



Nicolás HERNÁNDEZ SIACHOQUE

PROPUESTA PROYECTO DE GRADO

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

PRESENTACIÓN DE PROPUESTA DE PROYECTO DE GRADO

SEMESTRE: 2021-10
FECHA: 2021-07-30

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero/a Electrónica

ESTUDIANTE: Nicolás HERNÁNDEZ SIACHOQUE **CODIGO:** 201716434

TÍTULO DEL PROYECTO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA IoT para monitorear calidad del aire.

DECLARACION:

1 - Soy consciente que cualquier tipo de fraude en esta Tesis es considerado como una falta grave en la Universidad. Al firmar, entregar y presentar esta propuesta de Tesis o Proyecto de Grado, doy expreso testimonio de que esta propuesta fue desarrollada de acuerdo con las normas establecidas por la Universidad. Del mismo modo, aseguro que no participé en ningún tipo de fraude y que en el trabajo se expresan debidamente los conceptos o ideas que son tomadas de otras fuentes.

2- Soy consciente de que el trabajo que realizaré incluirá ideas y conceptos del autor y el Asesor y podrá incluir material de cursos o trabajos anteriores realizados en la Universidad y por lo tanto, daré el crédito correspondiente y utilizaré este material de acuerdo con las normas de derechos de autor. Así mismo, no haré publicaciones, informes, artículos o presentaciones en congresos, seminarios o conferencias sin la revisión o autorización expresa del Asesor, quien representará en este caso a la Universidad.



Firma (Estudiante)
Código: 201716434
CC: 1020845735



Vo.Bo. ASESOR (Firma)
Nombre: Freddy Enrique Segura-Quijano

Vo.Bo. COASESOR (Firma)
Nombre: Juan Jose García

Contenido

1	PRESENTACIÓN PROPUESTA PROYECTO DE GRADO.	4
1.1	CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.2	MARCO TEÓRICO	4
1.2.1	Antecedentes externos	5
1.2.2	Antecedentes locales	5
1.3	CARACTERIZACION DEL PROYECTO	6
1.3.1	Objetivos generales	6
1.3.2	Objetivos específicos	6
1.3.3	Alcance (compromisos)	6
1.4	CONTEXTO Y TRATAMIENTOS	6
1.4.1	Supuestos	7
1.4.2	Restricciones	7
1.4.3	Factores de riesgo	7
1.5	CRONOGRAMA	7
1.5.1	Identificación y descripción de hitos	7
1.5.2	Cronograma	8
1.5.3	A tener en cuenta	8
1.6	RECURSOS	8
	Bibliografía	10

CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA

MARCO TEÓRICO

- Antecedentes externos
- Antecedentes locales

CARACTERIZACIÓN DEL PROYECTO

- Objetivos generales
- Objetivos específicos
- Alcance (compromisos)

CONTEXTO Y TRATAMIENTOS

- Supuestos
- Restricciones
- Factores de riesgo

CRONOGRAMA

- Identificación y descripción de hitos
- Cronograma
- A tener en cuenta

RECURSOS

1. PRESENTACIÓN PROPUESTA PROYECTO DE GRADO.

HENRY FORD

Si le hubiera preguntado a la gente lo que
ellos querían, ellos habrían dicho caballos
más rápidos.

(PUEDE CAMBIAR ESTA CITA POR UNA
PROPIA.)

Este documento presenta la propuesta del proyecto de grado, en la cual se busca **Apoyar a una red de monitoreo de calidad del aire por medio de dispositivos de bajo costo.**

1.1 CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA

En las principales ciudades alrededor del mundo se ha producido un deterioro de la calidad del aire. El 14 de abril del 2021 se firmó en la ciudad de Bogotá un pacto histórico para mejorar la calidad del aire y se fijaron metas a 10 años. Es necesario monitorear diferentes variables para determinar la afectación de gases contaminantes en la ciudad. Se disponen de estaciones meteorológicas cuya información se presenta en el IBOCA (Índice bogotano de calidad del aire), sin embargo, la construcción y mantenimiento de cada una de ellas es de alto costo. Por otro lado, actualmente solo se conoce a nivel de localidad la calidad del aire, en cada una de estas se presentan diferentes fuentes contaminantes que no pueden identificarse solo con una sola estación meteorológica. Se requiere entonces construir una red de monitoreo de gases efecto invernadero y material particulado con la característica de bajos costos de inversión y mantenimiento. Hace falta explorar nuevos dispositivos que se acoplen a esta red y que de manera económica contribuyan con información de tal manera que aumente la densidad de puntos de medición en la ciudad.

