

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS INFORMÁTICOS



**PROTOTIPO DE NUBE EDGE ORIENTADO A
DISPOSITIVOS IOT**

PRESENTADO POR:

MIGUEL ALEJANDRO LÓPEZ JIMÉNEZ

GONZALO ANTONIO ORTÍZ MEJÍA

JORGE ISAAC RODRÍGUEZ MÉNDEZ

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO(A) DE SISTEMAS INFORMÁTICOS

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE DE 2024

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSC. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL:

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA

SECRETARIO:

ARQ. RAÚL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS INFORMÁTICOS

DIRECTOR:

ING. CÉSAR AUGUSTO GONZÁLEZ RODRÍGUEZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS INFORMÁTICOS

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:
INGENIERO(A) DE SISTEMAS INFORMÁTICOS

Titulo:

**PROTOTIPO DE NUBE EDGE ORIENTADO A
DISPOSITIVOS IOT**

Presentado por:

MIGUEL ALEJANDRO LÓPEZ JIMÉNEZ
GONZALO ANTONIO ORTÍZ MEJÍA
JORGE ISAAC RODRÍGUEZ MÉNDEZ

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

MSC. JULIO DAMIÁN MORALES AYALA

SAN SALVADOR, NOVIEMBRE DE 2024

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

MSc. Julio Damián Morales Ayala

Índice General

1	INTRODUCCIÓN	I
2	DEFINICIÓN DEL PROYECTO	1
2.1	ANTECEDENTES	1
2.2	IDENTIFICACIÓN DE LA ORGANIZACIÓN.....	3
2.2.1	<i>Generalidades de la organización.....</i>	<i>3</i>
2.2.2	<i>Giros o actividades económicas.....</i>	<i>3</i>
2.2.3	<i>Clasificación de la información</i>	<i>4</i>
2.2.4	<i>Tipo de administración de la organización.....</i>	<i>4</i>
2.3	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	5
2.4	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
2.5	JUSTIFICACIÓN	6
2.6	ALCANCES	7
2.7	OBJETIVOS	8
2.7.1	<i>Objetivo General</i>	<i>8</i>
2.7.2	<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>8</i>
3	MARCO TEÓRICO	10
3.1	EDGE COMPUTING	10
3.1.1	<i>Arquitectura.....</i>	<i>11</i>
3.1.2	<i>Aplicaciones</i>	<i>13</i>
3.2	INTERNET DE LAS COSAS	13
3.3	STARLINGX.....	14
3.3.1	<i>Componentes comunes</i>	<i>14</i>
3.3.2	<i>Opciones para desplegar StarlingX.....</i>	<i>17</i>
3.4	METODOLOGÍA DEL PROTOTIPO.....	18
3.4.1	<i>Determinar viabilidad</i>	<i>19</i>
3.4.2	<i>Estudiar el Sistema Actual.....</i>	<i>20</i>
3.4.3	<i>Definir el prototipo.....</i>	<i>20</i>
3.4.4	<i>Construcción del prototipo.....</i>	<i>21</i>

3.4.5	<i>Ejercitar el prototipo</i>	21
3.4.6	<i>Implementar la solución</i>	22
4	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	23
4.1	ENFOQUE CUANTITATIVO.....	23
4.2	ENFOQUE CUALITATIVO	24
4.3	POBLACIÓN Y MUESTREO	24
4.4	INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	25
4.4.1	<i>Encuesta</i>	25
4.4.2	<i>Entrevista semi-estructurada</i>	26
5	ANÁLISIS DE RESULTADOS	27
5.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS CUANTITATIVOS	27
5.1.1	<i>Pregunta 1: ¿Cuántos vehículos componen la flota de transporte terrestre?</i>	27
5.1.2	<i>Pregunta 2: ¿Utiliza alguna tecnología para recopilar datos en tiempo real de los vehículos (por ejemplo, para monitorear ubicación o estado de mantenimiento)?</i>	29
5.1.3	<i>Pregunta 3: ¿Qué tipo de datos se recopilan actualmente?</i>	30
5.1.4	<i>Pregunta 4: ¿Cómo se gestionan actualmente los datos recogidos de la flota de transporte?</i>	31
5.1.5	<i>Pregunta 5: ¿Qué tan importante es para la empresa procesar los datos de sus vehículos en tiempo real (por ejemplo, para mejorar la eficiencia o reducir costos)?</i>	33
5.1.6	<i>Pregunta 6: ¿Está familiarizado con el concepto de Edge Computing?</i>	34
5.1.7	<i>Pregunta 7: Si no está familiarizado, ¿estaría interesado en conocer más sobre soluciones tecnológicas que podrían ayudar a procesar los datos de su flota más rápido y con menos dependencia de la nube?</i>	35
5.1.8	<i>Pregunta 8: ¿Estaría dispuesto a participar en un proyecto piloto para probar tecnologías que permitan el procesamiento de datos en tiempo real, como el Edge Computing, y evaluar su impacto en la operación de su flota?</i>	37
5.1.9	<i>Conclusión</i>	38
5.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS CUALITATIVOS	39
5.2.1	<i>Conclusión</i>	41

6	DESARROLLO DEL PROTOTIPO	42
6.1	HERRAMIENTAS UTILIZADAS	42
6.1.1	<i>KVM</i>	42
6.1.2	<i>Ubuntu</i>	42
6.1.3	<i>StarlingX</i>	43
6.1.4	<i>Kubernetes</i>	43
6.1.5	<i>OpenStack</i>	43
6.1.6	<i>Ceph</i>	44
6.1.7	<i>CentOS</i>	44
6.1.8	<i>Python</i>	44
6.1.9	<i>Flask</i>	45
6.1.10	<i>Python-OBDD</i>	45
6.1.11	<i>ELM327-emulator</i>	45
6.1.12	<i>Grafana</i>	45
6.1.13	<i>Raspberry pi</i>	46
6.2	DISEÑO	47
6.2.1	<i>Arquitectura del sistema</i>	47
6.2.2	<i>Topología</i>	48
6.2.3	<i>Descripción de los componentes y requerimientos</i>	48
7	CASO DE ESTUDIO.....	51
8	FACTIBILIDAD.....	54
8.1	FACTIBILIDAD TÉCNICA	54
8.1.1	<i>Akraino Edge Stack</i>	54
8.1.2	<i>Airship</i>	56
8.1.3	<i>StarlingX</i>	58
8.1.4	<i>CORD</i>	60
8.1.5	<i>Comparación de StarlingX vs Akraino, Airship, y OpenCORD</i>	62
8.1.6	<i>Estimación teórica para la cantidad de dispositivos emisores de datos que soporta el prototipo</i>	65

8.2	FACTIBILIDAD ECONÓMICA PARA EL DESPLIEGUE DEL PROTOTIPO DEL NODO EDGE	67
9	CONCLUSIONES	72
10	RECOMENDACIONES	74
11	LIMITANTES GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN.....	75
12	BIBLIOGRAFÍA	76
13	ANEXOS.....	79

Índice de Tablas

<i>TABLA 1. PROYECTOS DE COMPUTACIÓN EDGE COMO INFRAESTRUCTURA.....</i>	<i>64</i>
<i>TABLA 2. REQUISITOS MÍNIMOS DE HARDWARE PARA EL DESPLIEGUE.....</i>	<i>67</i>
<i>TABLA 3. ESTIMACIÓN DE COSTO PARA DESPLEGAR EL NODO DE EDGE COMPUTING USANDO SERVIDORES BARE METAL.....</i>	<i>69</i>

Índice de Ilustraciones

<i>ILUSTRACIÓN 1.</i> ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DE LA EMPRESA FICTICIA EN LA QUE SE BASARÁ EL PROYECTO, HASTA EL TERCER NIVEL DE JERARQUÍA. IMAGEN DE AUTORÍA PROPIA.....	5
<i>ILUSTRACIÓN 2.</i> ARQUITECTURA DE EDGE COMPUTING. IMAGEN OBTENIDA DE (TAHERÍ & DENG, 2020).....	12
<i>ILUSTRACIÓN 3.</i> ARQUITECTURA DE STARLINGX. IMAGEN OBTENIDA DE (STARLINGX, 2024A).....	15
<i>ILUSTRACIÓN 4.</i> NUEVA FORMA DE VER EL ENFOQUE DEL PROYECTO DE CREACIÓN DE PROTOTIPOS. IMAGEN OBTENIDA DE (LANTZ, 1985).....	19
<i>ILUSTRACIÓN 5.</i> ARQUITECTURA DEL PROTOTIPO. IMAGEN DE AUTORÍA PROPIA.....	47
<i>ILUSTRACIÓN 6.</i> REQUERIMIENTOS DE HARDWARE EN CADA NODO. IMAGEN DE AUTORÍA PROPIA.....	50
<i>ILUSTRACIÓN 7.</i> ESCENARIO DEL CASO DE ESTUDIO. IMAGEN DE AUTORÍA PROPIA.....	52
<i>ILUSTRACIÓN 8.</i> DIAGRAMA DE COMPONENTES QUE REPRESENTA EL FLUJO DE DATOS EN EL PROTOTIPO. IMAGEN DE AUTORÍA PROPIA.....	53
<i>ILUSTRACIÓN 9.</i> PRUEBAS DE CARGA CON APACHE JMeter. IMAGEN DE AUTORÍA PROPIA.....	65

1 Introducción

En la actualidad, el término de Cloud o su equivalente en español Nube es bastante conocido ya que ha tenido un gran apogeo debido a las prestaciones que brinda, así como la mercadotecnia que se le ha dado, de tal manera que incluso personas fuera del ámbito informático conocen sobre ello. Sin embargo, lo que se asocia al mencionar esa tecnología tiene relación con la finalidad de que se consuma a reconocidas marcas que tienen operaciones en ese segmento, ignorando la otra posibilidad que es el aprovisionamiento y/o la oferta de servicios relacionados con la nube por cuenta propia para el consumo mismo o de terceros.

Entre las diversas formas que existen para poder levantar un servicio y poderlo ofertar a otras personas o empresas está el concepto de Edge Computing conocido también como Computación en el Borde. En un mundo cada vez más dependiente de la transferencia de datos, recorriendo extensas distancias o desde ubicaciones remotas, siendo estos en grandes cantidades, o necesitando asegurar un mayor grado de seguridad y velocidad es que nace este nuevo concepto.

Así pues, se tiene un enfoque en la exploración de una creciente demanda de estos servicios de computación en la nube, en específico cuando se trata de relacionarlo con los datos que brindan y generan los dispositivos del Internet de las Cosas (IoT en sus siglas en inglés) al punto que su implementación/despliegue requiere el uso de paradigmas emergentes.

En este reporte se escribe acerca de la manera en se puede llegar a realizar una puesta en marcha para solventar un caso de esta índole.

2 Definición del proyecto

2.1 Antecedentes

Edge Computing, un paradigma de procesamiento de datos que ocurre cerca de la fuente de generación en lugar de en un centro de datos centralizado, tiene sus raíces en el desarrollo de redes de distribución de contenido (CDNs) en los años 90, cuando Akamai introdujo nodos en la periferia de la red para almacenar y preprocesar contenido cercano a los usuarios, mejorando el rendimiento web y reduciendo el ancho de banda. En 1997, Brian Noble y su equipo demostraron el potencial de este enfoque en dispositivos móviles al transferir tareas de procesamiento intensivo a servidores cercanos. Posteriormente, en 2001, se introdujo el concepto de "ciber-recolección" (Cyber Foraging), ampliando las capacidades de los dispositivos móviles mediante el uso de infraestructuras cercanas. En 2009, se formalizó el modelo de dos niveles, con un primer nivel en la nube central y un segundo nivel de cloudlets o mini servidores en el borde de la red, optimizando la latencia para aplicaciones interactivas de tiempo real. En 2012, el término "computación en la niebla" (Fog Computing) añadió una perspectiva de escalabilidad para soportar el crecimiento del IoT en infraestructuras distribuidas (Satyanarayanan, 2017).

Este proceso histórico estableció los cimientos que guiaron la tecnología hacia nuevas aplicaciones en nuestro tiempo. Los dispositivos de IoT se utilizan en varios campos, como hogares inteligentes y vehículos autónomos, lo que ha provocado un notorio incremento en la cantidad de dispositivos conectados a la red.

Según el informe anual de internet de Cisco, para 2023 se estimó que el número de dispositivos conectados a redes IP superaría los 29.3 mil millones, más de tres veces la población mundial, representando un aumento desde los 18.4 mil millones en 2018. Las

conexiones Machine-To-Machine (M2M) fundamentales para el Internet de las Cosas (IoT), representarían la mitad de los dispositivos conectados, alcanzando un total de 14.7 mil millones, con un crecimiento del 33% en 2018 al 50% en 2023, Entre las aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT), se previó que las aplicaciones de hogar conectado ocuparían el 48% de las conexiones M2M, y las aplicaciones de automóviles conectados mostrarían el crecimiento más rápido a una tasa del 30% anual (Cisco, 2020).

Además, el informe Visual Networking Index (VNI) de Cisco revela que, desde su creación en 1984, más de 4.7 zettabytes de tráfico IP han circulado a través de Internet, una cantidad equivalente a todas las películas jamás producidas cruzando las redes IP globales en menos de un minuto. En este informe se anticipó que, para 2022, el tráfico IP global alcanzaría 396 exabytes por mes, lo que representaría más de tres veces el volumen de tráfico registrado en 2017 (Cisco, 2018).

En vista del crecimiento continuo y masivo del volumen de datos y de los diversos requisitos de procesamiento de datos, el procesamiento de Big Data basado en la nube ha mostrado muchas deficiencias. Primero, la transmisión de datos desde dispositivos IoT hacia la nube puede generar una carga excesiva en el ancho de banda, provocando retrasos en escenarios que demandan retroalimentación en tiempo real, como el monitoreo del tráfico. Además, el manejo de datos sensibles plantea riesgos de seguridad y privacidad, ya que la información personal puede verse expuesta a filtraciones al ser transferida a la nube. Por último, el aumento en el número de dispositivos inteligentes ha incrementado significativamente el consumo energético de los centros de datos, superando la capacidad de mejora de la eficiencia energética en la computación en la nube para satisfacer la demanda de una sociedad cada vez más inteligente (Cao, Liu, Meng, & Sun, 2020).

Esta explosión en el número de dispositivos conectados y la creciente cantidad de datos subraya la importancia del Edge Computing. A medida que se generan grandes volúmenes de datos en tiempo real a partir de aplicaciones IoT, la necesidad de procesar y analizar esos datos más cerca de la fuente se vuelve crucial. El Edge Computing permite disminuir la latencia, fortalecer la seguridad, mejorar la eficiencia del ancho de banda y garantizar una respuesta más rápida, factores esenciales para aplicaciones críticas como la gestión de flotas y la automatización del hogar. Al integrar Edge Computing en estas arquitecturas de IoT, las organizaciones pueden maximizar el valor de sus datos y optimizar la toma de decisiones en tiempo real.

2.2 Identificación de la organización

Se ha decidido hacer uso de una organización ficticia, teniendo equivalencia en instituciones existentes de El Salvador, cuyas operaciones están estrechamente ligadas al área de Logística/Transporte/Distribución/Suministro, que se manejan tanto en área urbana como rural de toda la extensión territorial del país y realicen transacciones en lugares dispersos.

2.2.1 Generalidades de la organización

Se plantean los giros o actividades económicas, el detalle de la clasificación, así como el tipo de administración de las instituciones en que se encuentra basada la organización ficticia que se utilizará como base para la realización del proyecto.

2.2.2 Giros o actividades económicas

- Actividades logísticas, es decir, planificación, diseño y apoyo de operaciones de transporte, almacenamiento y distribución.
- Actividades económicas relacionadas al alquiler de vehículos.

- Actividades relacionadas al transporte de pasajeros por vía terrestre.

2.2.3 Clasificación de la información

- Según sector de actividad: Sector Terciario.
- Según el tamaño: Pequeña, Mediana empresa y/o Gran Empresa.
- Según la propiedad de capital: Empresa Privada.
- Según el ámbito de actividad: Empresa Nacional.
- Según el destino de los beneficios: Empresa con Ánimo de Lucro.
- Según la forma jurídica: Sociedad Anónima de Capital Variable.

2.2.4 Tipo de administración de la organización

La estructura organizativa está basada en función de una de las áreas identificadas en dónde se podría aplicar el proyecto, que es Logística y Transporte.

Se propone una gestión funcional en la que la entidad se segmenta en departamentos especializados. Cada departamento funciona bajo el mando de un gerente particular, lo que define una jerarquía definida desde la dirección general hasta los niveles de operación. Este método posibilita una gran especialización en cada función, promoviendo la eficacia en las operaciones y el fortalecimiento de habilidades particulares en cada sector. Asimismo, en este tipo de administración, la coordinación entre departamentos es crucial para asegurar la integración de actividades y alcanzar los objetivos organizacionales de manera efectiva, destacando la importancia de una comunicación fluida y una alineación estratégica en toda la organización.

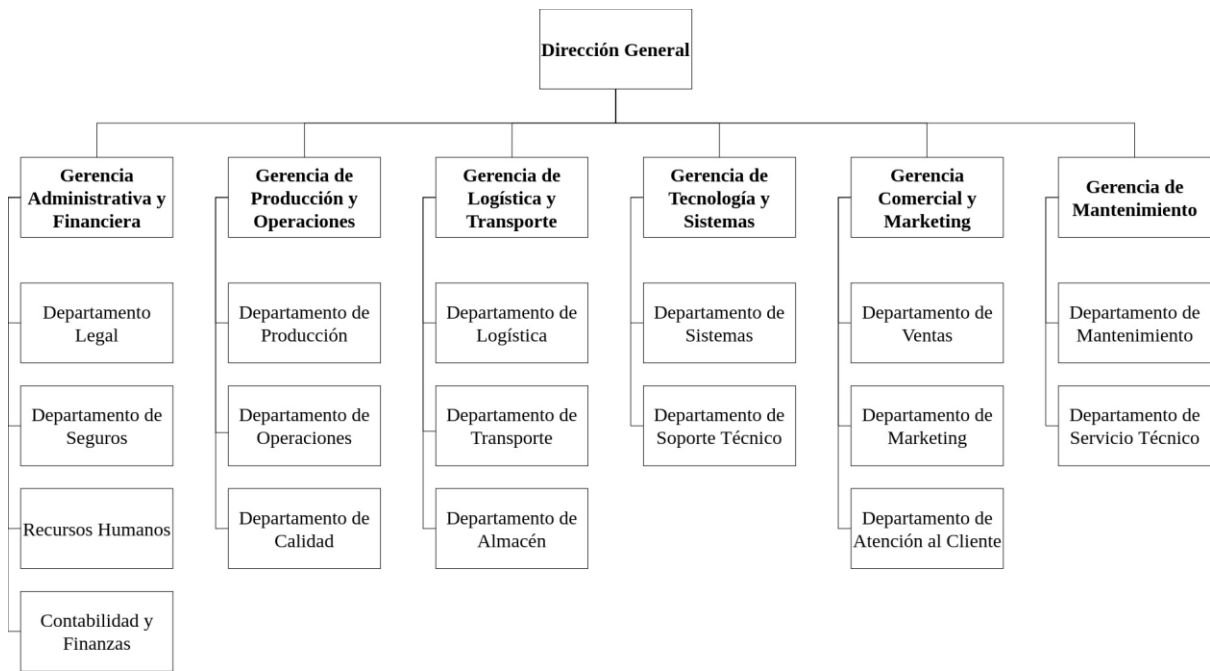


Ilustración 1. Estructura organizacional de la empresa ficticia en la que se basará el proyecto, hasta el tercer nivel de jerarquía. Imagen de autoría propia.

2.3 Pregunta de investigación

¿Es factible que tecnologías basadas en la nube, en particular la Computación en el Borde aplicada a dispositivos del internet de las cosas, puedan facilitar la recolección temprana de datos, su procesamiento y suministro de información oportuna a usuarios finales?

2.4 Planteamiento del problema

Muchas organizaciones cuentan con una estructura interna que es capaz de generar una gran cantidad de datos que, si se registraran, tendrían un gran valor y utilidad. Dichos datos se podrían registrar si se implementasen las tecnologías adecuadas, como lo son los sensores de internet de las cosas (IoT). Por esa razón este tipo de organizaciones representan

un escenario adecuado para consumo de servicios de la nube que brinde tratamiento a estos datos.

Dentro de ese contexto, se tienen situaciones en las que, por requerimientos de aprovechamiento de los datos se necesita un procesamiento y respuesta inmediatas o se tienen flujos constantes de datos moviéndose a través de la red. Esto implica que debe existir una infraestructura de nube muy ágil, eficiente y tolerante a fallas para conseguir el aprovechamiento deseado.

En esos casos el paradigma clásico de la computación en la nube es una solución con falencias, su inherente latencia y la posibilidad de fallas en algún punto de la red puede causar que se pierda la ventana de oportunidad para aprovechar los datos en forma efectiva, limitando las decisiones basadas en esos datos y el impacto positivo en la organización.

2.5 Justificación

Las organizaciones de sectores como las telecomunicaciones, plantas de manufactura, transporte, monitoreo, control de infraestructuras y cualquier otra que necesite de gestión y procesamiento de datos inmediatos se verían significativamente beneficiados al implementar la Computación en el Borde, ya que proporciona una infraestructura tecnológica ágil y eficiente como base que ofrece múltiples ventajas y ser capaz de cumplir los requerimientos.

Al procesar los datos más cerca de donde estos se generan se consigue reducir la latencia y se propicia obtener respuestas más rápidas y un servicio más resiliente ante fallos de la red que comunica nubes distantes. Proporciona la certeza de que los servicios que requieren de baja latencia, altas velocidades de transmisión de grandes

volúmenes de datos y funcionamiento sin interrupción puedan operar de forma más confiable y garantizando sus requerimientos.

Como consecuencia de la implementación de una nube en el borde se tiene también la mejora potencial en seguridad al reducir la exposición de los datos durante envíos a lugares remotos, al realizar su procesamiento en el borde.

Alineado a las razones anteriores, existen razones económicas para la aplicación de la computación en el borde. La implementación de un monitoreo a la maquinaria o a procesos productivos en las organizaciones requiere de componentes que almacenen esa información para su análisis, bajo ese análisis se vuelve posible corregir problemas en el preciso momento evitando posibles interrupciones en las actividades productivas o puede aumentar la plusvalía que se obtiene de la maquinaria al monitorear el estado de los equipos para mantenerlos en estado óptimo

2.6 Alcances

El proyecto se enfocará en un uso específico entre las múltiples aplicaciones que pueden utilizarse con los servicios Edge. Dado su carácter particular, no se busca tratar una conceptualización más extensa que incluya otros usos de estos servicios.

A pesar de que se define un límite al elegir un caso de uso particular, es un hecho que no se contemplarán todas las opciones dentro de este. No obstante, se evidenciará de manera suficiente el potencial de Edge Computing.

El prototipo se fundamentará en la estructura de una infraestructura Cloud para servicios Edge utilizando tecnologías que lo respalden. No obstante, no incluye la compra de

hardware especializado para servidores ni la creación de dispositivos propios para la recopilación de la información requerida.

Se configurará una infraestructura de Nube en el Borde orientada al proceso y almacenamiento de datos generados por dispositivos de Internet de las Cosas.

A través de una API se recibirán los datos y se proporcionará información sobre el estado detectado por los sensores, además de un análisis de la información a través de gráficos.

2.7 Objetivos

2.7.1 Objetivo General

Desarrollar un prototipo de una infraestructura Edge Computing orientado a dispositivos de IoT que permita la obtención de información inmediata a partir de los datos producidos por sensores IoT. La información obtenida deberá detallar el estado registrado por los sensores y posibilitar el análisis de los datos.

2.7.2 Objetivos Específicos

- Explorar las soluciones existentes basadas en computación en la nube con énfasis en el paradigma de la Computación en el Borde, para comprender a detalle su funcionamiento.
- Diseñar la arquitectura de la plataforma a crear, identificando los componentes necesarios para desplegar el caso de estudio de manera que cumpla con los requerimientos del proyecto.

- Instalar y configurar la infraestructura de base tomando de referencia el diseño definido para el prototipo, incluyendo la instalación y configuración de sistemas operativos y servicios necesarios como el almacenamiento, bases de datos y redes.
- Desarrollar y configurar el software para la extracción y envío de datos en tiempo real a partir de los sensores IoT.
- Desarrollar y configurar el software y los servicios de recepción, almacenamiento, procesamiento y análisis de la información recibida, verificando que funcione consumiendo el mínimo de recursos posible.
- Probar el prototipo con datos simulados, verificando que la solución funcione de forma correcta.

3 Marco Teórico

El volumen de intercambio de datos e información a través protocolos de red y comunicación es algo que incrementa a medida pasa el tiempo, siendo necesario el desarrollo de aplicaciones bajo una arquitectura distribuida que dependen de la conectividad. Hay casos particulares donde se requieren estos servicios en condiciones que no son favorables, ya sea porque los datos provienen de ubicaciones remotas con acceso limitado a la red o bien porque las cargas de datos que se intercambian son demasiado grandes o continuas para las distancias que tienen que transportarse, por mencionar algunos ejemplos.

En este contexto, el Edge Computing surge como una solución tecnológica que permite procesar y analizar datos en el mismo lugar donde se generan, evitando la necesidad de enviar grandes volúmenes de información a centros de datos distantes. Esto resulta especialmente útil en aplicaciones de monitoreo vehicular en tiempo real, donde los datos se originan en movimiento y en ubicaciones con conectividad variable. Para sectores como el de logística y transporte, esta tecnología puede marcar una diferencia al optimizar la eficiencia operativa, permitir una toma de decisiones más rápida y reducir la dependencia de la conectividad constante. Así, la implementación de Edge Computing no solo responde a desafíos técnicos, sino que también permite a estas organizaciones adaptarse a las exigencias de un entorno tecnológico en constante evolución.

3.1 Edge Computing

Edge Computing (Computación en el Borde) es un modelo que extiende los servicios de Cloud Computing (computación en la nube) hacia el borde de la red, acercando las operaciones de toma de decisiones lo más cerca posible a las fuentes de datos. Este enfoque

actúa como una capa intermedia que conecta los centros de datos en la nube con dispositivos y sensores en el borde de la red (Taheri & Deng, 2020, pág. 3).

La computación de borde consiste en migrar la red, la computación, las capacidades de almacenamiento y los recursos de la nube al borde de la red y proporcionar servicios inteligentes en el borde para satisfacer las necesidades críticas de la industria de TI en cuanto a enlaces ágiles, negocios en tiempo real, optimización de datos, inteligencia de aplicaciones, seguridad y privacidad, y cumple con los requisitos de baja latencia y alto ancho de banda en la red. La computación de borde se ha convertido en un foco de investigación en la actualidad (Cao et al, 2020)

3.1.1 Arquitectura

La arquitectura de Edge Computing se divide en cuatro capas principales: la capa IoT, la capa de borde, la capa de niebla y la capa de nube.

