

**Clasificación de Microservicios para un Sistema IoT enfocado en la seguridad de labores  
mineras en la provincia de Sugamuxi del departamento de Boyacá.**

William Fernando Salamanca Barrera

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Seminario de Trabajo de Grado 8108918

PhD. Marco Javier Suarez Baron

25 de julio de 2024

**Clasificación de Microservicios para un Sistema IoT enfocado en la seguridad de labores  
mineras en la provincia de Sugamuxi del departamento de Boyacá.**

**TABLA DE CONTENIDO**

<b>1. TEMA/TEMÁTICA</b>	<b>4</b>
<b>2. TITULO PROVISIONAL</b>	<b>6</b>
<b>3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>6</b>
3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA . . . . .	6
3.1.1. Diagnostico . . . . .	6
3.1.2. Pronostico . . . . .	7
3.1.3. Control al pronostico . . . . .	8
3.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA . . . . .	9
<b>4. OBJETIVOS</b>	<b>9</b>
4.1. OBJETIVO GENERAL . . . . .	9
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS . . . . .	9
<b>5. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>10</b>
<b>6. DELIMITACIÓN Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>10</b>
<b>7. MARCO REFERENCIAL</b>	<b>11</b>
7.1. MARCO TEÓRICO . . . . .	11
7.1.1. Modelos y Arquitecturas IoT . . . . .	11
7.1.2. IIoT en la industria minera . . . . .	14
7.1.3. Protocolos de comunicación en IoT para capa de aplicación . . . . .	16
7.1.4. Arquitectura de Microservicios e IoT . . . . .	17
7.2. MARCO CONCEPTUAL . . . . .	22

7.3. MARCO LEGAL . . . . .	24
7.4. MARCO HISTÓRICO . . . . .	24
<b>8. FUENTES DE INFORMACIÓN</b>	<b>25</b>
8.1. Fuentes primarias . . . . .	25
8.2. Fuentes secundarias . . . . .	25
<b>9. MARCO METODOLÓGICO</b>	<b>26</b>
9.1. Tipo de investigación . . . . .	26
9.2. Alcance de la investigación . . . . .	26
9.3. Enfoque de la investigación . . . . .	26
9.4. Metodología de desarrollo . . . . .	26
<b>10. CRONOGRAMA</b>	<b>27</b>
<b>11. RECURSOS</b>	<b>28</b>
11.1. RECURSOS HUMANOS . . . . .	28
11.2. RECURSOS FÍSICOS . . . . .	28
11.3. RECURSOS TECNOLÓGICOS . . . . .	28
<b>12. PRESUPUESTO</b>	<b>28</b>
<b>13. CONCLUSIONES</b>	<b>28</b>
<b>14. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>28</b>

## TABLA DE FIGURAS

1. Mapa conceptual del tema y la temática . . . . .	5
2. Árbol de causas y efectos . . . . .	8
3. Modelo IoT de tre capas: Internet of Things Architectures: A Comparative Study .	12
4. Modelo IoT de cinco capas: Internet of Things Architectures: A Comparative Study	13

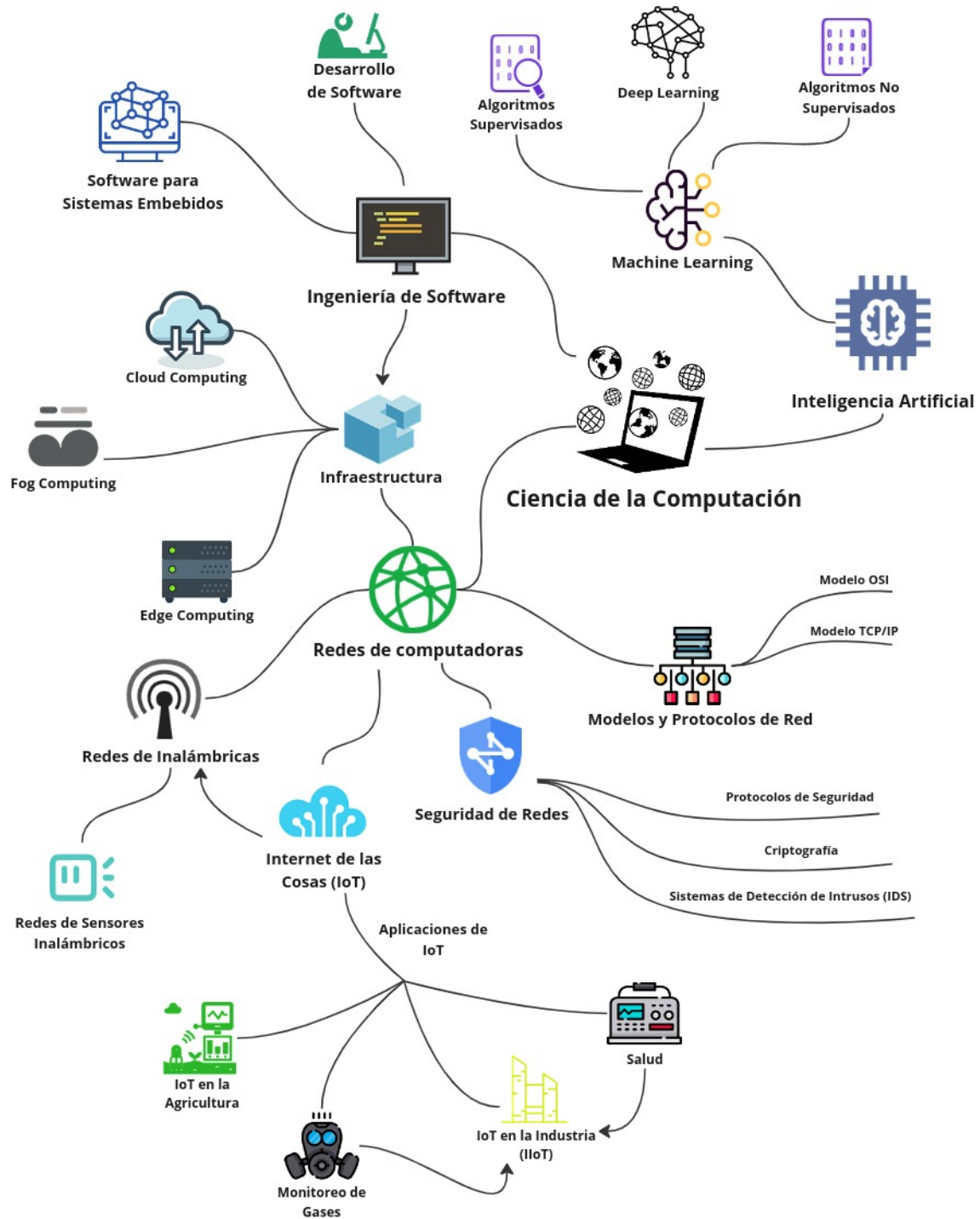
5.	Modelo IoT de siete capas: Internet of Things Architectures: A Comparative Study	14
6.	Arquitectura IIoT sintetizada a nivel general para la industria minera . . . . .	15
7.	Cronograma del Proyecto . . . . .	27

## **LISTA DE TABLAS**

1.	Plataformas IoT para la industria Minera . . . . .	7
2.	Resumen de metodologías y patrones para microservicios Adaptación de: Autor .	21

## **1. TEMA/TEMÁTICA**

Internet de las Cosas (IoT) / IoT para el monitoreo de gases



**Figura 1**

*Mapa conceptual del tema y la temática*

Fuente: Autor

## 2. TITULO PROVISIONAL

Clasificación de Microservicios para un Sistema IoT de seguridad de las labores mineras en minas de la provincia de Sugamuxi del departamento de Boyacá.

