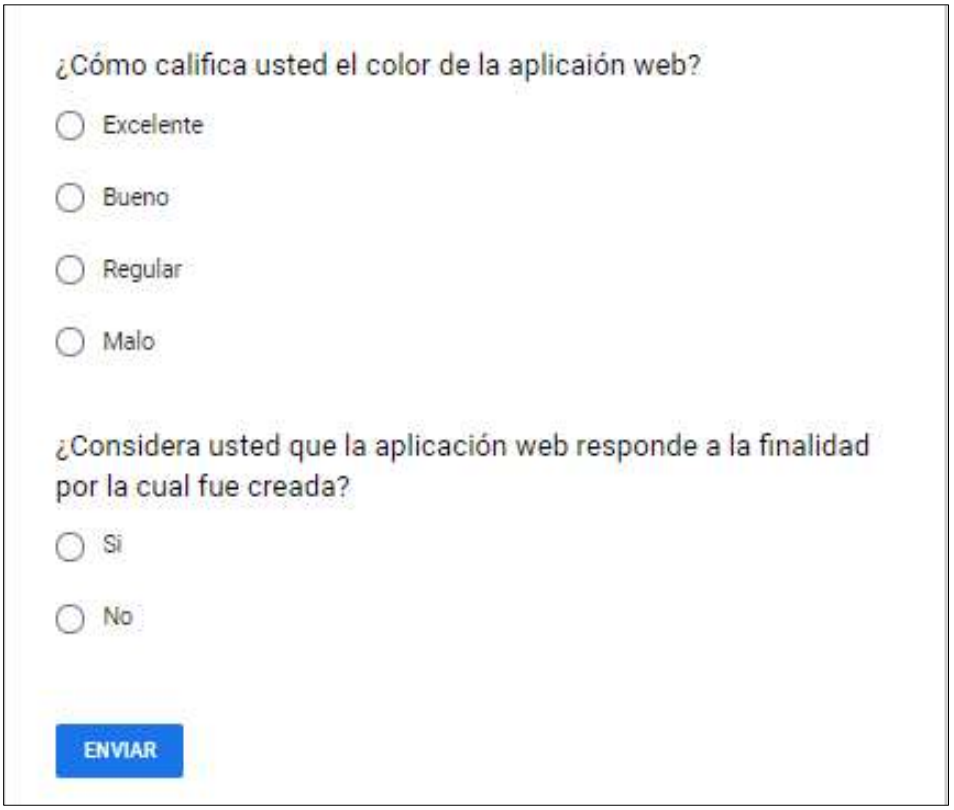
- Si
- No
- Algunas veces

¿Qué tan rápido califica usted el tiempo de respuesta de la aplicación web? siendo 7 el valor más rapido y 1 el más lento

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

Fuente: El Autor

Ilustración 10. Encuesta en línea

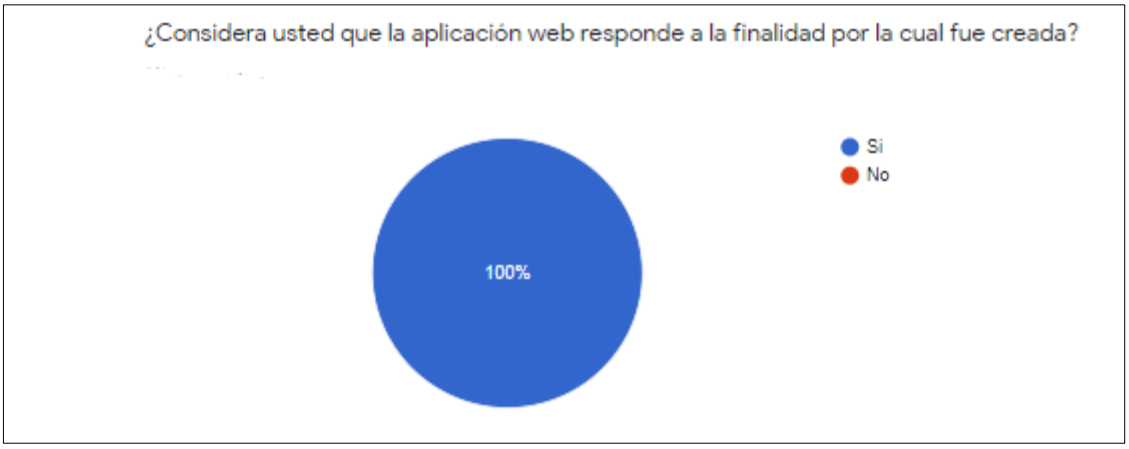


Fuente: El Autor

3.2.1.7 Procesar y analizar datos

De acuerdo a la encuesta realizada a los habitantes de la ciudad de Tuluá mediante el ingreso a la aplicación web, se logró obtener una respuesta positiva en cuanto al objetivo de la creación de la página web SMAQ.

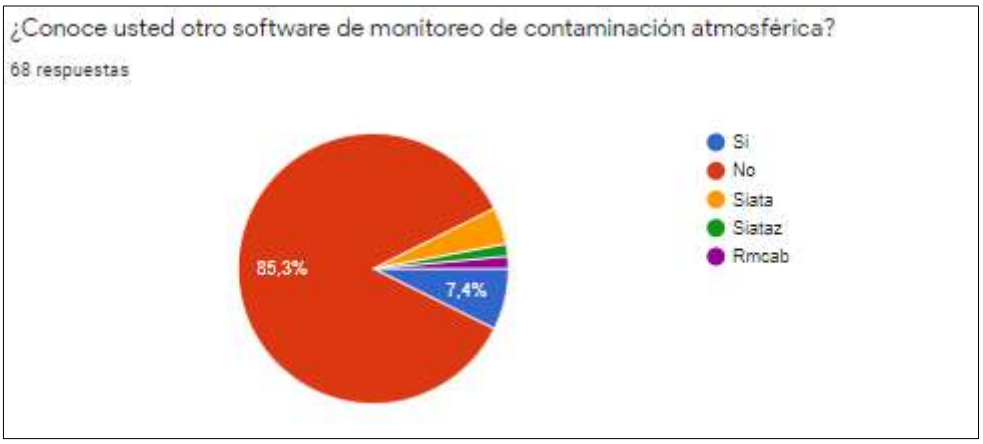
Ilustración 11. Gráfica de la encuesta



Fuente: Los Autores. Gráficos generados por Google Forms.

De igual modo, se descubrió el poco conocimiento que tienen los habitantes de la ciudad acerca de otro software especial para medir la calidad del aire.

Ilustración 12. Gráfica de la encuesta

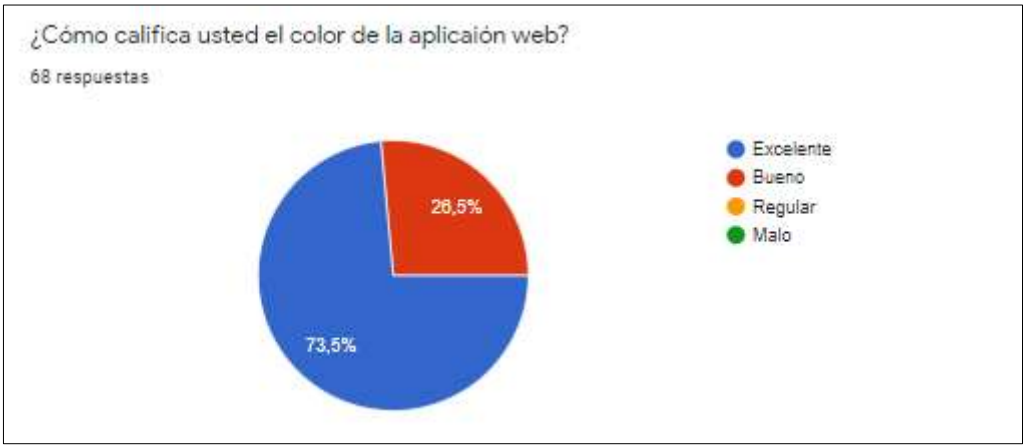


Fuente: Los Autores. Gráficos generados por Google Forms.

Además, se logró escoger acertadamente el color que más se visualiza dentro de la aplicación web Smaq. Así mismo, se tuvo en cuenta, que el color dentro de una aplicación genera sensaciones y emociones y esto fue lo que se quiso trasmitir de manera positiva mediante el color verde y blanco.

El color verde en la aplicación representa medio ambiente y significa, además tranquilidad, así mismo, el color blanco que trasmite paz.

Ilustración 13. Gráfica de la encuesta



Fuente: Los Autores. Gráficos generados por Google Forms.

