



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**TEMA:**

**Diseño de una red 5G para el uso en puertos marítimos  
inteligentes, caso de estudio Terminal Portuario de  
Guayaquil.**

**AUTOR:**

**Ing. Guerrero Echeverría, Alex Fabián**

**Trabajo de Titulación previo a la obtención del grado Académico de  
MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES**

**TUTOR:**

**Ing. Bohórquez Heras, Daniel Bayardo, MSc**

**Guayaquil, Ecuador  
13 de marzo del 2025**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por **Guerrero Echeverría, Alex Fabián** como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de **MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

---

**Ing. Bohórquez Heras, Daniel Bayardo, MSc.**

DIRECTOR DEL PROGRAMA

---

**Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo, PhD**

Guayaquil, 13 de Marzo del 2025



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Guerrero Echeverría, Alex Fabián**

**DECLARÓ QUE:**

El trabajo de titulación **Diseño de una red 5G para el uso en puertos marítimos inteligentes, caso de estudio Terminal Portuario de Guayaquil**, previa a la obtención del grado Académico de **Magíster en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizó del contenido, veracidad y alcance científico del trabajo de titulación del Grado Académico en mención.

Guayaquil, 13 de marzo del 2025

EL AUTOR

---

**Guerrero Echeverría, Alex Fabián**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **Guerrero Echeverría, Alex Fabián**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación de Maestría titulada: **Diseño de una red 5G para el uso en puertos marítimos inteligentes, caso de estudio Terminal Portuario de Guayaquil**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 13 de marzo del 2025

EL AUTOR

---

**Guerrero Echeverría, Alex Fabián**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES  
REPORTE DE COMPILATIO

**INFORME DE ANÁLISIS**  
magister

**4.- TRABAJO DE TITULACION - Alex Guerrero**

**4%** Textos sospechosos

- 4% Similitudes
- 2% Idiomas no reconocidos (ignorado)
- 3% Textos potencialmente generados por IA (ignorado)

Nombre del documento: 4.- TRABAJO DE TITULACION - Alex Guerrero.pdf  
ID del documento: 4e323f949f9cb9d6a89a14bad6663dcf47cd942  
Tamaño del documento original: 1.95 MB  
Autores: []

Depositante: Ricardo Xavier Ubilla Gonzalez  
Fecha de depósito: 7/2/2025  
Tipo de carga: interfaz  
Fecha de fin de análisis: 7/2/2025

Número de palabras: 10.144  
Número de caracteres: 69.137

Ubicación de las similitudes en el documento:

**Fuentes de similitudes**  
Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	es.digi.com https://es.digi.com/resources/definicion/5g-standalone 1 fuente similar	4%		(1) Palabras idénticas: 4% (505 palabras)
2	repositorio.ucsp.edu.ec   Diseño e implementación de una red híbrida de telemetr... http://repositorio.ucsp.edu.ec/bitstream/3317/11974/1/T-UCSG-POS-MTEL-126.pdf 28 fuentes similares	3%		(1) Palabras idénticas: 3% (319 palabras)
3	repositorio.ucsp.edu.ec   Diseño y Simulación de una red Virtual para la conexión e... http://repositorio.ucsp.edu.ec/bitstream/3317/13005/1/T-UCSG-POS-MTEL-165.pdf 27 fuentes similares	3%		(1) Palabras idénticas: 3% (300 palabras)
4	repositorio.ucsp.edu.ec   Aplicación de la justicia indígena del Pueblo Kichwa de la C... http://repositorio.ucsp.edu.ec/bitstream/3317/22332/1/T-UCSG-POS-MOC-313.pdf 25 fuentes similares	2%		(1) Palabras idénticas: 2% (253 palabras)
5	repositorio.ucsp.edu.ec   Análisis de la captación de pacientes mediante redes socia... http://repositorio.ucsp.edu.ec/bitstream/3317/22316/1/UCSG-C178-2283.pdf 25 fuentes similares	2%		(1) Palabras idénticas: 2% (248 palabras)

Reporte Compilatio del trabajo de titulación de la Maestría en Telecomunicaciones denominado: Diseño de una Red 5G para el uso en puertos marítimos inteligentes, caso de estudio Terminal Portuario de Guayaquil, del estudiante Ing. Alex Fabián Guerrero Echeverría se encuentra al 4% de coincidencias.

Atentamente,

ING. DANIEL BOHÓRQUEZ HERAS, MGS.  
DOCENTE-TUTOR

## **Agradecimientos**

A Dios y la familia  
por su incondicional amor  
y apoyo en todo momento  
durante el transcurso del posgrado.

## **Dedicatoria**

A la comunidad de la UCSG  
para que este trabajo rinda los frutos  
en base a los conocimientos expuestos.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Bohórquez Heras, Daniel Bayardo, MSc**  
TUTOR

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Zamora Cedeño, Néstor Armando, MSc.**  
REVISOR

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Peñañiel Olivo, Kety Jenny, Mgs.**  
REVISOR

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo, PhD**  
DIRECTOR DEL PROGRAMA