## 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

#### 3.1.1. *Diagnostico*

En el mercado encontramos variedad de plataformas que, a nivel de capa de aplicación, nos permiten implementar sistemas Io[Gackowiec and Podobińska-Staniec, 2021], de ABB Ability1 que es orientada a la industria minera y otras de uso general1, se infiere baja capacidad adquisitiva de estas por parte de empresas medianas y pequeñas de minería en la provincia de Sugamuxi del departamento de Boyacá, debido principalmente al costo asociado a sensores de carácter industrial que se requieren para su uso en conjunto con estas plataformas.

Las plataformas mencionadas en la tabla1 hacen parte de sistemas IoT propietarios que a pesar de ser altamente maduros, no permiten su integración fácilmente con sensores, actuadores y sistemas embebidos de uso semi-industrial. Además, cuando se analiza la interoperabilidad con otros sistemas, específicamente con el objetivo de compartir información con demás departamentos, partes interesadas y módulos de analítica, se requieren mejoras que vayan alineadas con practicas modernas de IIoT [Aziz et al., 2020].

Adicionalmente se encuentran implementaciones IoT que hacen uso de diferentes tecnologías de código libre con el propósito de reducir costos, como la realizada en [Aghenta and Iqbal, 2019]. Pero este tipo de implementaciones IoT de bajo costo, particularmente la anteriormente mencionada presenta el inconveniente de ser una solución incompleta específicamente en capa de aplicación, ya que no tienen el enfoque hacia el monitoreo de gases para la seguridad de labores mineras de la provincia de Sugamuxi, Boyacá.

Name of IoT platform	Predictive analytics	AI/ML	Mining oriented	Visualization	Interoperability	Real time data capture	Device management	Cloud-based	Support and service
ABB Ability	+	+	++	+	+	+	+	+	+
Buddy's IoT Data Graph	N/A	N/A	+	+	N/A	+	N/A	+	N/A
C3 IoT	+	+	N/A	+	+	+	N/A	+	+
Connected Mine	+	+	++	+	N/A	+	N/A	+	N/A
Cumulocity	+	+	N/A	+	+	+	+	+	o
DeviceHive IoT	+	+	N/A	+	+	+	N/A	+	N/A
Dingo Trakka	+	N/A	+	N/A	N/A	+	N/A	+	+
Hexagon Mining	N/A	N/A	+	N/A	N/A	+	N/A	+	+
IBM Watson	+	+	+	+	+	+	+	+	+
IntelliSense	+	+	+	N/A	N/A	+	N/A	+	N/A
IoT.next	+	N/A	+	N/A	+	+	N/A	N/A	N/A
Kaa IoT	+	+	N/A	+	N/A	N/A	+	+	N/A
Loop IoT Cloud	N/A	N/A	N/A	+	N/A	+	+	N/A	N/A
Losant	+	+	+	+	N/A	+	+	N/A	N/A
Hitachi's Lumad	+	+	o	+	+	+	N/A	+	+
Microsoft Azure+Power BI	+	+	N/A	+	+	+	+	+	+
Modular Mining	N/A	N/A	+	+	N/A	+	N/A	+	+
Predix GE	+	+	o	+	N/A	+	+	+	+
PTC Thingworx	+	+	N/A	+	N/A	+	N/A	+	+
SAP Leonardo	+	+	o	N/A	+	+	+	+	+
Siemens Mindsphere	+	+	o	+	N/A	+	N/A	+	+
Thingier.io	N/A	N/A	N/A	+	+	+	N/A	+	N/A
Uptake	+	+	+	N/A	+	+	N/A	+	+
Explanations of markings: ++advanced, + well-developed, o satisfactory, N/A - not available									

**Tabla 1:** Plataformas IoT para la industria Minera

### 3.1.2. Pronostico

Optando por plataformas IoT costosas, las minas pueden empezar sufrir aumento en sus costos operativos, lo que trae una disminución de los márgenes de ganancias, implicando reducción en la capacidad de re-inversión, afectando al crecimiento económico de la región con efectos como el aumento de la tasa de desempleo de los trabajadores involucrados directa e indirectamente en la cadena de producción.

Existe la posibilidad de que se opte por sistemas IoT desactualizados, la poca fiabilidad presente en algunos de estos sistemas es algo que no se puede ignorar teniendo presente el enfoque en la seguridad de las labores mineras. El uso de estándares de seguridad

El diagrama de flujo ilustra la cadena de consecuencias derivadas de la baja adopción de sistemas IoT en las minas subterráneas de la provincia de Sugamuxi, departamento de Boyacá. El nodo central es: "Baja opcionalidad de sistemas IoT que, a nivel de capa de aplicación, permitan el monitoreo de gases en minas subterráneas de la provincia de Sugamuxi en el departamento de Boyacá".

Desde este nodo central, se ramifican tres caminos principales:

- Camino de la izquierda (Impactos Operativos y Económicos):**
  - Alta probabilidad de optar por un sistema IoT costoso.
  - Aumento en los costos operativos.
  - Baja adopción de tecnología.
  - Alto riesgo de que la empresa quede obsoleta.
  - Desactualización en el conocimiento.
  - Baja capacidad de reinversión.
  - Disminución en los márgenes de ganancia.
  - Disminución del crecimiento económico.
  - Aumento en la tasa de desempleo en el sector.
- Camino de la parte superior derecha (Seguridad y Fiabilidad):**
  - Alta probabilidad de optar por un sistema IoT desactualizado.
  - Poca seguridad.
  - Baja interoperabilidad.
  - Baja capacidad para escalar.
  - Baja disponibilidad.
  - Poca fiabilidad.
- Camino de la parte inferior derecha (Accidentalidad y Toma de Decisiones):**
  - Baja probabilidad de optar por un sistema IoT.
  - Alta incertidumbre en la toma de decisiones.
  - Altos índices de accidentalidad y mortalidad de trabajadores.