Ficha Técnica de la encuesta

Tabla 10. Ficha técnica de la encuesta realizada

Diseño Muestral	Probabilístico, permite determinar una muestra representativa de la población
Población Objetivo	Habitantes de la ciudad de Tuluá
Universo representado	Representa 219,148 habitantes
Técnica	Encuesta vía web
Tamaño de la muestra	68 encuestas a realizar
Momento estadístico	Octubre 20 2019
Persona que la realizó	Marcela Tamayo, Camilo Baquero
Tema y Objetivo	Calidad del Aire. Conocer el nivel de satisfacción de los usuarios frente a la aplicación(software)

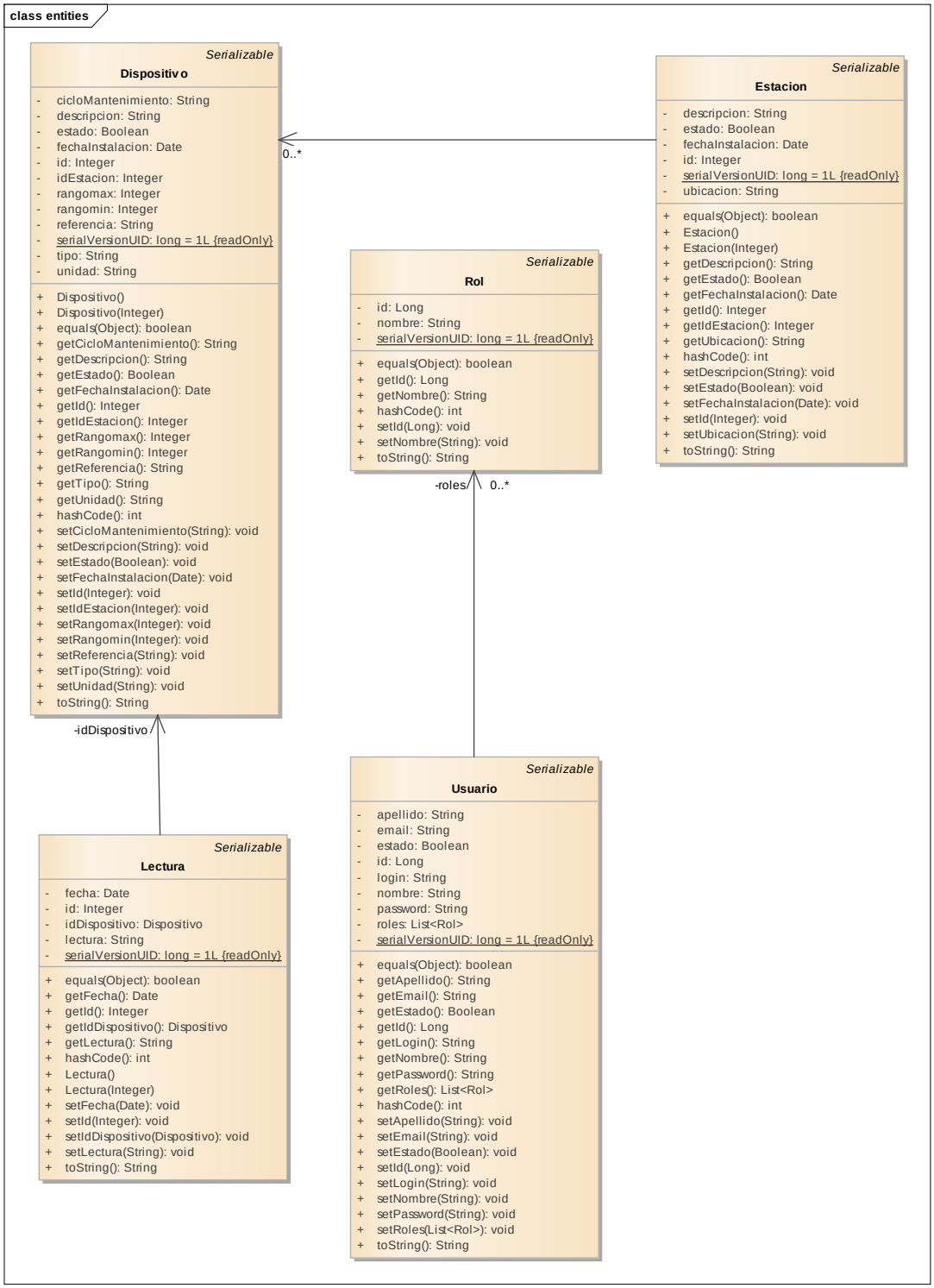
Fuente: El Autor

CAPÍTULO IV INGENIERIA

4.1 ANALISIS DE REQUERIMIENTOS

4.1.1 Modelo de dominio

Ilustración 14. Diagrama del Modelo de Dominio



Fuente: El Autor

4.1.2 Prototipo inicial de la GUI

Ilustración 15. Interfaz Principal.

Fuente: El Autor

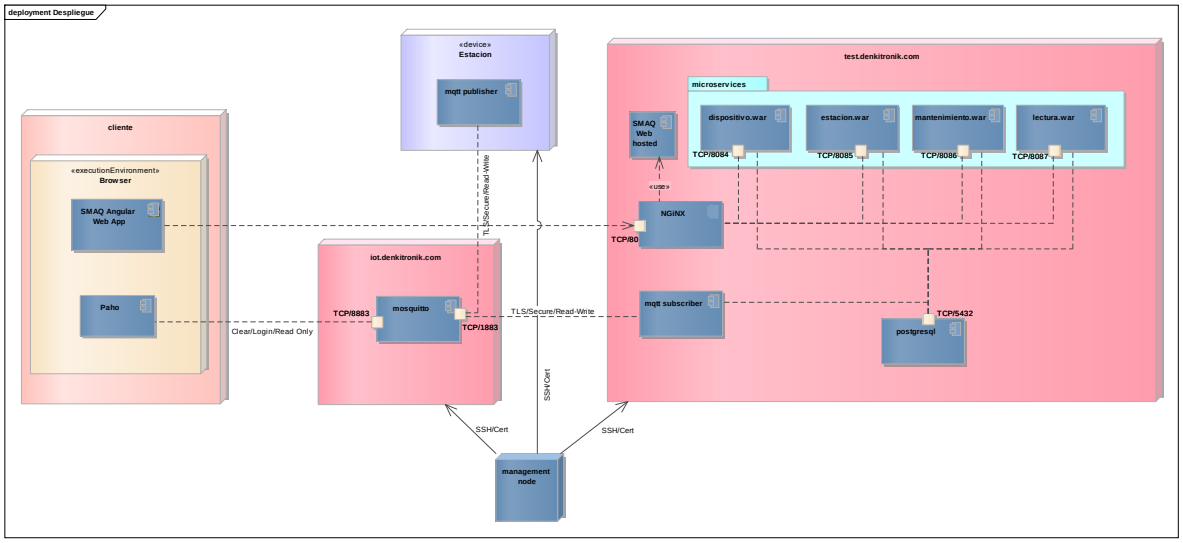
Ilustración 16. Interfaz Mapa

Fuente: El Autor

Las demás interfaces del prototipo inicial de la GUI se encuentran en el libro de anexos.

4.1.3 Diagrama de despliegue o de nodos y componentes

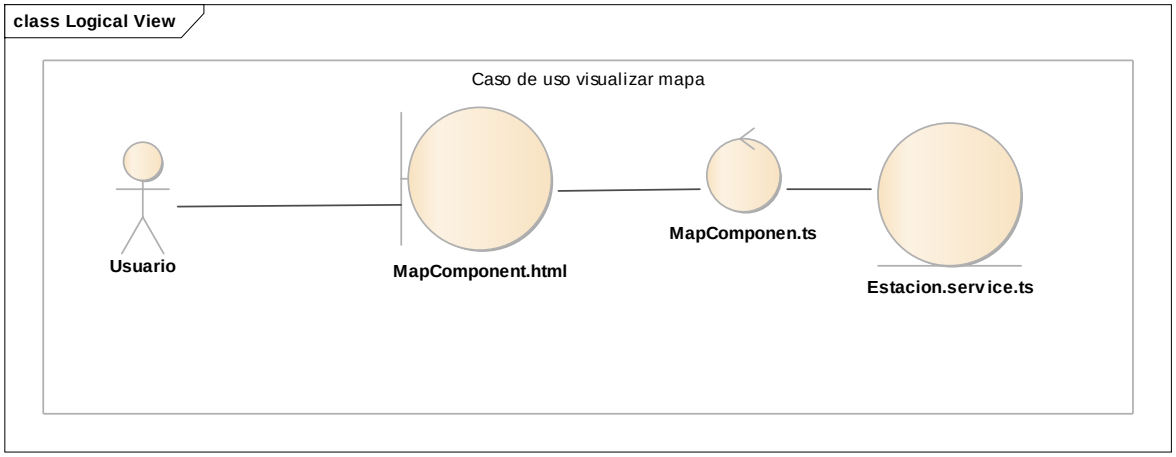
Ilustración 17. Diagrama de despliegue.



Fuente: El Autor

4.1.4. Diagrama de robustez

Ilustración 18. Diagrama de robustez - Caso de uso visualizar mapa.



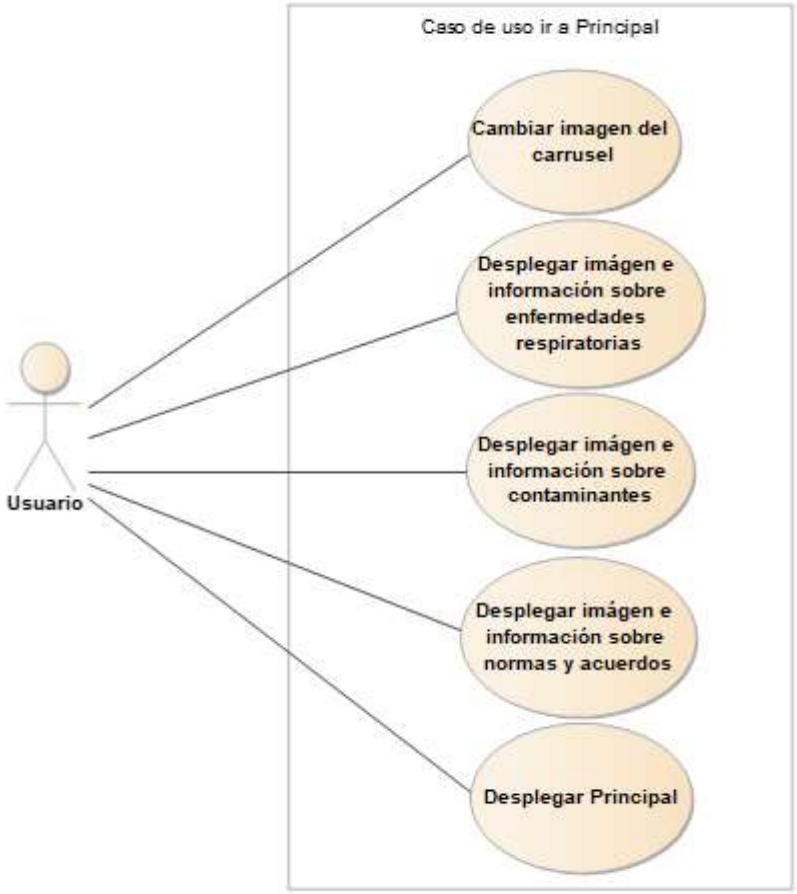
Fuente: El Autor.