1.2 MARCO TEÓRICO

A continuación se presenta el marco teórico del proyecto.

Calidad del aire: la calidad del aire está dada por diferentes mediciones de gases y material particulado. En la literatura se encuentran principalmente el monóxido de carbono CO, dióxido

de carbono CO₂ y el material particulado PM_{2.5} y PM₁₀. En la ciudad de Bogotá, la RMCAB (Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá) obtiene información de la concentración de material particulado (PM₁₀, PST, PM_{2.5}), gases contaminantes (SO₂, NO₂, CO, O₃) y de las variables meteorológicas de precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar, humedad relativa y presión barométrica por medio de 13 estaciones fijas y 1 estación móvil.

Material particulado: indica las partículas sólidas presentes en el aire, PST corresponde al total de partículas suspendidas, PM_{2.5} indica aquellas con diámetro menor a 2.5 micrómetros y PM₁₀ inferior a 10 micrómetros. Estas partículas generan una afectación al ser humano ya que son capaces de llegar a los pulmones y generar enfermedades.

Protocolo MQTT (message queue telemetry transport protocol): es un protocolo para la comunicación de dispositivos que funciona bajo la arquitectura publicar/ Suscribirse [S.S18]. Esta arquitectura permite que el protocolo sea más liviano en el uso de recursos tanto de GPU como de red a comparación de una arquitectura cliente-servidor. El cliente publicador contiene sensores que obtienen las medidas que se publican al broker para ser procesadas desde este. El cliente suscriptor hace uso de la información disponible en el broker.

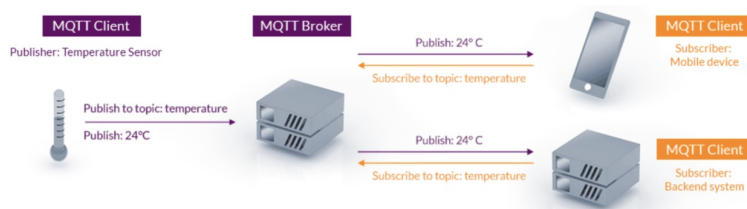


Figure 1.1: Imagen del protocolo MQTT

1.2.1 Antecedentes externos

A continuación se presentan los antecedentes externos del proyecto. En [MM16], se presenta la implementación de una red de monitoreo de calidad de aire en un campus universitario. En este artículo se muestra un buen desempeño del uso del protocolo MQTT en términos de tiempo y ahorro económico de los dispositivos utilizados. Como complemento a futuro, los autores establecen la necesidad de integrar una mejor interfaz para poder visualizar y manipular los datos con el fin de realizar análisis más detallados.

En [VL19], se realiza un monitoreo que incluye el servicio de nube de AWS. En este caso, al implementar un sistema de nube, es posible analizar a mayor profundidad los datos y hacer uso de herramientas de AWS que eliminan ruido del sensor y permiten el uso de interfaces gráficas como Kibana, además se generan alertas vía SMS al superar ciertos niveles en los sensores.

En [PP20], a diferencia de incorporar solo los sensores de calidad de aire, se incluye un módulo de GPS con el fin de tener nodos móviles. En este caso se utiliza una Raspberry Pi 3 y como proveedor de nube a Google Firebase. En este caso la utilidad de nodos móviles se encuentra en que pueden generar un mapa de rutas de tránsito de vehículos públicos o privados. Es posible rastrear varios puntos de una ciudad empleando el mismo nodo. Estos datos pueden ser de utilidad para identificar zonas con mala calidad del aire y poder intervenir en ellas.

1.2.2 Antecedentes locales

A continuación se presentan los antecedentes locales del proyecto.

En [SAR15] se implementó un sistema de comunicación M2M (Machine to machine) con el fin de representar una red de IoT con el protocolo MQTT en la Universidad de los Andes. El



proyecto de grado emplea como nodos a un Arduino, un broker en máquina virtual y un nodo en un teléfono Android para visualizar y activar o desactivar el sensor.