Además, el nodo central recibe inputs desde la parte inferior:

- Sistemas propietarios:** Derivados de "Alto número de sistemas IIoT" y "Sistemas embebidos industriales".
- Alta capacidad de interoperabilidad:** Derivada de "Sistemas IoT que usan tecnologías desactualizadas".
- Alto desconocimiento de la situación en minas subterráneas:** Derivado de "Sistemas IoT de propósito general para minas" y "Sistemas IoT con enfoque diferente al de monitoreo de gases".
- Alta probabilidad de optar por un sistema IoT desactualizado:** Derivado de "Sobrecarga de funcionalidades" y "Altos costos".

### Árbol de causas y efectos

### 3.1.3. Control al pronostico

Ante la problemática planteada, surge la necesidad de disponer de un sistema IoT que, a nivel de capa de aplicación, cumpla con los atributos de calidad de disponibilidad, integridad y confidencialidad de datos, así mismo como el acceso a estos siguiendo una convención o estándar.



Además, es importante tener en cuenta que el sistema que se diseñe tiene que ser de bajo costo, por lo que va orientado al uso de sensores y actuadores de bajo costo también, específicamente de grado semi-industrial. Lo anterior con el fin de que las minas de la provincia de Sugamuxi, Boyacá, puedan contar con una alternativa económicamente asequible sin perder los beneficios de un sistema IoT de calidad.

### **3.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Qué aspectos se deben tener en cuenta para el diseño de la capa de aplicación de un sistema IoT que use una arquitectura de microservicios para el monitoreo de gases peligrosos en minas subterráneas de la provincia de Sugamuxi, Boyacá?

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar la capa de aplicación de un sistema IoT utilizando microservicios para el monitoreo de gases peligrosos en minas subterráneas en la provincia de Sugamuxi, Boyacá, enfocado en la seguridad de las labores mineras.

### **4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar los diferentes modelos de transferencia de datos a nivel de capa de aplicación para sistemas IoT en entornos mineros.
- Identificar estándares en capa de aplicación asociados a sistemas IoT orientados al monitoreo de gases en entornos mineros.
- Clasificar y diseñar microservicios basados en las necesidades de seguridad y salud en el trabajo en minas de la provincia de Sugamuxi.
- Realizar pruebas de integración del sistema IoT para asegurar su funcionalidad y eficacia en el monitoreo de gases en entornos mineros.

## 5. JUSTIFICACIÓN

La mayoría de plataformas mencionadas en tabla 1, a nivel de capa de aplicación, requieren que en las capas inmediatamente inferiores, del modelo de tres capas 3, se haga uso de hardware propietario, principalmente sensores de categoría industrial que le elevan el costo de adquirir un sistema IoT. Otras de las plataformas mencionadas en el estudio carecen de capacidades requeridas para el monitoreo inteligente de gases, como lo son la analítica predictiva o la integración con sensores semi-industriales.

Debido a la enorme cantidad de casos de uso de IoT, las arquitecturas varían entre diseños e implementaciones, por lo que se necesita tener presente las necesidades del contexto. Así que, partiendo de la concepción del modelo de tres capas [Paul, 2022] se pretende diseñar la capa de aplicación del proyecto de investigación “Sistema IoT para el monitoreo de gases explosivos en minería subterránea” con SGI 3293, perteneciente al grupo de investigación GALASH de la UPTC Seccional Sogamoso.

Con el desarrollo de la propuesta se quiere validar que se puede tener a disposición una solución que no implique costos elevados en comparación a las opciones anteriormente planteadas 1, comprobando que el software de uso libre es parte fundamental para lograrlo, sin tener que limitar las capacidades que un sistema IoT, en capa de aplicación, puede ofrecer.

Mediante la revisión de la literatura relacionada a diseño e implementación de sistemas IIoT en la industria minera, de uso y/o propósito general, arquitecturas de software y estándares relacionados, se pretende llegar a un consenso en el que se pueda producir un diseño que se ajuste a las necesidades planteadas por el contexto.

## 6. DELIMITACIÓN Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

Siendo Boyacá uno de los departamentos con mayor tasa de accidentalidad y mortalidad en minas [Minera, 2020], se pretende considerar inicialmente a las minas subterráneas de carbón de la provincia de Sugamuxi, siendo el carbón el mineral más extraído en la provincia y estando la seccional Sogamoso territorialmente en la provincia de Sugamuxi también.

Debido a la baja capacidad de inversión económica por partes de las minas de la

provincia, el diseño tiene que ir orientado a minimizar costos. Para minimizar costos en la creación del diseño, se vuelve imperativo implementar herramientas de código abierto, pero sin comprometer la calidad de este.

Se espera tener un impacto social ayudando a mejorar las condiciones laborales de los trabajadores de minas, especialmente de los involucrados directamente en la extracción de carbón. Llegando a proveer una opción que contribuya a disminuir los índices asociados a mortalidad y accidentalidad minera en el departamento de Boyacá. Al mejorar las condiciones laborales de los trabajadores se promueve el bienestar y la dignidad, reduciendo el riesgo asociado a sus actividades diarias dentro de las minas.

Logrando un impacto social y humanístico es mucho más factible involucrar a diferentes instituciones educativas en el entendimiento de estas tecnologías, generando interés en las futuras generaciones, destacando la importancia de la minería para el departamento sin dejar de lado la seguridad de los involucrados en esta. Cuando la comunidad pueda evidenciar que el uso de tecnología puede contribuir a la seguridad en el desarrollo de esta actividad, se puede cambiar la percepción de la minería como una actividad insegura, dando pie a más propuestas que encaminen a prácticas modernas e innovadoras en la minería del departamento de Boyacá.

El planteamiento de esta propuesta representa en algunos casos el punto de partida para otras, o el punto de integración de propuestas ya desarrolladas. Debido a que el diseño y desarrollo de un Sistema IoT involucra a profesionales de diferentes áreas del conocimiento, se parte del modelo comúnmente conocido de tres capas, para delimitar el alcance de este proyecto a la capa de aplicación

## **7. MARCO REFERENCIAL**

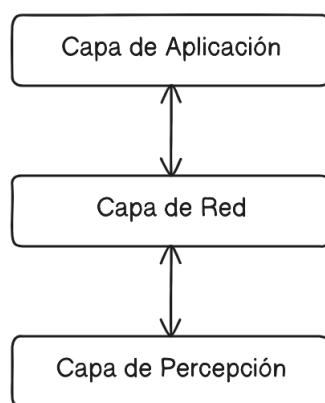
### **7.1. MARCO TEÓRICO**

#### **7.1.1. Modelos y Arquitecturas IoT**

IoT (Internet of Things) no tiene una arquitectura estándar, a modo general se puede hablar de modelos para describir las diferentes arquitecturas que encontramos implementadas. Se describen modelos de tres capas<sup>3</sup>, cinco capas<sup>4</sup> y siete capas<sup>5</sup>, pero en cuanto a la arquitectura de

un sistema IoT las que sobresalen son implementadas por grandes empresas; Microsoft, Cisco, Amazon, Ericsson, Intel, IBM, Google [dos Santos et al., 2020].