Los demás diagramas de robustez se encuentran en el libro de anexos.

4.2 ANÁLISIS Y DISEÑO PRELIMINAR

4.2.1 Tablas de caso de uso de requisitos

Tabla 11. Formato caso de uso de requisitos.

SMAQ	SMAQ
GUION	
ID de Caso de Uso	**CU_# 1**
	
Creado Por: Marcela Tamayo	**Fecha de Creación 9/10/2019**
Requerimiento: El sistema deberá tener una pestaña llamada Principal, la cual debe contener un carrusel de imágenes representativas del proyecto, tres imágenes con una breve descripción acerca de enfermedades respiratorias, principales contaminantes y	

<table>
<tr><td colspan="3">normas y acuerdos ambientales. Además, una descripción sobre el proyecto realizado.</td></tr>
<tr><td>Precondiciones</td><td colspan="2">• Los servicios deben estar montados
• La base de datos debe tener datos.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Curso Normal</td></tr>
<tr><td colspan="2">Actor(es)</td><td>Sistema</td></tr>
<tr><td colspan="2">1.El usuario ingresa a la página web de SMAQ.

3. Dentro de la pestaña Principal, el usuario puede visualizar un carrusel de imágenes representativas del proyecto, ver tres imágenes con una breve información sobre enfermedades respiratorias, principales contaminantes y acuerdos y normas ambientales, además, podrá visualizar una descripción sobre el proyecto realizado.</td><td>2. La página web carga la información de la pestaña Principal</td></tr>
<tr><td colspan="3">Curso Alterno</td></tr>
<tr><td colspan="3">Excepciones:
• Si el servicio no está montado, aparecerá un mensaje “Información del mapa no disponible”</td></tr>
<tr><td colspan="3">Unidad Central del Valle del Cauca</td></tr>
</table>

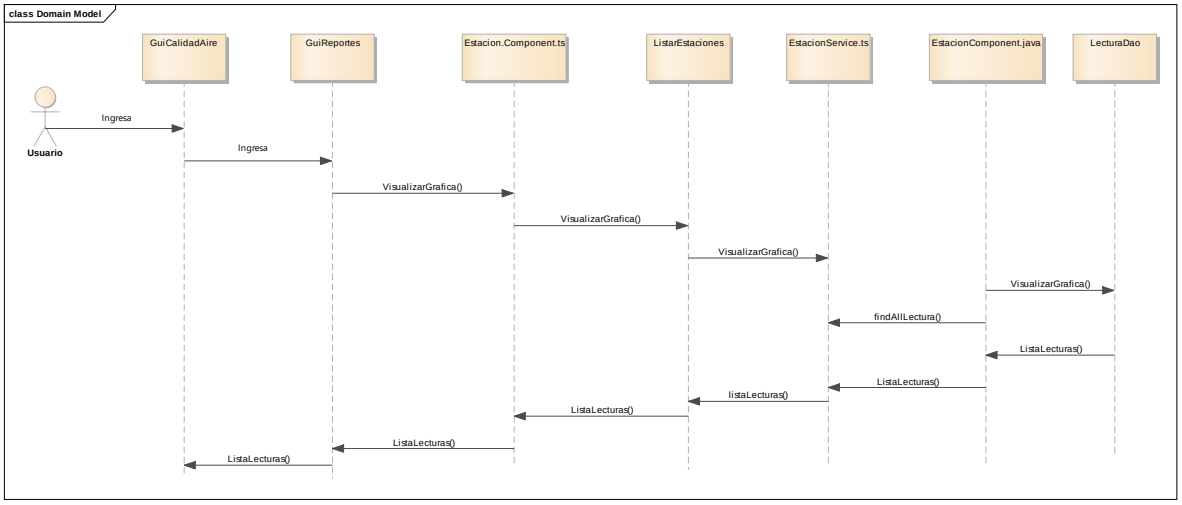
Fuente: El Autor

Los demás casos de uso de requisitos se encuentran en el libro de anexos.

4.3 DISEÑO GENERAL

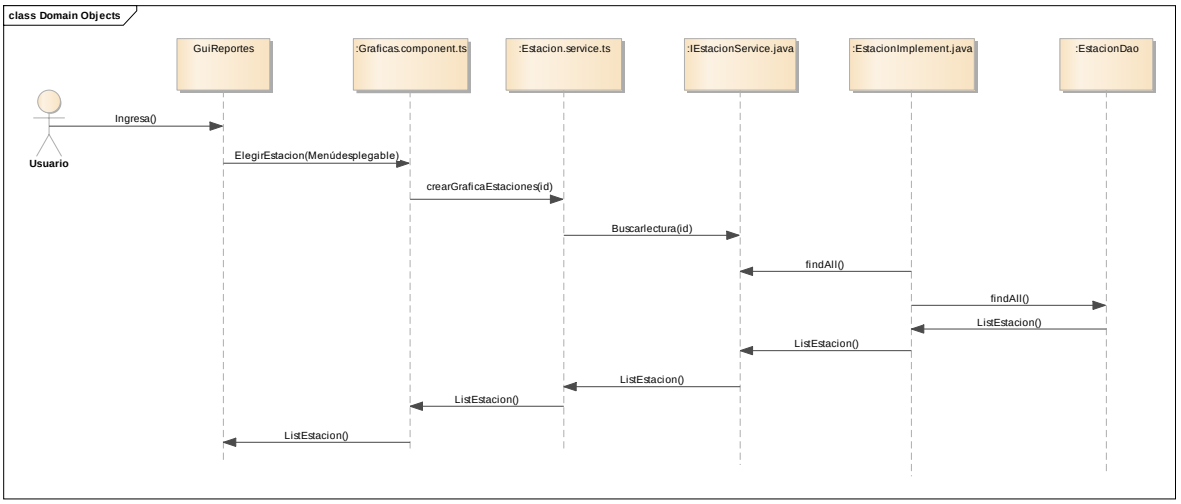
4.3.1 Diagramas de secuencia

Ilustración 19. Diagrama de Secuencia – Reportes.



Fuente: El Autor.

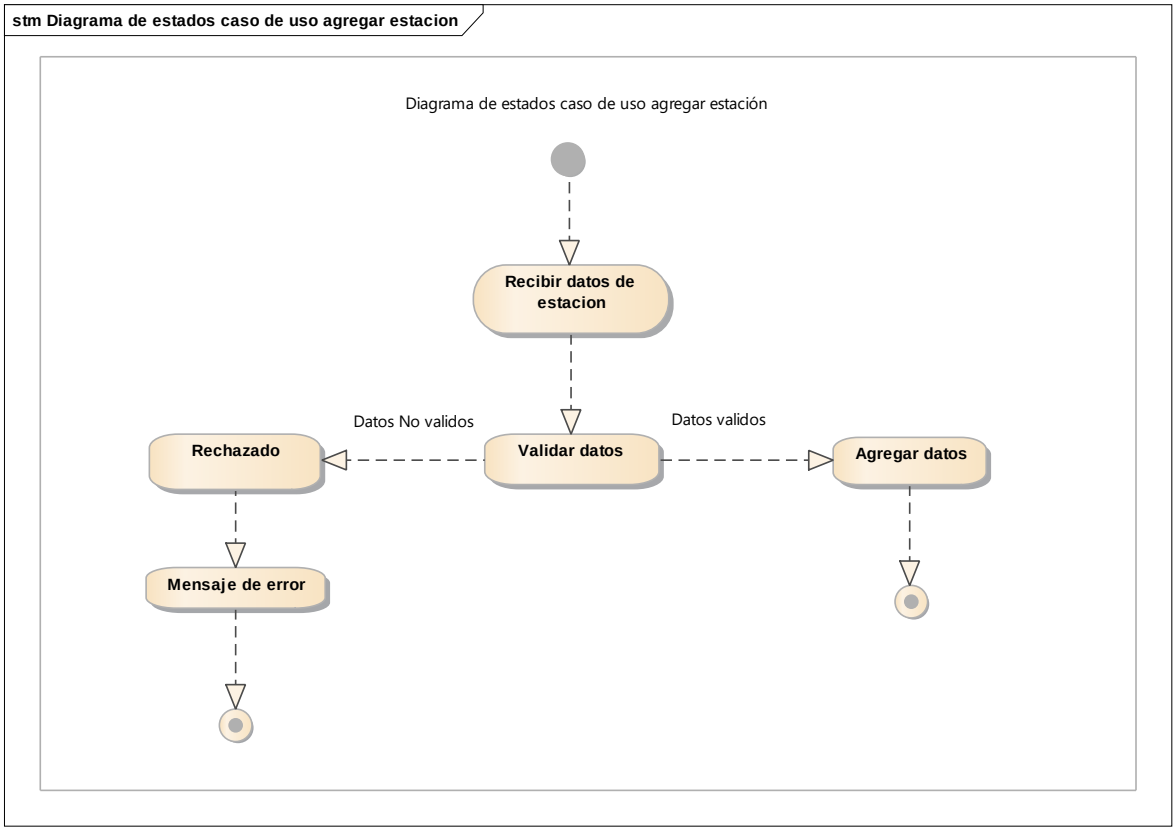
Ilustración 20. Diagrama de Secuencia - Estación.