## ÍNDICE GENERAL

Índice de Figuras .....	XI
Índice de Tablas.....	XI
RESUMEN.....	XIII
<i>ABSTRACT</i> .....	XIV
<b>Capítulo 1: Descripción del proyecto de intervención .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Antecedentes.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. Justificación del problema. ....</b>	<b>3</b>
<b>1.4. Objetivos.....</b>	<b>5</b>
1.4.1. Objetivo general. ....	5
1.4.2. Objetivos específicos. ....	5
<b>1.5. Hipótesis .....</b>	<b>5</b>
<b>1.6. Metodología de la Investigación.....</b>	<b>7</b>
<b>Capítulo 2: Fundamentación Teórica .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1. Evolución de las redes móviles de 4G a 5G .....</b>	<b>8</b>
2.1.1. Redes – 4G.....	8
2.1.1.1. La arquitectura 4G-LTE.....	9
2.1.1.2. Técnicas de acceso múltiple (Interfaz de Aire) LTE.....	10
2.1.1.3. Límites de velocidades en el sistema 4G.....	11
<b>2.2. Descripción de la modulación en redes móviles celular 5G. ....</b>	<b>11</b>
2.3.1. 5G aplicado para el internet de las cosas.....	12
2.3.2. Definición del 5G Autónomo (SA, Standalone).....	13
2.3.3. Importancia de las Redes 5G Autónomas (SA) .....	13
<b>Capítulo 3: Generalidades de la Red 5G Autónomas en los Terminales Portuarios .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1. Características de las Redes 5G Autónomas para Terminales Portuarios .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2. Aplicaciones en Terminales Portuarios.....</b>	<b>17</b>
<b>3.3. Descripción de la Red de Acceso Nueva Radio .....</b>	<b>19</b>
<b>3.4. Terminales CPE 5G .....</b>	<b>20</b>
<b>3.5. Consideraciones para la Infraestructura del Terminal Portuario.....</b>	<b>21</b>
<b>3.6. Distribución de sistema radiante y topología de conexión .....</b>	<b>22</b>

3.7.	Características del Núcleo 5G Autónomo .....	23
3.8.	Descripción de las Grúas Remotas para puertos marítimos .....	24
3.9.	Funcionalidad de dispositivos localizadores y soluciones digitales ....	25
<b>Capítulo 4: Diseño y simulación de la Red de Acceso 5G NR .....</b>		<b>27</b>
4.1.	Descripción de cobertura existente en las instalaciones del Terminal .	27
4.2.	Parámetros de Diseño de la Red de Acceso 5G Autónoma .....	27
4.2.1.	Descripción de herramienta de uso Xirio .....	28
4.2.2.	Definición de los parámetros considerados para el arreglo de antenas.	30
4.2.3.	Simulación de cobertura de la Red de Acceso .....	33
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>35</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>36</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>		<b>37</b>
<b>GLOSARIO DE TERMINOS.....</b>		<b>40</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>41</b>
1.	ESPECIFICACIONES MODULOS DE RADIO FRECUENCIA .....	41
2.	ESPECIFICACIONES TECNICAS DE SERVIDOR PARA NUCLEO 5G ....	41

## Índice de Tablas

Tabla 1 Coordenadas de estaciones RBS .....	23
---	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Topología de las Redes Móviles Voz y Datos .....	10
Figura 2 Arquitectura de la Red 5G Autónoma.....	15
Figura 3 Solución de equipamiento 5G del Terminal de Hungría .....	18
Figura 4 Panorámica del puerto de Chancay en Perú Operativo .....	18
Figura 5 Dimensionamiento de Red de Acceso 5G NR .....	20
Figura 6 Movilidad de Terminal CPE .....	21
Figura 7 Dimensionamiento de Red de Acceso 5G NR .....	22
Figura 8 arquitectura para la Red 5G Autónoma.....	24
Figura 9 Grúa de pórtico STS operativa .....	25
Figura 10 Soluciones digitales.....	25
Figura 11 equipamiento por cada estación radio base .....	28
Figura 12 sitio web de acceso y sus aplicaciones .....	28
Figura 13 Propiedades del estudio .....	29
Figura 14 Área de cobertura.....	30
Figura 15 Parámetros del sector .....	31
Figura 16 Referencias y parámetros .....	32
Figura 17 Parámetros 5G .....	32
Figura 18 Parámetros Uplink Downlink .....	33
Figura 19 Simulación para un solo sector .....	34

## RESUMEN

El presente trabajo se basa en la necesidad que requieren los puertos marítimos en el Ecuador para que se evolucione de manera tecnológica y se digitalice con los nuevos desarrollos de inteligencia artificial para la optimización de procesos, sistemas de vehículos autónomos de traslado de contenedores, sistemas de control remoto de grúas de pórtico y sistemas de videovigilancia con inteligencia artificial.

El medio de transmisión para la evolución tecnológica es el diseño de una Red 5G Autónoma en el Terminal Portuario de Guayaquil como caso de estudio, para el sector industrial marítimo que cumple con los tiempos de latencia y ancho de banda para que la maquinaria sea administrable de manera remota.

El costo del proyecto para su implementación se puede gestionar por medio del Gobierno Nacional mediante una alianza pública y privada con los administradores de los Terminales Portuarios y las Empresas Navieras; la valoración en el costo de inversión se debe plantear por medio de las empresas de servicio móvil avanzado mediante mesas de trabajo a través del Ministerio de Transporte con un plan de negocios para definir el mecanismo de retorno de la inversión.

El Diseño de la Red 5G Autónoma Privada se define como el primer paso para crear la vía de desarrollo de los puertos marítimos, es el medio de comunicación con los equipos terminales para su registro, control, administración y operación.

**Palabras claves:** Red 5G Autónoma, grúas de pórtico, inteligencia artificial, puertos inteligentes, terminales de contenedores, Núcleo.