La capa de aplicación del modelo de tres capas<sup>3</sup> aborda los servicios que serán usados por el usuario final. En cuanto a infraestructura, todo lo implementado en la capa de aplicación se encuentra en cloud. Para la capa red<sup>3</sup> se tiene contemplada la conexión entre las “cosas”, los diferentes dispositivos de red y servidores, particularmente los desplegados en cloud. Finalmente en la capa de percepción<sup>3</sup> se encuentran los sensores y actuadores.



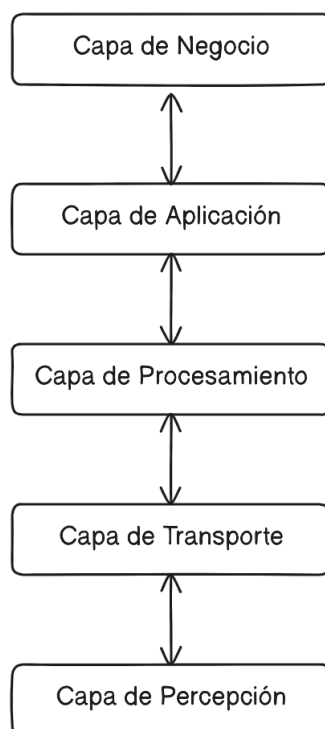
**Figura 3**

*Modelo IoT de tre capas: Internet of Things Architectures: A Comparative Study*

Adaptación de: Autor

En el modelo de cinco capas se hace un análisis en el que da como resultado la especificación un poco más detallada de lo que sucede en capa de aplicación del modelo de tres capas<sup>3</sup>, dando como resultado la integración de dos capas más.. En la capa de negocio<sup>4</sup> se gestiona y administra los dispositivos y software que se encuentra en las capas inferiores. En la capa de aplicación<sup>4</sup> tenemos casi lo mismo que en la capa de aplicación del modelo de tres capas<sup>3</sup>. Siguiendo tenemos la capa de procesamiento<sup>4</sup>, la cual se encarga de almacenar, analizar y procesar los datos recibidos por la capa inmediatamente inferior, esto a través del uso de bases de datos, computación en la nube, módulos de procesamiento de big data. La capa de transporte<sup>4</sup> se encarga de la transferencia bidireccional de datos entre su capa inmediatamente superior e inferior. Finalmente para la capa de percepción de este modelo de cinco capas<sup>4</sup> encontramos lo

mismo que en la capa con el mismo nombre del modelo de tres capas<sup>3</sup>.

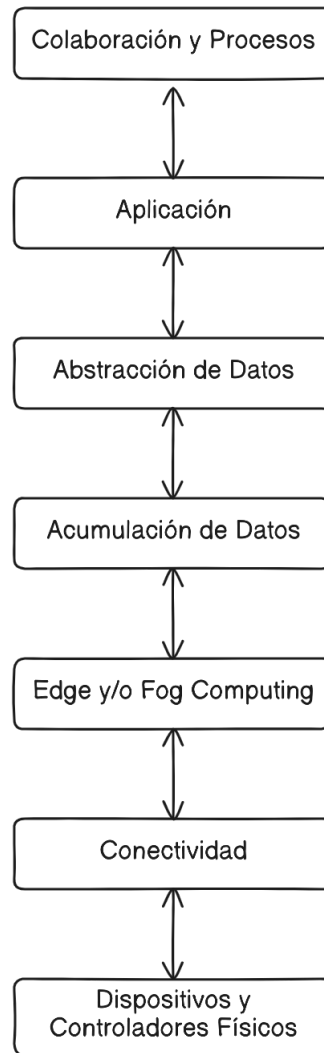


**Figura 4**

*Modelo IoT de cinco capas: Internet of Things Architectures: A Comparative Study*

Adaptación de: Autor

En el modelo de siete capas<sup>5</sup> iniciamos con la colaboración y procesos, en la que encontramos representados a los actores que usan los datos extraídos a través de las diferentes capas inferiores, para la toma de decisiones. En la capa de aplicación<sup>5</sup> están los usuarios que hacen uso de los datos extraídos por la demás capas inferiores, pero no hacen parte de la toma de decisiones de la organización que implementa el sistema IoT. Para la abstracción de datos<sup>5</sup>, estos son preparados para ser analizados por medio de técnicas de minado de datos y/o Machine Learning. En la acumulación de datos<sup>5</sup> se realiza almacenamiento con la garantía de que estos están siendo movidos de forma correcta. Cuando se hace referencia de Edge y/o Fog Computing<sup>5</sup>, se habla de la infraestructura usada para realizar transformación y análisis de datos antes de ser enviado a cloud. Finalmente en cuanto a conectividad<sup>5</sup> y los dispositivos y controladores físicos se concibe prácticamente lo mismo que en los dos modelos anteriores.

**Figura 5**

*Modelo IoT de siete capas: Internet of Things Architectures: A Comparative Study*