Fuente: El Autor.

4.3.2 Diagramas de estados

Ilustración 21. Diagrama de Estados - Agregar Estación.

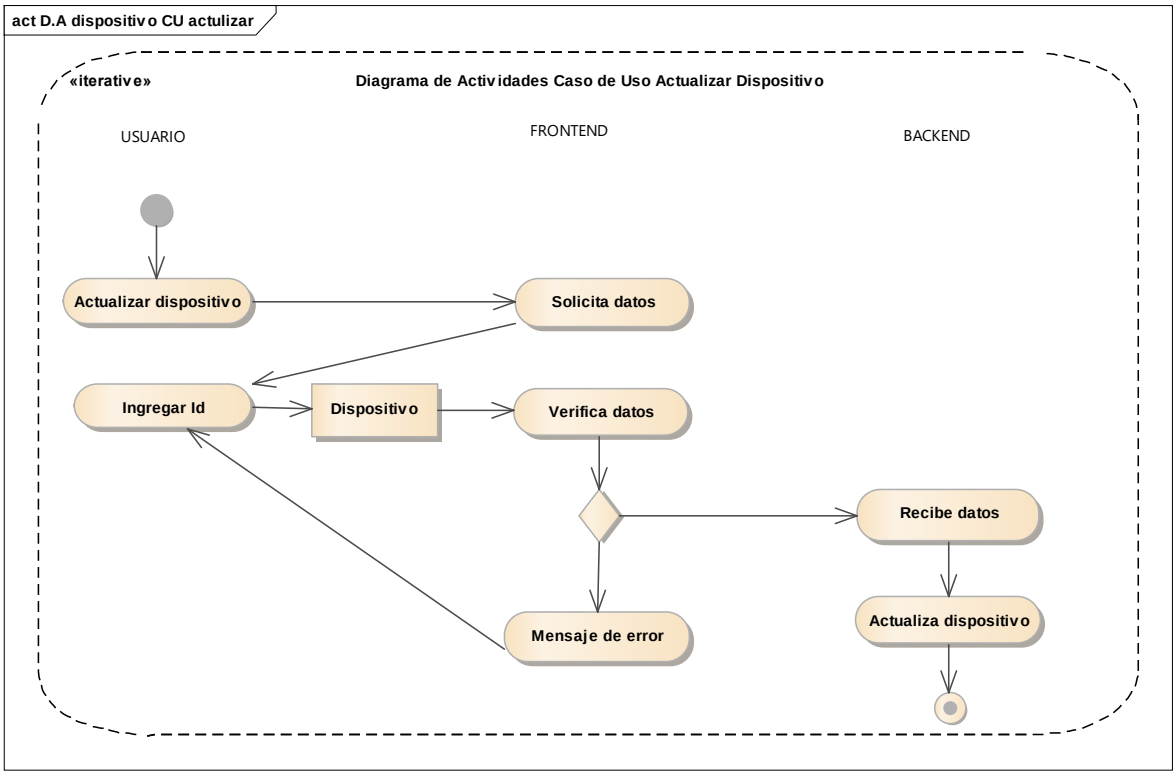


Fuente: El Autor.

Los demás diagramas de estados del micro servicio estación se encuentran en el libro de anexos.

4.3.3 Diagramas de actividades

Ilustración 22. Diagrama de Actividades - Actualizar Dispositivo.

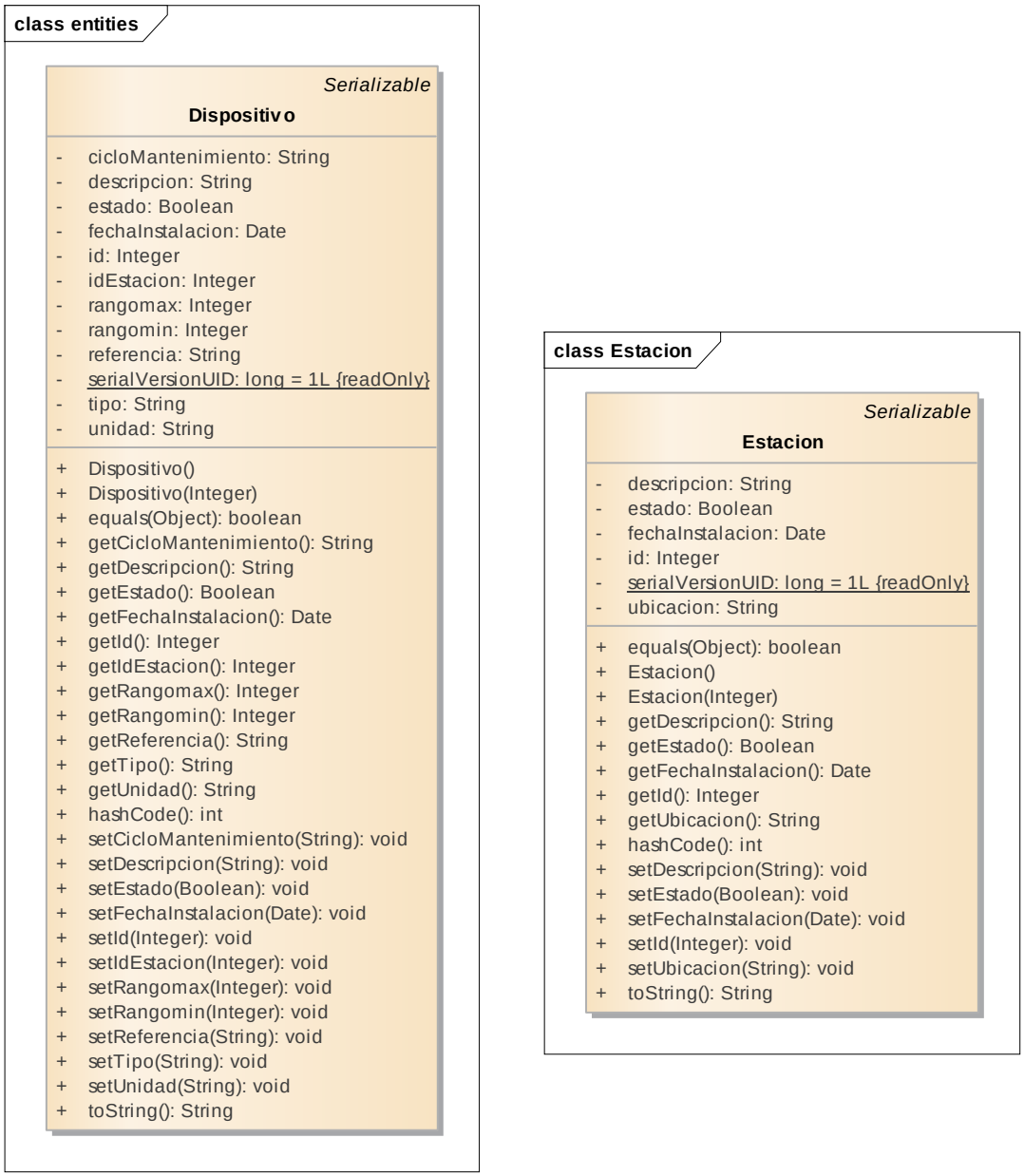


Fuente: El Autor

Los demás diagramas de actividades se encuentran en el libro de anexos.

4.3.4 Diagramas de clases

Ilustración 23. Diagrama de Clases Entidad Dispositivo y estación.