En esta estructura, la capa IoT abarca millones de dispositivos y sensores que constantemente generan datos y se comunican entre sí a través de una infraestructura moderna de red (Taheri & Deng, 2020). Estos dispositivos actúan como usuarios finales de la computación de borde, produciendo datos críticos que deben ser gestionados eficientemente.

La capa de borde se sitúa entre los dispositivos IoT y las capas superiores de niebla y nube. Aunque ofrece una capacidad de computación y almacenamiento más limitada, proporciona tiempos de respuesta rápidos que son cruciales para aplicaciones en tiempo real (Taheri & Deng, 2020). Esta capa es esencial para procesar datos cerca del punto de generación, reduciendo la latencia y mejorando la eficiencia operativa.

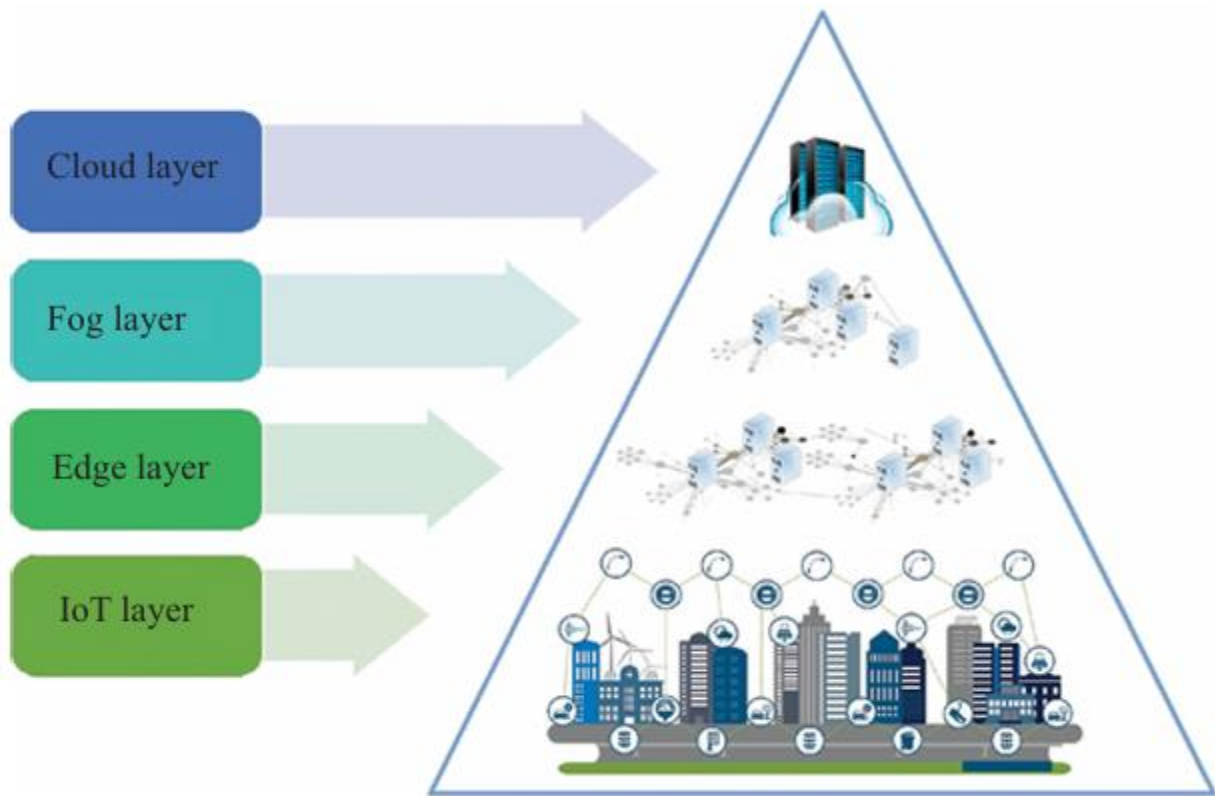


Ilustración 2. Arquitectura de Edge Computing. Imagen obtenida de (Taheri & Deng, 2020).

La Computación en el Borde y la computación en la niebla (Fog Computing) a veces se usan indistintamente o se consideran como una sola capa. Sin embargo, la computación de borde se centra más en el lado de los dispositivos IoT, mientras que la computación en la niebla se centra en el lado de la infraestructura (Taheri & Deng, 2020).

La computación de borde se enfoca en el procesamiento de datos cerca de los dispositivos y sensores que los generan, lo que permite una rápida respuesta y menor latencia.

Por otro lado, el Fog Computing complementa la computación de borde al proporcionar una capa adicional de infraestructura informática entre los dispositivos de borde y la nube. Esta capa, conocida como capa de niebla, ofrece recursos y servicios adicionales que amplían las capacidades del borde, facilitando una gestión más eficiente de los datos distribuidos (Bonilla, 2024).

Finalmente, la capa de nube proporciona la mayor capacidad de computación y almacenamiento, realizando cálculos intensivos y almacenando datos a largo plazo, complementando las capacidades de las capas inferiores (Taheri & Deng, 2020).

3.1.2 Aplicaciones

La computación de borde está transformando múltiples industrias al ofrecer soluciones eficaces para el procesamiento y análisis de datos en el borde de la red, lo que mejora la eficiencia y la rapidez en diversas aplicaciones.

En el ámbito de dispositivos IoT, facilita el procesamiento local de datos en lugar de depender de la nube, optimizando el rendimiento. En la optimización de redes, ayuda a reducir la latencia y congestión del tráfico. En salud, permite una atención médica más efectiva al procesar datos en tiempo real. En el sector minorista, ayuda a tomar decisiones informadas sobre ventas e inventarios. En manufactura, mejora la calidad del producto y la eficiencia operativa. En construcción, se utiliza para garantizar la seguridad laboral, y en transporte, especialmente en vehículos autónomos, se optimiza el análisis de datos en tiempo real. En agricultura, se mejora el rendimiento de los cultivos mediante el análisis ambiental, y en el sector energético, se optimiza la monitorización y control de sistemas (Pathak, 2021). Así, la computación de borde demuestra ser una tecnología versátil con aplicaciones que abarcan desde la mejora de la eficiencia operativa hasta la optimización de la seguridad y la toma de decisiones en tiempo real.

3.2 Internet de las cosas

El Internet de las cosas (IoT) es el proceso que permite conectar elementos físicos cotidianos al Internet: desde objetos domésticos comunes, como las bombillas de luz, hasta recursos para la atención de la salud, como los dispositivos médicos; también abarca prendas

y artículos personales, como los relojes inteligentes, e incluso los sistemas de las ciudades inteligentes. (Red Hat, 2021).

Un dispositivo de borde de IoT está habilitado para Internet y generalmente está compuesto por sensores. Estos sensores recopilan datos y luego los pasan a la unidad de procesamiento. Aquí, se procesan localmente en lugar de pasar por la secuencia que consume mucho tiempo de enviarlos a la nube y viceversa. Los dispositivos de IoT pueden ahorrar recursos de red al recopilar y procesar datos de manera distribuida. De esta manera, las cargas de trabajo se distribuyen entre los dispositivos disponibles, lo que garantiza que ninguno se sobrecargue ni se subutilice. (Fortinet, s.f.)

3.3 StarlingX

Para la implementación del prototipo, se utilizará **StarlingX**, una plataforma de virtualización de servidores de código abierto diseñada específicamente para entornos de Edge Computing. La selección de esta tecnología se encuentra fundamentada en el apartado de Factibilidad, específicamente en el punto *8.1 Factibilidad Técnica*, en donde se listan las características, costos asociados, ventajas, desventajas y se hace la comparativa de las posibles herramientas que se pueden utilizar para hacer realidad el despliegue del prototipo de un nodo Edge.

StarlingX se enfoca en facilitar el despliegue, la gestión con bajo nivel de intervención, la respuesta rápida a eventos y la recuperación veloz, ofreciendo control tanto en el borde como en la interfaz entre IoT y la nube, así como sobre las máquinas virtuales (StarlingX, 2024d).

3.3.1 Componentes comunes

StarlingX se destaca por su arquitectura modular y su capacidad para manejar diversas funciones dentro de un entorno de virtualización en el Edge. La plataforma ofrece una

infraestructura robusta y escalable para construir nubes en el Edge, proporcionando una solución completa que incluye varios componentes críticos para la operación eficiente de servicios en la nube.

En términos de nodos, StarlingX cuenta con varios tipos que cumplen roles específicos en la arquitectura:

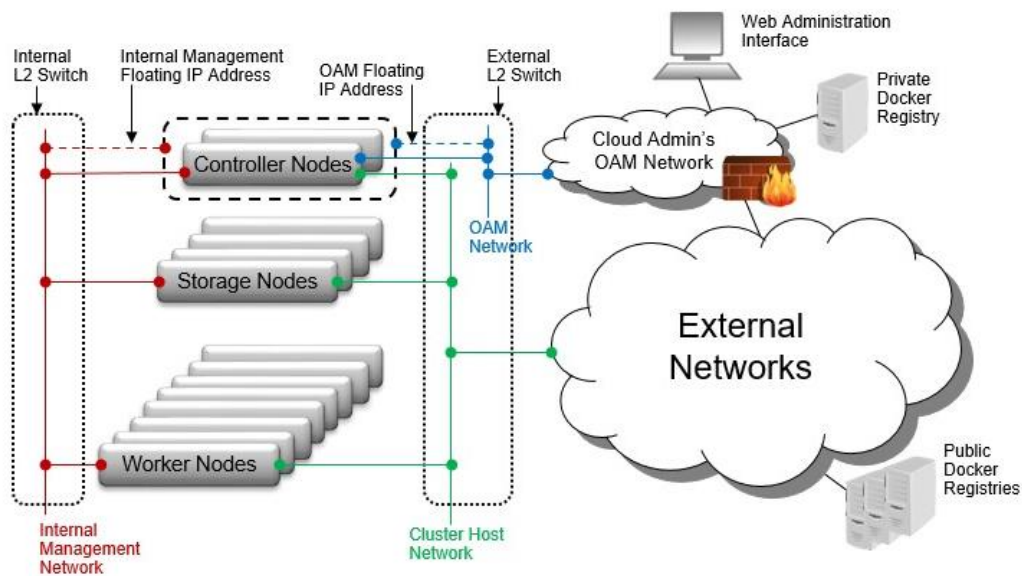


Ilustración 3. Arquitectura de StarlingX. Imagen obtenida de (StarlingX, 2024a).

Nodos de Control (Controller Nodes): Estos nodos ejecutan las funciones de control del Cloud, manejando todas las operaciones de Kubernetes relacionadas con imágenes, Pods y servicios. En configuraciones estándar, los nodos de control pueden incluir un pequeño clúster Ceph que proporciona el almacenamiento backend para las Persistent Volume Claims (PVCs) de Kubernetes. En muchas configuraciones, los nodos de control forman parte de un clúster de alta disponibilidad (HA) de dos nodos, operando en modo Activo/Activo o Activo/Standby para asegurar la continuidad del servicio (StarlingX, 2024a).

Nodos de Trabajo (Worker Nodes): Estos nodos son responsables de ejecutar las aplicaciones contenidas y de gestionar las cargas de trabajo (StarlingX, 2024a).

Nodos de Almacenamiento (Storage Nodes): En configuraciones dedicadas al almacenamiento, estos nodos operan un clúster Ceph a gran escala utilizando discos SATA, SAS, SSD y/o NVMe distribuidos en múltiples nodos. Este clúster proporciona almacenamiento backend para las PVCs de Kubernetes, y a menudo es parte de un clúster de almacenamiento Ceph multi-nodo con soporte para replicación, caché de journales y clasificación de clases (StarlingX, 2024a).

Nodos All-In-One (AIO): Estos nodos combinan funciones de control, trabajo y almacenamiento en una sola unidad física, simplificando la implementación en entornos más pequeños o específicos (StarlingX, 2024a).

Además de los nodos, StarlingX utiliza varias redes para manejar la conectividad y el acceso:

Redes L2: Un único interruptor físico puede soportar múltiples redes L2, facilitando la conectividad entre los componentes del sistema. (StarlingX, 2024a).

Red de Administración (OAM): Esta red expone todas las APIs externas de la plataforma StarlingX, incluyendo APIs REST (Keystone, StarlingX, Kubernetes), la interfaz web Horizon, SSH y SNMP. Generalmente, esta es una red de 1GE (StarlingX, 2024a).

Red de Gestión: Utilizada para monitoreo y control interno, así como para el acceso de contenedores al clúster de almacenamiento. Normalmente es una red de 10GE (StarlingX, 2024a).

Red Admin: Opcionalmente utilizada para monitoreo y control interno en un entorno de nube distribuida, reemplazando a la red de gestión si está disponible. Permite una reconfiguración más flexible de subredes y parámetros de IP. (StarlingX, 2024a).

Red de Host del Clúster: Esta red se utiliza para la gestión y control de Kubernetes, así como para la red privada de contenedores. La red puede configurarse en una interfaz dedicada si es necesario y puede usarse para conectividad externa o mantenerse como una red interna (StarlingX, 2024a).

Conectividad Externa: StarlingX permite la exposición de puntos finales de contenedores a redes externas mediante servicios Kubernetes 'NodePort' y BGP con Calico CNI para la visibilidad de servicios de contenedores (StarlingX, 2024a).

Redes Adicionales: Incluyen redes para la exposición de servicios Kubernetes, redes de datos para aplicaciones y redes IPMI para interfaces de gestión del hardware, así como redes PxeBoot para arranque en red de nodos (StarlingX, 2024a).

Cada uno de estos componentes juega un papel crucial en la configuración y operación del entorno StarlingX, garantizando alta disponibilidad, baja latencia, y una gestión eficiente de recursos a lo largo del ciclo de vida de la infraestructura en el Edge (StarlingX, 2024a).

3.3.2 Opciones para desplegar StarlingX

Considerando que el enfoque trata sobre Edge Computing, es importante mencionar que, según la documentación (StarlingX, 2024b), se provee de tres funciones importantes denominadas Controller, Workers y Storage, los cuales cuentan con cuatro opciones de configuración para realizar el despliegue de los nodos Edge, que son:

- **All-in-one Simplex:** Es un sólo servidor que provee de las tres funciones del nodo.

- All-in-one Dúplex: Son dos servidores con Alta Disponibilidad que ejecutan las tres funciones del nodo.
- Estándar con clúster de almacenamiento en nodos de controlador: Consiste en un controlador de Alta Disponibilidad junto a un clúster de almacenamiento.
- Estándar con clúster de almacenamiento en nodos de almacenamiento dedicados: Consiste en un clúster de dos nodos de Alta Disponibilidad con un clúster de almacenamiento Ceph.

Se tomarán en cuenta aquellas configuraciones que cumplan con los requerimientos de Alta Disponibilidad, Alta Concurrencia y también que vaya en línea con la función definida en la Identificación de la Organización, que consiste en la recolección y procesamiento de la información para brindar resultados que interesen a los usuarios finales

3.4 Metodología del Prototipo

Esta investigación utiliza la metodología de prototipado para el desarrollo de la infraestructura de Edge Computing destinada al procesamiento de datos obtenidos de dispositivos IoT. “La metodología de prototipado está relacionada con la mejora continua y el Ciclo de Deming, que consiste en un proceso iterativo enfocado en diseñar, implementar, medir y ajustar un plan” (Gerea, 2021). Se adopta como el enfoque principal debido a su capacidad para proporcionar un marco flexible e iterativo que permite la experimentación, validación y refinamiento de la solución propuesta.

Lantz (1985) define las siguientes fases para la metodología del prototipado:

- Determinar viabilidad.
- Estudiar el sistema actual.
- Definir el prototipo.

- Construir el prototipo.
- Ejercitar el prototipo.
- Convertir e instalar.

Estas fases proporcionan un marco estructurado para el desarrollo de prototipos, lo que permite una implementación efectiva y una mejora continua de la solución.

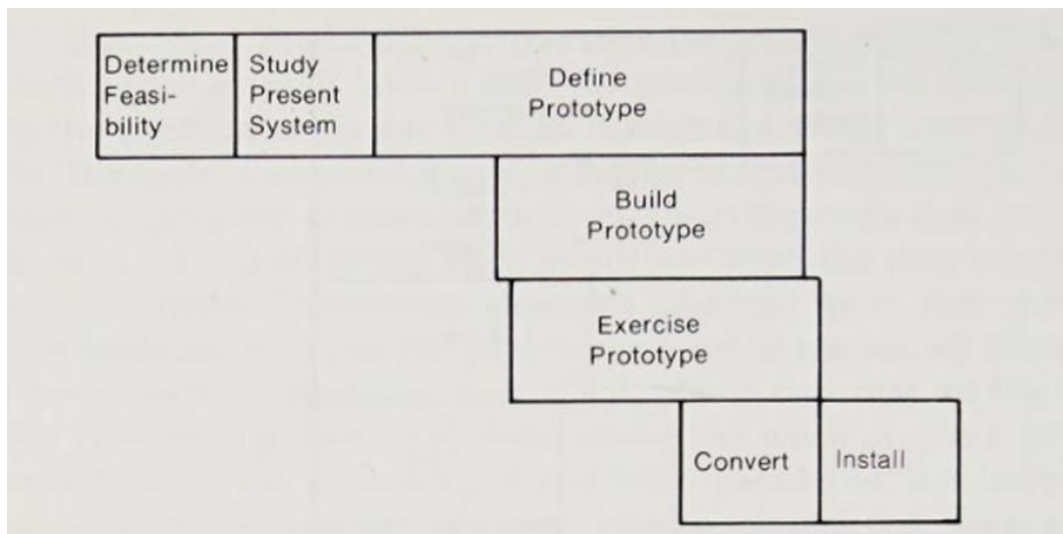


Ilustración 4. Nueva forma de ver el enfoque del proyecto de creación de prototipos. Imagen obtenida de (Lantz, 1985).

3.4.1 Determinar viabilidad

Para abordar la determinación de la viabilidad en nuestro proyecto, nos basamos en la observación de Lantz (1985) señala que "la determinación de viabilidad difiere dependiendo de si se toma la determinación en solitario, o en conjunto con el usuario solicitante, o si un comité de planificación de sistemas de información separado toma la determinación" (p.46). En nuestro caso, la determinación de la viabilidad del proyecto se realiza internamente, utilizando nuestro conocimiento técnico y los recursos disponibles, se hará un análisis de la viabilidad técnica y económica.

3.4.2 Estudiar el Sistema Actual

Al hablar del sistema actual nos referimos a la situación actual o el estado de la infraestructura de Edge Computing y el procesamiento de datos de dispositivos IoT en el sector de transporte y logística en El Salvador. Para estudiar este sistema utilizaremos las metodologías de investigación social propuestas por (Corbetta, 2007).

3.4.3 Definir el prototipo

La definición del prototipo es un paso esencial en el proceso de desarrollo de la infraestructura de Edge Computing para el procesamiento de datos de dispositivos IoT. Definir el prototipo se basa en el principio fundamental de "Conozca lo que va a hacer antes de hacerlo" (Lantz, 1985, pág. 90). Al definir un prototipo, es crucial comprender tanto su propósito como su implementación. Lantz (1985) señala que:

La definición del prototipo tiene dos partes distintas: qué debería hacer el sistema y cómo debería hacerlo. La definición lógica describe las funciones y objetivos que el sistema debe cumplir, mientras que la definición física, también conocida como diseño físico, detalla cómo se llevarán a cabo estas funciones (p. 90).

Este enfoque dual garantiza que el prototipo esté claramente delineado en términos de sus metas y su ejecución, sentando así una base sólida para su desarrollo y construcción.

- **Definición lógica.**

En el contexto de nuestra infraestructura de Servicios Edge, la definición lógica implica la especificación de los tipos de datos que se recopilarán y procesarán en los nodos de Edge, y las interfaces de usuario que permitirán a los usuarios interactuar con la solución y acceder a la información relevante sobre el estado de su vehículo.

- **Definición física.**

La definición física del prototipo es el diseño del modelo inicial del prototipo. Esto incluirá la estructura y contenido de la base de datos, el flujo del sistema y otros aspectos técnicos relevantes para su implementación. Además, se detalla el esquema de red necesario para la infraestructura de Edge Computing, que permitirá la conectividad entre los dispositivos IoT y los nodos Edge, así como la comunicación entre los diferentes componentes de la solución.

3.4.4 Construcción del prototipo

En la fase de construcción del prototipo, según lo descrito por Lantz. (1985), se ensamblarán y describirán todos los componentes para su funcionamiento. En esta fase se describirá que el modelo inicial del prototipo será una maqueta que integre los dispositivos de IoT y los módulos de procesamiento de datos de la infraestructura de Edge Computing. Esta maqueta permitirá el flujo de datos entre los dispositivos IoT y los servicios Edge, así como el procesamiento de la información obtenida a través del escaneo OBD de los vehículos.

3.4.5 Ejercitar el prototipo

En la fase de ejercicio del prototipo, se pondrá a prueba la capacidad de la infraestructura de Edge Computing para procesar y gestionar eficientemente los datos de los dispositivos IoT. Como señala Lantz (1985), "Ejercitar un prototipo es probarlo, entrenar con él, modificarlo y expandirlo hasta que se convierta en el sistema."(p. 127). Esto implica la validación de la capacidad de la solución para ofrecer servicios Edge de manera efectiva, asegurando que los datos se procesen de manera rápida y confiable en el borde de la red.

3.4.6 Implementar la solución

La fase de implementación del prototipo implica la transformación de este en una solución funcional que esté lista para su operación. Según Lantz (1985), este proceso incluye la documentación final, las pruebas, la aceptación, la conversión y la instalación necesarias para garantizar que la solución esté completamente operativa. Esto significa que pasaría de ser un prototipo a algo plenamente integrado en el entorno de producción, capaz de funcionar de manera estable y cumplir con los requisitos establecidos por la organización, incluyendo su capacidad para adaptarse a las necesidades reales y optimizar los procesos previstos

Sin embargo, los alcances de esta investigación se limitan a la fase de prototipado, por lo que no se avanzará hacia la implementación completa de la solución. El enfoque estará en el diseño, desarrollo y evaluación del prototipo, sin llegar a su despliegue operativo final. Esto permite validar la viabilidad y funcionalidad en un entorno controlado, pero no abarca las etapas de conversión, instalación y operación en producción.

4 Metodología de la Investigación

La metodología de investigación se enfocó en analizar la viabilidad de implementar Computación en el Borde en dispositivos del Internet de las Cosas (IoT) dentro del sector logístico y de transporte de El Salvador. Para lograr una evaluación integral, se adoptó un enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos. Como plante Corbetta (2007), "los ejemplos de estudios que utilizan ambos enfoques son investigaciones basadas en una de las dos perspectivas, que se sirven de técnicas tomadas del otro enfoque, pero como instrumentación auxiliar y complementaria" (p. 61). De este modo, las encuestas proporcionaron datos cuantitativos clave sobre el nivel de adopción tecnológica y la disposición de las empresas a integrar tecnologías de Edge Computing en sus operaciones. Por su parte, la entrevista profundizó en las operaciones actuales de la empresa entrevistada, revelando cómo gestionan el mantenimiento de la flota terrestre y si emplean o no tecnología para la recopilación y procesamiento de datos de sus vehículos, así como los desafíos y oportunidades que enfrentan en este ámbito.

4.1 Enfoque cuantitativo

El enfoque cuantitativo en la investigación se centró en la recopilación de datos numéricos a través de encuestas para evaluar la viabilidad y preparación de las empresas para adoptar tecnologías de Edge Computing en el ámbito de IoT. Se midió el nivel de adopción tecnológica existente, la disposición para integrar nuevas soluciones, desafíos y beneficios percibidos. Este enfoque proporcionó una visión clara del estado actual de la adopción tecnológica en las empresas, lo que facilitó la identificación de necesidades y desafíos que existen en el sector para la implementación de la infraestructura de Edge Computing para IoT.

4.2 Enfoque cualitativo

El enfoque cualitativo de la investigación se centró en comprender en profundidad las prácticas operativas de las empresas, con énfasis en su gestión y el uso de tecnologías para el procesamiento de datos. Mediante una entrevista con el gerente de operaciones de Caez Logistics (Anexo D), se buscó comprender su perspectiva y experiencias en relación con la gestión actual del mantenimiento de la flota terrestre y el uso de tecnología para recopilar y procesar datos de sensores vehiculares en la empresa. La información obtenida complementó los datos cuantitativos recolectados mediante encuestas, ofreciendo una visión más clara de las necesidades y retos del sector logístico en el contexto local.

4.3 Población y muestreo

En esta investigación se consideró la población de empresas de logística y transporte en El Salvador, que consolidó un total de 214 empresas, obtenidas de listas publicadas en sitios web (Logística Latina, s.f.) (Anexo A). y en bolsas de trabajo (Computrabajo, s.f.) (Acción Trabajo, s.f.). Se utilizó un *muestreo subjetivo por decisión razonada*, el cual, según Corbetta (2007), implica "aplicar criterios racionales, sin recurrir nunca a la selección casual" (p. 289). De las 214 empresas identificadas, se determinaron 158 empresas que gestionan flotas de transporte terrestre, lo cual se alinea con nuestro caso de estudio. De este último grupo, se seleccionaron 7 empresas.

Dado que este tipo de muestreo no contempla la selección aleatoria de los participantes, no es factible determinar un margen de error ni una desviación estándar, ya que estos cálculos requieren técnicas de muestreo probabilístico. En el caso del muestreo subjetivo, las empresas se eligen deliberadamente con base en criterios establecidos, como señala Corbetta (2007).

Esto restringe la posibilidad de generalizar estadísticamente los hallazgos, pero asegura la obtención de datos específicos y pertinentes para los objetivos del estudio

Los criterios para la selección respondieron principalmente a la accesibilidad de las empresas para el investigador, priorizando aquellas con las que fue más factible establecer contacto directo y que ofrecieron mayor disposición para colaborar. Este enfoque permitió optimizar los recursos disponibles, facilitando tanto el acceso a la información como la recolección efectiva de datos.

A estas empresas se les realizaron encuestas a responsables de TI y gerentes de tecnología, y se llevó a cabo una entrevista con el gerente de operaciones de Caex Logistics. Esto permitió recopilar información detallada sobre la factibilidad de implementar una infraestructura de Edge Computing para la recolección y análisis de datos en tiempo real de los vehículos.

4.4 Instrumentos y técnicas de recolección de datos

4.4.1 Encuesta

Las encuestas se realizaron a través de Google Forms siguiendo un formato (Anexo B) y se enviaron a las empresas seleccionadas. Estas encuestas fueron diseñadas para recabar datos numéricos sobre la disposición y capacidad de las empresas para adoptar tecnologías de Edge Computing para el procesamiento de datos en el borde, ya que ninguna de ellas cuenta actualmente con una Infraestructura Edge. La información obtenida permitió comprender mejor el panorama del sector y guiar el desarrollo del prototipo de infraestructura de Edge Computing, asegurando que satisfaga las necesidades concretas que existen en las empresas encuestadas.