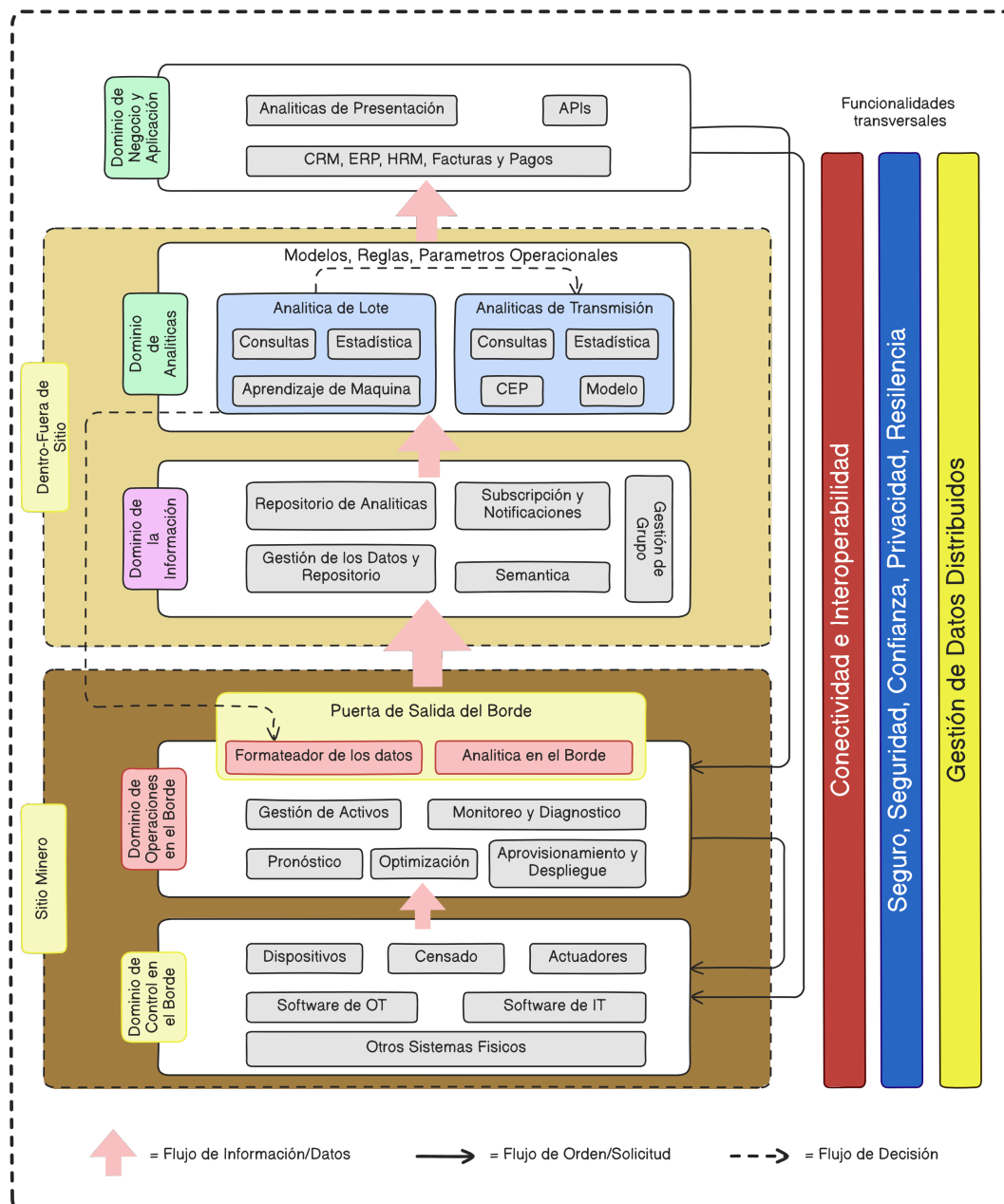
Adaptación de: Autor

### **7.1.2. IIoT en la industria minera**

IoT en la industria minera representa el medio para la operación y monitoreo remoto de sistemas de producción complejos en los que se minimiza la intervención completa y/o parcial humana, haciendo uso de plataformas en tiempo real[Molaei et al., 2020].

La arquitectura que aparece en la figura6, resultado del estudio de [Aziz et al., 2020], nos da una vista bastante buena de los diferentes aspectos que se ven involucrados dentro de una arquitectura IIoT orientada a la industria minera, clasificando por dominios y diferenciando estos

por su implementación en el sitio minero o fuera de este, ubicándolos a nivel de infraestructura en lo que se conoce como “Computación en el Borde” por su traducción del inglés Edge Computing, “Computación Niebla” por su traducción del inglés Fog Computing y “Computación en la Nube” por su traducción del inglés Cloud Computing.



**Figura 6**

*Arquitectura IIoT sintetizada a nivel general para la industria minera*

Adaptación de: Autor

### 7.1.3. *Protocolos de comunicación en IoT para capa de aplicación*

En IoT existe una gran variedad de protocolos que van desde la capa más baja de cualquier modelo hasta la de más alto nivel, que en este caso entendemos como capa de aplicación. En capa de aplicación, la clasificación de protocolos se puede hacer varias formas, pero una distinción común que se hace entre la gran variedad de protocolos, ya poniendo la en términos de costos, es la de diferenciar a estos en protocolos de uso libre y protocolos propietarios [Al-Masri et al., 2020]. Indiferentemente de lo anterior, para capa de aplicación de IoT, se encuentran entre los más conocidos; MQTT, AMQP, CoAP, XMPP y DDS [Yugha and Chithra, 2020].

- a) MQTT: De sus siglas en inglés Message Queue Telemetry Transport (MQTT) y de su traducción al español “Transporte de Telemetría de Cola de Mensajes”, es un protocolo ampliamente usado desde su desarrollo en 1999, con características como su diseño orientado a mensajes livianos, siguiendo el modelo de cliente-servidor, en el que el cliente puede tomar el rol de publicador o suscriptor y el servidor cumple el rol de “Broker”, encargándose del transporte de mensajes entre y para clientes publicadores y suscriptores [Bhowmik and Riaz, 2023].
- b) AMQP: De sus siglas en inglés Advance Message Queuing Protocol (AMQP) y de sus traducción al español “Protocolo Avanzado de Cola de Mensajes”, es un protocolo centrado u orientado a los mensajes, proveyendo intercambio de mensajes a través de los roles de publicador y suscriptor [Yugha and Chithra, 2020].
- c) CoAP: De sus siglas en inglés Constrained Application Protocol (CoAP) y de sus traducción al español “Protocolo de Aplicación Restringido”, es un protocolo que usa la arquitectura cliente-servidor, similar a HTTP pero usando como protocolo de transporte UDP en lugar de TCP presente en HTTP [Al-Masri et al., 2020].
- d) XMPP: De sus siglas en inglés Extensible Messaging and Presence Protocol (XMPP) y de su traducción al español “Protocolo Extensible de Mensajería y Presencia”, es un protocolo



basado en Extensible Markup Language (XML) y que usa TCP como protocolo de transporte. La transmisión de mensajes es distribuida y no centralizada como es el caso de MQTT o AMQP [Yugha and Chithra, 2020].

- e) DDS: De sus siglas en inglés Data Distribution Service (DDS) y de su traducción al español, “Servicio de Distribución de Datos”, es usado para comunicaciones de punto a punto para dispositivos IoT de baja latencia [Al-Masri et al., 2020].

#### **7.1.4. *Arquitectura de Microservicios e IoT***

La arquitectura de Microservicios, predecesora en orden cronológico de concepción de la Arquitectura Orientada a Servicios por sus siglas en inglés Services Oriented Architecture (SOA), se puede entender como el conjunto de servicios granulares desplegados en diferentes stacks tecnológicos que en conjunto, a través de uno o varios protocolos de comunicación, logran interacción en beneficio de un sistema o software [Waseem et al., 2020].

En el estudio de [Velepucha and Flores, 2023] sobre arquitectura de microservicios, se encuentran identificadas unas series de practicas, patrones y principios resumidos en 2 y que se dedujeron a través de la revisión de documental de arquitecturas de microservicios implementadas por parte de diferentes empresas.