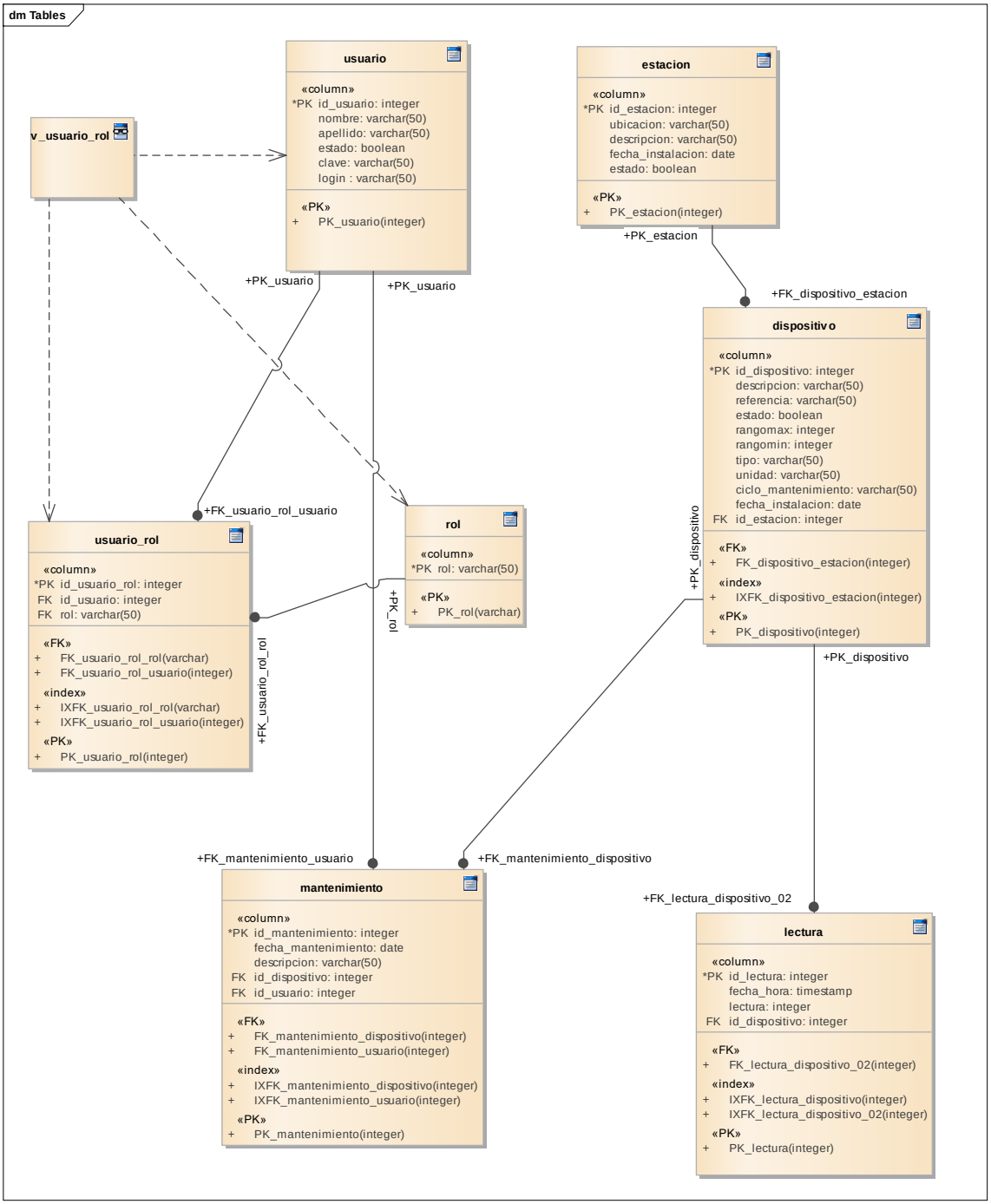


Fuente: El Autor.

4.4 DISEÑO DE DATOS

4.4.1 Esquema de base de datos

Ilustración 24. Diagrama Entidad Relación.

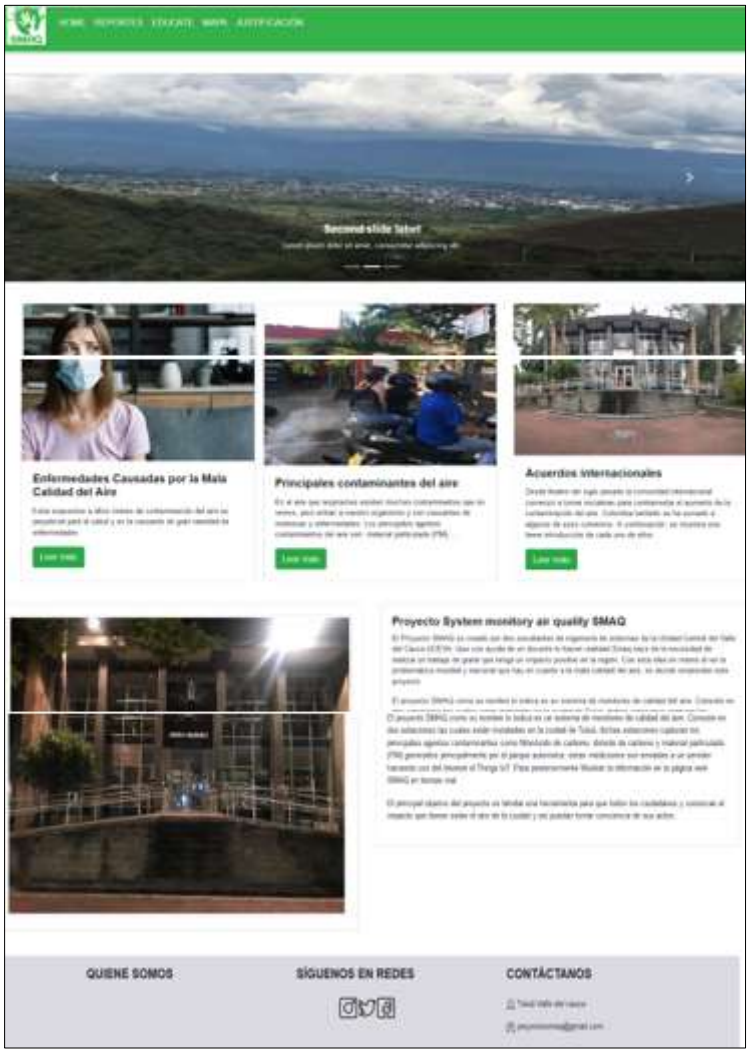


Fuente: El Autor.

4.5 DISEÑO DE INTERFACES

4.5.1 Interfaces

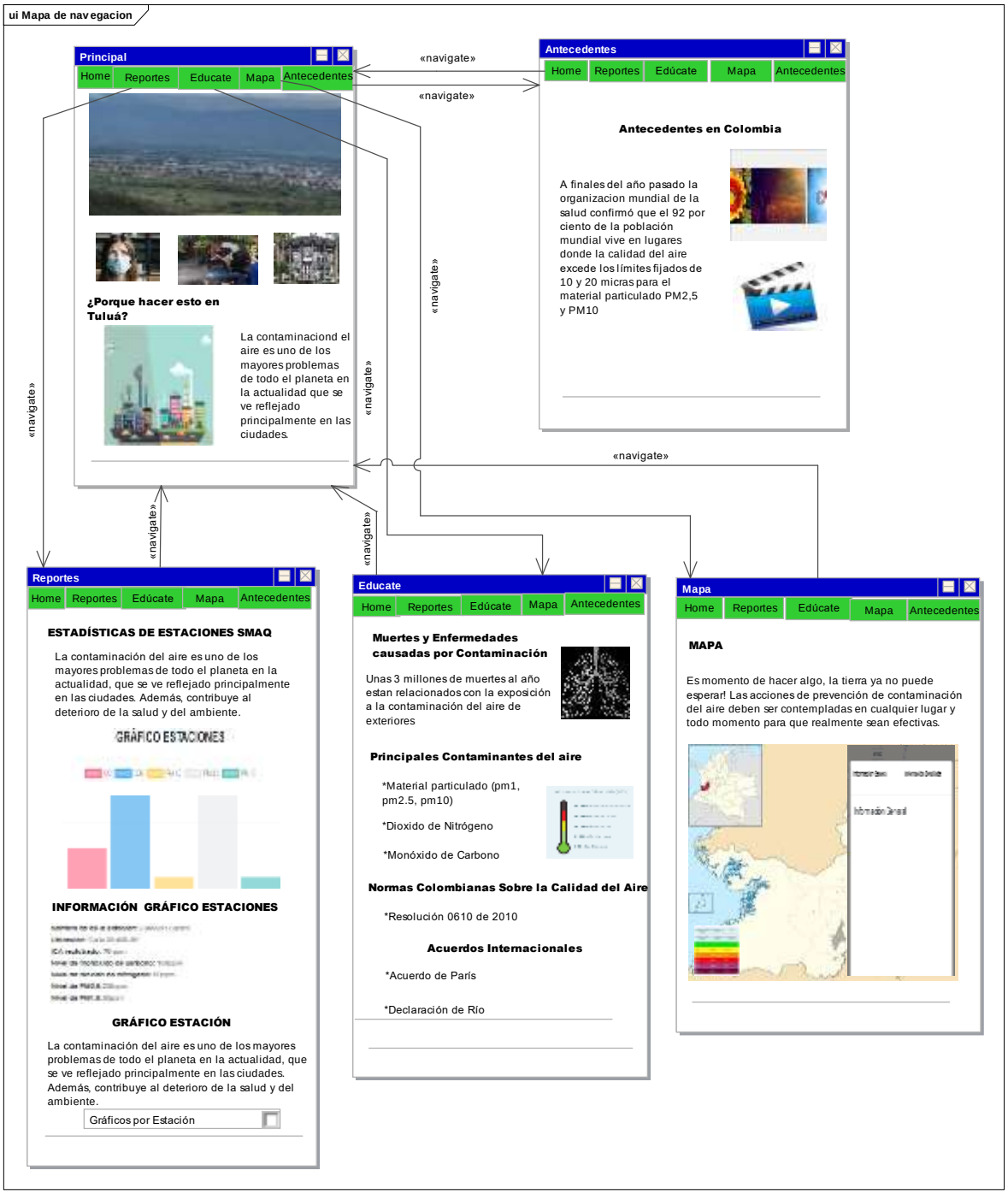
Ilustración 25. Captura de Interface Principal.



Fuente: El Autor.

4.5.2 Diagrama de navegación entre ventanas

Ilustración 26. Diagrama de navegación.



Fuente: El Autor.

4.6 DESARROLLO

4.6.1 Descripción de la técnica de programación

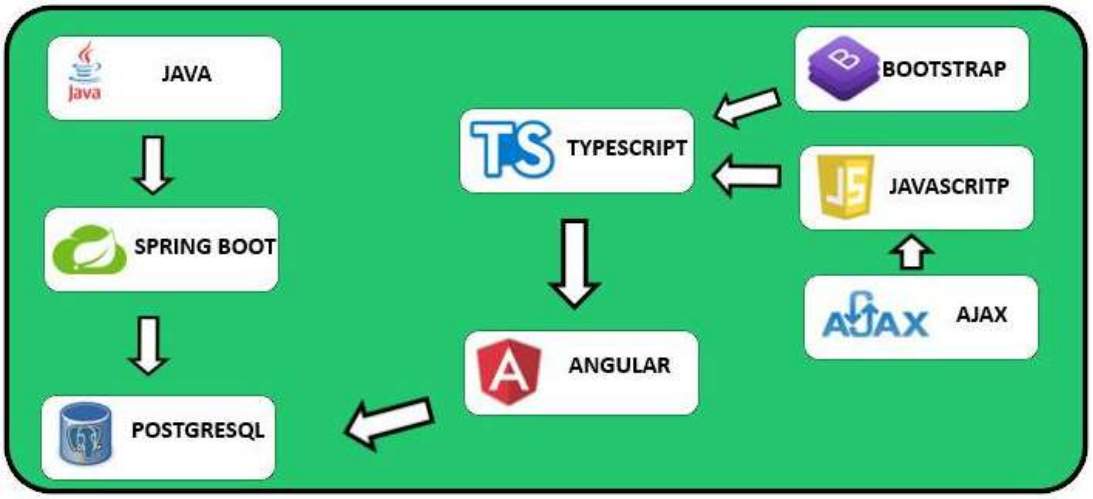
Para el desarrollo del software Smaq se seleccionó la metodología de desarrollo dirigido por modelo (Model-Driven Development MDD), en la que se atribuye a los modelos el papel principal de todo el proceso.

