

**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

8 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

1. TEMA/TEMÁTICA	4
2. TITULO PROVISIONAL	6
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
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
4. OBJETIVOS	9
4.1. OBJETIVO GENERAL	9
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
5. JUSTIFICACIÓN	10
6. DELIMITACIÓN Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	11
7. MARCO REFERENCIAL	12
7.1. MARCO TEÓRICO	12
7.1.1. Modelos IoT y arquitecturas	12
7.1.2. IIoT en la industria minera	15
7.1.3. Protocolos de comunicación para IoT en capa de aplicación	16
7.1.4. IoT para el monitoreo de gases	17
7.1.5. Infraestructura IoT	17

7.1.6. Machine Learning para IoT	17
7.1.7. Ingeniería de Software	17
7.1.8. Arquitecturas de software de Microservicios	17
7.1.9. Protocolos de comunicación para microservicios	17
7.1.10. Software orientado a capa de aplicación de IoT	17
7.2. MARCO CONCEPTUAL	17
7.3. MARCO LEGAL	19
7.4. MARCO HISTÓRICO	19
8. FUENTES DE INFORMACIÓN	19
8.1. Fuentes primarias	19
8.2. Fuentes secundarias	19
8.3. Fuentes terciarias	19
9. MARCO METODOLÓGICO	19
9.1. Tipo de investigación	19
9.2. Alcance de la investigación	19
9.3. Enfoque de la investigación	19
9.4. Metodología de desarrollo	19
9.5. Población y muestra	19
9.6. Instrumentos de recolección de datos	20
10. CRONOGRAMA	20
11. RECURSOS	20
11.1. RECURSOS HUMANOS	20
11.2. RECURSOS FÍSICOS	20
11.3. RECURSOS TECNOLÓGICOS	20
12. PRESUPUESTO	20

13. BIBLIOGRAFÍA **20**

14. CONCLUSIONES **21**

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	15
6.	Synthesized high level IIoT architecture for mining industry	16