<b>Nombre</b>	<b>Intención</b>	<b>Escenario de uso</b>	<b>Beneficios clave</b>
Diseño Orientado al Diseño	Diseñar y desarrollar sistemas de software con base en el modelo del dominio	Dominios complejos con lógica de negocio rica y en evolución	Alineamiento claro con el dominio, encapsulamiento del conocimiento del dominio, diseño modular y con mantenibilidad, mejora la colaboración entre equipos
Patrón de Descubrimiento de Servicio	Facilita el descubrimiento y la comunicación de servicios dinámicos	Arquitecturas de Microservicios con interacción de servicios	Registro dinámico y automático de servicios, desacoplamiento entre servicios, balanceo de cargas, tolerante a fallos

<b>Nombre</b>	<b>Intención</b>	<b>Escenario de uso</b>	<b>Beneficios clave</b>
Diseño Orientado a los Datos	Diseñar sistema de software al rededor del comportamiento y estructura de los datos	Aplicaciones donde los datos son un componente clave	Enfocado en la toma de decisiones orientadas a los datos, mejora la integridad de los datos, optimiza el acceso y la manipulación de los datos, alineado con objetivos del negocio
Patrón de Backend para Frontend	Desarrollar servicios de backend hecho a la medida de ciertos clientes frontend	Aplicaciones con múltiples clientes de frontend	APIs customizadas y optimizadas para cada cliente de frontend, desacoplamiento de frontend-backend mejorado, una mejor experiencia de usuario

<b>Nombre</b>	<b>Intención</b>	<b>Escenario de uso</b>	<b>Beneficios clave</b>
Patrón Adaptador de Microservicios	Adapta y transforma datos o funcionalidad entre microservicios	Arquitecturas de Microservicios con diferentes interfaces	Permite una comunicación fluida entre microservicios con diferentes protocolos o formato de datos, promueve la interoperabilidad
Patrón de Aplicación Estrangulador	Migrar incremen- talmente de un sistema monolítico a microservicios	Aplicaciones monolíticas antiguas, desactualizadas, obsoletas	Migración gradual sin de perturbar el sistema existente, riesgo reducido, mantenibilidad y escalabilidad mejoradas

Nombre	Intención	Escenario de uso	Beneficios clave
Patrón de diseño de microservicio de datos compartidos	Gestiona y comparte datos entre microservicios	Arquitecturas de Microservicios con requerimientos para compartir datos	Gestión centralizada de datos, consistencia de datos, duplicación y redundancia de datos reducida, integridad de los datos mejorada
Patrón de diseño de microservicio de agregador o consolidación	Datos consolidados o agregados, o funcionalidades desde múltiples microservicios	Aplicaciones que requieren información consolidada	Agregación o consolidación de datos centralizados, complejidad del cliente reducida, mejora el rendimiento, sobrecarga de la red reducida

**Tabla 2:** Resumen de metodologías y patrones para microservicios

*Adaptación de: Autor*

Adicionalmente, en lo que concierne a Arquitectura de Microservicios en IoT, se encuentra el estudio de [Khalyly et al., 2020], donde se realiza una comparación de plataformas IoT basadas

en Microservicios, calificando estas a partir de criterios con un puntaje asociado, dando como resultado un puntaje específico para el criterio y uno general para la plataforma.

Paralelamente tenemos el estudio de [Cabrera et al., 2020] en el que se propone “MicroIoT”, una metodología para el desarrollo de software enfocado en microservicios, en la que tenemos los estados y actividades de:

- Análisis de requerimientos
- Diseño de entrega basado en el dominio
- Arquitectura de soluciones
- Validación
- Desarrollo y pruebas
- Desarrollo
- Operaciones

## **7.2. MARCO CONCEPTUAL**

- IoT (Internet of Things): Por su traducción al español “Internet de las Cosas”, se entiende como una red global de dispositivos “inteligentes” (principalmente de baja capacidad computacional) interconectados entre sí a través de internet.
- IIoT (Industrial Internet of Things): Por su traducción al español “Internet de las Cosas en la Industria”, es una aplicación o caso de uso de IoT en la industria.
- Nodos sensores: Dispositivos que, siguiendo el modelo de tres capas de una arquitectura IoT, se encuentran en la capa de percepción y se encargan de recolectar información sobre su entorno.
- Gateway IoT: Componente de un Sistema IoT encargado de dotar a los nodos sensores de la capacidad de “salir a internet”, además de otras capacidades como seguridad, analítica.

- Computación en la nube (Cloud computing): Infraestructura computacional perteneciente a un tercero en la mayoría de los casos, pero con la característica principal de estar ubicada a cientos de kilómetros del dominio o sitio dónde se generan los datos y/o acciones.
- Computación en el borde (Edge Computing): Infraestructura computacional que se encuentra en el sitio donde se generan los datos y/o acciones.
- Computación niebla (Fog Computing): Infraestructura que no se puede clasificar como Edge ni como Cloud.
- Monitoreo de condiciones ambientales: Percepción de variables del entorno a través de dispositivos de sensado para la toma de decisiones.
- Tecnología Operacional (Operational Technology): Comúnmente conocida por sus siglas en inglés OT, es la combinación de software y hardware que se usa mayormente en un contexto industrial para detectar y/o causar acciones usando como medio el control y/o monitoreo de dispositivos, procesos u otros sistemas.
- Tecnología de la Información (Information Technology): Usualmente conocida por sus siglas en inglés IT, es el uso de sistemas computacionales y de redes de comunicación, para transmitir, almacenar, recibir, recuperar datos o información.
- Interoperabilidad: Capacidad de comunicación entre diferentes sistemas para el intercambio de información.
- Semántica de los Datos: Metadatos y contexto que describen lo que representan los datos, cómo se deben interpretar y se relacionar entre sí.
- Provisión de los Datos: Proceso de preparación y suministración de datos a los diferentes usuarios y/o aplicaciones que los requieren.
- Análisis Predictivo: Tipo de análisis orientado a la toma de decisiones antes de que un suceso ocurra.

- Visualización de Datos Avanzados: Hace referencia a la gran variedad de herramientas y técnicas que son usadas para obtener una representación gráfica de datos recolectados, en este contexto, por dispositivos IoT.

### **7.3. MARCO LEGAL**

En el marco de seguridad en entornos minero encontramos una serie de directivas europeas, la [y Consejo de la Unión Europea, 2000] nos menciona clasificación por zonas explosivas asociando a estas el uso de dispositivos de determinadas categorías, infiriendo por tanto que bajo una clasificación por zonas explosivas se tiene que establecer una lista de dispositivos aptos para cada zona.

Adicionalmente tenemos [y Consejo de la Unión Europea, 2014] que regula los dispositivos que se quieren destinar para su uso en atmósferas explosivas, esto es relevante en capa de aplicación de un sistema IoT ya que nos brinda un soporte o punto de partida para determinar qué dispositivos se pueden permitir para su registro dentro del sistema IoT.

Finalmente, para lo que compete a Colombia, se debe tener en cuenta la ley 1581 de 2012 sobre la protección de los datos [Congreso de Colombia, 2012] y algunas de las reglamentaciones como [Presidencia de la República de Colombia, 2013] y [Presidencia de la República de Colombia, 2022], que inicialmente pueden ser relevantes para este contexto.

### **7.4. MARCO HISTÓRICO**

Los sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) por su traducción a español “Control de Supervisión y Adquisición de Datos” han servido en el proceso de recolección y procesamiento de datos en la industria por varias décadas. SCADA, principalmente los implementados años atrás, presentan baja capacidad de interoperabilidad con otras partes interesadas como lo son otros sistemas, dispositivos, aplicativos usados por stakeholders [Asiedu-Asante and Normanyo, 2020].