1.3 CARACTERIZACION DEL PROYECTO

A continuación se presenta una caracterización del proyecto.

Varios nodos de medición de las diferentes variables de calidad del aire generan una red con mayor resolución espacial en una ciudad como Bogotá. Para ello se plantea la construcción de un modelo de nodo que obtenga la información de al menos 2 variables que afectan la calidad del aire. El nodo debe cumplir con un bajo consumo energético y bajos costos económicos. La simulación de varios nodos es importante para identificar el comportamiento de la red de monitoreo a gran escala. Finalmente, se debe presentar la información recolectada de tal manera que cualquier usuario interesado en la calidad del aire pueda consultarla (Desde navegador web o dispositivo móvil).

1.3.1 Objetivos generales

A continuación se presentan los objetivos generales del proyecto.

- Objetivo general 1: Diseñar e implementar una red de IoT que permita monitorear la calidad del aire

1.3.2 Objetivos específicos

A continuación se presentan los objetivos específicos del proyecto.

- Objetivo específico 1: Diseñar e implementar el nodo de medición con al menos dos indicadores de calidad del aire
- Objetivo específico 2: Implementar un sistema con el protocolo MQTT (Red de comunicación y broker)
- Objetivo específico 3: Simular por software diferentes nodos en la red de tal manera que sea posible verificar su escalabilidad a diferente número de nodos.
- Objetivo específico 4: Aprovisionar una gestión eficiente de los datos y una interfaz web de visualización de datos.
- Objetivo específico 5 (A disposición de tiempo): Implementar aplicación de configuración de nodo de medición que permita establecer rutas basadas en el GPS del dispositivo móvil.

1.3.3 Alcance (compromisos)

A continuación se presentan los alcances (compromisos) del proyecto.

- Alcance 1: Nodo de medición funcional de al menos dos variables de calidad del aire.
- Alcance 2: Medición de consumo energético del nodo funcional.
- Alcance 3: Implementación del sistema en nube (base de datos) que permita manejar la información de los nodos.
- Alcance 4: Simulación de varios nodos e indicadores del desempeño de la red al escalar.
- Alcance 5: Plataforma web para visualizar datos de la red de monitoreo
- Alcance 6 (A disposición de tiempo): Configuración de nodo fijo a nodo móvil

1.4 CONTEXTO Y TRATAMIENTOS

A continuación se presentan los contextos y tratamientos generales del proyecto.

Se debe considerar el tiempo máximo de ejecución del proyecto de 16 semanas, por tal motivo si hay retrasos y no se completan los alcances definidos, no hay actualmente garantías que el proyecto continúe aunque esto puede cambiar con el paso del tiempo. El proyecto



además se desarrolla en el transcurso de una pandemia por lo cual se pueden presentar diferentes inconvenientes en el cronograma que se establece. El número de nodos de medición para la red propuesta está limitado en cantidad y distribución geográfica, por lo cual se hará uso de herramientas de simulación.

1.4.1 Supuestos

A continuación se presentan los supuestos del proyecto.

Se asume que cada nodo se encuentra con acceso a internet todo el tiempo, ya que una solución que funcione sin conexión tomaría un mayor tiempo de desarrollo.

1.4.2 Restricciones

A continuación se presentan los supuestos del proyecto.

Se restringe el costo para la construcción del nodo con un valor a definir de manera posterior. El proyecto debe ser desarrollado durante las 16 semanas que dura un semestre académico. La calidad del prototipo debe asegurarse de manejar un error aceptable (alrededor de un 10%) respecto a una estación meteorológica.

1.4.3 Factores de riesgo

A continuación se presentan los factores de riesgo del proyecto.

- Pandemia covid-19: Debido a la pandemia existe la posibilidad de cierre de la Universidad lo que afecta el desarrollo tanto de cada nodo de censado como de la construcción completa de la red. En dado caso es necesario replantear la red por medio de simulaciones.
- Demora en disponibilidad de componentes: en vista que se requieren varios sensores, el desarrollo de cada nodo se puede ver retrasado según la disponibilidad de sus componentes.
- Daño de equipos en laboratorio: es posible que se presenten daños o un mal funcionamiento de estos.

1.5 CRONOGRAMA

A continuación se presentan el cronograma de trabajo para la realización del proyecto.