LISTA DE TABLAS

1.	IoT platforms for the Mining Industry: An Overview	7
----	--	---

1. TEMA/TEMÁTICA

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

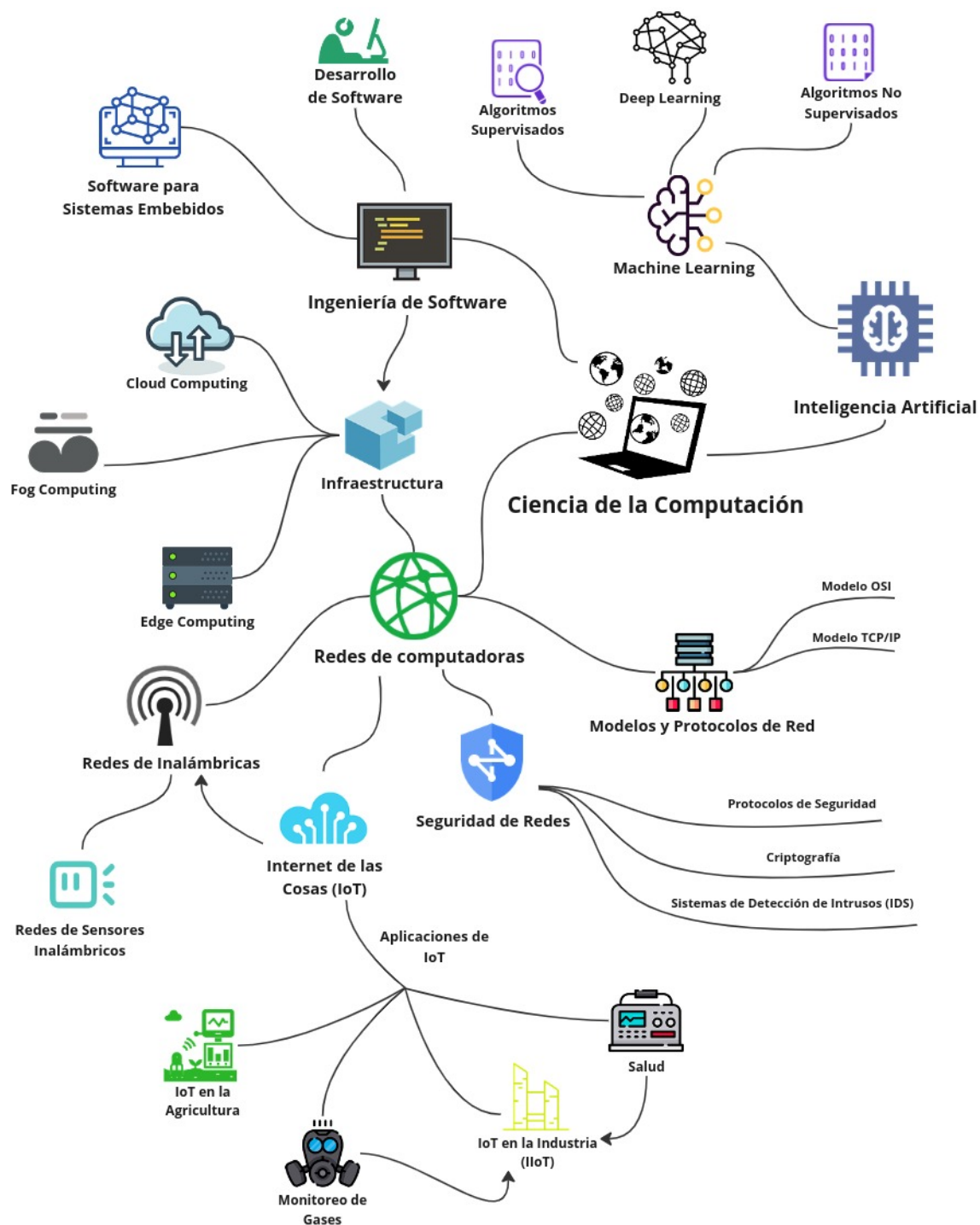


Figura 1

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 IoT1 . ABB Ability que es orientada a la industria minera[Gackowiec and Podobińska-Staniec, 2021] y otras de uso general, tienen una característica en común de no ser viables para su uso en el monitoreo de gases en minas de la provincia de Sugamuxi en el departamento de Boyacá, esto debido a los altos costos de estos sistemas IoT.

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.nxt	+	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

IoT platforms for the Mining Industry: An Overview

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 desactualizados, baja disponibilidad, fiabilidad e interoperabilidad, se identifican como causantes de que las partes interesadas en la seguridad de las labores mineras no puedan acceder a la

información emitida por un sistema IoT desactualizado.

En el caso de no optar directamente por un sistema IoT, no se contaría con información valiosa, principalmente en tiempo real, para la toma de decisiones en cuestiones de seguridad de las labores mineras, por lo que la seguridad de los trabajadores se ve comprometida, llevándonos a no hacer frente hacia la problemática de altos índices de accidentalidad y mortalidad minera en el departamento de Boyacá[Minera, 2020].