## **ABSTRACT**

*This work is based on the need for sea ports in Ecuador to evolve technologically and be digitalized with new developments in artificial intelligence for process optimization, autonomous container transfer vehicle systems, remote control systems for gantry cranes and video surveillance systems with artificial intelligence.*

*The transmission medium for technological evolution is the design of an Autonomous 5G Network in the Guayaquil Port Terminal as a case study, for the maritime industrial sector that meets the latency times and bandwidth so that the machinery is manageable remotely.*

*The cost of the project for its implementation can be managed through the National Government through a public and private alliance with the administrators of the Port Terminals and Shipping Companies; The assessment of the investment cost must be raised through advanced mobile service companies through working groups through the Ministry of Transportation with a business plan to define the return on investment mechanism.*

*The Design of the Private Autonomous 5G Network is defined as the first step to create the development path of maritime ports, it is the means of communication with the terminal equipment for its registration, control, administration and operation.*

**Keywords:** *Autonomous 5G Network, gantry cranes, artificial intelligence, smart ports, container terminals, Core.*

## **Capítulo 1: Descripción del proyecto de intervención**

### **1.1. Introducción**

La evolución de la industria del Transporte Marítimo se ha potenciado como el medio principal de movilización de todo tipo de materia prima, cadena alimenticia y productos de usuarios finales. Se estima que hasta el 90% de las mercancías en el mundo se transfieren a través de los puertos. Se considera al transporte marítimo como la columna vertebral del comercio globalizado; los costos de la navegación y los puertos de contenedores son fundamentales en las cadenas de suministro globales, nacionales e internacionales para las diversas estrategias de crecimiento (Alexandersson & Norstrom, 1964).

Se define como el medio de transporte que más volumen de mercancía traslada entre todos los continentes con base en las liberaciones del mercado (Valentin, Benamara, & Hoffman, 2013); los principales desafíos que enfrenta son las fronteras de los países que se deben atravesar en la trayectoria y el cumplimiento con los trámites administrativos que incluyen el pago de tasas, aranceles e impuestos regulados en cada país de origen y destino. En el año 2020, debido a la pandemia a nivel mundial, se masifica el servicio de traslado de productos en base a las aplicaciones tecnológicas (Amazon, Alibaba, etc.).

La saturación de terminales provoca que el tiempo genere costos adicionales para los importadores, exportadores, administradores de infraestructura de puertos y navieras; de esta manera, se congestiona la vía de embarque y desembarque en los puertos. Se genera el desafío por parte del Transporte Marítimo para atender la demanda de los servicios, y los puertos de embarque, paso y llegada evolucionan y dan el primer paso para convertirse en Puertos Inteligentes.

Para el caso de estudio, la propuesta de intervención sobre las instalaciones del Terminal Portuario de Guayaquil propone el uso de la tecnología 5G privada de modo autónomo aplicada a los puertos marítimos para la funcionalidad de los sistemas de grúas con una mejora tecnológica con la finalidad de incrementar el volumen de despacho de contenedores,

disminuir los tiempos de estancia de un barco en puerto, optimizar la disponibilidad de trabajo entre las grúas y/o los vehículos de transporte de traslado de contenedores y generar mayor ingreso al Terminal Portuario de Guayaquil.

Se debe considerar que el desarrollo del mercado de las telecomunicaciones para los puertos inteligentes debe contar con la integración en los procesos de la inteligencia artificial, el aprendizaje automático (machine learning) y el manejo de la cadena de bloques (Blockchain); esta evolución se puede iniciar para el caso de los procesos de embarque y desembarque en los muelles. Con base en el desarrollo actual de las Redes 5G y su implementación en el Ecuador, se completa la solución para que los dispositivos tecnológicos con valores mínimos de latencia en la transmisión se integren en tiempo real para el manejo de los sistemas de grúas.

## **1.2. Antecedentes**

A nivel mundial se aplica desde el año 2020 el despliegue de las redes 5G autónomas privadas en el transporte global de mercancías en los puertos marítimos para los procesos de carga y descarga de los contenedores; las implementaciones se han convertido en una realidad que está transformando la industria del transporte marítimo, se definen casos exitosos los puertos de Chancay (Perú) y Valencia (España).

Para el caso de la solución en los puertos marítimos, se maneja de forma remota y autónoma en varios de sus procesos; se define la Red 5G autónoma privada con la finalidad de que los dispositivos 5G tengan la mínima latencia, una alta velocidad y una gran capacidad de conexión para cámaras digitales, módulos GPS y el uso del medio de transmisión. Las líneas de pista en la zona de trabajo se encuentran digitalizadas en toda la extensión mediante la instalación y el funcionamiento de cámaras digitales en cada uno de los puntos de visibilidad del operador, con la finalidad de que todos los elementos de la solución interactúen entre sí.



La digitalización de la información permite que los operadores portuarios puedan cumplir con sus labores desde el cuarto de control y evita exponerse en el terreno, se aclara que en los terminales de contenedores tradicionales, donde se cuenta con una mayor exposición al riesgo en la zona de trabajo; por tal motivo con la innovación tecnológica, se permite contar con un ambiente más seguro para que los operadores del terminal portuario tengan una mínima cantidad de accidentes de trabajo.

La tecnología 5G está revolucionando como solución dedicada para los terminales portuarios, siendo el medio de transmisión para los equipos de comunicación para interconectar los datos ingresados en el sistema y, con base en la inteligencia artificial a través de los algoritmos predictivos, se establezca la agenda de trabajo para la optimización de todo el proceso de carga, descarga, almacenamiento y transporte, que son parte de los terminales de contenedores, lo que se traduce en una mayor eficiencia y seguridad para todos los involucrados.

### **1.3. Justificación del problema.**

La falta de evolución tecnológica en el Terminal Portuario de Guayaquil provoca un retraso promedio de 30 horas en la descarga de contenedores en la cadena logística, lo que resulta en pérdidas económicas estimadas en 4 millones de dólares anuales y limitaciones en el flujo de despacho. Además, se debe considerar la exposición del personal de trabajo en zonas de alto tráfico con riesgo en el desempeño de sus funciones; se registran 3 accidentes laborales al año relacionados con las actuales condiciones de trabajo en campo.

El espacio físico existente se puede digitalizar para el uso eficiente mediante maquinarias que se operan con el uso de la Red 5G como medio de transmisión para sus instalaciones, y se logra mejorar la eficiencia en tiempos de respuesta y capacidad de flujo de cargas.