Actualmente los sistemas IIoT como una aplicación de IoT (Internet of Things) en la industria, hacen uso de sistemas IoT para el monitoreo de condiciones ambientales, en el caso de



la industria minera por medio de sensores para la calidad del aire, la detección de gases nocivos para la salud, así como para la detección de partículas de polvo producidos principalmente en el proceso de extracción de minerales, se pretende garantizar información principalmente en tiempo real que ayude a la toma de decisiones de prevención y gestión de emergencias[Tawanda Zvarivadza and Celik, 2024].

[Babun et al., 2021] sobre análisis de plataformas IoT bajo criterios topología, lenguajes de programación, soporte de terceros, soporte de protocolo extendido, manejo de eventos, seguridad y privacidad, nos brindan un panorama bastante claro de las diferentes opciones que tenemos en plataformas IoT para propósito general.

Adicionalmente hay estudios sobre IoT enfocados a modo general hacia la industria 4.0, como el de [Christou et al., 2022] en el que se nos presenta un arquitectura de plataforma IIoT para aplicaciones de calidad. Lo anterior, bajo un análisis detallado, puede ser relevante para el contexto del proyecto, así mismo es otra prueba de la gran variedad de arquitecturas IIoT que se encuentran diseñadas y/o implementadas en la actualidad.

## **8. FUENTES DE INFORMACIÓN**

### **8.1. Fuentes primarias**

El formato de estos será en su mayoría el distribuido electrónicamente, a no ser que se requiera un libro que por ciertas circunstancias se encuentre solamente en formato tradicional impreso. Respecto a dónde encontrar estas fuentes, siendo en su mayoría electrónicas, se primara el uso de buscadores o indexadores de artículos de investigación, bibliotecas en linea, tiendas en linea, catálogos.

Por consecuencia, como fuentes de información primaria se tendrán obras literarias, reportes de investigación, normas técnicas, tesis, revistas científicas, artículos que manejen como tema general y común IoT , fundamentalmente el uso, diseño, implementación de IoT.

### **8.2. Fuentes secundarias**

En cuanto a fuentes secundarias se tendrán en cuenta revistas puestas a trabajo de revisión, informes de investigación, pero principalmente las diferentes referencias encontradas en las

fuentes primarias.

## **9. MARCO METODOLÓGICO**

### **9.1. Tipo de investigación**

Esta será la de “investigación comparada”, ya que para lograr los objetivos planteados es necesario comparar la mayor cantidad posible de implementaciones, arquitecturas, modelos y practicas IoT, pasando por IIoT para finalizar con IIoT para el monitoreo de gases nocivos para la salud.

### **9.2. Alcance de la investigación**

Será cuasi experimental porque si bien el tipo de investigación planteado requiere experimentar con varias tecnologías implementadas, resulta complejo, principalmente por tiempos el plantear un alcance netamente experimental, ya que este conlleva tener un grado mucho más alto de rigurosidad.

### **9.3. Enfoque de la investigación**

En un principio será mixto, porque aunque gran parte de la investigación se hará con carácter cualitativo, cuando hablamos de implementaciones en capa de aplicación de un sistema IoT, es decir, inmediatamente cercano al usuario final, encontramos herramientas de visualización que pueden ser juzgadas inicialmente desde un punto de vista cualitativo, aunque en la medida de lo posible se pretender llevar lo cualitativo a cuantitativo a través de herramientas como encuestas, entrevistas con preguntas cerradas u otras más.

### **9.4. Metodología de desarrollo**

Metodología ágil

## 10. CRONOGRAMA

Fases y Actividades	Días	Días de Reunion	F Fin	Responsables
		F. Inicio		
<b>Plan de Trabajo</b>	<b>33 días</b>	<b>01/07/2024</b>	<b>03/08/2024</b>	
Elaborar Plan de Trabajo	20 días	01/07/2024	21/07/2024	Fernando Salamanca
Plan de trabajo terminada	13 días	22/07/2024	04/08/2024	Fernando Salamanca
<b>Fase 1. Revisión Documental y Análisis</b>	<b>53 días</b>	<b>05/08/2024</b>	<b>27/09/2024</b>	<b>Fernando Salamanca</b>
1.1. Revisión de literatura previa sobre:				
Capa de aplicación de sistemas IoT en la Industria Minera	6 días	05/08/2024	11/08/2024	Fernando Salamanca
Modelos de transferencia de datos en sistemas IoT en la industria Minera	6 días	12/08/2024	18/08/2024	Fernando Salamanca
Modelos de transferencia de datos hacia capa de aplicación por sensores de caracter semi-industrial	6 días	19/08/2024	25/08/2024	Fernando Salamanca
Arquitectura de Microservicios en sistemas IoT	6 días	26/08/2024	01/09/2024	Fernando Salamanca
Arquitectura de Microservicios en sistemas IoT en la Industria Minera	6 días	02/09/2024	08/09/2024	Fernando Salamanca
Protocolos de comunicación en capa de aplicación de un sistema IoT	6 días	09/09/2024	15/09/2024	Fernando Salamanca
Consolidación de información relevante para el contexto del proyecto	11 días	16/09/2024	27/09/2024	Fernando Salamanca
<b>Fase 2. Identificación de Requisitos y Diseño de Microservicios</b>	<b>53 días</b>	<b>30/09/2024</b>	<b>22/11/2024</b>	<b>Fernando Salamanca</b>
2.1. Identificación previa de requisitos				
Revisión de literatura relacionada al monitoreo de gases explosivos en minas	6 días	30/09/2024	06/10/2024	Fernando Salamanca
Identificación de requisitos	6 días	07/10/2024	13/10/2024	Fernando Salamanca
2.2. Reunión con tutor del proyecto de grado				
Descartar o agregar requisitos con base a la identificación previa	1 días	14/10/2024	15/10/2024	Fernando Salamanca
2.3. Consolidar requisitos	4 días	16/10/2024	20/10/2024	Fernando Salamanca
2.4. Clasificación de microservicios con base a los requisitos establecidos	6 días	21/10/2024	27/10/2024	Fernando Salamanca
2.5. Diseño inicial de los microservicios	6 días	28/10/2024	03/11/2024	Fernando Salamanca
2.6. Reunión con tutor del proyecto de grado				
Revisión y refinamiento del diseño de microservicios con feedback	1 días	04/11/2024	05/11/2024	Fernando Salamanca
2.7. Consolidación del diseño de microservicios	16 días	06/11/2024	22/11/2024	Fernando Salamanca
<b>Fase 3. Desarrollo del Módulo de Visualización y Distribución de Datos</b>	<b>55 días</b>	<b>25/11/2024</b>	<b>19/01/2025</b>	<b>Fernando Salamanca</b>
3.1. Diseño del módulo de distribución de datos censados	6 días	25/11/2024	01/12/2024	Fernando Salamanca
3.2. Desarrollo del módulo de distribución de datos censados	16 días	02/12/2024	18/12/2024	Fernando Salamanca
3.3. Diseño del módulo de visualización	12 días	19/12/2024	31/12/2024	Fernando Salamanca
3.4. Desarrollo del módulo de visualización	18 días	01/01/2025	19/01/2025	Fernando Salamanca
<b>Fase 4. Integración y Pruebas de Funcionalidad</b>	<b>17 días</b>	<b>20/01/2025</b>	<b>06/02/2025</b>	<b>Fernando Salamanca</b>
4.1. Pruebas de integración entre los módulos desarrollados	11 días	20/01/2025	31/01/2025	Fernando Salamanca
4.2. Consideraciones finales	3 días	01/02/2025	04/02/2025	Fernando Salamanca
4.3. Reunión con tutor	1 días	05/02/2025	06/02/2025	Fernando Salamanca