4.4.2 Entrevista semi-estructurada

La entrevista se realizó de forma virtual a través de la plataforma Google Meet, utilizando una guía de entrevista (Anexo C) que permitió explorar en profundidad la gestión actual del mantenimiento de la flota y el uso de tecnología en la recopilación y procesamiento de datos de sensores vehiculares. Esta metodología facilitó una discusión detallada sobre las experiencias del participante, identificando tanto los métodos empleados en la gestión de flotas como los desafíos y oportunidades que presenta la integración de nuevas tecnologías. La información recopilada fue fundamental para comprender cómo la infraestructura de Edge Computing podría optimizar el procesamiento de datos en tiempo real y mejorar la eficiencia operativa.

5 Análisis de Resultados

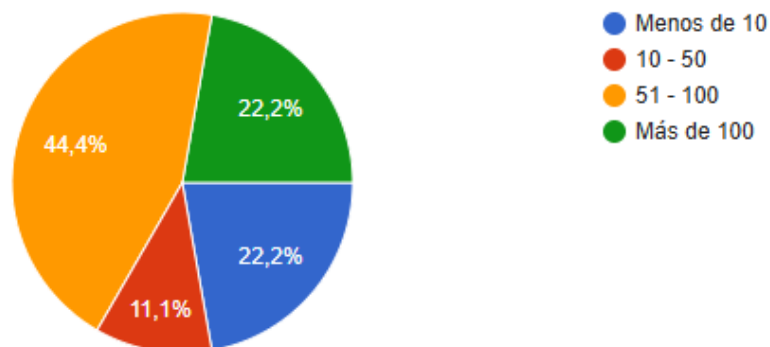
5.1 Análisis de resultados cuantitativos

Entre el 28 de septiembre y el 5 de octubre de 2024, se realizaron 9 encuestas a responsables de TI y gerentes de tecnología en las 7 empresas seleccionadas del sector logístico y de transporte en El Salvador. Estas encuestas, administradas a través de Google Forms, se diseñaron para recopilar información sobre la disposición y capacidad de las empresas para adoptar tecnologías de Edge Computing, considerando que ninguna de ellas contaba con infraestructura de este tipo. Los resultados obtenidos proporcionarán una visión más clara del panorama del sector y guiarán el desarrollo del prototipo de infraestructura de Edge Computing.

5.1.1 Pregunta 1: ¿Cuántos vehículos componen la flota de transporte terrestre?

¿Cuántos vehículos componen la flota de transporte terrestre?

9 respuestas



La distribución de las flotas de transporte entre las empresas encuestadas muestra una concentración significativa en la categoría de 51 a 100 vehículos, representando el 44.4% de

los encuestados. Esto sugiere que muchas de las empresas tienen una flota de tamaño mediano, lo cual podría indicar una capacidad operativa considerable, pero no necesariamente los recursos de las grandes flotas.

El hecho de que el 22.2% de las empresas tenga más de 100 vehículos también es significativo, ya que estas empresas pueden estar más abiertas a adoptar tecnologías avanzadas, como la Computación en el Borde, para mejorar la eficiencia operativa y optimizar la gestión de su flota.

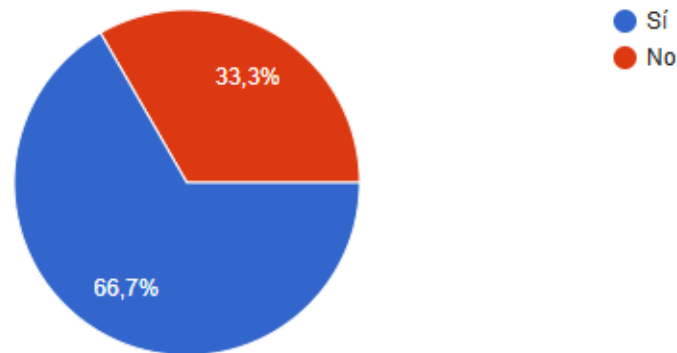
Por otro lado, el 11.1% de las empresas con flotas de 10 a 50 vehículos y el 22.2% con menos de 10 vehículos indican que hay una representación de empresas pequeñas en el sector. Estas empresas podrían estar más limitadas en términos de recursos y conocimiento sobre tecnologías emergentes, lo que puede influir en su disposición a adoptar soluciones basadas en la nube y Computación en el Borde.

Este análisis es relevante para la pregunta de investigación, ya que el tamaño de la flota puede influir en la viabilidad de implementar tecnologías basadas en la nube y en el borde. Las empresas con flotas más grandes podrían beneficiarse más de la recolección y procesamiento de datos en tiempo real, facilitando así una mejor toma de decisiones y optimización de recursos.

5.1.2 Pregunta 2: ¿Utiliza alguna tecnología para recopilar datos en tiempo real de los vehículos (por ejemplo, para monitorear ubicación o estado de mantenimiento)?

¿Utiliza alguna tecnología para recopilar datos en tiempo real de los vehículos (por ejemplo, para monitorear ubicación o estado de mantenimiento)?

9 respuestas



Los resultados muestran que una mayoría significativa de las empresas encuestadas (66.7%) utiliza alguna forma de tecnología para la recopilación de datos en tiempo real sobre sus vehículos. Esto sugiere que estas empresas ya están familiarizadas con la importancia de la tecnología en la gestión de flotas y podrían estar abiertas a adoptar nuevas soluciones que complementen o mejoren sus sistemas existentes.

Por otro lado, el 33.3% de las empresas que no utilizan tecnologías para la recopilación de datos en tiempo real indican una brecha en la adopción tecnológica dentro del sector. Esta falta de implementación podría ser un obstáculo para la optimización de la gestión de flotas, así como para la integración de tecnologías avanzadas como la Computación en el Borde.

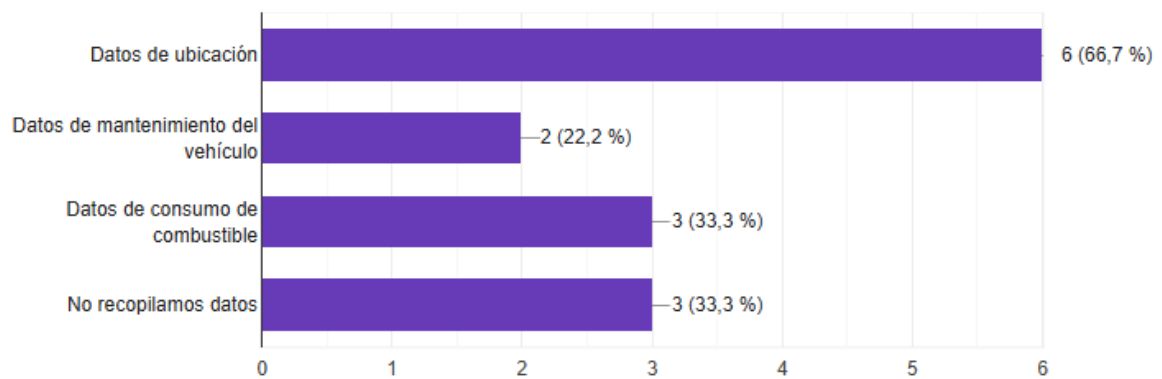
La capacidad actual de las empresas para recopilar datos en tiempo real es fundamental para evaluar la viabilidad de la implementación de tecnologías basadas en la nube y en el borde. Las empresas que ya utilizan tecnologías de recopilación de datos pueden

estar en una mejor posición para adoptar soluciones de Edge Computing, ya que es probable que ya tengan sistemas de monitoreo establecidos. Para aquellas empresas que no utilizan estas tecnologías, la investigación debe considerar los factores que limitan su adopción y cómo se puede facilitar el cambio hacia soluciones más avanzadas que optimicen la recolección y procesamiento de datos.

5.1.3 Pregunta 3: ¿Qué tipo de datos se recopilan actualmente?

¿Qué tipo de datos se recopilan actualmente?

9 respuestas



Los datos revelan que la mayoría de las empresas (66.7%) se centran en la recopilación de datos de ubicación, lo que es esencial para la gestión y seguimiento de flotas. Este enfoque en la ubicación sugiere que las empresas priorizan el monitoreo de la ubicación de sus vehículos para optimizar rutas y mejorar la eficiencia operativa.

Sin embargo, solo un 22.2% de las empresas están recopilando datos relacionados con el mantenimiento del vehículo. Esto indica que existe una oportunidad para mejorar la gestión del mantenimiento, ya que la recopilación de estos datos puede ayudar a prevenir problemas y reducir costos operativos a largo plazo.

Además, un 33.3% de las empresas reportan que no están recopilando datos en absoluto. Esto es preocupante, ya que indica que un segmento significativo de la población empresarial no está aprovechando la capacidad de recolectar datos que podrían ser cruciales para mejorar sus operaciones.

La naturaleza de los datos actualmente recopilados por las empresas tiene implicaciones directas para la viabilidad de implementar tecnologías de Edge Computing. La recolección de datos de ubicación establece una base sólida para introducir tecnologías que permitan un procesamiento más cercano a la fuente de los datos. Sin embargo, la baja recolección de datos de mantenimiento y el hecho de que un tercio de las empresas no recopilen datos en absoluto representan desafíos significativos. Para que la Computación en el Borde sea efectiva, las empresas deben comenzar a ver el valor en la recopilación de datos más allá de la ubicación, lo que podría facilitar el procesamiento y análisis en tiempo real de manera más efectiva.

5.1.4 Pregunta 4: ¿Cómo se gestionan actualmente los datos recogidos de la flota de transporte?

¿Cómo se gestionan actualmente los datos recogidos de la flota de transporte?

9 respuestas



Los resultados muestran una distribución equilibrada en la gestión de datos, donde un 22.2% de las empresas utilizan servidores locales, la nube y proveedores externos para la

gestión de sus datos. Sin embargo, la ausencia de empresas que gestionan sus datos en una combinación de servidores locales y la nube es notable. Esto podría sugerir que las empresas están eligiendo una estrategia de gestión de datos más clara, optando por una única opción en lugar de una solución híbrida.

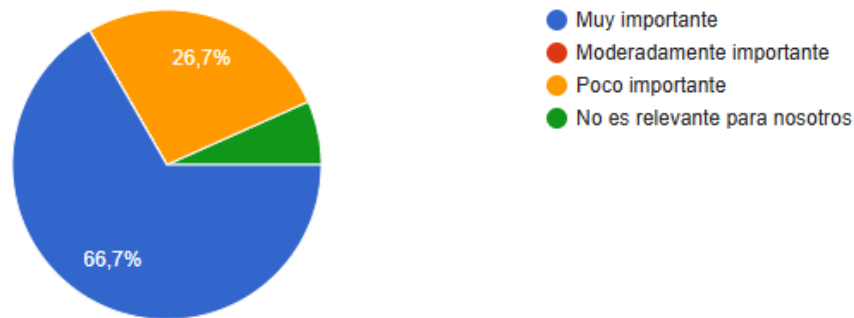
El hecho de que un 33.3% de las empresas no estén recopilando datos es preocupante, ya que impide cualquier tipo de gestión de datos y limita la capacidad para implementar tecnologías de Edge Computing que dependen de la recopilación de información en tiempo real.

La forma en que las empresas gestionan actualmente sus datos es crucial para evaluar la viabilidad de implementar tecnologías basadas en la nube y Edge Computing. La existencia de diferentes métodos de gestión indica que hay diversas infraestructuras en juego, lo que puede influir en la adopción de nuevas tecnologías. Las empresas que utilizan servidores locales o proveedores externos pueden enfrentar desafíos de integración al considerar soluciones de Edge Computing, ya que podrían necesitar modernizar su infraestructura para facilitar el procesamiento y análisis de datos en tiempo real. La falta de una estrategia de recopilación de datos también plantea un obstáculo significativo, ya que, sin datos confiables y disponibles, la efectividad de las soluciones de Edge Computing se ve comprometida.

5.1.5 Pregunta 5: ¿Qué tan importante es para la empresa procesar los datos de sus vehículos en tiempo real (por ejemplo, para mejorar la eficiencia o reducir costos)?

¿Qué tan importante es para la empresa procesar los datos de sus vehículos en tiempo real (por ejemplo, para mejorar la eficiencia o reducir costos)?

9 respuestas



Los resultados indican que una gran mayoría de las empresas encuestadas (66.7%) considera que es "muy importante" procesar los datos de sus vehículos en tiempo real. Esta percepción resalta una clara conciencia sobre la necesidad de optimizar las operaciones, mejorar la eficiencia y reducir costos a través de la recolección y análisis de datos instantáneos.

Por otro lado, el 26.7% de los encuestados opina que este procesamiento es "poco importante," lo que podría reflejar una variabilidad en la comprensión de los beneficios de la tecnología o una falta de urgencia en su implementación. La respuesta del 6.7% que señala que no es relevante sugiere que hay un grupo minoritario que no percibe un valor tangible en el procesamiento de datos en tiempo real.

La ausencia de respuestas en la categoría "moderadamente importante" sugiere que las empresas están polarizadas en su percepción, con una clara mayoría que reconoce la importancia de esta práctica.

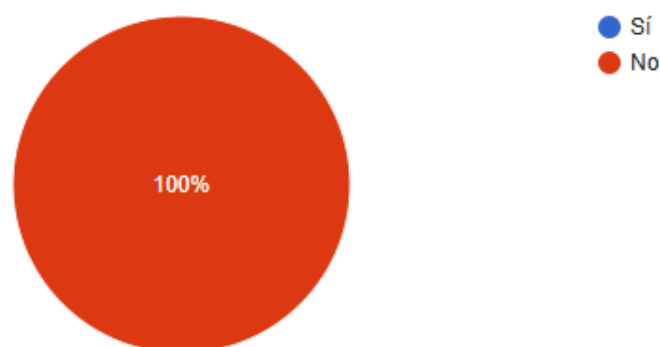
El reconocimiento de la importancia del procesamiento de datos en tiempo real es crucial para evaluar la viabilidad de implementar tecnologías de Edge Computing. Dado que más de dos tercios de los encuestados consideran este aspecto como "muy importante," hay un potencial significativo para la adopción de soluciones que faciliten la recolección y análisis de datos en tiempo real. Sin embargo, para maximizar esta viabilidad, será esencial abordar las percepciones de aquellas empresas que no consideran esta práctica como relevante, lo cual podría implicar una necesidad de sensibilización y educación sobre los beneficios de la Computación en el Borde y su impacto en la eficiencia operativa y la reducción de costos.

5.1.6 Pregunta 6: ¿Está familiarizado con el concepto de Edge Computing?

¿Esta familiarizado con el concepto de edge computing?

Nota: Edge computing permite procesar datos localmente, cerca de donde se generan, en lugar de depender completamente de una nube centralizada. Esto puede mejorar la velocidad de respuesta y reducir el uso de ancho de banda.

9 respuestas



Los resultados indican que ninguna de las empresas encuestadas estaba familiarizada con el concepto de Edge Computing antes de participar en la encuesta. Esta falta de

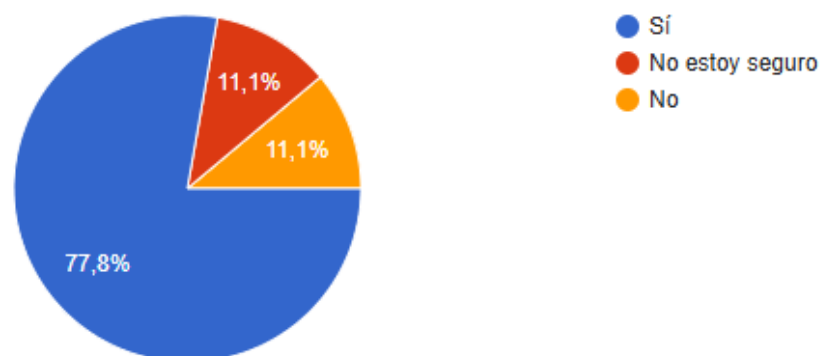
conocimiento sugiere que existe una brecha significativa en la comprensión de esta tecnología emergente dentro del sector logístico y de transporte en El Salvador.

La falta de familiaridad con Edge Computing plantea un desafío para la investigación sobre la viabilidad de implementar tecnologías de este tipo. Sin una comprensión básica del concepto y sus ventajas, las empresas pueden ser renuentes a considerar la adopción de infraestructuras que faciliten la recolección y el procesamiento de datos en tiempo real. Esto sugiere que, para que la implementación sea factible, será crucial no solo presentar casos de uso claros y relevantes, sino también proporcionar formación y recursos que permitan a las empresas entender cómo estas tecnologías pueden mejorar sus operaciones y la eficiencia en la gestión de datos.

5.1.7 Pregunta 7: Si no está familiarizado, ¿estaría interesado en conocer más sobre soluciones tecnológicas que podrían ayudar a procesar los datos de su flota más rápido y con menos dependencia de la nube?

Si no está familiarizado, ¿estaría interesado en conocer más sobre soluciones tecnológicas que podrían ayudar a procesar los datos de su flota más rápido y con menos dependencia de la nube?

9 respuestas



Los resultados indican un alto interés entre las empresas encuestadas en aprender más

sobre soluciones tecnológicas que les permitan procesar los datos de su flota de manera más eficiente, con menos dependencia de la nube. Con un 77,8% de los encuestados mostrando disposición para conocer más, hay una clara apertura hacia la educación sobre tecnologías emergentes.

Este interés sugiere que, a pesar de la falta de familiaridad con el concepto de Edge Computing, las empresas reconocen la necesidad de mejorar sus procesos de manejo de datos. Esta disposición podría facilitar la implementación futura de tecnologías que optimicen la recolección y el procesamiento de datos en tiempo real.

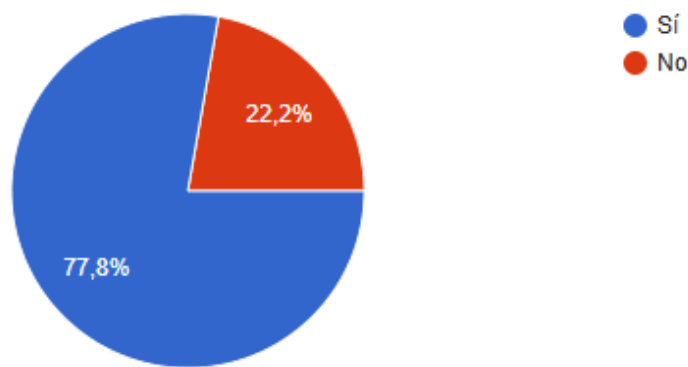
El 11,1% de los encuestados que se encuentran en un estado de incertidumbre acerca de su interés puede requerir información adicional o ejemplos concretos de cómo estas soluciones podrían impactar positivamente su operación para tomar una decisión más informada. Del mismo modo, el otro 11,1% que respondió "no" sugiere que hay resistencia o falta de interés en explorar nuevas tecnologías, lo que podría requerir un enfoque específico para abordar sus preocupaciones o percepciones.

El interés en aprender más sobre soluciones tecnológicas es alentador en el contexto de la pregunta de investigación sobre la viabilidad de implementar tecnologías de Edge Computing. Un mercado receptivo y curioso podría facilitar la adopción de estas tecnologías, lo que a su vez podría mejorar la recolección temprana de datos y su procesamiento, cumpliendo así el objetivo de proporcionar información oportuna a los usuarios finales. Esto subraya la importancia de la educación y la divulgación en la promoción de tecnologías basadas en la nube y Edge Computing en el sector logístico.

5.1.8 Pregunta 8: ¿Estaría dispuesto a participar en un proyecto piloto para probar tecnologías que permitan el procesamiento de datos en tiempo real, como el Edge Computing, y evaluar su impacto en la operación de su flota?

¿Estaría dispuesto a participar en un proyecto piloto para probar tecnologías que permitan el procesamiento de datos en tiempo real, como el edge computing, y evaluar su impacto en la operación de su flota?

9 respuestas



Los resultados de esta pregunta reflejan una alta disposición por parte de las empresas encuestadas para involucrarse en un proyecto piloto que implemente tecnologías de procesamiento de datos en tiempo real, como el Edge Computing. Un 77,8% de los participantes se mostraron positivos, lo que sugiere un interés significativo en experimentar con nuevas soluciones que podrían mejorar sus operaciones. Este nivel de interés es crucial para la implementación efectiva de proyectos innovadores, ya que la participación de las empresas es esencial para evaluar la efectividad y adaptabilidad de nuevas tecnologías en entornos reales.

Por otro lado, el 22,2% que no estaría dispuesto a participar puede reflejar una serie de preocupaciones, como el temor a la inversión de recursos sin garantías de éxito o la incertidumbre sobre el impacto de estas tecnologías en sus operaciones. Esta respuesta también podría indicar una falta de comprensión sobre el valor que el Edge Computing puede

aportar, lo que podría abordarse a través de campañas de sensibilización y educación sobre los beneficios y el funcionamiento de estas tecnologías.

La disposición a participar en un proyecto piloto está directamente relacionada con la pregunta de investigación sobre la viabilidad de las tecnologías basadas en la nube y el Edge Computing para la recolección y procesamiento de datos. La voluntad de probar estas soluciones en un entorno controlado sugiere que las empresas están abiertas a explorar formas de mejorar sus operaciones y facilitar la toma de decisiones informadas. Esta actitud proactiva puede facilitar la implementación futura de tecnologías que optimicen la gestión de flotas y permitan a las empresas beneficiarse de la agilidad y la eficiencia que ofrecen estas innovaciones.

5.1.9 Conclusión

Los resultados de la encuesta indican que existe un interés y una disposición significativa por parte de las empresas para adoptar tecnologías que faciliten el procesamiento de datos en tiempo real. Sin embargo, la falta de familiaridad con el Edge Computing y la baja recolección de ciertos tipos de datos son barreras que deben abordarse para maximizar la viabilidad de estas soluciones.

Es esencial que se implemente un programa de sensibilización y educación sobre el Edge Computing y su valor potencial en la optimización de operaciones logísticas. Al abordar las preocupaciones y la falta de comprensión de las empresas, se puede facilitar la adopción de estas tecnologías emergentes

5.2 Análisis de resultados cualitativos

- **Gestión del mantenimiento de la flota:** La empresa utiliza un sistema tradicional para el control del mantenimiento, basado en un calendario para determinar las fechas de los mantenimientos y una libreta de registro diario. Los conductores anotan incidencias, que son firmadas y confirmadas, y la libreta se desecha una vez completada. Aunque se han digitalizado algunos procesos, el uso de la libreta sigue siendo esencial. Esto indica una resistencia al cambio que podría dificultar la implementación de soluciones de Edge Computing, que requieren una infraestructura digital más robusta.
- **Consideraciones para la digitalización:** Hay interés en implementar una solución automatizada que mejore la eficiencia y reduzca errores, pero se reconocen las dificultades para realizar un cambio abrupto. Esta situación plantea un reto, ya que la adopción de tecnologías de Edge Computing podría mejorar la recolección y procesamiento de datos, pero dependerá de la capacidad de la empresa para adaptarse a un cambio gradual.
- **Tecnología en los vehículos:** Los camiones están equipados con GPS, un sensor para el freno de mano, un sensor para el cinturón de seguridad, un sensor para la puerta de carga y también una cámara de tráfico, que monitorean el uso adecuado del vehículo por parte del conductor. Sin embargo, la información se procesa al final del día cuando envían la información del camino a la nube en Azure, limitando la capacidad de reacción ante incidencias. Esto resalta una oportunidad para el Edge Computing, que permite el procesamiento en tiempo real y podría facilitar decisiones más rápidas y eficientes.
- **Procesamiento en tiempo real:** A pesar de que no se procesa información en tiempo real actualmente, existe un reconocimiento del potencial beneficio de

hacerlo en el futuro, a pesar de las limitaciones de recursos. Esta apertura hacia el procesamiento en tiempo real es un indicativo de que la implementación de Edge Computing podría ser factible y deseable, mejorando así la capacidad de respuesta operativa.

- **Aplicaciones y Rastreo:** La empresa ha implementado un sistema de GPS que permite el seguimiento en tiempo real de la ubicación de los vehículos, lo que brinda a los clientes la capacidad de ver dónde se encuentra cada camión. Sin embargo, esta información no es completamente precisa, lo que podría limitar la percepción de transparencia en la gestión de la flota. La integración de una solución de Edge Computing podría mejorar la eficiencia del rastreo al optimizar la recopilación y el análisis de datos en tiempo real, lo que resultaría en una ubicación más precisa de los vehículos.
- **Operaciones de la Terminal Portátil:** Los conductores emplean una terminal portátil para registrar su jornada laboral, escanear paquetes y gestionar tiempos de descanso. Se registra la hora de entrada y salida, así como cualquier incidencia. Este uso de tecnología, aunque básico, sugiere un camino hacia la digitalización completa. La integración de Edge Computing podría optimizar la gestión de estos procesos, permitiendo una recolección y procesamiento de datos más eficiente.
- **Consumo de Combustible:** A pesar de llevar un control del combustible, no se evalúa en detalle el rendimiento de cada conductor. El conocimiento general sobre el consumo en función de las rutas no permite una optimización efectiva. La implementación de tecnologías de Edge Computing podría ofrecer análisis más profundos sobre el consumo de combustible, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo costos.

5.2.1 Conclusión

La entrevista revela una estructura operativa que combina métodos tradicionales con esfuerzos de la digitalización. Aunque se reconoce la importancia del procesamiento de datos en tiempo real, la implementación de nuevas tecnologías enfrenta desafíos de recursos y resistencia al cambio. La información recopilada subraya la necesidad de una infraestructura de Edge Computing que mejore la gestión de flotas y permita una supervisión más eficiente, al integrar sensores IoT en los vehículos, se podría monitorear continuamente el estado y el rendimiento de la flota, optimizando rutas, reduciendo costos operativos y mejorando la seguridad.

6 Desarrollo del Prototipo

6.1 Herramientas Utilizadas

La solución consiste en una infraestructura de nube dedicada a proveer servicios en el borde orientados a dispositivos del internet de las cosas.

Durante el análisis y diseño se han seleccionado herramientas y configuraciones contribuyan al alcance de los requerimientos de alta disponibilidad y mínimo uso de recursos, además de que vaya en línea con la recolección y procesamiento de la información necesarias, específicos del contexto del caso de estudio.

6.1.1 KVM

Es un módulo del núcleo Linux que permite convertir el sistema operativo en un hipervisor de tipo 1, el tipo de hipervisor que permite el acceso nativo al hardware. KVM se utilizará en conjunto con Qemu, que permite emular muchos dispositivos de hardware, además de Libvirt, el programa de interfaz gráfica de usuario Virt-Manager (Virtual Machine Manager) y virsh para su gestión en interfaz de línea de comandos. KVM se utilizará para el despliegue de máquinas virtuales sobre las que se instalará la infraestructura de nube de StarlingX.

6.1.2 Ubuntu

Ubuntu es una distribución basada en Debian GNU/Linux, es la distribución más ampliamente utilizada de GNU/Linux, teniendo muy buen soporte y facilidad de uso. Para el presente trabajo se utilizará como sistema operativo anfitrión o «host» para el despliegue de

las máquinas virtuales con KVM y qemu. Las versiones que se usarán serán Ubuntu 22.04 o 24.04, sin embargo, es posible usar cualquiera versión no menor a la 16.04.