Un modelo es una descripción de un sistema, o parte de éste, escrito en un lenguaje bien definido. (Warmer y Kleppe, 2003).

El enfoque MDD consiste en la construcción de un modelo de software que consta de diversos diagramas que especifica la estructura y la dinámica (la arquitectura) del sistema de software para que a partir de dicho modelo se implemente el sistema.

Con el enfoque MDD el desarrollo se torna más fácil, rápido y agradable, debido a que se utiliza un modelado visual para definir las relaciones de datos, lógica de proceso, y construir interfaces de usuario, esto hace que el desarrollador tenga una visión clara de acerca del sistema a desarrollar.

Ilustración 27. Tecnologías y frameworks utilizados.



Fuente: El Autor.

4.6.1.1 Scrum como metodología para la gestión de equipos de desarrollo

Para la gestión del equipo de desarrollo se seleccionó la metodología ágil Scrum en el cual se realizan entregas parciales y regulares del producto final, priorizadas por el beneficio que aportan al receptor del proyecto. Gracias a este beneficio que ofrece Scrum se obtenían resultados pronto y se identificaba si era necesario realizar cambios en los requisitos.

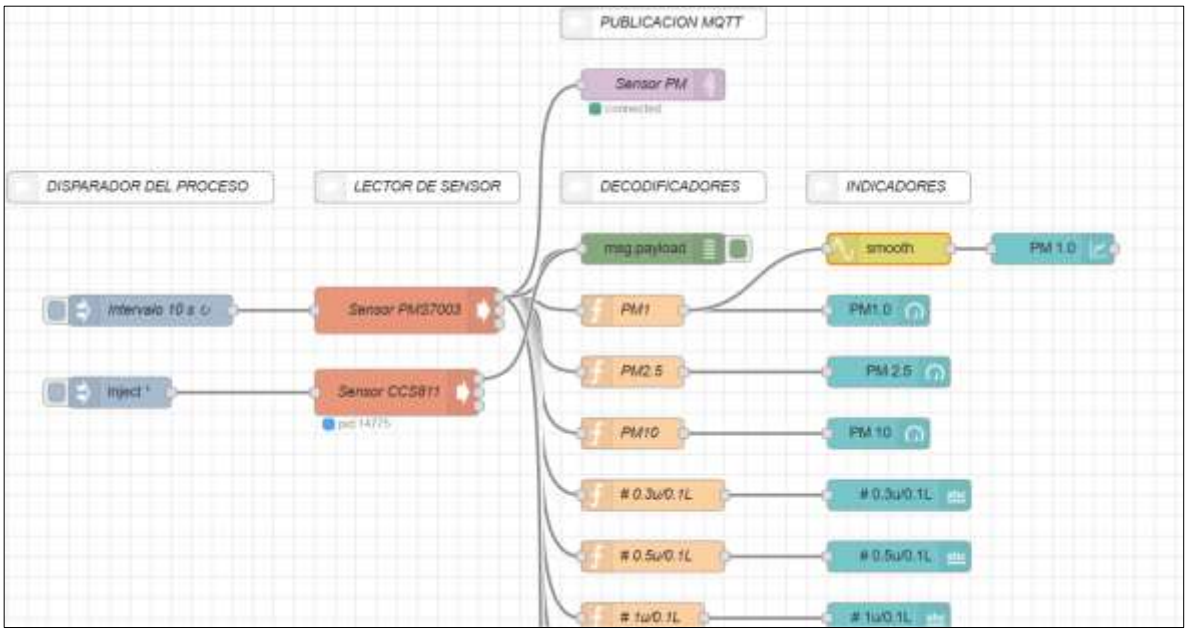
Mediante Scrum y MDD se pudo el realizar el desarrollo del software de forma muy ordenada y efectiva puesto que los dos enfoques están diseñados para el desarrollo ágil.

4.6.1.2 Node-Red

Node red es una herramienta que fue utilizada dentro del proyecto para la programación que interconecta el hardware del Raspberry PI con el software. En el proyecto se utiliza como glue-code (código que une varias piezas de software) y gestiona la comunicación utilizando el protocolo MQTT.

Node red fue seleccionado para el proyecto debido a su disponibilidad, fácil uso y a todas las funcionalidades que provee y que son necesarias para el proyecto, tales como bloques para manejo del protocolo MQTT, manejo de comandos del sistema, temporizadores, despliegue de información en tiempo real, filtros y manejo del formato JSON.

Ilustración 28. Programación en Node red.



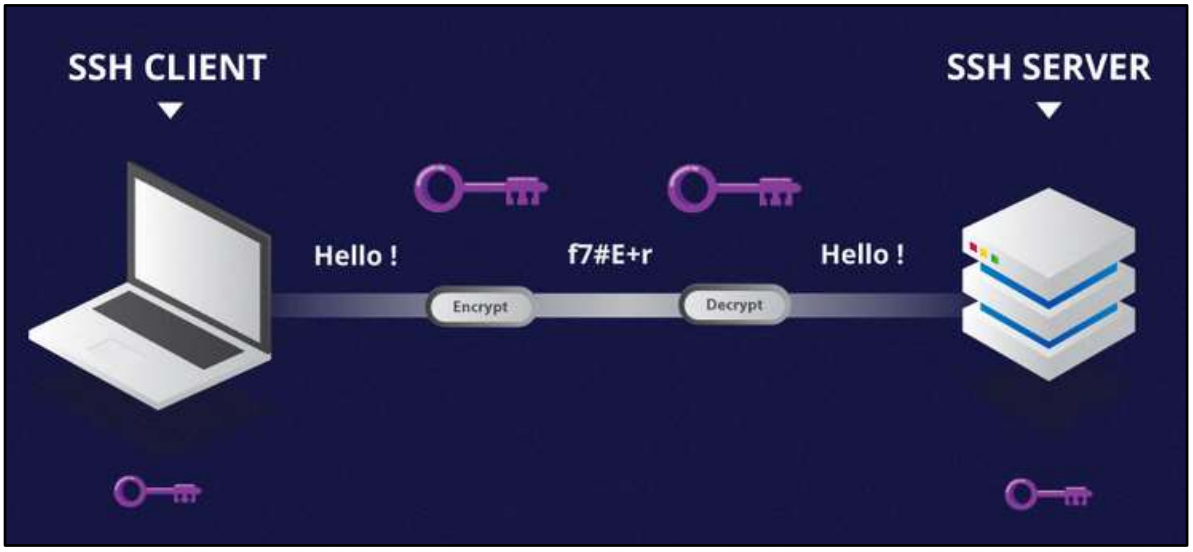
Fuente: El Autor.

4.6.1.4 Seguridad y comunicación

Para la seguridad del sistema Smaq se utilizó el protocolo SSH o Secure Shell, el cual sirve para la administración remota y permite a los usuarios controlar y modificar sus servidores remotos a través de internet por medio de un mecanismo de autenticación. Mediante, este mecanismo se puede autenticar un cliente de manera remota, transferir entradas desde el cliente al host y retransmitir la salida de vuelta al cliente.

Este servicio permite autenticarse si se posee una llave privada, cifrando la comunicación y además se prohíbe el uso de usuario/password, debido a su vulnerabilidad a los ataques de tipo diccionario. La llave privada está cifrada con un passphrase o frase de paso, que provee más seguridad que un password debido a que su longitud es mayor. Para acceder a los servicios de la estación se accede a través de túneles C2S (client-to-server) ya que todos los puertos de entrada están cerrados por el firewall con política DROP, otorgando así un alto nivel de seguridad al sistema. También cada estación tiene un servicio de detección de intrusos IDS que permite prohibir los números IP desde donde se originen ataques de tipos más conocidos.

Ilustración 29. Funcionamiento de SSH.



Fuente: Tutorial Hostinger[38]

Por otra parte, para la comunicación del sistema Smaq se utilizó el protocolo GPRS (Servicio General de Paquetes vía radio, del inglés "General Packet Radio Service"). GPRS es una tecnología que subsana las deficiencias de GSM en cuanto a la transmisión de datos, introduciendo una red de conmutación de paquetes que funciona de forma paralela a la de conmutación de circuitos de GSM.

En un servicio de transferencia de datos con modalidad de conmutación de circuito, cada conexión establecida se dedica solo al usuario que la ha solicitado. A diferencia de esto, GPRS permite la transmisión de paquetes en modalidad link by link, es decir, los paquetes de información se encaminan en fases separadas a través de los diversos nodos de soporte del servicio.[39]

[38] Tutorial Hostinger (octubre 17 2019) Cómo funciona el SSH. Hostinger. Obtenido de: https://www.hostinger.co/tutoriales/que-es-ssh
[39] Francisco Prieto Donate. Introducción histórica a GPRS. Bibing. Obtenido de: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11372/fichero/Memoria%252F03+-+GPRS.pdf

Gracias a este protocolo se envían los paquetes de datos de las estaciones de monitoreo SMAQ al servidor con una velocidad suficiente para telemetría (hasta 250kbps) y buena cobertura debido a que usa la red GPRS ampliamente difundida en el país.

4.6.2 Pruebas de aceptación del usuario

Tabla 12. Prueba de aceptación del usuario página web SMAQ.