**Figura 7**

*Cronograma del Proyecto*

## 11. RECURSOS

### 11.1. RECURSOS HUMANOS

### 11.2. RECURSOS FÍSICOS

### 11.3. RECURSOS TECNOLÓGICOS

## 12. PRESUPUESTO

## 13. CONCLUSIONES

## 14. BIBLIOGRAFÍA

### Referencias

- [Aghenta and Iqbal, 2019] Aghenta, L. O. and Iqbal, M. T. (2019). Low-cost, open source iot-based scada system design using thinger.io and esp32 thing. *Electronics*, 8(8).
- [Al-Masri et al., 2020] Al-Masri, E., Kalyanam, K. R., Batts, J., Kim, J., Singh, S., Vo, T., and Yan, C. (2020). Investigating messaging protocols for the internet of things (iot). *IEEE Access*, 8:94880–94911.
- [Asiedu-Asante and Normanyo, 2020] Asiedu-Asante, A. B. and Normanyo, E. (2020). *GHANA JOURNAL OF TECHNOLOGY*.
- [Aziz et al., 2020] Aziz, A., Schelén, O., and Bodin, U. (2020). A study on industrial iot for the mining industry: Synthesized architecture and open research directions. *IoT*, 1(2):529–550.
- [Babun et al., 2021] Babun, L., Denney, K., Celik, Z. B., McDaniel, P., and Uluagac, A. S. (2021). A survey on iot platforms: Communication, security, and privacy perspectives. *Computer Networks*, 192:108040.
- [Bhowmik and Riaz, 2023] Bhowmik, R. and Riaz, M. H. (2023). An extended review of the application layer messaging protocol of the internet of things. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 12(5):3134–3141.

- [Cabrera et al., 2020] Cabrera, E., Cárdenas, P., Cedillo, P., and Pesántez-Cabrera, P. (2020). Towards a methodology for creating internet of things (iot) applications based on microservices. In *2020 IEEE International Conference on Services Computing (SCC)*, pages 472–474.
- [Christou et al., 2022] Christou, I. T., Kefalakis, N., Soldatos, J. K., and Despotopoulou, A.-M. (2022). End-to-end industrial iot platform for quality 4.0 applications. *Computers in Industry*, 137:103591.
- [Congreso de Colombia, 2012] Congreso de Colombia (2012). Ley estatutaria 1581 de 2012 por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales. Reglamentada parcialmente por el Decreto Nacional 1377 de 2013, reglamentada parcialmente por el Decreto 1081 de 2015, ver sentencia C-748 de 2011, ver Decreto 255 de 2022.
- [dos Santos et al., 2020] dos Santos, M. G., Ameyed, D., Petrillo, F., Jaafar, F., and Cheriet, M. (2020). Internet of things architectures: A comparative study. *CoRR*, abs/2004.12936.
- [Gackowiec and Podobińska-Staniec, 2021] Gackowiec, P. and Podobińska-Staniec, M. (2021). Iot platforms for the mining industry: An overview. *Inżynieria Mineralna*, 1.
- [Khalyly et al., 2020] Khalyly, B. E., Belangour, A., Banane, M., and Erraissi, A. (2020). A comparative study of microservices-based iot platforms. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11(8).
- [Minera, 2020] Minera, A. N. (2020). Datos de accidentalidad y mortalidad en minas de colombia. Consultado el 6 de julio de 2024.
- [Molaei et al., 2020] Molaei, F., Rahimi, E., Siavoshi, H., Ghaychi Afrouz, S., and Tenorio, V. (2020). A Comprehensive Review on Internet of Things (IoT) and its Implications in the Mining Industry. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(3):499–515.

- [Paul, 2022] Paul, B. (2022). Internet of things (iot), three-layer architecture, security issues and counter measures. In Fong, S., Dey, N., and Joshi, A., editors, *ICT Analysis and Applications*, pages 23–34, Singapore. Springer Nature Singapore.
- [Presidencia de la República de Colombia, 2013] Presidencia de la República de Colombia (2013). Decreto nacional 1377 de 2013. Reglamenta parcialmente la Ley Estatutaria 1581 de 2012 sobre protección de datos personales.
- [Presidencia de la República de Colombia, 2022] Presidencia de la República de Colombia (2022). Decreto 255 de 2022. Introduce nuevas disposiciones y ajustes a la normativa existente sobre protección de datos personales.
- [Tawanda Zvarivadza and Celik, 2024] Tawanda Zvarivadza, Moshood Onifade, O. D.-O. K. O. S. J. M. G. B. G. and Celik, T. (2024). On the impact of industrial internet of things (iiot) - mining sector perspectives. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 0(0):24.
- [Velepucha and Flores, 2023] Velepucha, V. and Flores, P. (2023). A survey on microservices architecture: Principles, patterns and migration challenges. *IEEE Access*, 11:88339–88358.
- [Waseem et al., 2020] Waseem, M., Liang, P., and Shahin, M. (2020). A systematic mapping study on microservices architecture in devops. *Journal of Systems and Software*, 170:110798.
- [y Consejo de la Unión Europea, 2000] y Consejo de la Unión Europea, P. E. (2000). Directiva 1999/92/ce del parlamento europeo y del consejo, de 16 de diciembre de 1999, relativa a las disposiciones mínimas para la mejora de la protección de la seguridad y la salud de los trabajadores expuestos al riesgo de atmósferas explosivas. DOUE 2000/23 L00057-00064.
- [y Consejo de la Unión Europea, 2014] y Consejo de la Unión Europea, P. E. (2014). Directiva 2014/34/ue del parlamento europeo y del consejo, de 26 de febrero de 2014, relativa a la armonización de las legislaciones de los estados miembros sobre los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas.

[Yugha and Chithra, 2020] Yugha, R. and Chithra, S. (2020). A survey on technologies and security protocols: Reference for future generation iot. *Journal of Network and Computer Applications*, 169:102763.