6.1.3 StarlingX

StarlingX es una pila de software para el despliegue de una infraestructura especializada en la Computación en el Borde de la nube, utilizada para las aplicaciones más demandantes en el internet de las cosas, las telecomunicaciones, la distribución de video, entre otros casos de uso que requieren latencias muy bajas. StarlingX es la solución sobre la que implementaremos nuestra infraestructura de nube de borde, pues está específicamente creada para ese escenario.

6.1.4 Kubernetes

Kubernetes, también conocido como K8s, es una plataforma distribuida para automatizar el despliegue, escalamiento y la gestión de aplicaciones en contenedores. Kubernetes puede instalarse en una o un clúster de computadoras, ya sean máquinas virtuales o hardware, que pueden ejecutar cargas de trabajo en contenedores. Será sobre Kubernetes que montaremos nuestros servicios orientados a IoT.

6.1.5 OpenStack

OpenStack es un conjunto de componentes de software que proporcionan una infraestructura de nube para la provisión de infraestructura como servicio, dentro de StarlingX es desplegado mediante el uso de contenedores. Tiene una arquitectura modular, donde cada módulo provee servicios especializados como computación, almacenamiento y redes, entre otros. Los servicios de OpenStack, como Nova (servicio de computación), Cinder

(servicio de almacenamiento), y Neutron (servicio de redes), se ejecutan en contenedores que son gestionados por Kubernetes.

6.1.6 Ceph

Ceph es un sistema de almacenamiento distribuido que provee almacenamiento de objetos, almacenamiento en bloques y almacenamiento de archivos, es software libre y de código abierto. Ceph nos permitirá guardar de manera segura y persistente los datos que son producidos por los dispositivos IoT.

6.1.7 CentOS

CentOS es una distribución de GNU/Linux, esta es un clon binario de Red Hat Enterprise Linux (RHEL). El sistema lo compila la comunidad basada en el código fuente que libera Red Hat, como lo requiere la Licencia Pública de GNU. CentOS es el sistema operativo de las máquinas virtuales sobre el que corre la plataforma de StarlingX, que implementaremos para la solución.

6.1.8 Python

Python es un lenguaje de programación de alto nivel muy popular, su uso es multipropósito, y posee otras características como multiparadigma, interpretado y de código abierto. Es ampliamente utilizado en diversas aplicaciones como la creación de sitios web y aplicaciones de escritorio, aprendizaje automático, automatización tareas, análisis numérico y el análisis de macrodatos.

6.1.9 Flask

Flask es un microframework de Python que permite la creación de aplicaciones web de forma rápida y con un número mínimo de líneas de código. Flask es de utilidad porque nos permite desplegar un servidor web mínimo, de forma muy fácil y al mismo tiempo utilizar el gran número de bibliotecas que Python posee.

6.1.10 Python-OBDD

Es una biblioteca de Python que permite manejar datos provenientes de un puerto OBD II conectado a un equipo. Está diseñado para trabajar con el tipo de adaptador estándar ELM237 para OBD II. Esta biblioteca nos permite procesar los datos provenientes de la conexión a un vehículo mediante la interfaz ELM327, dichos datos se transmiten a la aplicación que se ejecuta en la infraestructura de nube, comunicándose mediante la red, la cual se encarga de incorporarlos, almacenarlos y mostrarlos al usuario.

6.1.11 ELM327-emulator

Una biblioteca de Python que permite emular en un computador la conexión de un adaptador ELM327 de OBD II conectado a un vehículo. Puede ser usado para el desarrollo de software en sustitución de un adaptador real conectado a un vehículo, para aplicaciones que utilizan información proveniente de vehículos con OBD II.

6.1.12 Grafana

Es una herramienta de software libre y de código abierto utilizada para el análisis de datos mediante gráficos. Utilizaremos esta herramienta para desplegar gráficos de los datos almacenados de los sensores.

6.1.13 Raspberry pi

Es un computador de placa única de tamaño muy pequeño, ejecuta un procesador de arquitectura ARM. Lo usaremos como nodo de borde para el envío de los datos obtenidos desde el emulador ELM327-emulador o desde sensores reales hacia la infraestructura de nube de StarlingX.

6.2 Diseño

6.2.1 Arquitectura del sistema.

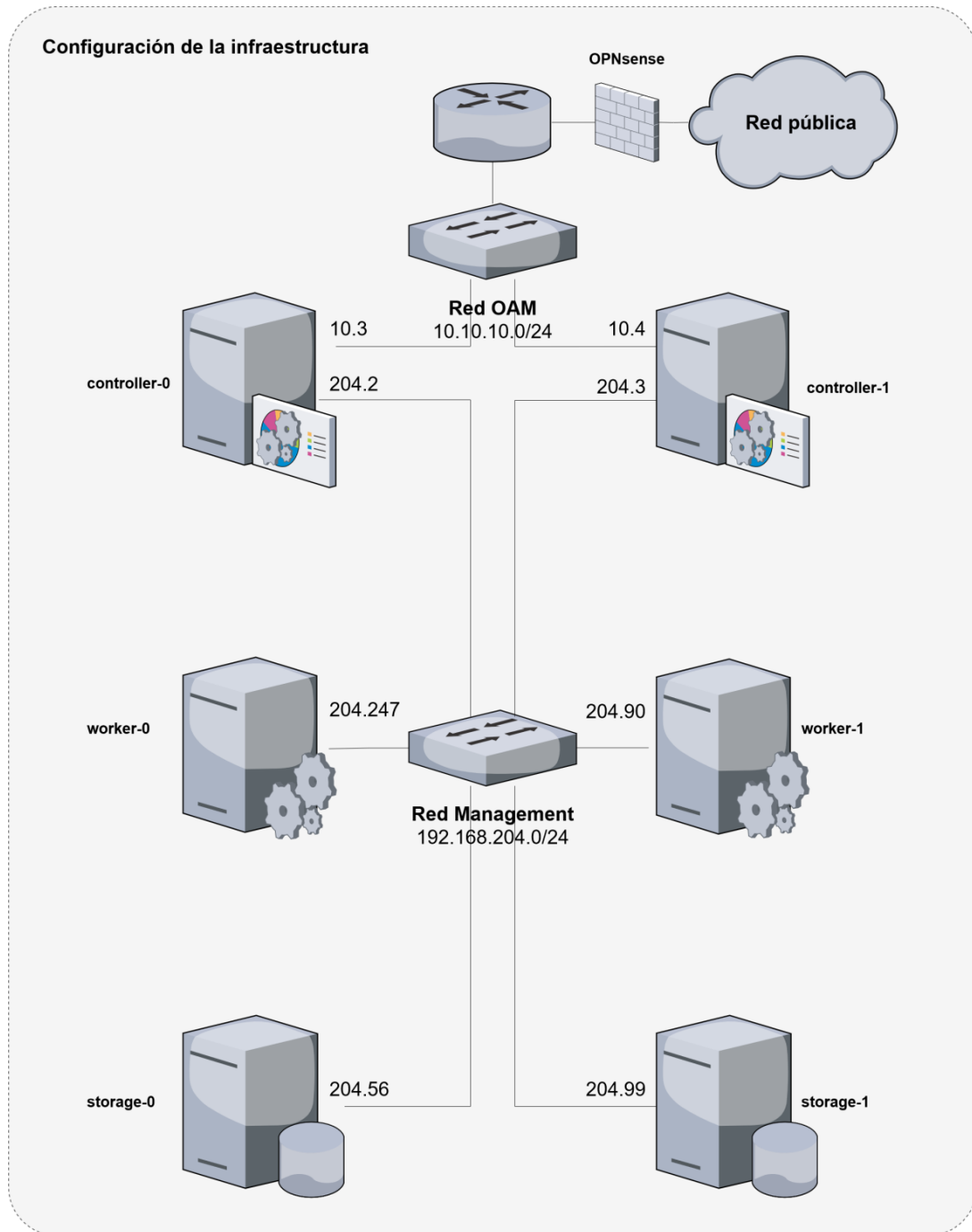


Ilustración 5. Arquitectura del prototipo. Imagen de autoría propia.

6.2.2 Topología

A continuación, se describen las redes dentro de la topología de red.

6.2.2.1 Red de operaciones, administración y mantenimiento (OAM).

es una red dedicada a la gestión de la plataforma. Por ella se da el tráfico relacionado con la administración, operación de la infraestructura y su mantenimiento, como la configuración, monitoreo y tareas de mantenimiento. Es una red IPv4 en el segmento privado 10.10.10.0/24, de la cual forman parte solo los nodos con la personalidad de controller.

6.2.2.2 Red de gestión (management).

Es la red utilizada para la comunicación interna entre los componentes del clúster. Mientras que la red OAM está destinada a tareas administrativas externas y de mantenimiento, la red de gestión se encarga de las comunicaciones internas entre los nodos y los servicios de la plataforma. Es una red IPv4 en el segmento privado 192.168.204.0/24, de la cual forman parte todos los nodos de la infraestructura.

Los componentes de la configuración se configuraron según la documentación del despliegue (Documento LLD en Anexos).

6.2.3 Descripción de los componentes y requerimientos.

Para los seis nodos empleados en la infraestructura se especifican sus características.

- **Controller-0**

Desempeñan un papel fundamental en el clúster se encarga de la gestión y operación de este, Ejecutan demonios correspondientes al plano de control de Kubernetes, servicios de OpenStack como Identity, Nova, Horizon.

- **Controller-1**

Este nodo está inactivo mientras controller-0 esté activo, su propósito es proveer redundancia y alta disponibilidad, por lo que si el controller activo falla, este tomará el control automáticamente para evitar interrupciones en los servicios.

- **Nodos worker**

Estos nodos son dos en nuestra configuración y ejecutan las cargas de trabajo de contenedores o máquinas virtuales. En el caso del worker-1 también ejecuta una tercera instancia del demonio ceph monitor.

- **Nodos storage**

Estos nodos son dos en nuestra configuración y se desempeñan como nodos OSD (Object Storage Daemon) de Ceph, con un factor de replicación de dos, para proveer almacenamiento persistente y distribuido para máquinas virtuales o contenedores.

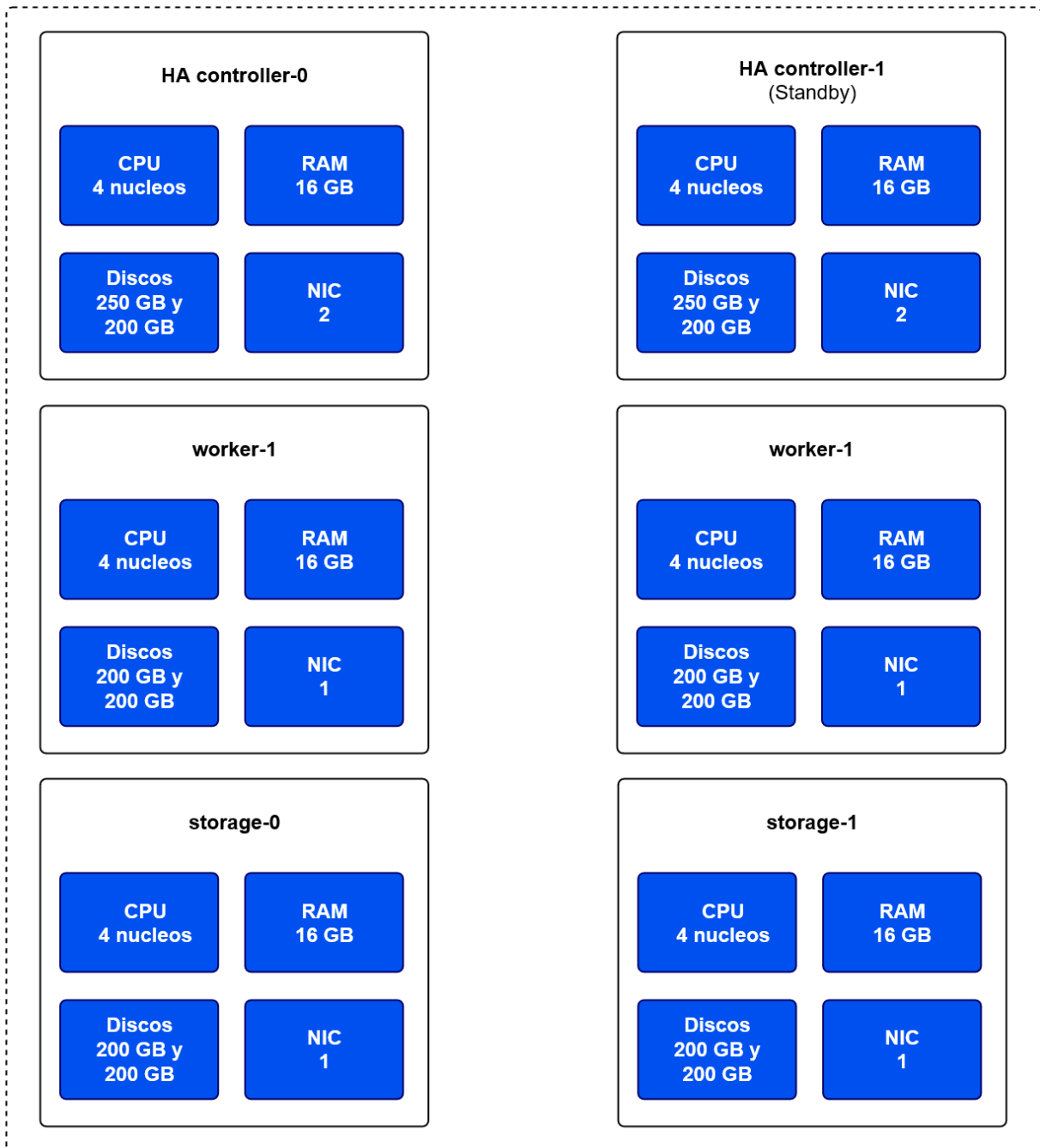


Ilustración 6. Requerimientos de hardware en cada nodo. Imagen de autoría propia.

7 Caso de estudio

Existen un vasto abanico de potenciales usos para la Computación en el Borde. En este trabajo, se ha optado por orientar el caso de estudio al sector del transporte.

Los vehículos más recientes suelen venir equipados con una gran variedad de sensores ubicados en muchos lugares estratégicos dentro del vehículo, desde donde se miden diferentes magnitudes físicas que permiten determinar el desempeño de los distintos sistemas que conforman el automóvil. Estos sensores junto con el uso de equipos capaces de leer los datos usando el protocolo de comunicación OBD II posibilitan la obtención información los vehículos en tiempo real.

Para realizar el caso de estudio se ha hecho uso de la infraestructura de nube de borde descrita a detalle en la sección anterior, prototipo, en la cual se han implementado servicios de almacenamiento y procesamiento de los datos que se leen desde los sensores alojados en los vehículos, así como para su análisis.

En cada vehículo, del que se lleve seguimiento, reside un dispositivo, que podría ser Raspberry Pi u otro equipo similar, que ejecuta un programa encargado mandar los datos en tiempo real del vehículo a través de la red hacia el servicio central alojado en la infraestructura Edge. En nuestro caso, para esto usamos un dispositivo Raspberry PI, que mediante un emulador sustituye la conexión física a un vehículo o mediante la conexión de sensores a la Raspberry para la obtención de datos. Mientras, en la infraestructura existe el servicio central que tiene la labor de gestionar los vehículos bajo seguimiento y recibir las solicitudes de los vehículos de que los que se lleve seguimiento para incorporar los datos y presentarlos en una interfaz web, además de almacenarlos. Y un servicio para el monitoreo en vivo de los datos de los vehículos.

Los nodos en este escenario se comportarán tanto como clientes y servidores, como en una red entre iguales. Los dispositivos en el vehículo extraen los datos, los mandan y responde peticiones del servicio principal para configurar su autenticación. Mientras que los servicios en la nube de StarlingX responden a peticiones de los usuarios que desea monitorear los vehículos o gestionarlos. El escenario que se describe se ilustra a continuación.

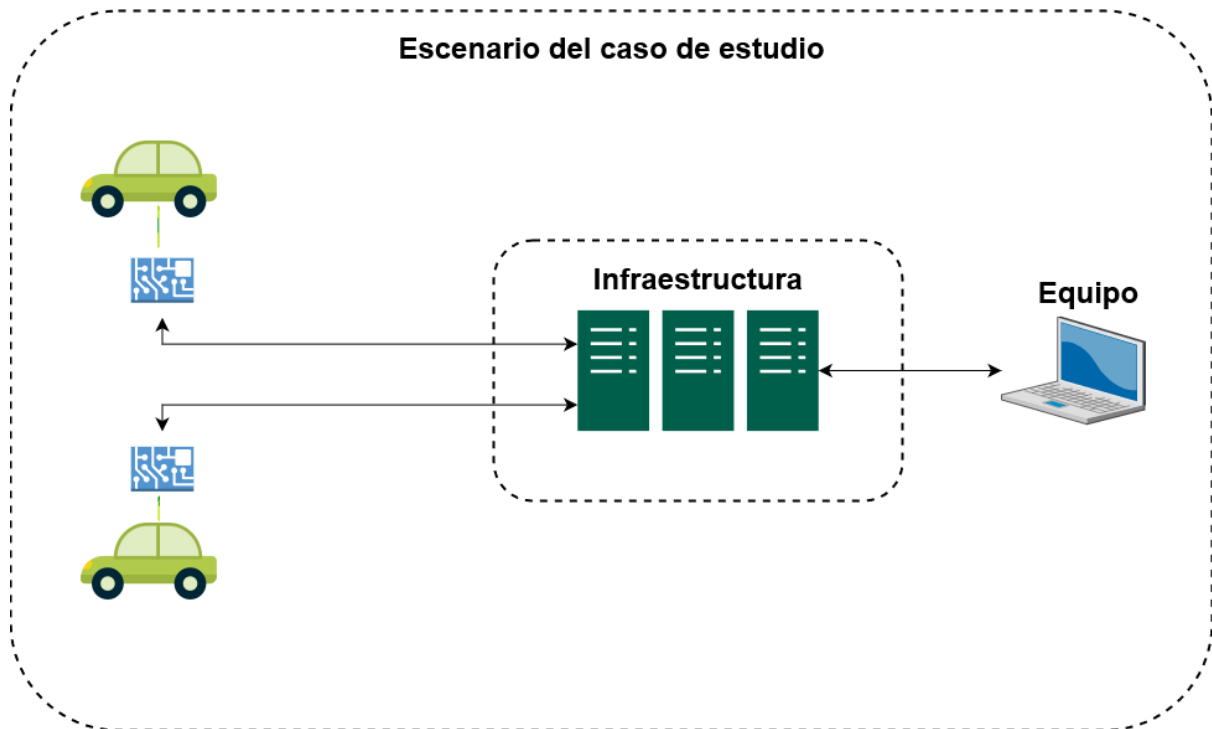


Ilustración 7. Escenario del caso de estudio. Imagen de autoría propia.

A continuación, se muestra un diagrama que modela en un alto nivel el recorrido de los datos desde el escenario donde se extraen de los sensores por parte de los nodos de borde hasta los servicios en la infraestructura de nube y el camino que recorren cuando un equipo de consumo de utiliza dichos servicios.

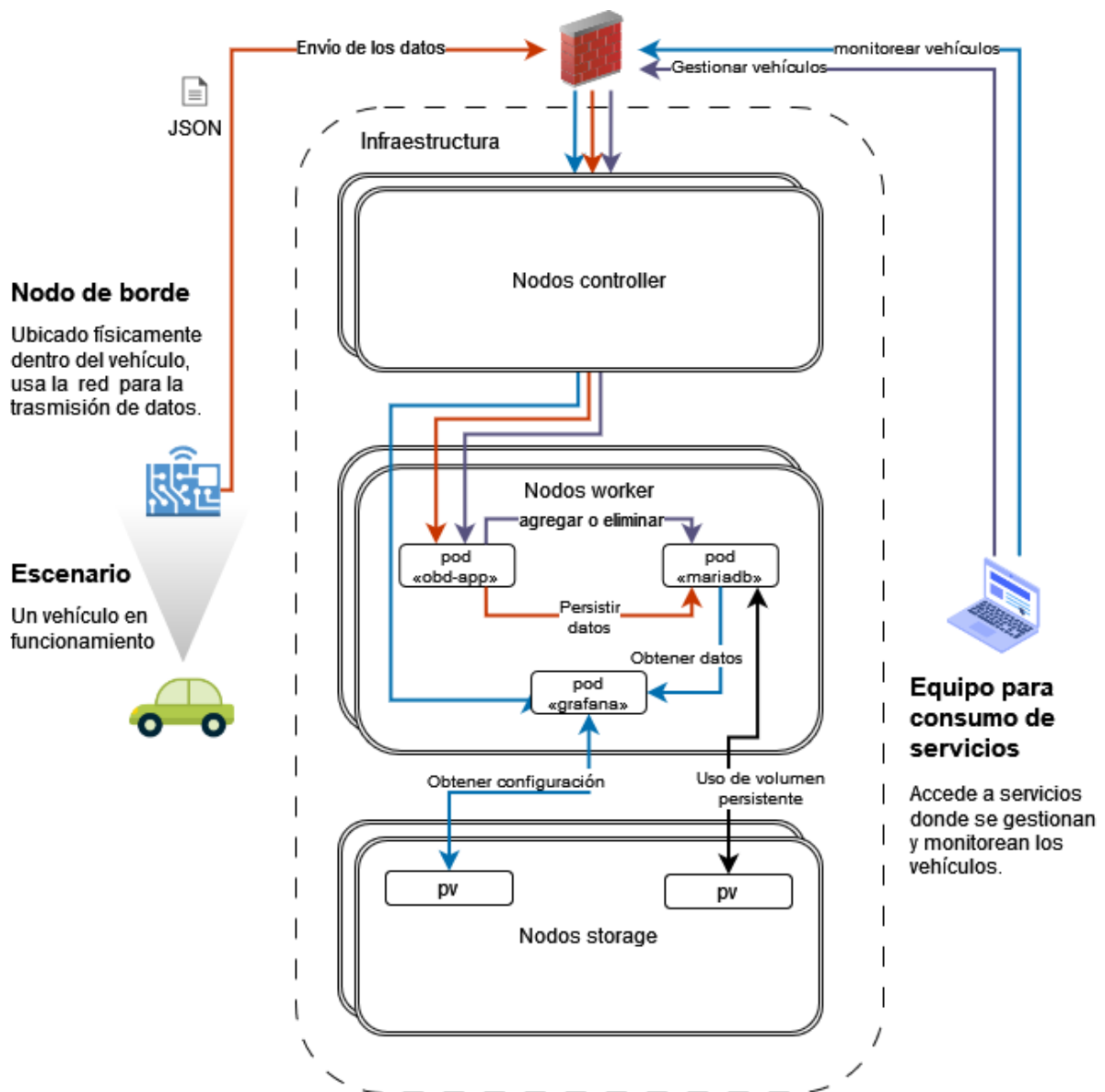


Ilustración 8. Diagrama de componentes que representa el flujo de datos en el prototipo.

Imagen de autoría propia.

8 Factibilidad

8.1 Factibilidad técnica

Es importante destacar que en el marco teórico se aborda de forma directa la selección de la herramienta utilizada para el desarrollo del prototipo del nodo Edge, enfocándose en aspectos relacionados a la arquitectura y esquemas de despliegue. Para llegar a ello, en este apartado se realiza la determinación de la factibilidad técnica a través del análisis a detalle de las posibles alternativas de implementación. Con el fin de que la información se presente de manera fluida y estructurada, a continuación, se describen las opciones encontradas que tienen relación con la temática de Edge Computing. Luego se realiza una preselección que servirá como punto de referencia que permita comparar con las demás opciones, ratificando así la elección definitiva.

8.1.1 Akraino Edge Stack

Akraino es un conjunto de infraestructuras abiertas y modelos de aplicaciones para el Edge. Los modelos abarcan una amplia variedad de casos de uso, incluidos 5G, IA, Edge IaaS/PaaS, IoT, TTO para dominios de Edge de proveedores como de empresas. Los modelos han sido creados por la comunidad de Akraino, se centran exclusivamente en el Edge en todas sus diferentes formas, y están probados y listos para usar. Se pueden adoptar tal como están o usarse como punto de partida para crear soluciones de Computación Edge personalizadas. (LF EDGE, s.f.)

8.1.1.1 Características y Funcionalidades:

- **Blueprints:** Akraino utiliza blueprints para definir configuraciones estándar de soluciones de Edge. Cada blueprint incluye la infraestructura necesaria, la red, el

software y la configuración de seguridad, optimizado para casos de uso específicos como IoT, 5G, e Industria 4.0.

- **Ecosistema Modular:** Permite a los usuarios mezclar y combinar componentes según sus necesidades específicas, facilitando la personalización y escalabilidad.
- **Compatibilidad con OpenStack y Kubernetes:** Akraino es compatible con tecnologías populares de nube y orquestación, permitiendo una integración fluida en entornos existentes.

8.1.1.2 Costos Asociados:

- **Código Abierto:** No hay costos de licencia, pero los costos pueden derivar de la infraestructura subyacente (hardware, almacenamiento, redes) y del soporte profesional.
- **Costos de Implementación y Mantenimiento:** Aunque es de código abierto, puede haber costos asociados con la implementación, mantenimiento y personalización de los blueprints en entornos específicos.

8.1.1.3 Ventajas:

- **Enfoque en Edge Computing:** Está diseñado específicamente para satisfacer las necesidades de Edge Computing, lo que lo hace ideal para implementaciones descentralizadas y de baja latencia.
- **Flexibilidad y Escalabilidad:** La modularidad en los blueprints permite la creación de soluciones adaptadas a diferentes escenarios y requisitos.
- **Apoyo Comunitario y de la Linux Foundation:** Amplio soporte de la comunidad de código abierto, facilitando colaboraciones y mejoras continuas.

8.1.1.4 Desventajas:

- **Curva de Aprendizaje:** Puede ser difícil de aprender y configurar debido a su enfoque modular y la necesidad de personalización.
- **Complejidad de Integración:** Puede requerir una integración compleja con otras tecnologías y plataformas existentes.

8.1.2 Airship

Airship es una colección de herramientas de código abierto interoperables pero acopladas de forma flexible que automatizan de forma declarativa el aprovisionamiento de la nube. Airship es un mecanismo de entrega sólido para organizaciones que desean adoptar contenedores como la nueva unidad de entrega de infraestructura a escala. Partiendo de una infraestructura básica, Airship administra el ciclo de vida completo de la infraestructura del centro de datos para entregar un clúster de Kubernetes de nivel de producción con artefactos implementados con Helm. Airship permite a los operadores administrar sus implementaciones de infraestructura y su ciclo de vida a través de los documentos YAML declarativos que describen un entorno de Airship. (Airship, s.f.)

8.1.2.1 Características y Funcionalidades:

- **Infraestructura como Código (IaC):** Permite definir y gestionar la infraestructura completamente a través de archivos YAML, facilitando la automatización y repetibilidad en los despliegues.
- **Automatización de Despliegue y Gestión:** Airship orquesta la provisión de infraestructura desde cero, configurando y desplegando componentes como OpenStack y Kubernetes de forma automatizada.