Para la ejecución del proyecto se requieren diferentes etapas. Las etapas de construcción de prototipo e implementación del dispositivo son aquellas que más factores de riesgo presentan. Ya que se enfrentan directamente a la disponibilidad de laboratorio en la universidad, tiempos de los materiales y los diferentes protocolos que deben seguirse en el caso de realizar PCBs. Las pruebas de consumo también requieren de un buen margen de tiempo ya que además de ser una actividad presencial, depende del desarrollo del nodo por lo que son susceptibles a demoras. Las etapas que se realizan en software tienen menor riesgo por lo que es posible completarlas en el tiempo estimado.

1.5.1 Identificación y descripción de hitos

A continuación se presentan la identificación y descripción de hitos para la realización del proyecto.

- H1 - Sensor: Este reúne todo el diseño y funcionamiento de al menos dos nodos de medición con las características establecidas. También incluye las respectivas pruebas de consumo energético.
- H2 - Broker: Este reúne el diseño e implementación del nodo cuya función es de broker y comunica al servicio de nube.
- H3 - Simulación de sensores: Este hito requiere construir por software nodos que saturen la red de tal manera que se logre establecer el número de nodos que se pueden soportar.



- H4 - Servicio nube: Se configuran todos los servicios a utilizar cómo bases de datos o máquinas virtuales.
- H5 - Interfaz de visualización: Presenta a cualquier usuario de manera sencilla la información recolectada por los sensores de manera temporal y geográfica.
- H6 - Funcionalidad de rutas (A disposición de tiempo): Busca configurar los nodos de medición (originalmente estáticos) a nodos móviles gracias a una configuración desde un teléfono con Android.

1.5.2 Cronograma

A continuación se presenta el cronograma para la realización del proyecto.

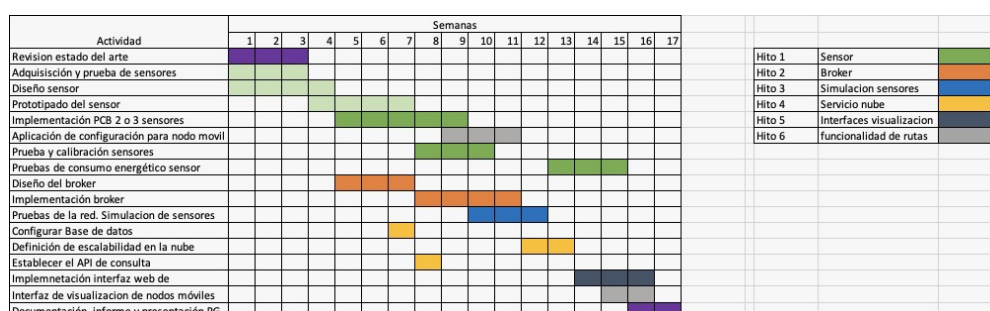


Figure 1.2: Cronograma por semanas

1.5.3 A tener en cuenta

Para la realización de este proyecto se propone un sistema de presentaciones durante la sesión de seminario de la línea de investigación en las cuales se evalúa el cumplimiento de los alcances del proyecto a la fecha. Cada presentación debe tener un soporte digital tipo presentación. La siguiente tabla muestra los compromisos generales ante la presentación en el seminario. Cada entrega tiene una presentación y parte del documento final.

* Cada entrega o reunión de trabajo en el seminario tendrá una valoración de A (Aprobado) o R (Reprobado) según criterio del profesor.

** En caso de tener algún R, automáticamente el profesor está recomendando retirar la materia (caso mitad de semestre) o no realizar la presentación ante el jurado seleccionado por el departamento (caso final de semestre).

*** El estudiante se compromete a hacer presentaciones en el seminario de la línea de investigación, a cumplir los requisitos del departamento y a elaborar un poster, artículo o tutorial tipo wiki en caso de solicitarlo el asesor.

1.6 RECURSOS

A continuación se presentan los recursos necesarios para la realización del proyecto.

Costo de sensores, circuitos integrados, entre otros. No debe superar los \$200.000

Costos por uso de servicios en nube como AWS o GCP los cubre la cuenta estudiantil.

Software a utilizar será open source.



Table 1.1: Cronograma general del seminario.