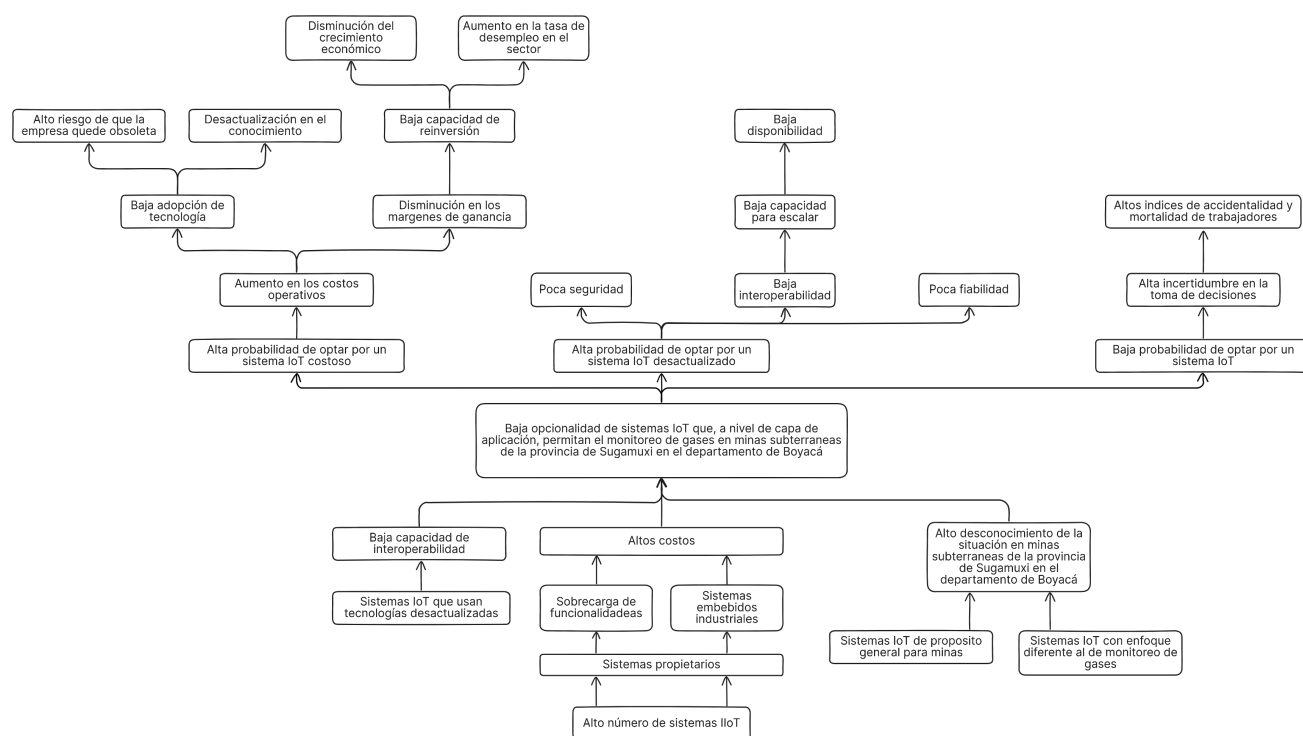


Figura 2

Árbol de causas y efectos

Fuente: Autor

3.1.3. Control al pronóstico

Ante la problemática planteada, surge la necesidad de disponer de un sistema IoT que, a nivel de capa de aplicación, cumpla con los siguientes atributos de calidad:

- Fiabilidad en la recolección de datos y emisión de alertas
- Disponibilidad 24/7

- Escalabilidad principalmente asociada a la cantidad de datos que se recolectan por sistemas embebidos que amplíen los existentes.
- Mantenibilidad
- Seguridad principalmente en aspectos como la integridad, confidencialidad y disponibilidad de los datos.
- Rendimiento a nivel de recolección de datos y emisión de alertas
- Resiliencia
- Monitoreo y diagnóstico

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 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 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 "Sistema IoT para el monitoreo de gases explosivos en minería subterránea", 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 considera 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. Cuándo 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 practicas 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 IoT y arquitecturas

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 capas³, cinco capas⁴ y siete capas⁵, 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 capas³ 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 red³ 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 percepción³ se encuentran los sensores y actuadores.

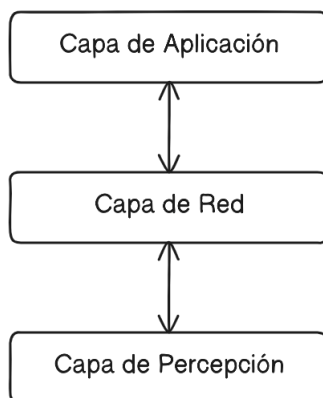


Figura 3

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 capas³, dando como resultado la integración de dos capas más.. En la capa de negocio⁴ se gestiona y administra los dispositivos y software que se encuentra en las capas inferiores. En la capa de aplicación⁴ tenemos casi lo mismo que en la capa de aplicación del modelo de tres capas³. Siguiendo tenemos la capa de procesamiento⁴, 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 transporte⁴ 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 capas⁴ encontramos lo mismo que en la capa con el mismo nombre del modelo de tres capas³.