Caso de prueba de aceptación.	
Número de caso de prueba	1
Opción Mapa	
Descripción de la prueba.	
Probar la funcionalidad de la opción Mapa con un usuario final.	
Condiciones de ejecución.	
• Los servicios deben estar montados • La información debe estar desplegada • La base de datos debe tener datos	
Entrada / Pasos de ejecución	
• Para ingresar a la aplicación se debe acceder al enlace • El usuario ingresa a la página web SMAQ y escoge la opción Mapa del menú de navegación • El usuario da clic en una estación y observa la información general de la estación (Nombre de la estación, fecha de instalación, ubicación y la foto de la estación). • El usuario da clic en una estación y observa la información detallada de la estación (contaminantes medidos en ella y el ICA general), además del color que se encuentra de acuerdo a la calidad del aire mostrada en el estándar de la imagen ubicada en la parte inferior del mapa	
Resultado esperado	
• El usuario ingresa correctamente a la página y a la opción mapa • El sistema le carga las funcionalidades de la interfaz Mapa • El usuario encuentra fácilmente la funcionalidad de la interfaz.	
Evaluación e la prueba.	
Aprobada	
Firma del cliente responsable.	

Fuente: El Autor.

CAPITULO V RESULTADOS

Objetivo Específico No.1

El método de la sensórica utilizado fue mixta, es decir, se seleccionaron sensores análogos y digitales. Para el sensor análogo se utilizó el convertidos ADS1115 y para los sensores digitales el bus de serie de datos Bus I2C, de igual manera, el conversor RS232 TTL, utilizando un protocolo propietario.

Sensor CCS811

CCS811 es un sensor de gas digital de baja potencia especial para monitoreo de la calidad del aire. Se basa en una tecnología de microplacas únicas de ams[40] que permite una solución altamente confiable para sensores de gas, tiempos de ciclo muy rápidos y una reducción significativa en el consumo de energía promedio.[41]

Mediante este sensor se obtendrá la información de eCO_2, equivalente dióxido de carbono.

[40] AMS Technologies es un proveedor de productos y soluciones personalizadas con competencias en fotónica, gestión térmica y tecnologías de energía.
[41] SparkFun (diciembre 23 2016). Sensor de gas digital de ultra baja potencia para monitoreo de la calidad del aire. SparkFun. Obtenido de https://cdn.sparkfun.com/assets/learn_tutorials/1/4/3/CCS811_Datasheet-DS000459.pdf

Tabla 13. Características y Beneficios del sensor CCS811.

Beneficios	Características
Administra los modos de manejo del sensor y mediciones al detectar VOCs	MCU integrada
Proporciona indicación de nivel eCO2 o TVOC sin intervención del host	Procesamiento a bordo
Simplifica la integración de hardware y software	Interfaz digital estándar I2C
Extiende la duración de la batería en aplicaciones portátiles	Modos de bajo consumo optimizados
Ahorra hasta un 60 % en huella de PCB (sustancias químicas y residuos peligrosos).	Bajo conteo de componentes
Diseñado para un alto volumen y fiabilidad (> 5 años de por vida)	Plataforma tecnológica probada

Fuente: El Autor

Sensor Mics-4514

El MICS-4514 es un sensor MEMS[42] robusto para detección de contaminación por escapes de automóviles.[43]

[42] MEMS o Sistemas microelectromecánicos: Dispositivos y estructuras fabricadas utilizando técnicas de microfabricación.
[43] SensorTech (Switzerland). Hoja de datos del sensor Mics-4514. Sensortech. Obtenido de: https://www.sgxsensortech.com/content/uploads/2014/08/0278_Datasheet-MiCS-4514.pdf

Mediante este sensor se obtendrá la información de monóxido de carbono y dióxido de nitrógeno.

Ilustración 30. Características del sensor MICS-4514.

Características

- La huella más pequeña para diseños compactos (5x7x1,55 mm)
- Sensor MEMS robusto para entornos hostiles
- Fabricación de alto volumen para aplicaciones de bajo costo
- Tiempos de entrega cortos

Fuente: El Autor

Sensor de material particulado Pms7003

PMS7003 es un tipo de sensor de concentración de partículas digital y universal, que se puede utilizar para obtener el número de partículas suspendidas en el aire, es decir, la concentración de partículas, y emitirlas en forma de interfaz digital. Este sensor se puede insertar en instrumentos variables relacionados con la concentración de partículas suspendidas en el aire u otros equipos de mejora ambiental para proporcionar datos de concentración correctos a tiempo.[44]

[44] Kamami (2016) Sensor digital universal de concentración de partículas. Kamami. Obtenido de: https://download.kamami.com/p564008-p564008-PMS7003%20series%20data%20manua_English_V2.5.pdf

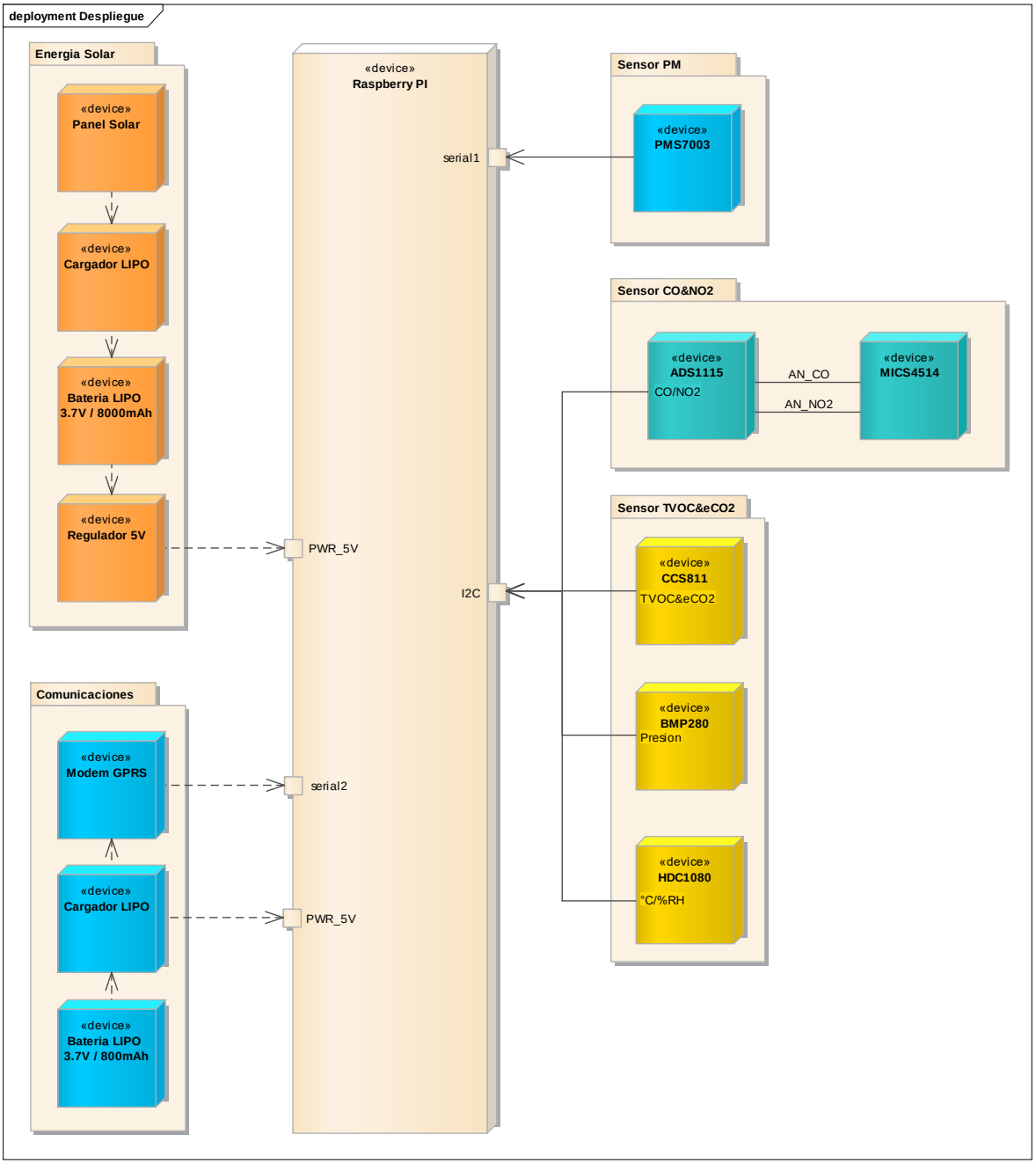
Ilustración 31. Características del sensor PMS7003.

Características

- Cero tasas de falsas alarmas
- Respuesta en tiempo real
- Datos correctos
- Diámetro mínimo de partículas distinguibles: 0.3 micrómetros
- Alto rendimiento anti-interferente debido a la estructura patentada de seis lados de protección
- Dirección opcional de entrada y salida de aire para adaptar los diferentes diseños

Fuente: El Autor

Ilustración 32. Diagrama de bloques del hardware.



Fuente: El Autor.

Objetivo Específico No.2

Se diseñó un prototipo de estación de monitoreo que consta de un dispositivo raspberry que tiene conectado sensores análogos y digitales los cuales capturan información de los siguientes contaminantes: equivalente dióxido de carbono, monóxido de carbono y dióxido de nitrógeno y material particulado.

Luego de que la información es obtenida por medio de los sensores se realiza el cálculo del ICA y se crea el formato en el cual se envía la información mediante Node red. Finalmente, haciendo uso del servidor Mosquitto de Mqtt, se envía la información al servidor y a la base de datos para su posterior procesamiento.