- **Ciclo de Vida Completo de Infraestructura:** Gestiona el ciclo de vida completo de la infraestructura, desde la creación hasta la actualización y eliminación, garantizando una operación continua y coherente.

8.1.2.2 Costos Asociados:

- **Código Abierto:** No hay costos de licencia, pero como en otros proyectos, puede haber costos asociados con la infraestructura subyacente y soporte.
- **Costos de Configuración y Mantenimiento:** Pueden surgir costos por la necesidad de personal especializado para configurar y mantener las herramientas y scripts de automatización.

8.1.2.3 Ventajas:

- **Automatización Completa:** Simplifica y acelera el proceso de despliegue y gestión de infraestructuras, reduciendo errores humanos y mejorando la eficiencia.
- **Adaptabilidad y Escalabilidad:** Ideal para entornos que requieren una gestión dinámica y escalable de infraestructuras.
- **Amplia Compatibilidad:** Compatible con OpenStack, Kubernetes, y otras herramientas de infraestructura, facilitando su integración en entornos de nube híbrida.

8.1.2.4 Desventajas:

- **Curva de Aprendizaje Empinada:** Requiere un conocimiento profundo de infraestructura como código y de las herramientas asociadas como OpenStack y Kubernetes.

- **Configuración Compleja:** La configuración inicial y el mantenimiento continuo pueden ser complejos y requerir experiencia avanzada.

8.1.3 StarlingX

StarlingX es una pila de software de infraestructura de nube completa para el borde que se utiliza en las aplicaciones más exigentes en IoT industrial, telecomunicaciones, entrega de video y otros casos de uso de latencia ultrabaja. Con la baja latencia determinista que requieren las aplicaciones de borde y herramientas que hacen que el borde distribuido sea manejable, StarlingX proporciona una infraestructura basada en contenedores para implementaciones de borde en soluciones escalables que ya están listas para la producción (StarlingX, 2024d).

8.1.3.1 Características y Funcionalidades:

- **Alta Disponibilidad y Baja Latencia:** Diseñado para soportar aplicaciones que necesitan una alta disponibilidad y respuestas rápidas, ideal para telecomunicaciones, IoT industrial, y aplicaciones de misión crítica.
- **Servicios de Red, Almacenamiento y Cómputo:** Ofrece un conjunto completo de servicios para gestionar la red, el almacenamiento y los recursos de cómputo en entornos de Edge.
- **Basado en OpenStack y Kubernetes:** Aprovecha estas tecnologías para ofrecer un entorno de nube robusto y escalable, adaptado para el Edge Computing.

8.1.3.2 Costos Asociados:

- **Código Abierto:** Como es de código abierto, no hay costos de licencia directos, pero la implementación en hardware específico y el soporte pueden generar costos.
- **Costos de Implementación y Mantenimiento:** Requiere personal especializado para la instalación, configuración y mantenimiento de la plataforma.

8.1.3.3 Ventajas:

- **Optimización para Edge Computing:** Está específicamente diseñado para entornos de Edge, con una arquitectura que maximiza el rendimiento y la resiliencia.
- **Amplia Comunidad de Desarrollo:** Soporte activo de una comunidad que incluye a la Linux Foundation y otros socios de la industria.
- **Escalabilidad y Flexibilidad:** Se adapta bien a diferentes tamaños de implementaciones, desde pequeñas configuraciones hasta despliegues a gran escala.

8.1.3.4 Desventajas:

- **Complejidad de Implementación:** Puede ser complejo de instalar y mantener debido a sus componentes avanzados y la necesidad de garantizar alta disponibilidad.
- **Requiere Conocimientos Especializados:** Necesita un equipo con experiencia en OpenStack, Kubernetes y redes de Edge Computing.

8.1.4 CORD

El borde de la red del operador (como la oficina central para las empresas de telecomunicaciones y la cabecera para los operadores de cable) es donde los operadores se conectan con sus clientes. CORD es un proyecto cuyo objetivo es transformar este borde en una plataforma de entrega de servicios ágil que permita al operador brindar la mejor experiencia al usuario final junto con servicios innovadores de última generación. (Open Networking Foundation, 2024).

8.1.4.1 Características y Funcionalidades:

- **Virtualización de Redes de Acceso:** Permite a las operadoras de telecomunicaciones virtualizar sus redes de acceso, reduciendo los costos de hardware y aumentando la flexibilidad operativa.
- **Integración con ONOS y XOS:** Utiliza ONOS para la gestión de redes definidas por software (SDN) y XOS para la orquestación de servicios, facilitando la integración y el control centralizado.
- **Ecosistema de Cómputo y Almacenamiento Distribuido:** Crea una infraestructura similar a la de un centro de datos en las oficinas centrales, optimizando los recursos para ofrecer servicios de telecomunicaciones avanzados.

8.1.4.2 Costos Asociados:

- **Código Abierto:** No tiene costos de licencia, pero los costos pueden surgir de la infraestructura de red y el hardware necesarios, así como del soporte profesional.

- **Costos de Implementación y Operación:** Implementar OpenCORD puede ser costoso debido a la necesidad de hardware especializado y personal capacitado en tecnologías de SDN y NFV.

8.1.4.3 Ventajas:

- **Optimización de Infraestructura de Telecomunicaciones:** Transformación de oficinas centrales en centros de datos modernos, mejorando la eficiencia y reduciendo costos.
- **Flexibilidad y Escalabilidad:** Permite una rápida adaptación a nuevas tecnologías y servicios, aumentando la flexibilidad operativa de las redes de acceso.
- **Soporte de la Linux Foundation y Amplia Comunidad:** Respaldado por una amplia comunidad de desarrolladores y usuarios.

8.1.4.4 Desventajas:

- **Enfoque Específico en Redes de Acceso:** Está más centrado en redes de telecomunicaciones, lo que puede limitar su aplicabilidad a otros tipos de entornos.
- **Requiere Conocimiento Especializado:** La implementación y gestión de OpenCORD requiere experiencia en SDN, NFV y tecnologías de telecomunicaciones avanzadas.

A partir del listado de características, costos asociados, ventajas y desventajas, se puede realizar como selección previa a *StarlingX* como la herramienta ideal para un prototipo de nube Edge que se integre con dispositivos IoT debido a su optimización específica para entornos de Edge Computing, donde la baja latencia y alta disponibilidad son esenciales para

el procesamiento en tiempo real de datos IoT. Su arquitectura robusta asegura alta disponibilidad y resiliencia, garantizando la continuidad del servicio y la integridad de los datos, incluso ante fallas del sistema. Además, StarlingX integra OpenStack y Kubernetes, permitiendo una gestión flexible y adaptable tanto de contenedores como de máquinas virtuales, lo cual facilita el despliegue eficiente y escalable de aplicaciones IoT. También proporciona una gestión completa y eficiente de recursos como red, almacenamiento y cómputo, optimizados para el Edge, asegurando un rendimiento óptimo para manejar grandes volúmenes de datos IoT. Finalmente, su seguridad integrada, con autenticación robusta y segmentación de red, protege los datos y asegura comunicaciones seguras en entornos distribuidos, lo que es crucial para aplicaciones IoT. De manera que, para dar un sustento más adecuado, se realiza una comparativa con las otras tecnologías mencionadas en este apartado.

8.1.5 Comparación de StarlingX vs Akraino, Airship, y OpenCORD

- **Akraino:** StarlingX es la opción preferida para la implementación de infraestructura Edge en comparación con Akraino, debido a su enfoque más especializado en alta disponibilidad y simplicidad de despliegue. Aunque Akraino proporciona blueprints específicos para IoT y otras soluciones de Edge Computing, su enfoque en la creación de soluciones genéricas requiere un alto grado de personalización e integración, lo que puede aumentar tanto la complejidad como el tiempo de implementación. Esto resulta en un proceso más prolongado y costoso, especialmente cuando se trata de aplicaciones IoT de misión crítica
- **Airship:** Es excelente para la automatización de la infraestructura, pero está más orientado hacia la orquestación de infraestructura en la nube, más que a la optimización específica para entornos Edge e IoT. No proporciona el mismo nivel

de soporte integrado para alta disponibilidad y resiliencia en el Edge como lo hace StarlingX.

- **OpenCORD:** Está más enfocado en la virtualización de redes de acceso para telecomunicaciones y no está diseñado específicamente para el manejo de cargas de trabajo IoT en el Edge. Su enfoque en transformar oficinas centrales en centros de datos no se alinea directamente con las necesidades de un prototipo de nube Edge para dispositivos IoT

Entonces, se confirma que *StarlingX* es la opción más adecuada para un prototipo de nube Edge para dispositivos IoT debido a su enfoque especializado en alta disponibilidad, baja latencia, seguridad y gestión eficiente de recursos en el Edge. A diferencia de Akraino, Airship, y OpenCORD, StarlingX ofrece una solución integrada que está específicamente optimizada para manejar las demandas únicas de los dispositivos IoT en entornos Edge, proporcionando una base sólida para un despliegue exitoso

Tabla 1. Proyectos de computación Edge como Infraestructura.

<i>Proyecto</i>	<i>Fundación</i>	<i>Participantes clave</i>	<i>Capa</i>	<i>Enfoque</i>	<i>MANO</i>	<i>SDN</i>	<i>Última versión</i>	<i>Infra</i>	<i>Repositorio</i>
Akraino	Linux	AT&T, Intel, ARM, Nokia, Ericsson, Dell, Red Hat, Juniper, WRS, etc.	Umbrella, Full Stack	All-in-one edge stack	N/A	N/A	N/A	OpenStack, K8S	Gerrit Code Review
StarlingX	OpenStack	Wind River, Intel, Huawei, Ericsson, China Unicom, etc.	IaaS	IoT industrial y MEC	ONAP	ODL	10.0	OpenStack	Gerrit Code Review
Airship	OpenStack	AT&T, SKT, Intel, Mirantis, etc.	Deployment	IoT industrial y MEC	ONAP/Tacker	Calico	2.1	OpenStack/K8S	OpenDev
CORD	Linux	AT&T, SK Telecom, Verizon, China Unicom and NTT, etc.	IaaS	MEC para uso residencial, empresarial y móvil	XOS	ONOS	6.0	OpenStack/K8S	CORD . GitHub

Nota: Tabla obtenida de (Ying & Qin, 2019).

8.1.6 Estimación teórica para la cantidad de dispositivos emisores de datos que soporta el prototipo

Se realizaron pruebas de carga sobre el prototipo utilizando la herramienta Apache JMeter. Durante esta actividad se realizó el aumento del número de peticiones por segundo dirigidas al endpoint para almacenar datos provenientes de vehículos en la infraestructura, mediante el cual se llegó a un límite haciendo 10,000 peticiones enviadas.

The screenshot displays the Apache JMeter Summary Report interface. At the top, the report name is 'Summary Report'. Below this, there are fields for 'Comments' and 'Filename'. A 'Write results to file / Read from file' section includes a 'Browse...' button and checkboxes for 'Log/Display Only: Errors' and 'Successes', along with a 'Configure' button. The main part of the report is a table with the following data:

Label	# Samples	Average	Min	Max	Std. Dev.	Error %	Throughput	Received KB/sec	Sent KB/sec	Avg. Bytes t
HTTP Request	3000	11432	30	59456	11931.89	0.00%	50.3/sec	8.79	17.93	179.0
TOTAL	3000	11432	30	59456	11931.89	0.00%	50.3/sec	8.79	17.93	179.0

At the bottom of the report, there are checkboxes for 'Include group name in label?' and 'Save Table Header', and a 'Save Table Data' button. Below the table, a log window shows the following messages:

```
993 2024-11-15 20:41:15,825 INFO o.a.j.t.JMeterThread: Thread is done: Thread Group http 1-2064
994 2024-11-15 20:41:15,825 INFO o.a.j.t.JMeterThread: Thread finished: Thread Group http 1-2064
995 2024-11-15 20:41:15,828 INFO o.a.j.t.JMeterThread: Thread is done: Thread Group http 1-2238
996 2024-11-15 20:41:15,828 INFO o.a.j.t.JMeterThread: Thread finished: Thread Group http 1-2238
997 2024-11-15 20:41:15,831 INFO o.a.j.t.JMeterThread: Thread is done: Thread Group http 1-2272
998 2024-11-15 20:41:15,831 INFO o.a.j.t.JMeterThread: Thread finished: Thread Group http 1-2272
999 2024-11-15 20:41:15,831 INFO o.a.j.e.StandardJMeterEngine: Notifying test listeners of end of test
1000 2024-11-15 20:41:15,831 INFO o.a.j.g.u.JMeterMenuBar: setRunning(false, *local*)
```

Ilustración 9. Pruebas de carga con Apache JMeter. Imagen de autoría propia.

A través de las sucesivas pruebas al prototipo, se obtuvieron resultados confiables y sin errores con el número máximo de 3,000 peticiones realizadas al servidor, con una media de 50.3 peticiones por segundo correctamente gestionadas.

Para el funcionamiento del prototipo se estableció que se envíe una petición con los datos desde cada dispositivo hacia la infraestructura con una frecuencia de 5 segundos, por lo que, haciendo una conversión a peticiones por segundo, equivaldría a 0.2 peticiones por segundo para cada emisor (representado como u en la Ecuación 1).

Con base en los resultados obtenidos con JMeter, el funcionamiento del prototipo en el hardware que posee el equipo, y a partir de una igualdad entre ambos conceptos, se puede estimar la capacidad teórica de dispositivos emisores (u en la Ecuación 1). que podrían usar el prototipo de nodo Edge para almacenar información, obteniendo un número máximo de 251 dispositivos transmisores de datos para que la infraestructura se mantenga sin presentar errores al recibir múltiples peticiones concurrentes. A continuación, se presenta el cálculo con los valores descritos:

$$\frac{50.3}{1s} = \frac{0.2}{1s} * u \quad \rightarrow \quad u = \frac{50.3}{0.2} = 251.5 \quad (1)$$

Donde u es el número de nodos emisores que se puede soportar por el prototipo.

8.2 Factibilidad Económica para el despliegue del prototipo del Nodo Edge

Para este apartado es importante destacar que se toma en cuenta el tipo de despliegue que se ha propuesto en el prototipo, en este caso, la Plataforma Kubernetes Estándar con clúster de almacenamiento en nodos de almacenamiento dedicados, que se describe en la documentación oficial (StarlingX, 2024e), misma donde se plantea la posibilidad de un despliegue en servidores bare-metal (físico) o a través de la virtualización. Se detalla a continuación los requerimientos mínimos de hardware para ambos casos, ya que a partir de ello se puede determinar el costo del consumo de dichos recursos. En cuanto al software no se brinda detalles dado a que se utilizan herramientas Open Source.

Tabla 2. Requisitos mínimos de hardware para el despliegue

	Bare Metal	Virtualización
Nodo Controller	<p>Número de Servidores: 2</p> <p>Procesador: Dual-CPU Intel® Xeon® E5 26xx family (SandyBridge) 8 cores/socket</p> <p>Memoria: 64GB</p> <p>Disco Primario SSD: 500GB</p> <p>Discos Adicionales SSD: Ninguno</p> <p>Puertos Mínimos de Red:</p> <ul style="list-style-type: none"> • MGMT- 2x10GE LAG • OAM - 2x1GE LAG • Data - 2x10 GE LAG 	<p>Procesador: x86-64 compatible con hardware habilitado para BIOS y extensiones de virtualización</p> <p>Memoria: 32GB de memoria RAM</p> <p>Disco duro: 500GB de SSD</p> <p>Red: adaptador de red con conexión a Internet activa</p> <p>Los requisitos listados anteriormente aplican para todos los nodos.</p>
Nodo Storage	<p>Número de Servidores: 2 a 9</p> <p>Procesador: Dual-CPU Intel® Xeon® E5 26xx family (SandyBridge) 8 cores/socket</p> <p>Memoria: 64GB</p>	

	<p>Disco Primario SSD: 120GB</p> <p>Discos Adicionales SSD: 1-500GB por cada Ceph OSD y 1GB mínimo para cada Ceph Journal</p> <p>Puertos Mínimos de Red:</p> <ul style="list-style-type: none"> • MGMT - 1x10GE 	
Nodo Worker	<p>Número de Servidores: 2 a 99</p> <p>Procesador: Dual-CPU Intel® Xeon® E5 26xx family (SandyBridge) 8 cores/socket</p> <p>Memoria: 32GB</p> <p>Disco Primario SSD: 120GB</p> <p>Discos Adicionales SSD: 1-500GB por cada VM de almacenamiento efímero de StarlingX OpenStack y 1-500GB para contenedores efímeros de almacenamiento de disco.</p> <p>Puertos Mínimos de Red:</p> <ul style="list-style-type: none"> • MGMT/CLUSTER - 2x10GE LAG • Data – 2 x10GE LAG 	

Nota: Tabla obtenida de (StarlingX, 2024c).

Entonces, se puede determinar un costo aproximado promedio del despliegue del prototipo de un nodo Edge usando la opción de bare-metal, tomando en cuenta los requerimientos para analizar, las características de los equipos en los sitios oficiales de Lenovo, Dell y Hewlett Packard Enterprise, que son reconocidas empresas que ofertan equipos de hardware para servidores dedicados, y cuyos precios se han obtenido de Amazon para el caso de Lenovo y Hewlett Packard, y del sitio oficial de Dell España para dicha marca (Anexo E). Se toma en cuenta también un Switch para armar la infraestructura de red física, así como aspectos de instalación e implementación que cubren los elementos faltantes para la

infraestructura, así como un costo de mantenimiento tomando como base el salario mínimo para Industria en nuestro país para el año 2024.

Tabla 3. Estimación de costo para desplegar el nodo de Edge Computing usando Servidores Bare Metal

	Precio Promedio	Cantidad	Subtotal
Nodo Controller	\$4,416.90	2	\$8,833.80
Nodo Storage	\$4,416.90	2 (mínima)	\$8,833.80
Nodo Worker	\$3,129.72	2 (mínima)	\$6,259.44
Switch	\$1,491.17	1	\$1,491.17
Instalación e implementación	\$1,500.00	3	\$4,500.00
Mantenimiento	\$365.00	3	\$1,095.00
TOTAL			\$31,013.21

Nota: Tabla de autoría propia

Para el caso de virtualización, es posible realizar el despliegue usando un solo equipo de los utilizados en el Nodo Worker para la opción de Bare Metal, ya que cumple con los requisitos para lo que solicita StarlingX, entonces su costo sería el precio promedio base sumado al subtotal de la instalación e implementación y el mantenimiento, dando como resultado **\$8,724.72**. Cabe destacar que, para esta opción, dado que requiere de menos recursos, se cuenta con la posibilidad de realizar su despliegue incluso en equipos de escritorio personales con prestaciones de moderadas a elevadas, sobre todo en los escenarios donde se desea conocer el funcionamiento del nodo Edge a nivel de prototipo inicial.

Anteriormente se realizó el cálculo a partir de un solo nodo Edge, pero se debe tener en cuenta que, en el contexto de este proyecto y en un escenario más cercano al entorno de

producción, se debería tener al menos un nodo Edge en cada uno de los 14 departamentos. Una siguiente opción podría ser un nodo por cada zona administrativa (Occidental, Central, Paracentral, Oriental), en cualquier caso, el número de nodos se convierte en un factor que debe multiplicarse al costo asociado a uno solo de ellos.

Relacionado a en qué podría beneficiar la utilización de esta infraestructura de nube Edge para el caso de estudio, es posible que apoye a la generación de ahorro en: combustible, costo de seguros (más estabilidad), mantenimiento preventivo, mejoras operativas, entre otros.

Entonces, se puede decir que la decisión del despliegue del prototipo radica en la necesidad de uso y en quién será el propietario. De forma que, si existiesen ofertas de construcción de infraestructura física de Computación en el Borde en donde un tercero sea el propietario, y se cuenta con el flujo de ingresos adecuado, conviene adquirir la opción de virtualización ya que el costo es menor, las prestaciones son las mismas y se pueden realizar ajustes personalizados en función de las necesidades de la empresa.

Si se quiere ser propietario de la infraestructura para ofertar Edge Computing como un servicio generalizado, entonces conviene más un modelo de bare-metal, que pueda ir escalando a medida vaya incrementando la cartera de clientes y utilizar un método de suscripción basado en usuarios y/o volumen de transacciones. Esta opción en el contexto de este trabajo se encuentra fuera de la frontera establecida, sin embargo, se consideró pertinente mencionarlo.

En caso de que existiese Edge Computing como un servicio, habría que evaluar los costos de la suscripción para su adquisición, los cuales podrían ser una buena alternativa para diversificar y poner al alcance la infraestructura Edge a empresas de cualquier rubro y de cualquier flujo de ingreso.

Cabe destacar que no se realiza comparativa con proveedores de servicios en la nube dado que Edge Computing a pesar de estar basada en tecnología de la nube, es un paradigma diferente, por lo que una comparativa no es aplicable ya que son principios diferentes.

9 Conclusiones

Este documento tiene su núcleo en la investigación, el enfoque en un caso de estudio, así como el prototipo para demostrar su aplicación, por lo que los tres elementos mencionados anteriormente son tomados en consideración para poder brindar las reflexiones finales. Así, se concluye que:

El paradigma de la Computación en el Borde, al contar por su definición distributiva con el procesamiento local en cada nodo y una ubicación cerca del origen de los datos, disminuye la latencia en el intercambio de información, siendo óptimo para situaciones aplicativas que requieran de respuestas rápidas ante el envío de datos en tiempo real, y así agilizar la toma de decisiones.

La opción de despliegue con almacenamiento dedicado contiene los elementos necesarios para la arquitectura del nodo Edge, de igual manera es totalmente posible la integración de dispositivos emisores de datos a la solución, satisfaciendo los requisitos del proyecto en términos de eficiencia, dejando apertura a la escalabilidad.

La infraestructura planteada en el diseño arquitectónico es totalmente configurable ya que se cuenta con los recursos de software necesarios para ello, así como la documentación suficiente a pesar de que la Computación en el Borde es un paradigma relativamente nuevo.

Es posible dar uso a herramientas existentes de software, simulación, y desarrollo de aplicativos propios para la recopilación, procesamiento y visualización de datos, realizando así una integración del área de software con el Edge Computing,

Es un paradigma que, a diferencia de una infraestructura de nube en su sentido más tradicional, y dependiendo del método de despliegue que se utilice, es posible realizarlo con recursos más discretos, y el consumo se mantiene mínimo en su utilización.

La validación y verificación de lo requerido por el prototipo es posible realizarlo con datos emitidos a través de la simulación, utilizando un escenario de uso.

La Computación en el Borde es adecuada para la integración con dispositivos del Internet de las Cosas, debido a la cantidad de datos que pueden recolectar, siendo este el insumo principal para su procesamiento en los nodos Edge, haciendo posible la realización de soluciones especializadas en función de una necesidad específica como agricultura, tráfico, seguridad o el monitoreo en tiempo real que es lo que se planteó a lo largo de este trabajo.

El prototipo realizado brinda una demostración de las posibilidades de este nuevo paradigma para brindar soluciones particulares, determinando al mismo tiempo y de manera indirecta la apertura para aplicarlo en situaciones más generales.

10 Recomendaciones

Se recomienda:

Obtener más información ya sea mediante los instrumentos de recolección de datos planteados en la metodología de investigación, o cualquier otro método que se pueda aplicar en el contexto del tema, con el fin de comprobar la vigencia de las necesidades particulares empresariales que se abordan en este trabajo.

Contar con un equipo que tenga los recursos suficientes a nivel de hardware para que sea posible un escalamiento de la infraestructura del prototipo en función de las necesidades que vayan surgiendo con el tiempo.

Revisar la documentación oficial de StarlingX dado que está en constante evolución, y las instrucciones de despliegue podrían variar. Es importante seguir las instrucciones de la última versión, aunque de preferencia se debe usar la imagen ISO de una versión anterior.

Investigar sobre otras tecnologías complementarias y de vanguardia que puedan integrarse en la solución presentada, con la finalidad de darle una mayor robustez.

Plantear otros escenarios de uso de la Computación en el Borde, dado que las posibilidades para usar esa tecnología son extensas y aquí se ha demostrado solamente una de las muchas prestaciones que podría tener.

Mantener una constante actualización sobre el desarrollo del paradigma de Edge Computing y su integración con diversos aspectos de lo cotidiano.

11 Limitantes generales de la investigación

En la recolección de datos de la metodología de investigación no fue posible obtener información de empresas de categoría Gran Contribuyente debido a que se utilizaron medios electrónicos para ejecutar los instrumentos de recolección de datos, y esas empresas usualmente prefieren la ejecución presencial para comprobar las acreditaciones estudiantiles.

Para el despliegue del prototipo se tuvo que utilizar la imagen ISO versión 6.0 de StarlingX con CentOS, dado que las versiones más recientes con Debian presentaban problemas en su configuración. Cabe destacar que el prototipo se realizó en un equipo que cumple con los requisitos de hardware pero que se encuentra en categoría Personal y no está optimizado para servidores.

La falta de familiaridad general con Edge Computing en el país represento una limitante significativa para la investigación, ya que dificulto obtener un panorama completo sobre su comprensión y uso potencial en el sector. Esta limitación afecto la capacidad de la investigación para evaluar con precisión el nivel de preparación de las empresas locales y los desafíos específicos que enfrentan al considerar la implementación de tecnologías emergentes como esta.

12 Bibliografía

Accion Trabajo. (s.f.). *Empresa de transporte*. Obtenido de <https://acciontrabajo.com.sv/>

Airship. (s.f.). *Automated clusters Deployment for Open Source Infrastructure*. Recuperado el 24 de julio de 2024, de <https://www.airshipit.org/>

Bonilla, L. (24 de julio de 2024). *Fog Computing, qué es y diferencias con el Edge Computing*. Recuperado el 25 de julio de 2024, de Data Center Market: <https://www.datacentermarket.es/dcm-xl/fog-computing-que-es-y-diferencias-con-el-edge-computing/>

Cao, K., Liu, Y., Meng, G., & Sun, Q. (2020). An Overview on Edge Computing Research. *IEEE Access*, 8, 85714-85728. doi:10.1109/ACCESS.2020.2991734

Cisco. (27 de noviembre de 2018). *Cisco predicts more IP traffic in the next five years than in the history of the internet*. Recuperado el 27 de octubre de 2024, de Cisco: <https://newsroom.cisco.com/c/r/newsroom/en/us/a/y2018/m11/cisco-predicts-more-ip-traffic-in-the-next-five-years-than-in-the-history-of-the-internet.html>

Cisco. (09 de marzo de 2020). *Cisco Annual Internet Report (2018–2023) White Paper*. Recuperado el 27 de octubre de 2024, de Cisco: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>

Computrabajo. (s.f.). *Listado de empresas de transporte*. Recuperado el 11 de septiembre de 2024, de Computrabajo: <https://sv.computrabajo.com/empresas/empresas-de-transporte>

Corbetta, P. (2007). *Metodología y Técnicas de Investigación Social*. Madrid: McGraw Hill.