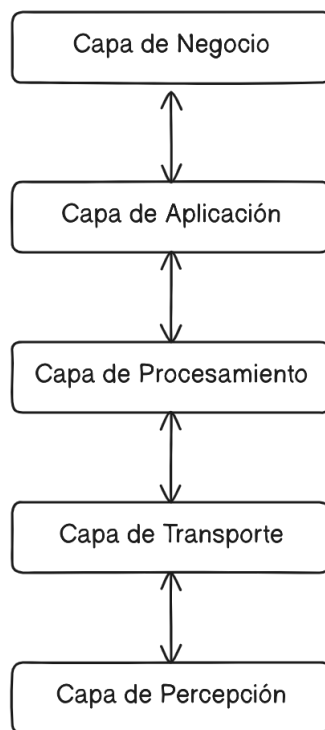


Figura 4

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

Adaptación de: Autor

En el modelo de siete capas⁵ 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 aplicación⁵ 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 datos⁵, estos son preparados para ser analizados por medio de técnicas de minado de datos y/o Machine Learning. En la acumulación de datos⁵ se realiza almacenamiento con la garantía de que estos están siendo movidos de forma correcta. Cuando se hace referencia de Edge y/o Fog Computing⁵, se habla de la infraestructura usada para realizar transformación y análisis de datos antes de ser enviado a cloud. Finalmente en cuanto a conectividad⁵ y los dispositivos y controladores físicos se concibe prácticamente lo mismo que en los dos modelos anteriores.

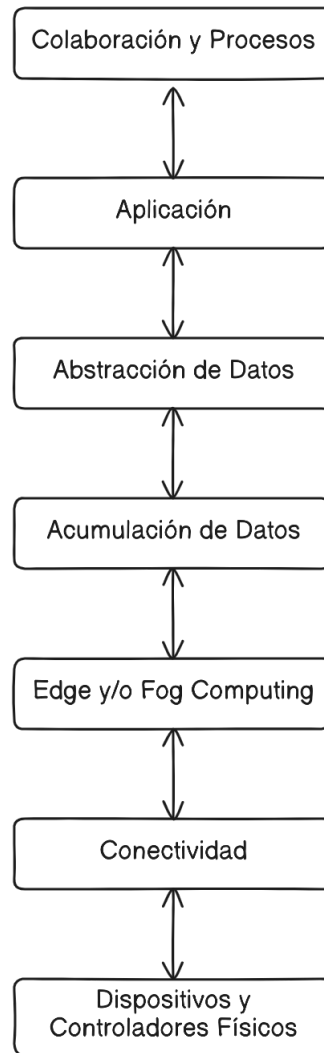


Figura 5

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.