Semana	Entrega
Semana 1	Estado del arte y propuestas de diseño del nodo de medición
Semana 2	Estado del arte del broker y futura integración con cloud. Selección del diseño del nodo de medición. Componentes requeridos en proceso de adquisición.
Semana 3	Estado del arte y primer avance del diseño del sensor.
Semana 4	Diseño final del sensor con correcciones.
Semana 5	Primeros avances del prototipo nodo medición. Propuestas de diseño del broker. Diseño inicial PCB nodo medición
Semana 6	Resultados del prototipo inicial. Selección diseño del broker.
Semana 7	Corrección y resultados del prototipo. Diseño final broker con correcciones. Estructura de la información y base de datos.
Semana 8	Ensamblaje en pcb. Pruebas y calibración sensores.
Semana 9	Producto final módulo sensado. Pruebas en módulo final. Resultados implementación inicial broker
Semana 10	Avance aplicación de configuración para nodos móviles. Presentar error de módulos de sensor respecto a una estación meteorológica. Correcciones implementación broker
Semana 11	Correcciones finales al broker implementado. Resultados de primeras pruebas de escalabilidad de la red. Aplicación de configuración de nodos móviles.
Semana 12	Mejoras respecto a la escalabilidad si es posible. Resultado final de los nodos a soportar y comparación respecto al actual IBOCA.
Semana 13	Escalabilidad en servicios web. Propuesta para implementar la medición del consumo energético de los nodos
Semana 14	Selección y avance en estrategia para medir consumo energético. Definición de interfaz para visualizar los datos por parte de los usuarios.
Semana 15	Resultados consumo energético. Avance de interfaz para visualizar los datos por parte de los usuarios. Avance en visualización nodos móviles.
Semana 16	Finalización de interfaz de visualización de datos.
Semana 17	Entrega de producto final y documento final

Bibliografía

Libros

Artículos

- [MM16] Triyanna Widiyaningtyas Muladi Muladi Siti Sendari. “Outdoor Air Quality Monitor Using MQTT Protocol on Smart Campus Network”. In: (2016), pages 216–219 (cited on page 5).
- [PP20] Vandana Niranjana Pearl Pullan Chitra Gautam. “Air Quality Management System”. In: *2020 IEEE International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON)* (2020) (cited on page 5).
- [SAR15] Juan Camilo Tangarife Palacio Sebastian Arturo Rodriguez. “Internet of things on smart cities”. In: (2015) (cited on page 5).
- [S.S18] S.S.Solapurkar and H.Kenchannavar. “Internet of Things: A survey related to various recent architectures and platforms available”. In: *International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)* 14 (2018), pages 2296–2301 (cited on page 5).
- [VL19] Dr.Rohin Daruwala Vrushali Ladekar. “INDOOR AIR QUALITY MONITORING ON AWS USING MQTT PROTOCOL”. In: *10th ICCCNT 2019* (2019) (cited on page 5).



**TRABAJO DE GRADO
AUTORIZACIÓN DE SU USO A FAVOR DE LA
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES**

Yo Nicolás Hernández Siachoque, mayor de edad, vecino de Bogotá D.C., identificado con la Cédula de Ciudadanía N° 1020845735 de Bogotá, actuando en nombre propio, en mi calidad de autor del trabajo de tesis, monografía o trabajo de grado denominado:

haré entrega del ejemplar respectivo y de sus anexos del ser el caso, en formato digital o electrónico (CD-ROM) y autorizo a LA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, utilice y use en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador de la obra objeto del documento. PARÁGRAFO: La presente autorización se hace extensiva no sólo a las facultades y derechos de uso sobre la obra en formato o soporte material, sino también para formato virtual, electrónico, digital, óptico, usos en red, internet, extranet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

EL AUTOR - ESTUDIANTES, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y la realizará sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es de su exclusiva autoría y tiene la titularidad sobre la misma. PARÁGRAFO: En caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, EL ESTUDIANTE - AUTOR, asumirá toda la responsabilidad, y saldrá en defensa de los derechos aquí autorizados; para todos los efectos la Universidad actúa como un tercero de buena fe.

EL AUTOR - ESTUDIANTE.

(Firma) Nicolás Hernández S.

Nombre Nicolás Hernández Siachoque

C.C. N° 1020845735 de Bogotá