Fortinet. (s.f.). *What is IoT Edge?* Recuperado el 27 de octubre de 2024, de Fortinet:

<https://www.fortinet.com/resources/cyberglossary/iot-edge>

Gerea, C. (15 de marzo de 2021). *Prototipo: qué es y para qué sirve*. Recuperado el 12 de mayo de 2024, de FREED: <https://freed.tools/blogs/ux-cx/prototipo#metodologia-de-prototipo-o-prototipado>.

Lantz, K. E. (1985). *The Prototyping Methodology*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.

Obtenido de <https://archive.org/details/prototypingmetho0000lant/mode/2up>

LF EDGE. (s.f.). *Building an open source framework for the Edge*. Recuperado el 24 de julio de 2024, de LF EDGE: <https://lfedge.org/projects/akraino/>

Logística Latina. (s.f.). *Empresas de Logística en El Salvador, listado logístico*. Recuperado el 10 de septiembre de 2024, de Logística Latina: <https://www.logisticalatina.com/el-salvador/>

Open Networking Foundation. (16 de julio de 2024). *CORD Platform | Central Office Rearchitected as a Datacenter*. Recuperado el 24 de julio de 2024, de ONF: <https://opennetworking.org/cord/>

Pathak. (2021). *Edge Computing and its applications*. Obtenido de GeekFlare: <https://geekflare.com/es/edge-computing-and-its-applications/>

Red Hat. (31 de marzo de 2021). *¿Qué es el Edge Computing?* Recuperado el 27 de octubre de 2024, de Red Hat: <https://www.redhat.com/es/topics/edge-computing/what-is-edge-computing>

Satyanarayanan, M. (2017). The Emergence of Edge Computing. *Computer*, 50, 30-39. doi:10.1109/MC.2017.9

StarlingX. (2024a). *Common Components - StarlingX Documentation*. Recuperado el 13 de noviembre de 2024, de StarlingX:

<https://docs.starlingx.io/deploy/kubernetes/common-components.html>

StarlingX. (2024b). *Deployment Options - StarlingX Documentation*. Recuperado el 27 de mayo de 2024, de StarlingX: <https://docs.starlingx.io/deploy/kubernetes/deployment-options.html>

StarlingX. (2024c). *Install Kubernetes Platform on Standard with Dedicated Storage - StarlingX Documentation*. Recuperado el 13 de noviembre de 2024, de StarlingX: https://docs.starlingx.io/r/stx.9.0/deploy_install_guides/release/bare_metal/dedicated_storage_install_kubernetes.html

StarlingX. (2024d). *Learn about StarlingX - open source server virtualization software*. Recuperado el 28 de julio de 2024, de StarlingX: <https://www.starlingx.io/learn/>

StarlingX. (2024e). *Standard Configuration with Dedicated Storage - StarlingX Documentation*. Recuperado el 13 de noviembre de 2024, de StarlingX: <https://docs.starlingx.io/deploy/kubernetes/standard-configuration-with-dedicated-storage.html>

Taheri, J., & Deng, J. S. (2020). *Edge Computing: Models, technologies and applications*. *IET Digital Library*. doi:10.1049/PBPC033E

Ying, R., & Qin, k. (01 de Mayo de 2019). *Akraino, EdgeX, CORD, OpenEdge, ioFog... What's the best solution for your edge? [Diapositiva de PowerPoint]*. Obtenido de www.openstack.org: <https://www.openstack.org/summit/denver-2019/summit-schedule/events/23256/akraino-edgex-cord-openedge-iofog-whats-the-best-solution-for-your-edge>

13 Anexos

<i>ANEXO A.</i> LISTA DE EMPRESAS DE LOGÍSTICA EN EL SALVADOR (LOGÍSTICA LATINA, N.D.)	80
<i>ANEXO B.</i> FORMATO DE ENCUESTA	89
<i>ANEXO C.</i> GUÍA DE ENTREVISTA.....	92
<i>ANEXO D.</i> TRANSCRIPCIÓN DE ENTREVISTA.....	93
<i>ANEXO E.</i> PRECIOS DE EQUIPOS DE HARDWARE PARA EL DESPLIEGUE DE UN NODO EDGE EN BARE METAL.....	100
<i>ANEXO F.</i> DOCUMENTO DE DISEÑO DE ALTO NIVEL (HLD)	103
<i>ANEXO G.</i> DOCUMENTO DE DISEÑO DE BAJO NIVEL (LLD).....	109

Anexo A. Lista de empresas de logística en El Salvador (Logística Latina, n.d.)

N°	Nombre	Descripción	Teléfono	Dirección
1	Comca International	Agencia de carga, transporte aéreo, marítimo y terrestre.	(503) 2250-9300	Boulevard Acero # 12-A, Zona Industrial Merliot, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, Centroamérica
2	Cuscatlán Logistics	Agentes de carga, operadores logísticos más innovadores de la región, nuestro objetivo es ofrecer a nuestros clientes soluciones logísticas integradas.	(503) 2241-3300	L SALVADOR: Km 26.5 Carretera a Santa Ana, Parque Industrial Intercomplex Lote #4, San Juan Opico, La Libertad, C.A.
3	Vertical Logistics	Empresa de transporte y flete internacional con más de 18+ años de Experiencia en el mercado Mundial específico.	(503) 2556-7495	Calle ppal.Colonia San Antonio 4 Block H Casa, San Marcos; San Salvador El Salvador
4	Punto Aduanero Expreso	Comercio exterior y aduanas con servicio personalizado en el desaduanaje de su mercadería por vía terrestre,	(503) 2263-2360	Av. Masferrer Norte #139, C.C. El Amate, Local 1-6A, Col. Escalón, San Salvador, El Salvador.

		marítima o aérea.		
5	Saimex	Despacho aduanal, clasificación arancelaria de mercancías, comercio exterior, seguimiento de operaciones.	(503) 2556-6846	Avenida Juan Aberle No 2024 Colonia La Rábida. San Salvador. El Salvador.C.A
6	Almacena	Servicio de almacenamiento seco, recinto fiscal, cadena fría, transporte internacional y distribución local.	(503) 2347-0600	Kilómetro 27.5 Carretera a Santa Ana, San Juan Opíco, La Libertad, El Salvador, Centro América.
7	SLT Soluciones Logísticas y Transporte	Almacenaje para las empresas que tienen un sobre stock de productos o productos.	(503) 2532-3075	Calle Cuscatlán # 127. Colonia Escalón. San Salvador, El Salvador.
8	ASAC	Es una entidad privada no lucrativa, conformada por empresas dedicadas a la consolidación y desconsolidación de carga y manejo logístico integral de la misma.	(503) 2530-3005	Calle y Colonia Roma #22-A, San Salvador, El Salvador
9	Grupo TRL	Logística para la industria del transporte de	(503) 2104-0558	KM 15 1/2 Autopista a Comalapa,

		carga liviana, pesada y sobredimensionada en el mercado de El Salvador y Centro América.		Contiguo a Ortega Chacon Santo Tomás, El Salvador
10	Sercogua	Almacenamiento y transporte seguro, contando con la logística de seguridad necesaria para salvaguardar los bienes de los clientes.	(503) 2556-0142	Calle República Federal de Alemania # 185 Col. Escalón San Salvador. Contacto: Licda. Rosa María de Vega.
11	Transebastian Consolidadores	Ofrecemos servicios de carga de alta calidad desde los Estados Unidos, México; Panamá ofreciendo transporte doméstico y reempaque.	(503) 2523-6400	Edificio Avante, 7º nivel, oficina 707. Urb. Madre Selva, calle Llama del bosque, Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, El Salvador.
12	PCH Cargo	PCH Cargo le ofrece los siguientes servicios: empaque, almacenaje, manejo de inventarios, distribución.	(503) 2520-0889	Urb. Jardines de Guadalupe, Calle El Marmara #10-A, Antiguo Cuscatlán, La Libertad
13	Benitu	Empresa que ofrece servicio a domicilio de paquetería y mensajería, de manera segura,	(503) 2520-5381	Jardines de Guadalupe avenida Rio Amazonas y Calle del Bosforo #27,

		rápida y confiable, ahorrando tiempo y dinero a nuestros clientes.		Antiguo Cuscatlán.
14	P&V Inversiones El Salvador	Abastecimiento, servicio y mantenimiento de productos confiables, eficientes y seguros para uso de cualquier empresa.	(503) 2228-3228	Carretera al Puerto de La Libertad, Residencial Utila, Polígono M, #10, El Salvador, C.A.
15	Promaq El Salvador	Productos y servicios para movilizar y almacenar materias primas y/o productos en sus bodegas o centros de distribución en la cadena logística.	(503) 2201-1150	Ofibodegas Apopa No. 3, Hacienda El Angel, polígono 2 lote 4, porción 8-B, Apopa, San Salvador, El Salvador.
16	Grupo Villatoro	Comercio Exterior – Transporte y Logística – Aduana – Tributos – Derecho Corporativo.	(503) 2261-3300	Calle los Castaños y Avenida las Camelias, No. 7 Colonia San Francisco, San Salvador, El Salvador.
17	All Business Logistics	Servicio de flete aéreo, flete marítimo, flete terrestre y agenciamiento aduanero.	(503) 2528-3607	Calle San Antonio Abad, pasaje Valdivieso #15, San Salvador.

18	PLG	Equipo de agentes expertos en operaciones logísticas y de transporte de carga por vía aérea, marítima y terrestre.	(503) 2234 7100	9a Calle Poniente Bis , entre 95 y 99 Av. Norte # 46 Col. Escalón, San Salvador , El Salvador
19	Padilla Tablas	Nuestra agencia entrega un servicio integral en el manejo de las operaciones de comercio exterior siendo nuestro objetivo una atención personalizada.	(503) 2222-8413	17 Cl Pte Edif Gzg No 210. Loc 9 San Salvador, El Salvador.
20	ENVIA Servicio de Mensajería	Mensajería Express, Entrega de Productos, Tenemos soluciones integrales para tu empresa.	(503) 7143-6597	Blvr de los Héroe, Edificio Torre Activa 2º Nivel, Local 2, San Salvador. El Salvador
21	Transportes Alvarado	Proveedor de servicios de transporte de terrestre con experiencia en mudanzas y transporte de carga a nivel nacional.	(503) 7095-1330	San Miguel, El Salvador.
22	Suarez Internacional	Operador Logístico que provee servicios profesionales de mudanzas, con más de medio siglo de	(503) 2278-0555	Km 10 1/2 Carretera Puerto La Libertad, Antiguo Cuscatlán, Contiguo a Tigo y Motel

		presencia en El Salvador.		Flamingo, El Salvador.
23	Transportes y Mudanzas Zavala	Transporte de carga garantizado a nivel nacional e internacional, mudanzas internacionales.	(503) 2227-7713	El Salvador, San Salvador.
24	Red International Logistics	Operador Logístico en Carga y Transporte. Somos equipos de profesionales en la logística internacional de carga.	(503) 2503-0600	Col. La Sultana, Calle Lo Lirios, No 13 - B. Antiguo Cuscatlán, La Libertad.
25	Grupo Marítimo	Soluciones logísticas para el transporte, almacenamiento, manejo de inventarios, proceso de órdenes y distribución de productos o materiales.	(503) 2206-5555	79 Av. Sur y Calle Cuscatlán, Local 2-11, Edif. Plaza Cristal, Col. Escalón, San Salvador, El Salvador.
26	Aposha	Servicio de transporte FCL, LCL, servicios aduanales y seguro de carga.	(503) 2223-4222	Bulevar del Hipódromo. Edificio Gran Plaza Nivel 2, Oficina 204, Col. San Benito
27	Multimodal Insurance	Servicio de seguro para agentes aduanales, carga y empresas de transporte.	(503) 2263-3535	Av. Jerusalén y Calle Jacaranda, Pol. L Pje 1 Col. Maquilishuat #27

28	Inversiones Valle	Servicios aduanales: trámites de permisos especiales, custodio de mercancía, servicio de transporte y mensajería.	(503) 2220-2759	Residencial Santorini Senda 1 Casa 7 Carretera a Comalapa, San Marcos. San Salvador, El Salvador. Centro América.
29	Papelera Salvadoreña	Venta y distribución de materiales para oficinas, desde la papelería hasta todos los suministros para tus computadoras.	(503) 2250-6533	49 Avenida Sur, # 2614, Colonia San Mateo, San Salvador.
30	ITP Intertransport	Servicios Completos e Integrados Aéreos, Terrestres, Marítimos y Consolidado.	(503) 2221-1611	Servicios Completos e Integrados Aéreos, Terrestres, Marítimos y Consolidado.
31	Transportes RGT	Flota de camiones para viajes de larga distancia con modernas unidades propias habilitadas para cargas generales, secas, refrigeradas y cargas peligrosas	(503) 2502-4315	Final Calle Gerardo Barrios No. 1509, San Salvador.
32	Transportes Calpi	Carga refrigerada, productos transportados	(503) 2530-1300	8ª Porción, Hacienda El Ángel, Polígono No. 9 Lote 8-B,

		bajo estándares de calidad definidos.		Apopa, San Salvador, El Salvador.
33	BFI Custom & Freight Specialist	Un servicio de aduanas eficiente y personalizado es la clave del éxito para tu negocio. Importaciones y exportaciones de mercadería a nivel mundial.	(503) 2132-3900	Res. Cumbres de la Esmeralda, No. 27, C. Teotl Pol E-8 Ant. Cuscatlán, Depto. La Libertad, El Salvador, C.A.
34	Grupo Peña	Servicio de transporte de carga pesada para mover la mercancía en contenedores, rastras o furgones.	(503) 2286-9974	20 Avenida Norte, #112 Frente a Colonia Panama, Calle a Cuscatancingo. San Salvador, El Salvador
35	Grupo JOB	Carga multimodal a nivel Nacional e Internacional, agua potable casa por casa y por proyectos.	(503) 7854-1332	Km 14 1/2 Carr. A Comalapa, Contiguo A Res. Ciudad Dorada, St. Tomas, S.S. El Salvador, América Central.
36	Inversiones Albri	Consolidadores de carga, transporte multimodal y trámites de exportación.	(503) 2314-9748	Edif. Terminal de Carga, Local C-5, Aeropuerto Internacional de Comalapa de El Salvador.
37	Kapal International	Servicio de carga multimodal:	(503) 2407-0521	Parque industrial internacional,

		carga aérea, terrestre, marítima y servicio de distribución.		km 28.5 autopista a Comalapa, Olocuilta. La Paz Local #7, El Salvador.
--	--	--	--	---

Universidad de El Salvador

Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

Escuela de Ingeniería de Sistemas Informáticos

**Encuesta sobre la adopción de tecnologías de Edge Computing en la gestión de flotas
vehiculares**

Objetivo: Recopilar información sobre el uso actual de tecnologías en la gestión de flotas vehiculares en empresas logísticas de El Salvador, y evaluar la disposición de estas empresas para adoptar soluciones innovadoras como Edge Computing para mejorar el procesamiento de datos en tiempo real.

Instrucciones: Por favor, responda las siguientes preguntas seleccionando la opción que mejor describa su situación actual.

1. ¿Cuántos vehículos componen su flota de transporte terrestre?

- a) Menos de 10
- b) 10 - 50
- c) 51 - 100
- d) Más de 100

2. ¿Su empresa utiliza alguna tecnología para recopilar datos en tiempo real de sus vehículos (por ejemplo, para monitorear ubicación o estado de mantenimiento)?

- a) Sí
- b) No

3. ¿Qué tipo de datos se recopilan actualmente? Puede seleccionar varias opciones

- a) Datos de ubicación
- b) Datos de mantenimiento del vehículo
- c) Datos de consumo de combustible
- d) No recopilamos datos
- e) Otros (especificar): _____

4. ¿Cómo gestiona su empresa los datos recogidos de la flota de transporte?

- a) En servidores locales
- b) En la nube
- c) Una combinación de servidores locales y la nube
- d) A través de un proveedor externo
- e) No recopilamos datos
- f) Otros (especificar): _____

5. ¿Qué tan importante es para su empresa procesar los datos de sus vehículos en tiempo real

(por ejemplo, para mejorar la eficiencia o reducir costos)?

- a) Muy importante
- b) Moderadamente importante
- c) Poco importante
- d) No es relevante para nosotros

6. Antes de esta encuesta, ¿estaba familiarizado con el concepto de Edge Computing?

Nota: Edge Computing permite procesar datos localmente, cerca de donde se generan, en lugar de depender completamente de la nube. Esto puede mejorar la velocidad de respuesta y reducir el uso de ancho de banda.

a) Sí

b) No

7. Si no está familiarizado, ¿estaría interesado en conocer más sobre soluciones tecnológicas que podrían ayudar a procesar los datos de su flota más rápido y con menos dependencia de la nube?

a) Sí

b) No estoy seguro

c) No

8. ¿Estaría dispuesto a participar en un proyecto piloto para probar tecnologías que permitan el procesamiento de datos en tiempo real, como el Edge Computing, y evaluar su impacto en la operación de su flota?

a) Sí

b) No

Universidad de El Salvador

Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

Escuela de Ingeniería de Sistemas Informáticos

**Entrevista sobre la Gestión del Mantenimiento de la Flota y el Procesamiento de Datos
Vehiculares**

Objetivo: Esta entrevista tiene como finalidad comprender la perspectiva y experiencias del participante en cuanto a la gestión actual del mantenimiento de la flota y el uso de tecnología en la recopilación y procesamiento de datos de sensores vehiculares.

- ¿Cómo gestionan actualmente el mantenimiento de su flota de vehículos?
- ¿Qué tecnologías se utilizan en los vehículos? ¿Qué sensores tienen instalados?
- ¿Han considerado la posibilidad de utilizar tecnologías que permitan procesar datos en tiempo real?
- ¿Cuentan con alguna aplicación propia que les permita rastrear la ubicación de los conductores? Además, ¿tienen acceso a esta información para supervisar a los conductores, y los clientes también pueden ver la ubicación de sus paquetes en tiempo real?
- ¿Recopilan datos de consumo de combustible para conocer el rendimiento de cuanto se gasta por combustible por día, por semana o por mes?

Anexo D. Transcripción de entrevista

Entrevista a Gerente de Operaciones de Caez Logistics

Entrevista a: Mario Alexander Rodríguez Jiménez

Realizada: 4 de octubre de 2024

Duración: 18:40 minutos

Lugar: Google Meet

Gonzalo: Buenas noches, es un gusto conocerlo, gracias por darnos la oportunidad de hacerle esta entrevista y por su tiempo.

Mario: Buenas noches, Gonzalo. El placer es mío. Estoy encantado de poder contribuir a tu investigación y dispuesto a compartir mi experiencia y cualquier información que pueda ser de utilidad.

Gonzalo: Muchas gracias. Para darle un poco de contexto a nuestra charla, mi equipo está investigando y desarrollando un prototipo de Edge Computing como proyecto final en la especialización de Infraestructura Cloud en la Universidad de El Salvador.

Para empezar, déjeme explicarle de manera sencilla lo que significa Edge Computing, es básicamente llevar el procesamiento de datos más cerca de donde se generan, como si acercáramos la nube a los dispositivos. Esto significa que, en vez de depender de servidores lejanos, se puede procesar la información al instante, ya que en ocasiones los servidores están muy lejos y la información tiene que hacer ese viaje, ya que se tiene que procesar la información y luego devolver la respuesta y eso puede hacer que tarde un poco más en recibirla. Entonces, al usar Edge Computing, el procesamiento de información es más rápido

y reduce el tiempo de espera ya que se podría decir que se procesa de manera local. Como le mencionaba, la respuesta es casi instantánea, lo que permite tomar decisiones más rápidas y puede llegar a mejorar la eficiencia operativa. Dicho esto, ¿le parece si comenzamos con las preguntas?

Mario: Entiendo, si claro adelante.

Gonzalo: ¿Podría explicarme un poco sobre cómo gestionan actualmente el mantenimiento de su flota?

Mario: Llevamos un control de los mantenimientos, es decir un calendario, en qué fecha le toca a equis número de camión la fecha de mantenimiento, dicho esto los camiones tienen un número de camión y la matricula, el número de camión es el que se usa en la empresa, luego está la libreta de registro diario, y básicamente ahí los conductores en la mañana que llegan tienen que revisar si el conductor del día anterior reporto algún problema, y ahí mismo en la libreta debería decir el número de camión, el nombre del conductor, cual es el problema, las notas del mecánico, si se resolvió el problema y por último la firma y la confirmación del conductor que creo la nota sobre si se resolvió o no el problema, y ese es un libro que vienen dos hojas, una blanca y otra papel carbón, para que se copie, la copia se tiene que ir a dejar a la oficina, cuando al camión le pasa algo, los conductores dejan la copia ahí para que luego se lleve a revisar, es una libreta que una vez se acaba se deshecha, no se guarda.

Gonzalo: Okey, ¿han considerado implementar alguna solución tecnológica que les permita automatizar o digitalizar el proceso actual de registro de mantenimientos?

Mario: Mira, por ahora llevamos el registro de incidencias y mantenimiento de manera bastante tradicional, como ya te conté. Aunque hemos empezado a digitalizar algunas

cosas en la computadora, la libreta sigue siendo clave porque los conductores están acostumbrados a usarla, y hasta ahora ha funcionado bien para nosotros.

La verdad es que sí hemos pensado en pasar a algo más automatizado o digital, pero aún estamos viendo qué solución sería la mejor para nosotros. Si implementamos algo más avanzado, podríamos reducir los errores y mejorar la eficiencia, especialmente para tener un historial más fácil de acceder. Pero, hay que hacerlo paso a paso, porque cambiar todo de golpe podría ser un poco complicado para algunos de los chicos que trabajan aquí.

Gonzalo: Entiendo, ahora me gustaría conocer sobre la tecnología que usan sus vehículos ¿Qué sensores están instalados en los camiones?

Mario: Okey, el camión tiene el GPS, el sensor de freno de mano para detectar si el freno de mano este puesto o no, el sensor del cinturón de seguridad y el sensor de la puerta de carga esos sensores nos reportan si los conductores lo usan correctamente, si pusieron siempre el freno o si se pusieron siempre el cinturón.

Gonzalo: ¿La información de estos sensores se recibe en tiempo real, o se procesa al final del día?

Mario: Los sensores que mencione anteriormente guardan lo que el conductor hace durante el día, por ejemplo, si se registra una parada y el cinturón esta puesto, se guarda como que se marcó una parada con el cinturón puesto, lo que nos da entender al revisar la información que el conductor no se bajó o que coloco el cinturón debajo de el para no estárselo quitando y poniendo, al igual con la puerta de carga se refleja cuando se deja abierta y el conductor manejo, al igual que aparece que si está registrando una parada en movimiento con el aparato portátil que llevan los conductores, todos esos datos se mandan a los servidores al final del día, cuando el conductor marca salida en su terminal portátil, tiene que registrar el

número del camión, los kilómetros que tiene, el número de camión registrado se vincula al usuario del conductor y al terminar el día, la información del camión con el usuario que lo condujo se mandan al final del día, también tenemos una cámara de tráfico en el camión y esa también manda archivos grabados de frenos muy fuertes, yendo muy rápido, estando a poca distancia del carro de enfrente, etc., las manda al final del día con la excepción de que si la cámara registra lo que es un posible accidente, se manda de inmediato, es lo único que se manda de inmediato cuando la cámara de tráfico registra un posible accidente.

Gonzalo: ¿Han evaluado la posibilidad de utilizar tecnologías que permitan procesar estos datos en tiempo real, para detectar y solucionar problemas antes de que afecten las operaciones diarias?

Mario: Bueno, hasta ahora hemos estado recopilando los datos de los sensores al final del día, lo que nos ha funcionado para monitorear el rendimiento de nuestros conductores. Pero honestamente, no hemos considerado mucho la idea de procesar esa información en tiempo real.

Sin embargo, me parece una opción interesante. Imagínate poder ver cómo están manejando los conductores en tiempo real y detectar cualquier problema antes de que afecte las operaciones. Sería genial, pero estamos un poco limitados en recursos y tiempo para implementar algo así en este momento. Aun así, creo que es algo que deberíamos explorar en el futuro, porque podría marcar una gran diferencia en cómo operamos.

Gonzalo: ¿Cuentan con alguna aplicación propia que les permita rastrear la ubicación de los conductores? Además, ¿tienen acceso a esta información para supervisar a los conductores, y los clientes también pueden ver la ubicación de sus paquetes en tiempo real?

Mario: Con el tema del GPS, el cliente a través del tracking puede ver la localización del camión pero no es tan precisa, la fecha de entrega y hora estimada, hay dos GPS el del camión y el del terminal portátil, el GPS del aparato muestra la ubicación del conductor en tiempo real, exactamente donde esta, nosotros podemos ver donde esta cada uno de los conductores, al igual que la hora de cada parada, también nos muestra en que ubicación el conductor escaneo un paquete, en que ubicación estaba el cuándo marco el paquete como entregado y en que ubicación estaba el camión en el momento de hacer la parada, se marcan estas tres ubicaciones para confirmar que los conductores escanean el paquete en la puerta del cliente y no en el camión, también para confirmar que se entregó en la dirección correcta y también para saber que tan lejos del camión estaban los conductores al realizar la entrega.

Gonzalo: ¿Con la terminal portátil que menciona que más operaciones realizan los conductores en ella?

Mario: Básicamente, desde que el conductor entra a trabajar inicia sesión con su cuenta, en los servidores que están en Azure, marca su entrada, ahí le muestra su ruta, durante el día el conductor escanea los paquetes y registra su parada, luego a la hora de tomar almuerzo tiene una sección llamado Time Card, ahí marca la hora del inicio del almuerzo y la hora final, luego al finalizar el día se registra la hora de salida, se marcan los paquetes que requieren otro proceso, como que la dirección estaba mal, no había nadie para recibirlo y luego se marca la salida, también se pueden marcar si se pasa al taller, desde que horas a que horas, si está en entrenamiento de igual forma, y todo ese tipo de cosas que sean cuestión de marcar tiempos.

Gonzalo: ¿Recopilan datos de consumo de combustible para conocer el rendimiento de cuanto se gasta por combustible por día, por semana o por mes?

Mario: El rendimiento conforme a cuanto se gastan de combustible si bien se toma en cuenta no es de relevancia, ya que los camiones son custom, son camiones específicos, es un chasis que viene fabricado específicamente para esto, entonces el consumo de combustible del motor está hecho para estar operando casi todo el día, y eso va relacionado a la distancia, entonces muy rara vez nosotros le tomamos importancia si un conductor gasta más o no, porque se sabe desde que comienza el día más o menos cuanto va a gastar, porque nosotros sabemos cuántos kilómetros van a manejar, a veces manejan unas cuantas más o a veces unas cuantas menos, pero es un parámetro que lo conocemos a partir de la ruta que el conductor va a tomar y por el desempeño de los combustible de los motores de cada vehículo, que se sabe más o menos cuanto se va a gastar cada día, cada camión al finalizar el día luego de que el conductor registrar el número del camión con el que trabajo, llega la persona encargada de descargar el camión y almacenarlo, el tiene el trabajo de registrar el número de camión, registrar si el camión tiene alguna parte dañada, y registran que en que bomba y cuanta gasolina pusieron en ese camión eso queda registrado para llevar un control de la gasolina que se usa, entonces si bien no se toma tanta importancia a cuanto gasta de gasolina cada conductor, ya que se tiene más o menos un estimado de lo que se va a gastar, sí que se lleva un registro del combustible usado, usado en el sentido de las bombas, cuanto hay en las bombas y cuanto se ha usado en las bombas, más que todo es un control a la hora de ver dónde está la gasolina que falta en el tanque, si por ejemplo falta más gasolina de la que los camiones registran o si sobra, es decir que a un camión le marcaron que lo llenaron pero no lo hicieron, ese tipo de cosas.