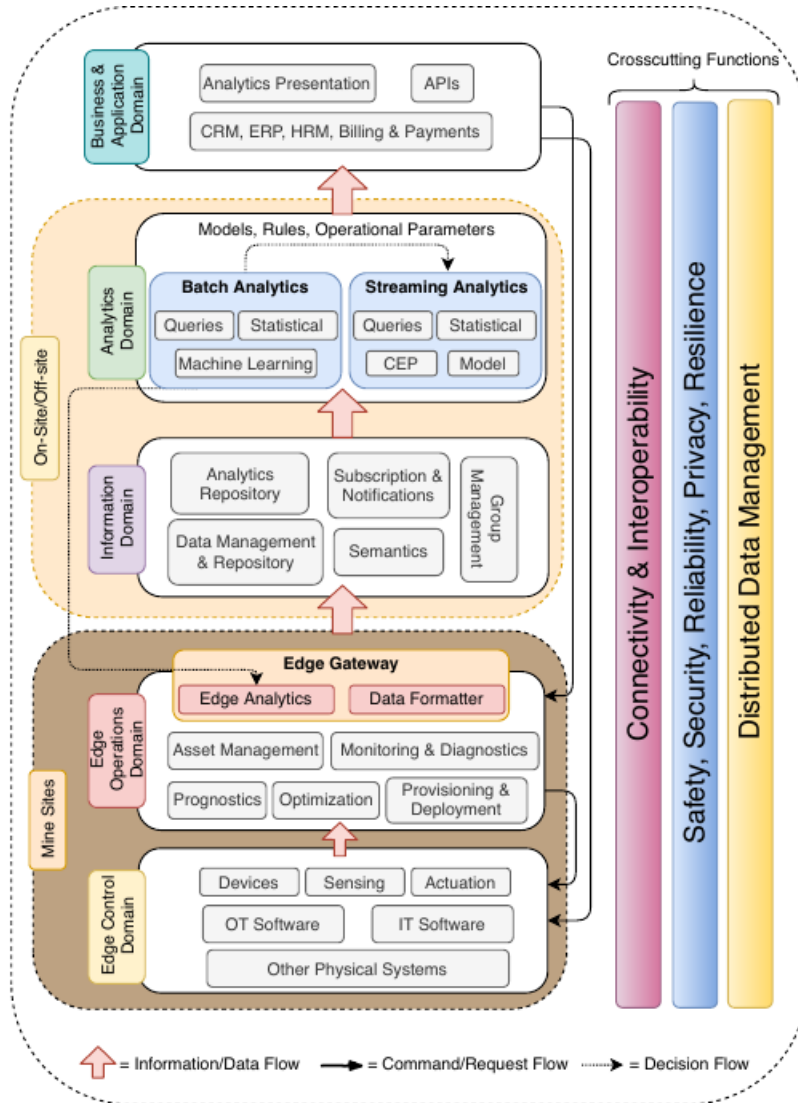


Figura 6

Synthesized high level IIoT architecture for mining industry

7.1.3. Protocolos de comunicación para IoT en capa de aplicación

Paper 1 sobre protocolos [Tightiz and Yang, 2020]

En este hablan específicamente de los que nos interesan en capa de aplicación

[Yugha and Chithra, 2020] ()

7.1.4. *IoT para el monitoreo de gases*

7.1.5. *Infraestructura IoT*

7.1.6. *Machine Learning para IoT*

7.1.7. *Arquitectura de Microservicios*

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 donde 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.

- Monitoreo fisiológico
- Tecnología Operacional (Operational Technology)
- Tecnología de la Información (Information Technology)
- 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 si.
- 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.
- Machine Learning:
- Visualización de Datos Avanzados
- Captura de Datos en Tiempo Real
- Gestión de Dispositivos de Forma Remota
- Arquitectura IoT
- Capa de Aplicación en una Arquitectura IoT
- Capa de Red en una Arquitectura IoT
- Capa de Percepción en una Arquitectura IoT

7.3. MARCO LEGAL

Normas ATEX

Ley 1581 de 2012 de la protección de datos personales en Colombia

Decreto 1377 de 2013

7.4. MARCO HISTÓRICO

SCADA → M2M → IoT

8. FUENTES DE INFORMACIÓN

8.1. Fuentes primarias

8.2. Fuentes secundarias

8.3. Fuentes terciarias

9. MARCO METODOLÓGICO

9.1. Tipo de investigación

Investigación comparada

9.2. Alcance de la investigación

Experimental

9.3. Enfoque de la investigación

Mixto

9.4. Metodología de desarrollo

Metodología ágil

9.5. Población y muestra

Sistemas IoT en la industria y Sistemas IoT para el monitoreo de gases

Minas de Colombia → Minas subterráneas de carbón de la provincia de Sugamuxi,
Boyacá.

9.6. Instrumentos de recolección de datos

Diagrama de flujo

10. CRONOGRAMA

11. RECURSOS

11.1. RECURSOS HUMANOS

11.2. RECURSOS FÍSICOS

11.3. RECURSOS TECNOLÓGICOS

12. PRESUPUESTO

13. 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).

[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.

[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.

[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.

[Tightiz and Yang, 2020] Tightiz, L. and Yang, H. (2020). A comprehensive review on iot protocols' features in smart grid communication. *Energies*, 13(11).

[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.

14. CONCLUSIONES