El tiempo de permanencia de un barco en puerto debe ser optimizado por medio del uso de tecnologías aplicadas como el IoT (Internet de las cosas) con dispositivos inteligentes, como cámaras de video seguridad con inteligencia artificial para análisis de rutas de desplazamiento de carga. La administración y gestión de la maquinaria operativa, como las grúas STS/RGT, al ser manejadas de manera centralizada desde un cuarto de control, optimiza el tiempo para generar mayor movimiento de carga de comercio exterior en un ambiente de trabajo seguro y controlado.

Para el caso del Ecuador en la provincia del Guayas existen los terminales portuarios que se encuentran concesionados y los terminales privados, la Autoridad Portuaria de Guayaquil se encarga de la organización, control y dirección de los servicios portuarios para el desarrollo del comercio exterior (Información, 2025). En el proceso de evolución del transporte de marítimo se gestionan los tramites en línea del sistema aduanero para facilitar los tiempos en puerto a los Operadores de Comercio Exterior (Navieras) y se lo efectúa a través del SENA E y su plataforma Ecuapass (Ecuador, 2025). Para la modernización de los puertos se requiere ahora digitalizar el terminal y se considere un medio de transmisión confiable y seguro que permita la interconexión de los nuevos equipamientos tecnológicos para el sector industrial marítimo.

El presente caso de estudio elabora la propuesta de diseño de una red 5G para el terminal portuario con la finalidad de que la maquinaria automatizada cuente con el medio de transmisión de la Red 5G para su puesta en servicio, lo que permitirá digitalizar los procesos logísticos, reducir los tiempos de espera en un 35% con base en el ETA (tiempo estimado de arribo) de los barcos (THE LOGISTICS WORLD, Redacción TLW, 2024) y disminuir el riesgo de accidentes de trabajo en un 50%. Esta solución contribuirá con la reducción de las emisiones de CO2 en un 15% y posicionará al Terminal Portuario de Guayaquil como el primer puerto inteligente y sostenible en el Ecuador.

## **1.4. Objetivos.**

### **1.4.1. Objetivo general.**

Elaborar el diseño innovador de una Red 5G Autónoma para la solución de puerto inteligente en la Terminal Portuario de Guayaquil como caso de estudio.

### **1.4.2. Objetivos específicos.**

- ✓ Identificación de los principales desafíos, limitaciones técnicas, operativas y económicas que plantea la implementación de una red 5G autónoma en el entorno portuario del Terminal Portuario de Guayaquil.
- ✓ Dimensionar el equipamiento tecnológico necesario para la implementación de la red 5G privada autónoma, infraestructura de red, dispositivos de usuario y sistemas de seguridad, en función de los requerimientos del Terminal Portuario de Guayaquil.
- ✓ Desarrollar el modelo de celdas de acceso micro/macro radio base 5G NR propuesto para el diseño de automatización en las etapas de carga/descarga /almacenamiento de los contenedores en el Terminal Portuario de Guayaquil.

## **1.5. Hipótesis**

En la industria del Transporte Marítimo basándose en el marco de la modernización y/o la nueva construcción de las terminales portuarias, los operadores portuarios se deciden en la automatización, conectividad más flexible y soluciones integrales de software para mantenerse competitivos en el mercado y aumentarse el rendimiento, la confiabilidad y la eficiencia en el manejo de los procesos de carga/descarga/almacenamiento en los contenedores.

En un terminal portuario de contenedores inteligente se requiere de una comunicación de voz y datos de alto rendimiento, para el caso de la transmisión inalámbrica solo existe una alternativa real y en el desarrollo de las comunicaciones móviles la de última generación es la tecnología 5G.

Los proveedores de servicios de tecnología 5G ofrecen una amplia gama de variantes de red 5G adaptadas a diferentes aplicaciones y escenarios, para el caso de los terminales portuarios se están implementando basadas en Redes 5G autónomas privadas. La alta velocidad y baja latencia de la red 5G permitirán una comunicación en tiempo real entre los vehículos autónomos, optimizando los procesos de carga y descarga y reduciendo los tiempos de ciclo.

Mediante el uso de los servidores con el almacenamiento de datos en la nube y la combinación con la tecnología 5G de los proveedores locales de servicios 5G se ofrece una solución finamente escalable en base a la disponibilidad de una infraestructura privada, pública o híbrida para integrar con los servidores del sistema propio de administración del cuarto de control.

La combinación de grandes bases de datos (Big Data) que se generan a diario en cada uno de los dispositivos del Terminal Portuario y combinando con un sistema de autoaprendizaje de inteligencia artificial (IA) de los tiempos de llegada/espera de los buques, se complementa con el uso de los vehículos para el transporte de contenedores cada vez más autónomos para una monitorización continua y una gestión de servicios y pedidos en tiempo real.

Para el Terminal Portuario de Guayaquil la implementación exitosa de la red 5G que permitirá que se integren las nuevas tecnologías que son parte de la industria marítima para un mayor control, coordinación y monitoreo de maquinaria en la línea de producción en tiempo real. Los beneficios económicos que se van a generar incluye la reducción de los tiempos de espera de los buques, la disminución de los costos operativos y la mejora en la seguridad laboral. Se definen los factores externos que pueden influir como la disponibilidad de infraestructura, los contratos actuales con los Operadores Portuarios, la regulación existente y las políticas gubernamentales para su difusión como proyecto de financiamiento por medio del BID (Banco Interamericano de Desarrollo) son parte de la base al caso de estudio.

## **1.6. Metodología de la Investigación**

Se determina una investigación descriptiva de las bases tecnológicas disponibles en el Ecuador considerando que el Terminal Portuario de Guayaquil es el caso de estudio.