Objetivo Específico No.3

Haciendo uso del framework Angular, el cual es especializado para el desarrollo de aplicaciones SPA (single page application), se construyó la página web SMAQ, la cual contiene unas sesiones que proporcionan información acerca de las principales enfermedades, normas y agentes contaminantes, con el fin de brindar conocimiento del tema a los usuarios. Así mismo, cuenta con un mapa en el que se puede visualizar la información de los agentes contaminantes CO2, PM10, PM2.5, VOC, NO2 medidos por la estación en tiempo real, como también, información sobre la ubicación de la estación. De igual manera, para lograr que la información que muestra la estación sea comprendida por usuarios no expertos en el tema, se agrega una ilustración en la cual se muestra la categoría de la calidad del aire. Igualmente, el sistema de información permite visualizar datos históricos de los agentes medidos en las estaciones, además, descargar un reporte de una estación en un periodo de tiempo determinado convirtiéndose en una herramienta para que los entes gubernamentales puedan tomar decisiones con respecto al tema y con el

objetivo de que la pagina sea fácil de comprender para el usuario y sea posible su visualización en cualquier dispositivo, se siguieron lineamientos de usabilidad responsiva e intuitiva.

Objetivo Específico No.4

Para el proceso de calibración de los valores obtenidos por la estación se dejó a criterio el error porcentual del sensor que especifica el fabricante

Los sensores de gases son de óxido metálico, es decir, que están compuestos por un átomo de un elemento metálico cualquiera y un átomo de oxigeno con valencia (-2), otros son infrarrojos, sin embargo, no se utilizaron en este proyecto y otros como por ejemplo el sensor PMS7003 el cual mide partículas de polvo disueltas en el aire y se evalúa mediante el conteo de partículas por láser.

Ilustración 33. Gráfica Reporte.

Fuente: El Autor

En la siguiente tabla se calculó el ica para algunos agentes contaminantes medidos en la estación de monitoreo para la fecha del 1 de agosto hasta el 10 de agosto de 2020. Se evidencia que en lo que va corrido del mes, el aire está en una categoría “Buena” sin embargo, para el material particulado pm2.5, según la resolución 2254 de 2017 la categoría es aceptable, lo que evidencia que pueden existir riesgos para poblaciones vulnerables.

Tabla 14. Cálculo del ICA mes de agosto.

Agente medido	Promedio por mes (ppm)	
	Agosto	ICA
Monóxido de Carbono (CO)	574,32	5,64
PM10	13,59	12,58
PM2.5	12,59	52,63
NO_2	0,27	0,135

Fuente: El Autor.

CAPITULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

1. Para la selección de la sensórica adecuada se realizaron diferentes pruebas con distintos tipos de sensores con los cuales se evaluó mediante mediciones arrojadas por ambos, cual se ajustaba más a las necesidades del proyecto. Teniendo en cuenta algunos factores como sensibilidad, es decir, los rangos máximos y mínimos de medición de cada sensor y variación de la lectura, se determinó que unos eran para ambientes interiores y otros especiales para ambientes exteriores. De igual manera, características como la exactitud, la economía en consumo de energía, fueron determinantes en su elección.

2. Las estaciones de monitoreo están construidas sobre la placa base raspberry Pi Zero, la cual ofrece una serie de ventajas frente a otras plataformas, algunas de esas ventajas son las siguientes: permite la actualización remota (OTA : Over The Air), ofrece la suficiente potencia de cómputo para el proyecto y así evitar errores de tipo buffer underrun, dispone de variedad de librerías disponibles para Linux, permite el uso de servicios múltiples que no se encuentran en otras plataformas, dispone de 512MB de Ram, lo que permite ejecutar proyectos complejos y consumidores del recurso sin tener que limitarse, evitando así, errores por desbordamiento.

   Teniendo en cuenta las pruebas realizadas para la elección de la sensórica adecuada, se diseñaron las estaciones con los siguientes sensores: MICS-4514, CCS811 y PMS7003 que según la evaluación realizada son los óptimos para las mediciones en exteriores, además de tener un rango más amplio de

las mediciones. Se encontró que las mediciones del sensor CCS811 son más exactas si se le provee a dicho sensor los valores de humedad relativa y temperatura ambiente por medio del sensor HDC1080.

La tecnología IoT se ajusta a las necesidades del proyecto, por sus características de integración, seguridad y conectividad, es por esto que fue elegida para el desarrollo del mismo.

3. Para la comunicación de las estaciones con la página web se utilizaron tecnologías IoT (protocolo Mqtt, eclipse paho, node red). Gracias a las propiedades de esta tecnología, la página web permite la visualización en tiempo real de las mediciones que arrojan las estaciones ubicadas en diferentes puntos de la ciudad. De igual manera, la página web permite generar y descargar reportes que muestran de forma estadística el estado de las estaciones y sus respectivos contaminantes, proporcionando una herramienta para la toma de decisiones. Además, se cuenta con una sección de educación en la que se enseña a los usuarios algunos temas básicos en cuanto a contaminación se trata.

   Por consiguiente, la página web es una herramienta que permite a los usuarios tener un conocimiento del estado del aire y a los entes gubernamentales les brinda información histórica de la calidad del aire en las estaciones de la ciudad.

4. Luego de diseñar los dispositivos y tener la comunicación entre el servidor y la página web se inicia con la instalación de las estaciones en dos puntos específicos de la ciudad de Tuluá.

Para la evaluación de la página web SMAQ se realizaron encuestas a un número aleatorio representativo de habitantes de la ciudad, las cuales arrojaron resultados positivos en cuanto a estilo y funcionalidad. Sin embargo, se pudo observar el desconocimiento que tienen en cuanto a materia ambiental.

Además, se pudo observar que el diseño de la página web responde al criterio de usabilidad, ya que los usuarios no tuvieron mayor dificultad en encontrar la información emitida por las estaciones de monitoreo.

5.2 RECOMENDACIONES

- Extender las funcionalidades del sistema SMAQ, permitiendo mostrar las mediciones de más sensores de contaminación atmosférica para generar una estación de monitoreo más completa.
- Diseñar reportes con diferentes estilos de gráficos que permitan distintas interpretaciones de los datos.
- Desarrollar una aplicación móvil para el sistema SMAQ, la cual permitirá mayor visibilidad y ampliación de los usuarios del sistema.
- De acuerdo a los resultados obtenidos mediante el prototipo de estación de monitoreo, se recomienda a las autoridades gubernamentales tomar las acciones pertinentes que ayuden contrarrestar y controlar de alguna manera el problema de la contaminación del aire provocada por el parque automotor.
- Aumentar la cantidad de estaciones de monitoreo en puntos estratégicos de la ciudad de Tuluá, con el fin de tener un control de la calidad del aire.

Bibliografía

Acens Telefónica. (2014). *Acens the cloud services company.* Obtenido de https://www.acens.com/wp-content/images/2014/02/bbdd-nosql-wp-acens.pdf

Angular Org. (2019). *Angular*. Obtenido de https://angular.io/docs

Eclipse. (2019). *Eclipse Foundation*. Obtenido de Jakarta EE: https://jakarta.ee/about/

En lee, K. L. (2015). El Internet de las cosas (IoT): aplicaciones, inversiones y desafíos para las empresas. *Business Horizons*, 431-440.

Expósito, E. D. (2008). Metodologías de desarrollo de software. ¿Cuál es el camino? . *Revista de Arquitectura e Ingeniería Redalyc*, vol. 2 no.3.

Fundación Raspberry pi. (2016). *Raspberry pi*. Obtenido de Raspberry pi: https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/

Hibernate Org. (2019). *Hibernate*. Obtenido de http://hibernate.org/orm/

IBM. (21 de 01 de 2019). *IBM®*. Obtenido de IBM®: https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SSMKHH_10.0.0/com.ibm.etools.mft.doc/bc62000_.htm

IDEAM. (2014). *El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire

Javier Muñoz Giner, Y. R. (2010). Nuevas tendencias en tecnologías verdes -Green IT para la. *tagingenieros.com*, 2-3.

Massé, M. (2012). *REST API Design Rulebook .* Estados Unidos de America: O´Reilly.

Ministerio de ambiente y vivienda y desarrollo territorial. (2010). *RESOLUCIÓN NÚMER0 610.* Bogota.

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible, L. G. (1 de Noviembre de 2017). *icbf.gov.* Obtenido de https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minambienteds_2254_2017.htm

Nebel, A. (Octubre de 2018). Arquitecturas de Microservicios para Plataformas de Integración. Montevideo, Uruguay.

PCE Inst. (s.f.). *PCE Inst.* Obtenido de PCE Inst.: https://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/sistemas/sensorica.htm

Platzi. (2018). *Platzi*. Obtenido de https://platzi.com/blog/que-es-frontend-y-backend/?gclid=EAIaIQobChMIjvKE19y54gIVC1qGCh0flwArEAAYASAAEgJ6gPD_BwE

Raspberry Pi. (2016). *Raspberry Pi*. Obtenido de Raspberry Pi: https://www.raspberrypi.org/about/

Sampieri, R. H. (2014). *Metodología de la investigación.* Mexico: Mcgraw hill.

Sistema de Información Ambiental de Colombia. (s.f.). *SIAC*. Obtenido de http://www.siac.gov.co/calidadaire

Straub, S. C. (2014). *Pro Git.* Apress.

SUÁREZ, C. A. (2012). *DIAGNÓSTICO Y CONTROL DE MATERIAL PARTICULADO: PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES Y FRACCIÓN RESPIRABLE PM10*.*

Sutherland, K. S. (1991-2016). *La Guía de ScrumTM.* Obtenido de https://www.scrumguides.org/docs/scrumguide/v2016/2016-Scrum-Guide-Spanish.pdf#zoom=100

The PostgreSQL Global Development Group. (1996-2019). *Postgresql*. Obtenido de https://www.postgresql.org/about/