Gonzalo: Agradezco mucho su tiempo y las respuestas que ha compartido con nosotros, ha sido muy amable y gracias por explicarnos todas estas cosas

Mario: Muchas gracias, Gonzalo. Ha sido un placer conversar contigo y compartir nuestra experiencia.

Gonzalo: Gracias nuevamente, pase buenas noches


Mario: Buenas noches.

Anexo E. Precios de equipos de hardware para el despliegue de un Nodo Edge en Bare Metal

amazon Enviar a Miami 33206 Todos ES Hola, Identifícate Cuenta y Listas Devoluciones y Pedidos Carrito

Computadoras Laptops Computadoras de Escritorio Monitores Tablets Accesorios Componentes para PC Gaming para PC Ofertas

Volver a resultados



Lenovo ThinkSystem SR630 - Paquete de servidores en rack con kit de riel, 2 x Intel Xeon Silver 4110 8-Core 2.10GHz, 32GB DDR4, 2TB SSD, RAID
 Visita la tienda de Lenovo
 Buscar en esta página

US\$2,999⁰⁰
 Get \$50 off instantly: Pay \$2,949.00 upon approval for Amazon Visa.

Entrega y asistencia
 Selecciona para obtener más información

Envíos desde Aventis Systems Retornos fáciles de 30 días Atención al Cliente

Tamaño: **1) 32GB RAM, 2TB SSD** 2) 64GB RAM, 4TB SSD 3) 128GB RAM, 8TB SSD
 US\$2,999.00 US\$3,499.00 US\$4,299.00

Pasa el mouse encima de la imagen para aplicar zoom

US\$2,999⁰⁰
 Entrega GRATIS entre el 16 - 17 de octubre. Realiza el pedido en 15 hrs 22 mins. Ver detalles
 Enviar a Miami 33206
Solo queda(n) 18 en stock (hay más unidades en camino).
 Cantidad: 1
 Agregar al Carrito
 Comprar ahora


Enviado por Aventis Systems
 Vendido por Aventis Systems
 Devoluciones Reintegro o reemplazo en 30 días
 Pago Transacción segura

Agregar un plan de protección:
 Protección de 3 años por

amazon Enviar a Miami 33206 Todos ES Hola, Identifícate Cuenta y Listas Devoluciones y Pedidos Carrito

Computadoras Laptops Computadoras de Escritorio Monitores Tablets Accesorios Componentes para PC Gaming para PC Ofertas

Volver a resultados



Lenovo ThinkSystem SR630 - Paquete de servidores en rack con kit de riel, 2 x Intel Xeon Silver 4110 8-Core 2.10GHz, 64GB DDR4, 4TB SSD, RAID
 Visita la tienda de Lenovo
 Buscar en esta página

US\$3,499⁰⁰
 Get \$50 off instantly: Pay \$3,449.00 upon approval for Amazon Visa.

Entrega y asistencia
 Selecciona para obtener más información

Envíos desde Aventis Systems Retornos fáciles de 30 días Atención al Cliente

Tamaño: **2) 64GB RAM, 4TB SSD** 1) 32GB RAM, 2TB SSD 3) 128GB RAM, 8TB SSD
 US\$2,999.00 US\$3,499.00 US\$4,299.00

Pasa el mouse encima de la imagen para aplicar zoom

US\$3,499⁰⁰
 Entrega GRATIS el jueves, 17 de octubre. Realiza el pedido en 15 hrs 21 mins. Ver detalles
 Enviar a Miami 33206
Solo queda(n) 16 en stock (hay más unidades en camino).
 Cantidad: 1
 Agregar al Carrito
 Comprar ahora


Enviado por Aventis Systems
 Vendido por Aventis Systems
 Devoluciones Reintegro o reemplazo en 30 días
 Pago Transacción segura

Más información

amazon Enviar a Miami 33206 Todos ES Hola, Identifícate Cuenta y Listas Devoluciones y Pedidos Carrito

Computadoras Laptops Computadoras de Escritorio Monitores Tablets Accesorios Componentes para PC Gaming para PC Ofertas

Volver a resultados



Servidor HPE ProLiant DL360 G10 1U Rack - 1 x Intel Xeon Silver 4210R 2.40 GHz - 32 GB RAM - SATA serie, controlador SAS de 12 Gb/s
 Visita la tienda de Hewlett Packard Enterprise
 Buscar en esta página

US\$2,351⁰²
 Get \$50 off instantly: Pay \$2,301.02 upon approval for Amazon Visa.

Marca Hewlett Packard Enterprise
Fabricante de CPU Intel
Modelo de CPU Quad Core Xeon
Velocidad de la CPU 2,4 GHz
Zócalo de CPU Intel C621

Sobre este artículo
 • El procesador Xeon Silver 2.40 ghz ofrece el rendimiento para

Nuevo: US\$2,351⁰²
 Entrega GRATIS entre el 19 - 21 de octubre. Ver detalles
 Enviar a Miami 33206
Disponible
 Cantidad: 1
 Agregar al Carrito
 Comprar ahora

Enviado por IT Superstore
 Vendido por IT Superstore
 Devoluciones Reintegro o reemplazo en 30 días
 Pago Transacción segura

Más información

Agregar un plan de protección:


amazon Enviar a Miami 33206 Todos HPE ProLiant DL360 64gb

ES - Hola, Identifícate Cuenta y Listas y Pedidos Divulga tus Datos de Compra y Pedidos Carrito

Todo Atención médica - Whole Foods Más Vendidos Amazon Basics Prime - Ofertas del Día Nuevos lanzamientos Música Servicio al Cliente Amazon Home Listas Farmacia Tarjetas de Regalo - Libros Smart Home

Computadoras Laptops Computadoras de Escritorio Monitores Tablets Accesorios Componentes para PC Gaming para PC Ofertas

Volver a resultados



HP E ProLiant DL360 G10 1U Servidor en rack – 1 x Intel Xeon Silver 4208 2.10 GHz – 64 GB RAM – 960 GB SSD – [2 x 480 GB] Configuración SSD – Controlador Serial ATA/600

Visita la tienda de HP
[Buscar en esta página](#)

US\$ 2,587⁸⁹

Get \$50 off instantly: Pay \$2,537.89 upon approval for Amazon Visa.

- Número de procesadores compatibles: 2
- Número de procesadores instalados: 1
- Fabricante del procesador: Intel
- Tipo de procesador: Xeon Silver
- Generación del procesador: 2ª generación

Informar de un problema con este producto o vendedor

Haz clic en la imagen para obtener una vista ampliada

Nuevo:
 US\$ 2,587⁸⁹

Entrega GRATIS entre el 19 - 21 de octubre. Ver detalles

Enviar a Miami 33206

Disponibles

Cantidad: 1

Agregar al Carrito

Comprar ahora

Enviado por IT Superstore
 Vendido por IT Superstore
 Devoluciones Reintegro o reemplazo en 30 días
 Pago Transacción segura

Más información

Anteprar un plan de protección:

Perfiles Firefox WhatsApp Microsoft 365 GitHub UES Google Campus UES ChatGPT ICC115 Desarrollo con Odoo Beca MH Otros marcadores

https://www.dell.com/es-es/shop/servidores-para-rack/sr/servers/poweredge-rack-servers/intel?appliance=...

1U (11)
 2U (18)
 4U (0)

Rango de precios

2.501 € - 3.500 € (1)
 3.501 € - 4.500 € (7)
 4.501 € y más (21)
 500 € - 1.500 € (0)
 1.501 € - 2.500 € (0)

€Min. €Máx. →


Envío

Actualice a ProSupport para obtener soporte de hardware y software proactivo y predictivo 24x7.

Guardar Comparar

Smart Selection PowerEdge R450 Servidor Rack Plus 3.696,55 €
 3.055,00 € excluyendo el IVA

Código de pedido per4503a



- CPU: Intel® Xeon® Silver 4310 2.1GHz
- RAM: 2x16GB DIMM
- Data: 1x480GB SSD SATA
- Support: 3años Basic NBD

Actualice a ProSupport para obtener soporte de hardware y software proactivo y predictivo 24x7.

Nota. La conversión a dólares para la fecha de este documento es de \$4,039.15.

Perfiles Firefox WhatsApp Microsoft 365 GitHub UES Google Campus UES ChatGPT ICC115 Desarrollo con Odoo Beca MH Otros marcadores

https://www.dell.com/es-es/shop/servidores-para-rack/sr/servers/poweredge-rack-servers/intel?appliance=...

Densidad de rack

1U (11)
 2U (18)
 4U (0)

Rango de precios

2.501 € - 3.500 € (1)
 3.501 € - 4.500 € (7)
 4.501 € y más (21)
 500 € - 1.500 € (0)
 1.501 € - 2.500 € (0)

€Min. €Máx. →

Actualice a ProSupport para obtener soporte de hardware y software proactivo y predictivo 24x7.


Flex Bay

- Support: 3años Basic NBD

Guardar Comparar

Smart Selection PowerEdge R650 Servidor Rack Premium 6.556,99 €
 5.419,00 € excluyendo el IVA

Código de pedido per6509a



- CPU: 2xIntel® Xeon® Silver 4314 2.4GHz
- RAM: 4x16GB DIMM
- Data: 1x480GB SSD SATA
- Support: 3años Basic NBD

Actualice a ProSupport para obtener soporte de hardware y software proactivo y predictivo 24x7.

Ver fechas de entrega

PayPal Paga en 3 plazos sin intereses tus compras de 30€ a 2.000€. 0% TAE. [Más información](#)

Nota. La conversión a dólares para la fecha de este documento es de \$7,164.69.



amazon Enlace a Miami 33206 Todos cisco catalyst

ES - Hola, Identifícate Cuenta y Listas Devoluciones y Pedidos Carrito

Todo Atención médica Whole Foods Más Vendidos Amazon Basics Prime Ofertas del Día Nuevos lanzamientos Música Servicio al Cliente Amazon Home Listas Farmacia Tarjetas de Regalo Libros Smart Home

Computadoras Laptops Computadoras de Escritorio Monitores Tablets Accesorios Componentes para PC Gaming para PC Ofertas

Volver a resultados

1 videos

Cisco Catalyst 1300-48P-4G - Interruptor gestionado, 48 puertos GE, PoE, 4x1GE SFP, protección limitada de por vida (C1300-48P-4G)

Visita la tienda de Cisco
Buscar en esta página

US\$1,491¹⁷ (US\$225.93 / kg)

Devoluciones GRATIS

Pay \$124.26/month for 12 months, interest-free upon approval for Amazon Visa

Marca	Cisco
Número de puertos	48
Componentes Incluidos	Interruptor, cable de alimentación o adaptador, cable USB tipo C y hardware de montaje
Peso del artículo	5,67 Kilogramos
Plataforma	No Operating System

Sobre este artículo

- PUERTOS DEL INTERRUPTOR: 48 puertos 10/100/1000 + 4x 1GE SFP (presupuesto total de potencia PoE: 375W, PoE, PoE+)
- SENCILLO: la aplicación móvil intuitiva Cisco Business, la interfaz

prime

Disfruta de una entrega rápida y GRATIS, ofertas exclusivas y películas y programas de TV galardonados con Prime. Prueba Prime y comienza a ahorrar hoy con entrega rápida y gratis.

US\$1,491¹⁷ (US\$225.93 / kg)

Devoluciones GRATIS

Entrega GRATIS entre el 4 de noviembre - 9 de diciembre

O entrega más rápida entre el 1 de noviembre - 6 de diciembre

Enviar a Miami 33206

Envío en 1 a 2 meses

Cantidad: 1

Agregar al Carrito

Comprar ahora

Universidad de El Salvador
Facultad de Ingeniería y
Arquitectura

DOCUMENTO DE DISEÑO DE ALTO NIVEL

Prototipo de infraestructura Edge destinado a
soluciones de Internet de las Cosas

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	I
OBJETIVOS	I
OBJETIVO GENERAL	I
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	I
ARQUITECTURA DEL PROTOTIPO	1
DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES	2

Introducción

El presente documento le proporcionará una visión general del prototipo desarrollado, se detallan cosas como la arquitectura, descripciones de sus partes, diagramas de funcionamiento, entre otros detalles. El prototipo consiste en una configuración de una nube de tipo de paradigma Edge especializada en la provisión de servicio a soluciones de internet de las cosas.

Objetivos

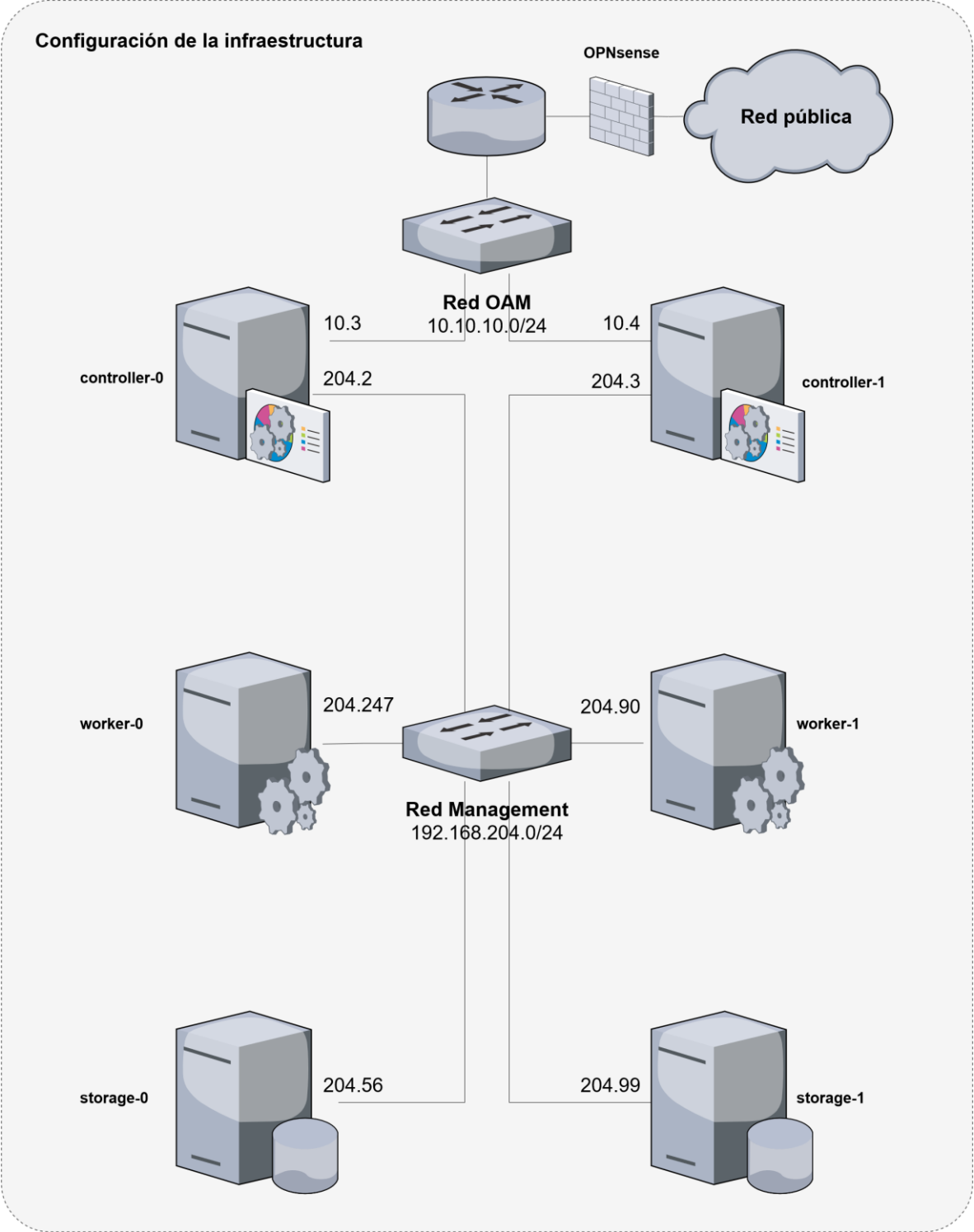
Objetivo general

Describir los elementos de los que está compuesto el sistema, proporcionando una explicación clara y entendible para personas sin conocimientos técnicos profundos.

Objetivos específicos

- Describir la arquitectura del sistema desde una perspectiva de alto nivel.
- Describir los componentes clave y su propósito.

Arquitectura del prototipo



Descripción de los componentes

Para los seis nodos empleados en la arquitectura se especifican sus características.

- **Controller-0**

Desempeñan un papel fundamental en el clúster se encarga de la gestión y operación de este, Ejecutan demonios correspondientes al plano de control de Kubernetes, servicios de OpenStack como Identity, Nova, Horizon.

- **Controller-1**

Este nodo está inactivo mientras controller-0 esté activo, su propósito es proveer un entorno de alta disponibilidad, por lo que si el otro controller falla, este tomará el control automáticamente para evitar interrupciones en los servicios.

- **Nodos worker**

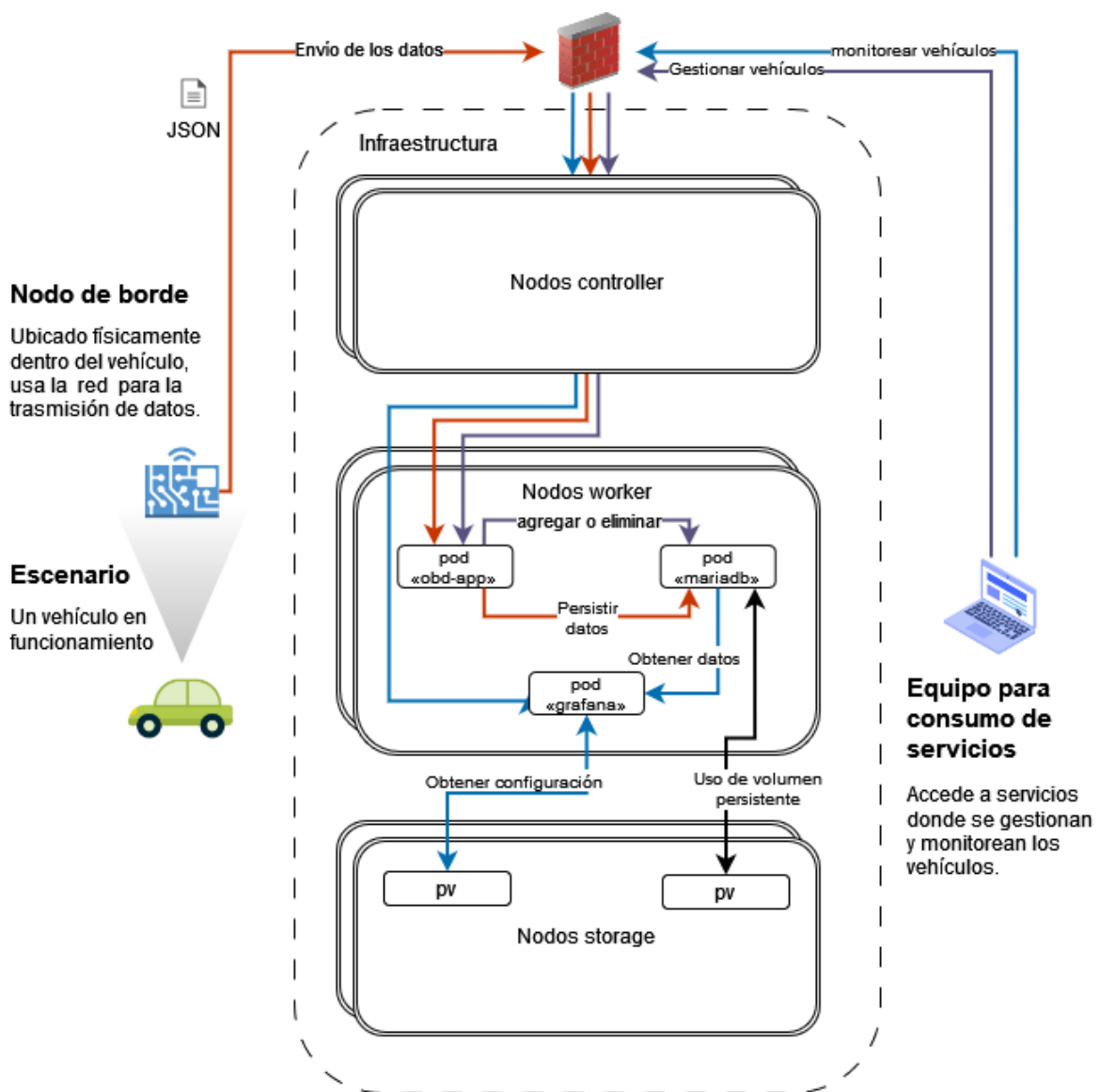
Estos nodos son dos en nuestra configuración y ejecutan las cargas de trabajo de contenedores o máquinas virtuales. En el caso del worker-1 también ejecuta una tercera instancia del demonio ceph monitor.

- **Nodos storage**

Estos nodos son dos en nuestra configuración y se desempeñan como nodos OSD (Object Storage Daemon) de Ceph, con un factor de replicación de dos, para proveer almacenamiento persistente a máquinas virtuales o contenedores.

Además, se tiene un nodo que función como un firewall dedicado brindando seguridad a la infraestructura. Siendo la infraestructura una red de tipo Stub, el único punto de entrada es mediante el firewall el cual se encuentra entre el switch y el enrutador.

A continuación, se muestra un diagrama que modela en un alto nivel el recorrido de los datos desde el escenario donde se extraen de los sensores por parte de los nodos de borde hasta los servicios en la infraestructura de nube y el camino que recorren cuando un equipo de consumo de utiliza dichos servicios.



Universidad de El Salvador
Facultad de Ingeniería y
Arquitectura

DOCUMENTO DE DISEÑO DE BAJO NIVEL

Prototipo de infraestructura Edge destinado a
soluciones de Internet de las Cosas

Índice

INTRODUCCIÓN	I
OBJETIVOS	I
OBJETIVO GENERAL	I
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	I
INSTALACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA	1
VERIFICACIÓN DE LOS REQUISITOS DEL SISTEMA ANFITRIÓN	1
PREPARACIÓN DE LA ESTACIÓN DE TRABAJO PARA LA INSTALACIÓN.	2
PROCESO DE INSTALACIÓN	4
CONFIGURACIÓN DEL NODO CONTROLLER-0	9
CONFIGURACIÓN DE CONTROLLER-1 (EN MODO STANDBY), LOS NODOS WORKER Y STORAGE	10
CONFIGURACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO DE CONTROLLER-1	11
CONFIGURACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO DE LOS NODOS STORAGE	11
CONFIGURACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO DE LOS NODOS WORKER	12
CONFIGURACIÓN DE LOS SERVICIOS	14
CONFIGURACIÓN DE LOS NODOS DE TOMA DE LOS DATOS	20

Introducción

El presente documento lo llevará paso a paso en el proceso de instalación y configuración del prototipo de nube de borde descrito en la sección de prototipo que, como se mencionó en ese capítulo, es un despliegue de StarlingX, una plataforma especializada para este tipo de escenarios y montar los servicios para la demostración del caso de estudio. Como puede suponer, este documento tiene una orientación muy técnica dirigido a personas con relativo conocimiento técnico.

Objetivos

Objetivo general

Proporcionar instrucciones claras y bien estructuradas para el despliegue de la infraestructura de nube de borde y los servicios correspondientes para el caso de estudio.

Objetivos específicos

- Desplegar la infraestructura de nube de borde utilizando StarlingX en su configuración estándar con nodos de almacenamiento dedicados.
- Implementar los servicios dentro de la infraestructura que procesarán la información de los dispositivos IoT.

Instalación de la infraestructura

El sistema anfitrión debe tener instalado al menos Ubuntu 16.04 o versiones posteriores, el presente flujo se realiza sobre Ubuntu 22.04, con respecto al hardware se requiere de un procesado de al menos 8 núcleos de arquitectura x86_64 que soporte Intel VT-X o AMD-V y que esté activada, 32 GB de memoria RAM, 500 GB de almacenamiento y un adaptador de red con conexión a internet.

Verificación de los requisitos del sistema anfitrión para proceder con la instalación

Antes de comenzar, verifique que su CPU sea apta para virtualizar, puede ejecutar el siguiente comando en una terminal.

```
grep -E -c '(svm|vmx)' /proc/cpuinfo
```

Si la salida de este comando es 0 significa que la CPU no es apta para virtualizar. Si es 1 o un número mayor quiere decir que su CPU es apta para virtualizar.

Además, debe verificar si dicha tecnología se encuentre habilitada, ya que en algunas CPU puede venir deshabilitada de fábrica. Para verificarlo usaremos la utilidad «kvm-ok», si no la tiene instalada puede obtenerla instalando el paquete «cpu-checker», y ejecute lo siguiente con permisos de superusuario.

```
sudo kvm-ok
```

Si la CPU está habilitada verá algo así.

```
miguel@miguel-pc:~$ sudo kvm-ok
INFO: /dev/kvm exists
KVM acceleration can be used
```

Sí no, la salida se parecerá a esto, indicando que debe acceder al firmware del equipo para activar dicha funcionalidad.

```
miguel:miguel-pc:~$ sudo kvm-ok
INFO: /dev/kvm does not exist
HINT:   sudo modprobe kvm_intel
INFO: Your CPU supports KVM extensions
INFO: KVM (vmx) is disabled by your BIOS
HINT: Enter your BIOS setup and enable Virtualization Technology
(VT), and then hard poweroff/poweron your system
KVM acceleration can NOT be used
```

Como tercer punto, desplegar StarlingX requiere que la arquitectura de la CPU sea x86_64, para verificarlo ejecute los siguiente.

```
uname -m
```

Si la salida del comando es «x86_64», la arquitectura del equipo es la adecuada para proceder con la instalación.

Si ha verificado los puntos anteriores y son correctos, continúe con la instalación de KVM en el equipo.

Preparación de la estación de trabajo para la instalación.

Como primer punto, actualice el índice de paquetes del sistema, para a continuación instalar los paquetes relacionados con KVM.

```
sudo apt update
```

```
sudo apt install bridge-utils cpu-checker libvirt-clients
libvirt-daemon qemu qemu-kvm virt-manager
```

También necesitará emplear git, por lo que si no lo tiene instalado hágalo con la siguiente orden.

```
sudo apt install git
```

Clone el repositorio de StarlingX en algún sitio dentro de su directorio personal.

```
git clone https://opendev.org/starlingx/virtual-deployment.git
$HOME/Descargas
```

Una vez que ha descargado el repositorio, deberá ejecutar el script «install_packages.sh», que instalará algunos paquetes necesarios.

```
cd $HOME/Descargas/virtual-deployment/libvirt
```

```
bash install_packages.sh
```

Después de eso debe instalar otros paquetes necesarios que no son instalados por el script anterior.

```
sudo apt install apparmor-profiles
```

```
sudo apt install ufw
```

Y deshabilite el cortafuegos.

```
ufw disable
```

```
ufw status
```

Para proceder con la instalación necesitará una imagen ISO del instalador de StarlingX. Para el despliegue en este caso se usa la versión 6.0 de la ISO de StarlingX. Puede descargar el archivo con el siguiente comando.

```
wget  
https://mirror.starlingx.cengn.ca/mirror/starlingx/release/6.0.0  
/centos/flock/outputs/iso/bootimage.iso
```

Espere hasta que la descarga se complete.