Se va a considerar un análisis de las necesidades en términos de la conectividad, automatización y gestión de datos; a nivel de la infraestructura el espacio físico existente, una revisión detallada del modelo de transmisión Red 5G en la banda de operación de los 3.5Ghz, el ancho espectral de la portadora, se considera en el diseño la instalación de cuatro estaciones radio bases móvil para obtener una cobertura con niveles de recepción óptimos, se va simular la cobertura 5G con la herramienta Xirio-on-line para planos de radio frecuencia en la zona de aplicación en el Terminal.

Las características de la Red de Transmisión es una Red 5G Autónoma privada considerando que al trabajar en el entorno 5G autónomo desde la red de acceso, el núcleo y el cuarto de control de equipos los valores de latencia sean de 1milisegundo entre los dispositivos de las maquinarias grúas para que se permita que los sistemas de inteligencia artificial (IA), dispositivos inteligentes puedan trabajar en tiempo real. Se va efectuar la comparativa entre las soluciones disponibles en el mercado por parte de las Operadores Móviles en el Ecuador.

En la propuesta se incluye el almacenamiento virtual de la base de datos en un Data Center para el manejo de la información y el respaldo que se generan en los múltiples dispositivos inteligentes y las aplicaciones de IA (inteligencia artificial) integrados a la solución. Los aspectos económicos se concluyen que la viabilidad del diseño se basa en una alianza público privada entre el Gobierno del Ecuador y la Empresa Privada (Operadores Portuarios) y con el auspicio del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) que ya ha participado en casos de éxitos en otros países del mundo, el Ecuador es miembro desde su fundación en 1959.

## **Capítulo 2: Fundamentación Teórica**

### **2.1. Evolución de las redes móviles de 4G a 5G**

La evolución de las redes móviles de sistemas 4G a 5G se ha basado en el aumento de la conectividad de los usuarios a nivel de voz y datos con mayores anchos de banda y mayor capacidad de conexión, y en el entorno actual se lo realiza para todo dispositivo que se pueda conectar a la red a través de un módulo de identidad de suscriptor (SIM).

La conexión por medio de los teléfonos celulares al entorno del internet la comunicación ha cambiado su uso del servicio de voz al servicio de datos, por medio de las aplicaciones digitales en la nube y la motivación tecnológica de conectividad ilimitada; en la actualidad se añade como mercado de conectividad a los dispositivos inteligentes que a través de las aplicaciones desarrolladas por la inteligencia artificial (IA) permiten controlar de manera remota y/o funcionar de manera autónoma sin la necesidad de operadores en sitio.

Para cumplir con la transmisión de datos de los dispositivos electrónicos con administración remota, con niveles de latencia muy bajos y los anchos de banda necesarios se considera la modulación OFDM que es parte del cumplimiento de la Red 5G NR. En los puntos 2.1.1 hasta el 2.2.3. se va a describir de manera técnica la aplicación de la modulación definida para el diseño del caso de estudio (Koi-Akrofi, 2022).

#### **2.1.1. Redes – 4G.**

En las Redes de 4G que se define como la cuarta generación de la telefonía móvil (Long Term Evolution, LTE), se determina por una velocidad teórica de hasta 150 Mbps a nivel de datos. Con una característica de mayor capacidad para gestionar el tráfico y en la reducción de los tiempos de latencia a 200ms (retardo que genera el medio de transmisión).

### 2.1.1.1. La arquitectura 4G-LTE

Se basa en una red central direccionado a datos, para lo cual se define el Núcleo de Paquetes Evolucionado (Evolved Packet Core, EPC) conformado por el MME, SGW y PWG. Para el caso de la red de acceso evoluciona a la e-UTRAN, los eNodeB se comunican de manera directa entre ellos y se establece la comunicación por medio de las interfaces S1-MME y s1-U para los equipos del EPC, esta evolución orientada a datos se determina una mayor señalización y funcionalidades por parte del eNb para establecer la comunicación.

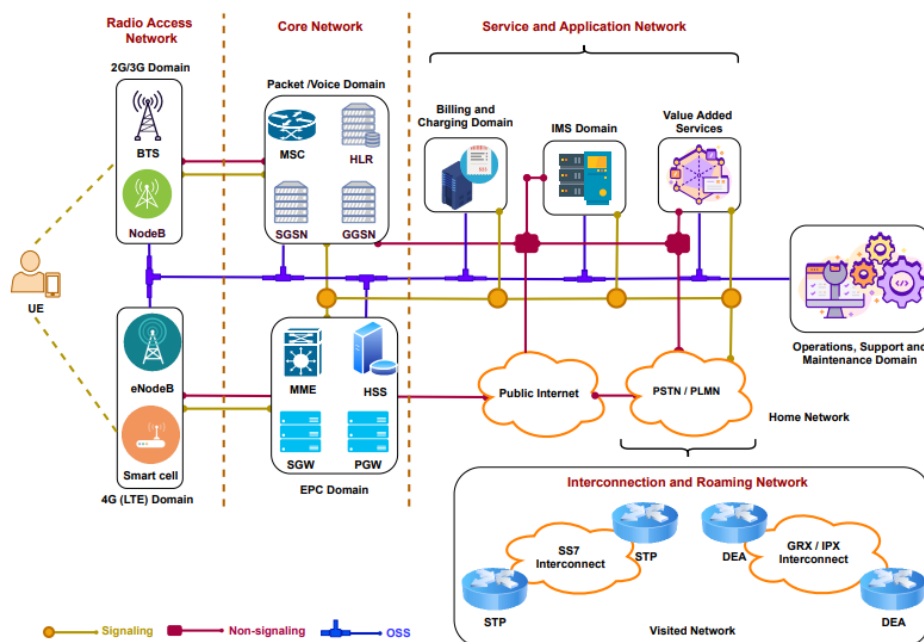
Se detallan con una breve descripción los elementos de la tecnología 4G:

- Nodo B evolucionado (eNode B) es la estación banda base que se encarga de gestionar la comunicación inalámbrica entre los dispositivos móviles y el EPC. Se definen señalizaciones para su comunicación con el EPC.
- MME (Mobility Management Entity) Se define como el componente que realiza funciones relacionadas con el plano de control de la red en el EPC.
- Nodo de Soporte GPRS de Servicio (Serving GPRS Support Node, SGSN) se separa en dos entidades funcionales diferentes: (1) Entidad de Gestión de Movilidad (Mobile Management Entity, MME) para el plan de «control» y (2) pasarela de servicio (Serving Gateway, SGW) para el plan de «uso». Además, MME gestionará las sesiones del terminal (autenticación, autorizaciones, sesiones de voz y datos) y la movilidad (localización, paging, hand-over, etc.).
- SGW (Serving gateway): Es el elemento que se encuentra en la frontera entre el Radio Access Network (RAN) y el core network y se encarga de gestionar la movilidad. (comunicaciones de voz, tráfico de datos, etc.).
- PDN (Packet Data Network) y PGW (Packet Data gateway) se define como el elemento que da servicio y conectividad con redes de paquete externas (redes públicas o privadas) y en particular con Internet.

- Red de Acceso de Radio Terrestre Universal Evolucionada (E-utran) se define como la Red de Acceso Inalámbrico formada por una red de estación base eNodeB y conectadas entre sí a través de las interfaces X2, en detalle para cada estación base se encuentra conectado utilizando la interfaz S1 y al MME (Gestión de movilidad), por medio de la interfaz S1-MME.

En la figura 1. se detalla la evolución del servicio móvil avanzado donde se incluyen los servicios de voz y datos actualizado a la Red 4G. con una breve descripción los elementos de la tecnología 4G

**Figura 1. Topología de las Redes Móviles Voz y Datos**



Fuente: (Chen, 2021)

### 2.1.1.2. Técnicas de acceso múltiple (Interfaz de Aire) LTE.

Se define para las Redes Lte (Advanced) se utiliza la técnica de acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal (OFDMA) para la interfaz aérea. El esquema de modulación multiportadora (MCM) implica una gran cantidad de subportadoras para la transmisión de datos, dividiéndolos en fragmentos menores y luego transmitiendo cada fragmento sobre un sub-portador separado, que se modula individualmente. Para el tráfico descendente se



utiliza OFDMA y para el tráfico ascendente SC-FDMA (acceso múltiple por división de frecuencia de una sola portadora) (Sobot, 2021).

### **2.1.1.3. Límites de velocidades en el sistema 4G**

Se definen las velocidades máximas en la transmisión de datos:

- 100 Mbps de enlace descendente para una portadora de 20 MHz, es decir, se considera una eficiencia espectral máxima de 5 bps/Hz.
- 50 Mbps de enlace ascendente para una portadora de 20 MHz, es decir, se considera una eficiencia espectral máxima de 2.5 bps/Hz.

## **2.2. Descripción de la modulación en redes móviles celular 5G.**

Según las necesidades del futuro móvil 5G, las redes deberán ofrecer un rendimiento superior al de las redes LTE-Advanced, incluyendo tasas de transmisión de datos de hasta 20 Gbps, una latencia de red de hasta 1 ms y la capacidad de servir hasta 1 millón de dispositivos por kilómetro cuadrado. El desarrollo de nuevos métodos de transmisión de datos para mejorar la eficiencia espectral ha llevado a un aumento en la cantidad de datos transmitidos en redes móviles y de alta velocidad dentro de los recursos limitados de frecuencia (The 5G Infrastructure Public Private Partnership, 2024).

## **2.3. La tecnología 5G**

Las tecnologías de quinta generación (5G) IMT-2020 se acercan rápidamente y tienen un inmenso potencial transformador para mejorar nuestras vidas.

Una mejor asistencia de emergencia, ciudades más inteligentes, una industria mucho más eficiente; todo esto se está haciendo posible a medida que la Internet de los objetos cobra impulso y va acompañada de una amplia gama de soluciones innovadoras que impulsan nuestra economía moderna. Sin embargo, sin las redes 5G, ninguno de estos elementos puede alcanzar todo su potencial. Pronto, de hecho, los sistemas inteligentes 5G se

convertirán en esenciales para satisfacer la gran demanda de datos de los miles de millones de personas que cada día utilizan mayores cantidades de vídeo.

La 5G permitirá velocidades de transmisión de datos significativamente más rápidas, conectividad fiable y baja latencia para las Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT), todo ello necesario para nuestro nuevo ecosistema global de comunicaciones de dispositivos conectados que envían grandes cantidades de datos por banda ancha ultrarrápida.

### **2.3.1. 5G aplicado para el internet de las cosas**

La Internet de las cosas hace referencia a los avances que traerá consigo la 5G; estos avances representan un reto importante para varios sectores de nuestra sociedad, en particular la economía. Las organizaciones están trabajando para garantizar que los operadores cumplan las normas de estos avances tecnológicos. Para garantizar el cumplimiento de estos retos y seguir el ritmo del creciente número de objetos conectados en el mercado, las redes avanzan hacia una mayor virtualización.

Se introduce nuevas arquitecturas y funcionalidades a todos los niveles, desde el dispositivo origen hasta las aplicaciones cargadas en la nube, pasando por las distintas capas de la red. Se ofrecen variados usos a los que se destina esta tecnología. Su objetivo es simplificar la vida de las personas.

Se considera como una de las mejores tecnologías candidatas para soportar la capa física de la red inalámbrica móvil de próxima generación. Sus funcionalidades son especialmente adecuadas como motor principal para escenarios de aplicaciones IoT. Además, su implementación en Open Air Interface ha llevado esta mejora también a la 4G, demostrando así su capacidad de coexistencia con la forma de onda existente y representando uno de los mejores ejemplos de integración de nuevas funcionalidades dentro de la norma actual.

### **2.3.2. Definición del 5G Autónomo (SA, Standalone)**

Se define el 5G autónomo a las Redes 5G que se operan de manera independientemente de la infraestructura 4G pre-existente en un operador móvil, de tal manera se proporciona una experiencia total de servicio por 5G con un núcleo 5G (Core 5G). Para el caso de las redes No Autónomas (NSA) que dependen de un núcleo 4G (Core 4G) con funciones virtualizadas de 5G; para el caso de las 5G autónomas utilizan un núcleo 5G dedicado (5GC) para gestionar todo el tráfico y los datos. Esto significa que 5G Autónomo (SA) no se sujeta a las limitaciones de la tecnología 4G, lo que permite ser una red más robusta y eficiente

### **2.3.3. Importancia de las Redes 5G Autónomas (SA)**

Se maximiza el potencial de la Red 5G desde el dispositivo 5G y se proporcionan velocidades de datos más rápidas, con una menor latencia y una mayor fiabilidad. Al funcionar en un núcleo 5G (Core 5G), se admiten funciones avanzadas que permite a los operadores crear múltiples redes virtuales adaptadas a diferentes casos de uso y su flexibilidad hace que 5G SA sea específico para las aplicaciones de IA, en la automatización industrial y para su uso en los vehículos autónomos y en las ciudades inteligentes. Además de su velocidad y eficiencia mejoradas, 5G Autónomo (SA) proporciona una mayor flexibilidad y escalabilidad.

La arquitectura del núcleo 5G (Core 5G) es nativa de la nube, lo que significa que aprovecha las tecnologías de virtualización para garantizar que la red pueda adaptarse dinámicamente a las demandas cambiantes. Por ejemplo, durante las horas de mayor demanda o tráfico, la red puede asignar más recursos a los servicios de alta prioridad manteniendo un rendimiento óptimo para los demás usuarios.

Otro aspecto que se debe considerar es su capacidad para integrar la computación de borde en la frontera. Al procesar los datos más cerca de la fuente se reduce la distancia que deben recorrer los datos y se mejora los

tiempos de respuesta. Se beneficia para los sectores que dependen de la comunicación en tiempo real, como la automatización de la fabricación (por ejemplo, el control de robots o maquinaria en las fábricas).

La Diferenciación entre las Redes 5G Autónomas y No Autónomas. Se define la diferencia en su infraestructura, para el caso de La 5G No Autónoma (NSA) se basa en las redes 4G LTE existentes y se mantiene utilizando el núcleo 4G (Core 4G) para las funciones de control y se añade el acceso radioeléctrico 5G para velocidades de datos más rápidas.

Para el caso de la 5G Autónoma (SA) se utiliza un núcleo 5G dedicado, lo que se convierte en un único sistema totalmente independiente. Infraestructura de red básica. La diferencia fundamental entre 5G SA y NSA es la red central en la que se basan. La 5G NSA utiliza un núcleo 4G LTE (Evolved Packet Core) para gestionar las operaciones de red, lo que significa que sigue dependiendo de la infraestructura 4G para determinadas funciones como la señalización de control. Como resultado, aunque los usuarios se benefician de velocidades más rápidas gracias a la tecnología de radio 5G, no se aprovecha todo el potencial de la 5G. Por el contrario, la 5G autónoma utiliza un núcleo 5G dedicado para una transición completa a la tecnología 5G. Esto permite funciones como la fragmentación de red, la comunicación ultrarrápida de baja latencia (URLLC) y la comunicación masiva de tipo máquina (mMTC), que no son totalmente compatibles con 5G NSA.

Latencia y rendimiento. - Las Redes 5G SA se dispone de una menor latencia. La 5G autónoma admite una latencia ultra-baja, se define fundamental para los servicios en tiempo real como la asistencia a distancia, la conducción autónoma y la automatización industrial. En el caso de los datos se procesan y se transmiten de manera más ágil porque no necesitan pasar por un núcleo 4G. Esta diferencia de latencia se contempla vital para aplicaciones que requieren tiempos de respuesta inmediatos, como la realidad aumentada (RA) o los sistemas críticos de IoT.

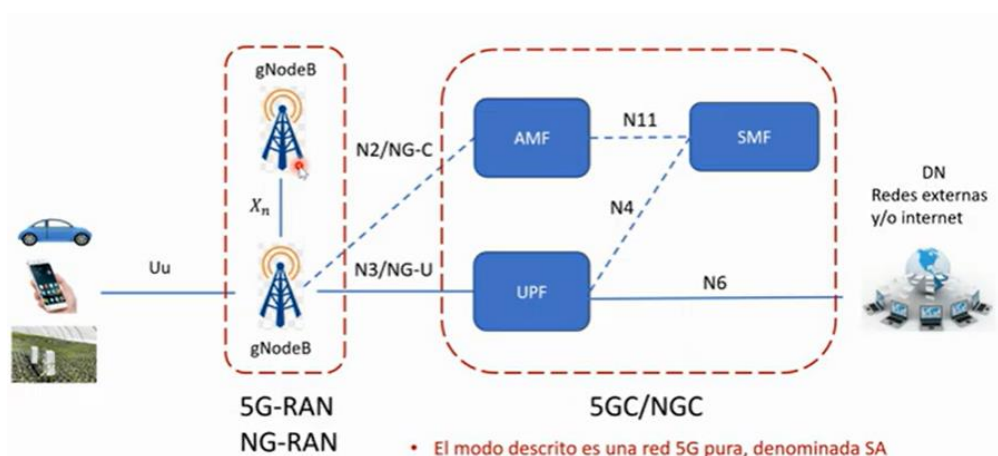
Fragmentación de la red. - Se permite a los operadores la creación de múltiples redes virtuales dentro de una misma infraestructura física y para cada una se optimiza para diferentes casos de uso. Por ejemplo, una porción de la red puede dedicarse a servicios de control industrial, mientras que otra porción de la red se adapta a aplicaciones de consumo como el streaming de videocámaras o aplicaciones de IA en la base de datos.