Como paso final de la preparación, debe configurar los puentes de red para el despliegue de StarlingX. Ejecute el script «setup_network.sh». Se crearán 4 puentes que se utilizarán en la nube STX. Esto debe hacerse como un paso previo a la instalación de las máquinas virtuales y también previo a cada vez que se quiera arrancar las máquinas virtuales.

```
sudo bash setup_network.sh
```

Proceso de instalación

Inicie la instalación ejecutando el script «setup_configuration.sh». Se crearán las instancias virtuales específicas para la configuración de nube de StarlingX «standart with dedicated storage», el cual se especifica con la opción «-c», mientras que la imagen base se especifica con la opción «-i».

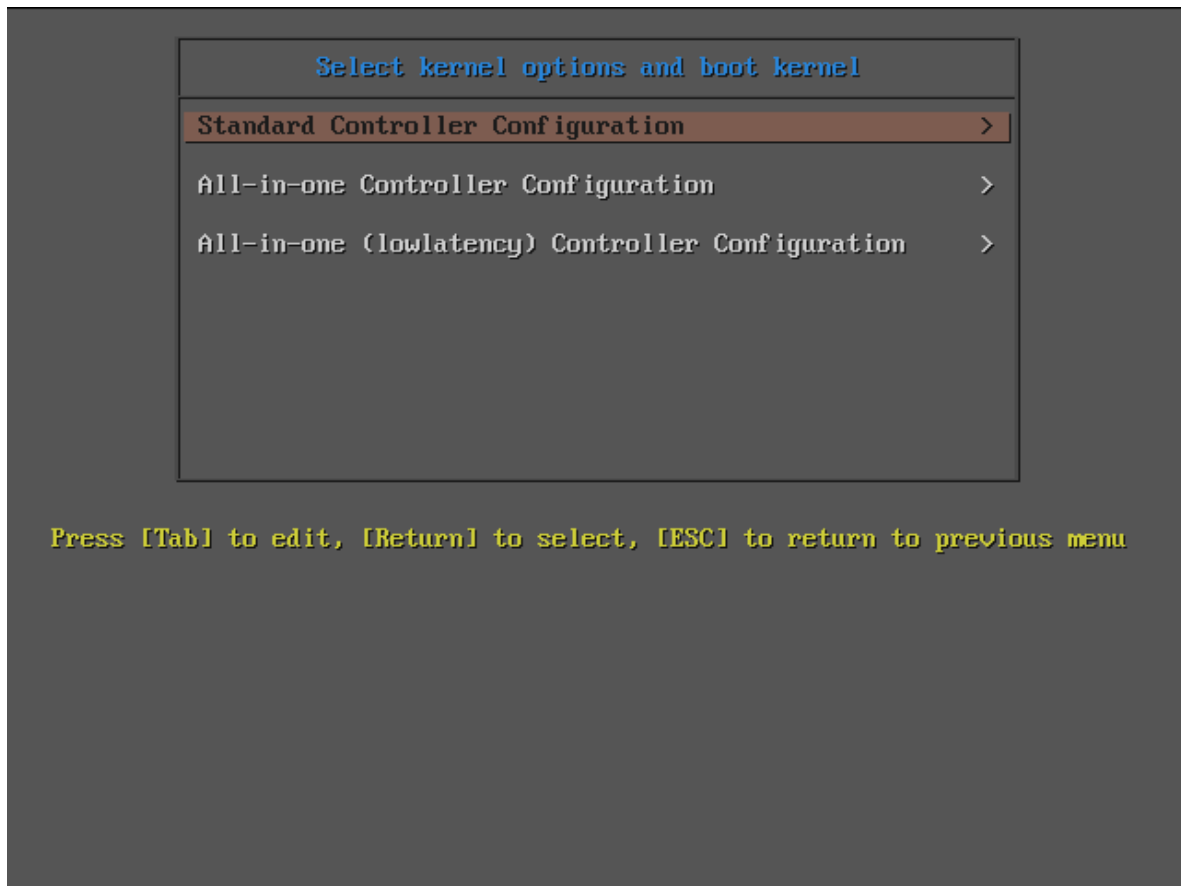
```
cd $HOME/Descargas/virtual-deployment/libvirt
```

```
bash setup_configuration.sh -c dedicatedstorage -i  
$HOME/Descargas/bootimage.iso
```

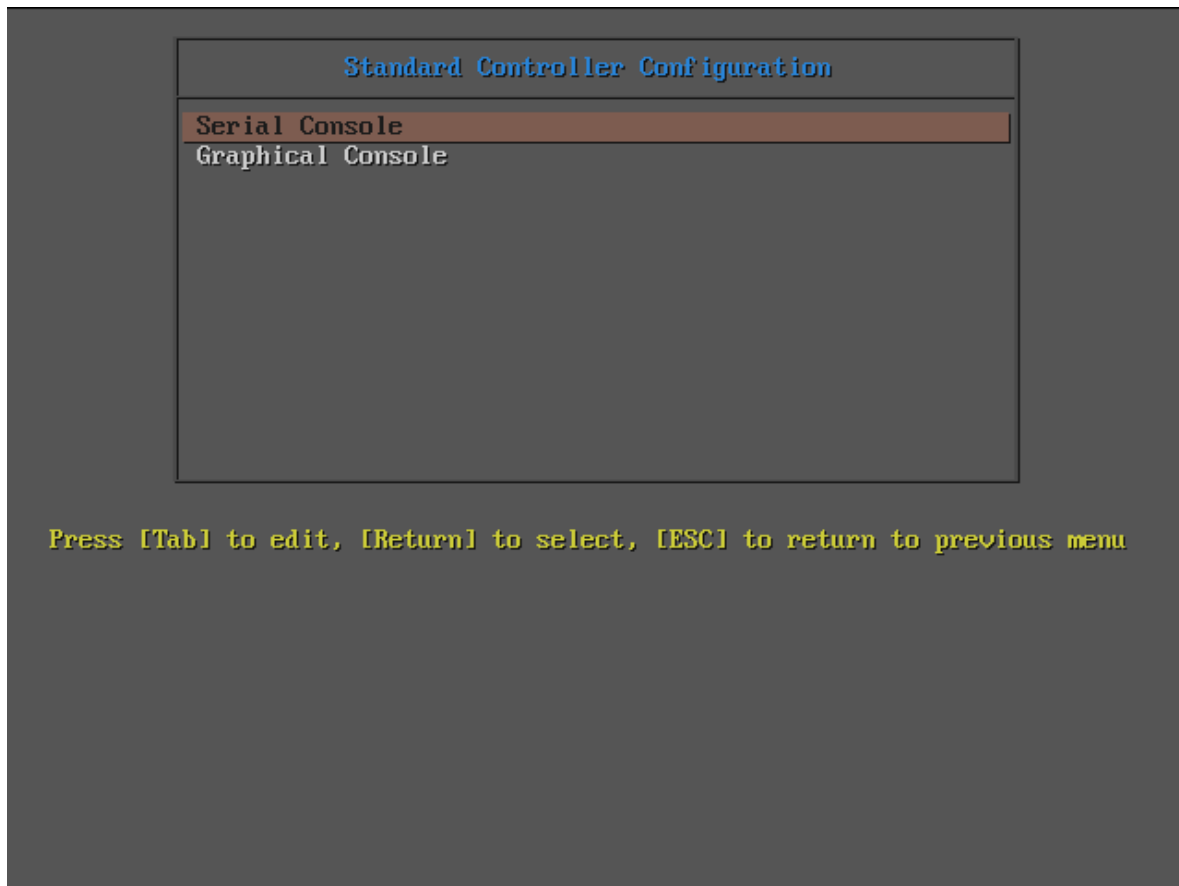
El script creará las siguientes seis máquinas virtuales que conforman la infraestructura: dedicatedstorage-controller-0, dedicatedstorage-controller-1, dedicatedstorage-storage-0, dedicatedstorage-storage-1, dedicatedstorage-worker-0 y dedicatedstorage-worker-1

Y arrancará el primer controlador, dedicatedstorage-controller-0, en el programa Virtual Machine Manager.

En el menú de instalación realice la siguiente selección, seleccione «Standard Controller Configuration» en el primer menú.



y dentro del submenú que le aparece, seleccione «Serial Console».



Espera que el sistema arranque y se complete el proceso de instalación. Cuando haya terminado se le presentará la shell de login, debe iniciar sesión con el nombre de usuario: sysadmin y la contraseña: sysadmin. Por seguridad, el sistema le obligará a cambiar la contraseña inmediatamente.

```
-----  
THIS IS A PRIVATE COMPUTER SYSTEM.  
This computer system including all related equipment, network devices  
(specifically including Internet access), are provided only for authorized use.  
All computer systems may be monitored for all lawful purposes, including to  
ensure that their use is authorized, for management of the system, to  
facilitate protection against unauthorized access, and to verify security  
procedures, survivability and operational security. Monitoring includes active  
attacks by authorized personnel and their entities to test or verify the  
security of the system. During monitoring, information may be examined,  
recorded, copied and used for authorized purposes. All information including  
personal information, placed on or sent over this system may be monitored. Uses  
of this system, authorized or unauthorized, constitutes consent to monitoring  
of this system. Unauthorized use may subject you to criminal prosecution.  
Evidence of any such unauthorized use collected during monitoring may be used  
for administrative, criminal or other adverse action. Use of this system  
constitutes consent to monitoring for these purposes.
```

```
localhost login: sysadmin  
Password:  
You are required to change your password immediately (root enforced)  
Changing password for sysadmin.  
(current) UNIX password:  
New password:  
Retype new password:
```

Al acceder al sistema, deberá realizar el proceso de instalación y configuración de los diferentes servicios de StarlingX para cada nodo. Para ello, lo primero que debe hacer es configurar la conectividad a la red, ejecute los siguientes comandos de esta sección en el nodo controller-0 en el que ha iniciado sesión.

```
export CONTROLLER0_OAM_CIDR=10.10.10.3/24
```

```
export DEFAULT_OAM_GATEWAY=10.10.10.1
```

```
sudo ip address add $CONTROLLER0_OAM_CIDR dev enp2s1
```

```
sudo ip link set up dev enp7s1
```

```
sudo ip route add default via $DEFAULT_OAM_GATEWAY dev enp2s1
```

Pruebe la conectividad haciendo ping a alguna IP pública, por ejemplo.

```
ping 8.8.8.8
```

StarlingX usa Ansible para la instalación automatizada del software necesario, puede especificar en un archivo YAML los parámetros de configuración que desee sobrescribir durante la ejecución de Ansible Bootstrap Playbook. Para el despliegue actual se creó el archivo «localhost.yml» con el siguiente contenido y de la siguiente manera.

```
cat <<EOF > localhost.yml
system_mode: duplex

dns_servers:
  - 8.8.8.8
  - 8.8.4.4

external_oam_subnet: 10.10.10.0/24
external_oam_gateway_address: 10.10.10.1
external_oam_floating_address: 10.10.10.2
external_oam_node_0_address: 10.10.10.3
external_oam_node_1_address: 10.10.10.4

admin_username: admin
admin_password: Icc1152024.
ansible_become_pass: Icc1152024.

EOF
```

Asegúrese que no haya errores de indentación en el código YAML, que pueden ocurrir al copiar y pegar. En un comentario no afectarían, pero en el resto del código puede causar errores al ejecutar Ansible Bootstrap Playbook.

Proceda a la ejecución de Ansible Bootstrap Playbook con el siguiente comando. Este proceso puede ser algo tardado, así como lo fue el primer arranque, todo depende de las capacidades de su hardware.

```
ansible-playbook /usr/share/ansible/stx-
ansible/playbooks/bootstrap.yml
```

Al finalizar el proceso de instalación y tener acceso de nuevo al prompt, debe adquirir credenciales de administrador ejecutando el siguiente comando.

```
source /etc/platform/openrc
```

Configuración del nodo controller-0

En controller-0 especificamos las redes conectadas al nodo (OAM y MGMT) configurando las interfaces para cada una en controller-0. Ejecute la siguiente secuencia de comandos.

```
OAM_IF=enp2s1
```

```
MGMT_IF=enp2s2
```

```
system host-if-modify controller-0 lo -c none
```

```
IFNET_UUIDS=$(system interface-network-list controller-0 | awk  
'{if ($6=="lo") print $4;}')
```

```
for UUID in $IFNET_UUIDS; do  
    system interface-network-remove ${UUID}  
done
```

```
system host-if-modify controller-0 $OAM_IF -c platform
```

```
system interface-network-assign controller-0 $OAM_IF oam
```

```
system host-if-modify controller-0 $MGMT_IF -c platform
```

```
system interface-network-assign controller-0 $MGMT_IF mgmt
```

```
system interface-network-assign controller-0 $MGMT_IF cluster-  
host
```

Después, configure el servicio de NTP.

```
system ntp-modify ntpservers=0.pool.ntp.org,1.pool.ntp.org
```

Configurar el backend de almacenamiento de Ceph.

```
system storage-backend-add ceph -confirmed
```

Desbloquee el controlador-0 para ponerlo en servicio. Este paso hará que la máquina virtual se reinicie y puede tomar algo de tiempo, de igual manera esto depende de las capacidades del hardware.

```
system host-unlock controller-0
```

Cuando termine el proceso, habrá culminado con la instalación y configuración del nodo controller-0.

Configuración de controller-1 (en modo standby), los nodos worker y storage

Deberá arrancar una instancia por vez y realizar los pasos siguientes, los comandos se ejecutarán dentro de controller-0.

Primero, arranque el nodo controller-1, luego en controller-0 va a listar los nodos descubiertos y asigne la personalidad al nuevo nodo que aparece con el valor «None» en las columnas nombre y personalidad.

```
system host-list
```

Asigne la personalidad al nodo controller-1 en base al valor en la columna «id».

```
system host-update 2 personality=controller
```

En el comando anterior «2» es el id del nodo. Así comenzará la instalación del software en controller-1, espere a que termine.

Haga lo mismo con cada uno de los nodos storage, arranque storage-0, liste los nodos en controller-0 y al descubrir el nuevo nodo asigne la personalidad y espere a que se instale el software.

```
system host-update [id] personality=storage
```

En el comando anterior «[id]» es el id del nodo.

Y con los nodos worker.

```
system host-update [id] personality=worker hostname=worker-[n]
```

En el comando anterior «[id]» es el id del nodo. «[n]» es el número en el nombre del nodo, ya sea 0 o 1.

Configuración y puesta en servicio de controller-1

Configure las redes OAM y MGMT en controller-1, ejecute los siguientes comandos dentro de controller-0. La red MGMT está configurada parcialmente por el proceso de instalación.

```
OAM_IF=enp2s1
```

```
system host-if-modify controller-1 $OAM_IF -c platform
```

```
system interface-network-assign controller-1 $OAM_IF oam
```

```
system interface-network-assign controller-1 mgmt0 cluster-host
```

Asigne etiquetas de host de OpenStack a controller-1 para facilitar la instalación del manifiesto stx-openstack/helm-charts más adelante.

```
system host-label-assign controller-1 openstack-control-  
plane=enabled
```

Desbloquee el controlador-1 para ponerlo en servicio.

```
system host-unlock controller-1
```

Configuración y puesta en servicio de los nodos storage

Configure las redes OAM y MGMT en controller-1, ejecute los siguientes comandos dentro de controller-0. La red MGMT está configurada parcialmente por el proceso de instalación.

```
for NODE in storage-0 storage-1; do  
  system interface-network-assign $NODE mgmt0 cluster-host  
done
```

Agregar OSD a los nodos.

Ejecute las siguientes ordenes de la siguiente manera, defina la variable de entorno «HOST» para que tenga el valor «storage-0» ejecute la secuencia de comandos y luego reasigne el valor de la variable a «storage-1» y realice de nuevo la ejecución.

```
HOST=[valor]
```

Secuencia de instrucciones.

```
DISKS=$(system host-disk-list ${HOST})
```

```
TIERS=$(system storage-tier-list ceph_cluster)
```

```
OSDs="/dev/sdb"
```

```
for OSD in $OSDs; do
    system host-stor-add ${HOST} $(echo "$DISKS" | grep "$OSD" |
    awk '{print $2}') --tier-uuid $(echo "$TIERS" | grep storage |
    awk '{print $2}')
done
```

```
system host-stor-list $HOST
```

Desbloquear nodos storage para ponerlos en servicio.

```
for STORAGE in storage-0 storage-1; do
    system host-unlock $STORAGE
done
```

Configuración y puesta en servicio de los nodos worker

Configure las redes OAM y MGMT en controller-1, ejecute los siguientes comandos dentro de controller-0. La red MGMT está configurada parcialmente por el proceso de instalación.

```
for NODE in worker-0 worker-1; do
    system interface-network-assign $NODE mgmt0 cluster-host
done
```

Configure las redes para datos usadas por OpenStack.

```
DATA0IF=eth1000
```

```
DATA1IF=eth1001
```

```
PHYSNET0='physnet0'
```

```
PHYSNET1='physnet1'
```

```
SPL=/tmp/tmp-system-port-list
```

```
SPIL=/tmp/tmp-system-host-if-list
```

```
system datanetwork-add ${PHYSNET0} vlan
```

```
system datanetwork-add ${PHYSNET1} vlan
```

```
for NODE in worker-0 worker-1; do
  echo "Configuring interface for: $NODE"
  set -ex
  system host-port-list ${NODE} --nowrap > ${SPL}
  system host-if-list -a ${NODE} --nowrap > ${SPIL}
  DATA0PCIADDR=$(cat $SPL | grep $DATA0IF |awk '{print $8}')
  DATA1PCIADDR=$(cat $SPL | grep $DATA1IF |awk '{print $8}')
  DATA0PORTUUID=$(cat $SPL | grep ${DATA0PCIADDR} | awk '{print
$2}')
  DATA1PORTUUID=$(cat $SPL | grep ${DATA1PCIADDR} | awk '{print
$2}')
  DATA0PORTNAME=$(cat $SPL | grep ${DATA0PCIADDR} | awk '{print
$4}')
  DATA1PORTNAME=$(cat $SPL | grep ${DATA1PCIADDR} | awk '{print
$4}')
  DATA0IFUUID=$(cat $SPIL | awk -v DATA0PORTNAME=$DATA0PORTNAME
'($12 ~ DATA0PORTNAME) {print $2}')
  DATA1IFUUID=$(cat $SPIL | awk -v DATA1PORTNAME=$DATA1PORTNAME
'($12 ~ DATA1PORTNAME) {print $2}')
  system host-if-modify -m 1500 -n data0 -c data ${NODE}
${DATA0IFUUID}
  system host-if-modify -m 1500 -n data1 -c data ${NODE}
${DATA1IFUUID}
  system interface-datanetwork-assign ${NODE} ${DATA0IFUUID}
${PHYSNET0}
  system interface-datanetwork-assign ${NODE} ${DATA1IFUUID}
${PHYSNET1}
  set +ex
done
```

Asignar etiquetas de host de OpenStack a los nodos de trabajo

```
for NODE in worker-0 worker-1; do
  system host-label-assign $NODE openstack-compute-node=enabled
  kubectl taint nodes $NODE openstack-compute-node:NoSchedule
  system host-label-assign $NODE openvswitch=enabled
  system host-label-assign $NODE sriov=enabled
done
```

configure un sistema de archivos que será usado para los discos efímeros stx-openstack nova.

```
for NODE in worker-0 worker-1; do
  echo "Configuring 'instances' for Nova ephemeral storage:
$NODE"
  system host-fs-add ${NODE} instances=10
done
```

Desbloquear nodos worker para ponerlos en servicio.

```
for NODE in worker-0 worker-1; do
  system host-unlock $NODE
done
```

Finalmente, los nodos quedarían con la siguiente configuración de red.

Nodo	Red OAM	Red MGNT
Controller-0	10.10.10.3	192.168.204.2
Controller-1	10.10.10.4	192.168.204.3
Worker-0	-	192.168.204.90
Worker-1	-	192.168.204.247
Storage-0	-	192.168.204.56
Storage-1	-	192.168.204.99

Configuración de los servicios

Acceda al nodo controller activo en la infraestructura, obtenga credenciales de administrador y cree los manifiestos siguientes para el despliegue de los servicios.

Primeramente, necesita volúmenes persistentes que usará para almacenar registros y bases de datos. Cree el manifiesto con la orden siguiente.

```
cat <<EOF > mariadb-pvc.yml
---
apiVersion: v1
kind: PersistentVolumeClaim
metadata:
  name: mariadb-pvc
spec:
  accessModes:
    - ReadWriteOnce
  volumeMode: Filesystem
  resources:
    requests:
      storage: 5Gi
  storageClassName: cephfs
EOF
```

```
cat <<EOF > obd-app-pvc.yml
---
apiVersion: v1
kind: PersistentVolumeClaim
metadata:
  name: obd-app-pvc
spec:
  accessModes:
    - ReadWriteOnce
  volumeMode: Filesystem
  resources:
    requests:
      storage: 5Gi
  storageClassName: cephfs
EOF
```

Y cree los pvc.

```
kubectl apply -f mariadb-pvc.yaml
```

```
kubectl apply -f obd-app-pvc.yaml
```

Y despliegues para los servicios que hagan uso de los volúmenes persistente.

Ejecutando los manifiestos siguientes.

```

cat <<EOF > mariadb.yaml
apiVersion: apps/v1
kind: Deployment
metadata:
  name: mariadb
spec:
  replicas: 1
  selector:
    matchLabels:
      app: mariadb
  strategy:
    type: Recreate
  template:
    metadata:
      labels:
        app: mariadb
    spec:
      containers:
      - name: mariadb
        image: mariadb:10.5
        ports:
        - containerPort: 3306
          name: mariadb
        env:
        - name: MYSQL_ROOT_PASSWORD
          value: "admin"
        - name: MYSQL_USER
          value: "admin"
        - name: MYSQL_PASSWORD
          value: "admin"
        - name: MYSQL_DATABASE
          value: "OBD-app"
        volumeMounts:
        - name: pv-mariadb
          mountPath: /var/lib/mysql
      volumes:
      - name: pv-mariadb
        persistentVolumeClaim:
          claimName: mariadb-pvc
---
apiVersion: v1
kind: Service
metadata:
  name: mariadb
spec:
  type: NodePort
  ports:
  - port: 3306
  selector:
    app: mariadbEOF

```

```

cat <<EOF > obd-app.yml
---
apiVersion: v1
kind: Service
metadata:
  name: obd-app-svc
spec:
  type: NodePort
  selector:
    app: obd-app
  ports:
    - port: 35000
---
apiVersion: apps/v1
kind: Deployment
metadata:
  name: obd-app-deployment
  labels:
    app: obd-app
spec:
  replicas: 1
  selector:
    matchLabels:
      app: obd-app
  template:
    metadata:
      labels:
        app: obd-app
    spec:
      containers:
        - name: obd-app
          image: alejnd1/obd-app:latest
          ports:
            - containerPort: 35000
              name: obd-app
          volumeMounts:
            - name: pv-obd-app
              mountPath: /var/logs/obd-app

      volumes:
        - name: pv-obd-app
          persistentVolumeClaim:
            claimName: obd-app-pvc
            readOnly: false
EOF

```

El pod «obd-app» se encargará de la creación de las tablas en la base de datos.

Despliegue los servicios mediante la herramienta «kubectl».

```
Kubectl apply -f mariadb.yaml
```

```
Kubectl apply -f obd-app.yaml
```

Para el monitoreo en vivo de los vehículos se debe configurar el servicio de Grafana, la instalación se ha hecho siguiendo la guía oficial de Grafana para Kubernetes.

Primero cree el manifiesto en un archivo de texto y llámelo «grafana.yaml»

```
---
apiVersion: v1
kind: PersistentVolumeClaim
metadata:
  name: grafana-pvc
spec:
  accessModes:
    - ReadWriteOnce
  resources:
    requests:
      storage: 1Gi
---
apiVersion: apps/v1
kind: Deployment
metadata:
  labels:
    app: grafana
  name: grafana
spec:
  selector:
    matchLabels:
      app: grafana
  template:
    metadata:
      labels:
        app: grafana
    spec:
      securityContext:
        fsGroup: 472
        supplementalGroups:
          - 0
      containers:
        - name: grafana
          image: grafana/grafana:latest
```

```
imagePullPolicy: IfNotPresent
ports:
  - containerPort: 3000
    name: http-grafana
    protocol: TCP
readinessProbe:
  failureThreshold: 3
  httpGet:
    path: /robots.txt
    port: 3000
    scheme: HTTP
  initialDelaySeconds: 10
  periodSeconds: 30
  successThreshold: 1
  timeoutSeconds: 2
livenessProbe:
  failureThreshold: 3
  initialDelaySeconds: 30
  periodSeconds: 10
  successThreshold: 1
  tcpSocket:
    port: 3000
  timeoutSeconds: 1
resources:
  requests:
    cpu: 250m
    memory: 750Mi
volumeMounts:
  - mountPath: /var/lib/grafana
    name: grafana-pv
volumes:
  - name: grafana-pv
    persistentVolumeClaim:
      claimName: grafana-pvc
---
apiVersion: v1
kind: Service
metadata:
  name: grafana
spec:
  ports:
    - port: 3000
      protocol: TCP
      targetPort: http-grafana
  selector:
    app: grafana
  sessionAffinity: None
  type: NodePort
```

Para adaptarlo a un despliegue que no dependa de un balanceador de carga de un proveedor de nube publica en internet, se ha cambiado el tipo de servicio a NodePort.

```
Kubectl apply -f grafana.yaml
```

Configuración de los nodos de toma de los datos

Finalmente, en los dispositivos destinados a obtener la información del vehículo, debemos instalar y ejecutar el software que se encargará de la toma y el envío al servicio en la infraestructura.

Se crea un entorno virtual con Python para instalar los módulos requeridos y ejecute el siguiente script. Si no lo tiene instalado puede obtenerlo al instalar el paquete «python3-venv».

```
cd ~
```

```
python3 -m venv myenv
```

Activar el entorno virtual e instalar los paquetes necesarios.

```
source myenv/bin/activate
```

Obtenga el script.

```
git clone https://github.com/miguelalejnd/obd-local.git
```

Instale las dependencias.

```
python3 -m pip install -r obd-local/app/requeriments.txt
```

Es posible que necesite cambiar la variable «ip» en el script para que apunte a la IP de la infraestructura. Después de configurar ese detalle en el script, ejecútelo.

```
python3 obd-local/app/main.py
```