Se garantiza que cada servicio obtenga el ancho de banda y el rendimiento que necesita sin restringir los recursos. Escalabilidad y garantía de futuro. Se ofrece en una arquitectura de red más flexible y escalable, se define nativa de la nube, y se puede adaptar más fácilmente a las crecientes demandas y a las nuevas aplicaciones. Se determina como la Red más adecuada para las industrias que buscan desplegar redes IoT a gran escala, ciudades inteligentes o sistemas sanitarios avanzados.

En comparación con la 5G NSA se considera una tecnología de transición y se determina un paso intermedio que permite un despliegue más rápido de los servicios 5G aprovechando la infraestructura 4G existente. En su evolución la 5G NSA se tendrá que actualizar con el tiempo a la 5G autónoma para ofrecer plenamente las capacidades de las redes de próxima generación.

Para el Diseño de la Red Móvil 5G del presente trabajo se considera la solución de la Red 5G Autónoma como se muestra en la figura 2.

**Figura 2 Arquitectura de la Red 5G Autónoma**



Fuente: (Moviles, 2024)

## **Capítulo 3: Generalidades de la Red 5G Autónomas en los Terminales Portuarios**

### **3.1. Características de las Redes 5G Autónomas para Terminales Portuarios**

La innovación del sector marítimo por medio de la integración de tecnologías digitales se define como la nueva forma de producir los bienes y servicios para el flujo del transporte internacional, el concepto de la industria 4.0 sobre los puertos ahora presentan una nueva oportunidad de evolucionar por medio de la aplicación de la tecnología inalámbrica de las Redes 5G New Radio.

Se considera en el sector portuario como un paso importante para lograr la digitalización, las redes 5G ya se han implementado en terminales de Asia, Europa y América, los casos de estudio han sido exitosos demostrando que el puerto se integra como conectado, eficiente y responsable.

Las características principales en el entorno de un terminal portuario son:

- **Velocidad:** En la transmisión de datos el 5G supera al 4G en 100 veces rápido, Se disminuye el tiempo para descargar datos lo que genera que el sistema sea más rápido y reactivo.
- **Capacidad:** En cuando al ancho de banda de las conexiones es hasta 1.000 veces supera al 4G y se proporciona una alta calidad en el servicio de datos, incluso con un notable incremento del número de usuarios conectados.
- **La latencia,** o la tasa de demora para mover los datos entre el sitio origen hasta el sitio destino es 5 veces menor que al 4G. La latencia en los dispositivos de los terminales portuarios es uno de los factores que determinan la calidad de la interconexión entre los sistemas de grúas, vehículos autónomos para transporte y se considera consecuente para las aplicaciones de IoT desarrolladas para el entorno.

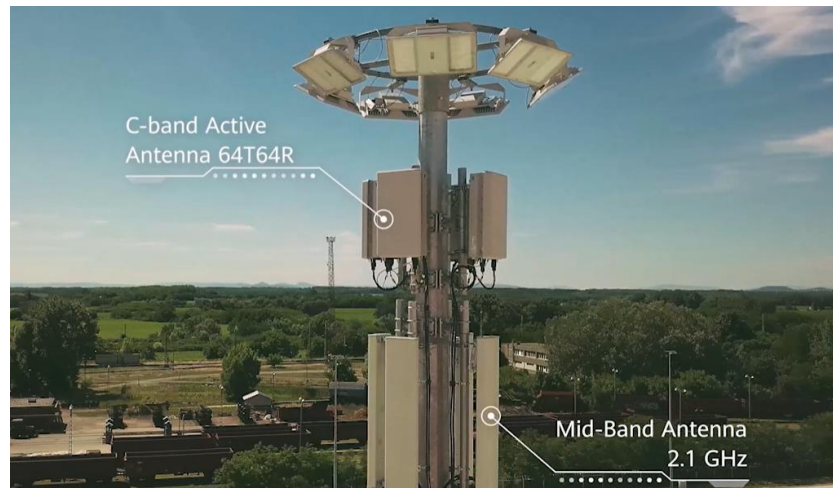
La solución implementada como medio de transmisión a nivel de la interface de aire para establecer la comunicación entre el cuarto de control y las maquinarias en funcionamiento es la Red 5G Autónoma integrando la Red de Acceso Nueva Radio (New Radio) y el Núcleo (CORE). Las empresas tecnológicas que continúan con el desarrollo brindan al Transporte Marítimo la implementación de Red 5G Autónomas Privadas con la finalidad de independizar el tráfico generado de los dispositivos integrados en la digitalización operativa.

### **3.2. Aplicaciones en Terminales Portuarios**

Como ejemplo de las implementaciones se indica para el caso del Terminal de Hungría en donde se realiza de manera autónoma el proceso de carga/descarga de los contenedores de trenes a través de las grúas autónomas que usan operadores de manera remota desde el cuarto de control, se evita exponer a personal en la zona de riesgo, con la tecnología 5G todo se encuentra ya digitalizado, se usan conexiones de sensores PLC, sensores de posicionamiento, cámaras digitales, módulos GPS interconectados en las maquinarias y en el entorno de la estación. La solución incluye estaciones 5G Autónomas con una Red de Acceso 5G New Radio y un Núcleo 5G que se conecta en el cuarto de control a los servidores de las aplicaciones con inteligencia artificial optimizan el tiempo de carga/descarga en base a la hoja de ruta de los trenes que se tienen programada la llegada.

En la figura 3. se muestra el esquema de conexión para este tipo de conexión implementada y puesta en servicio con tecnología de Huawei.

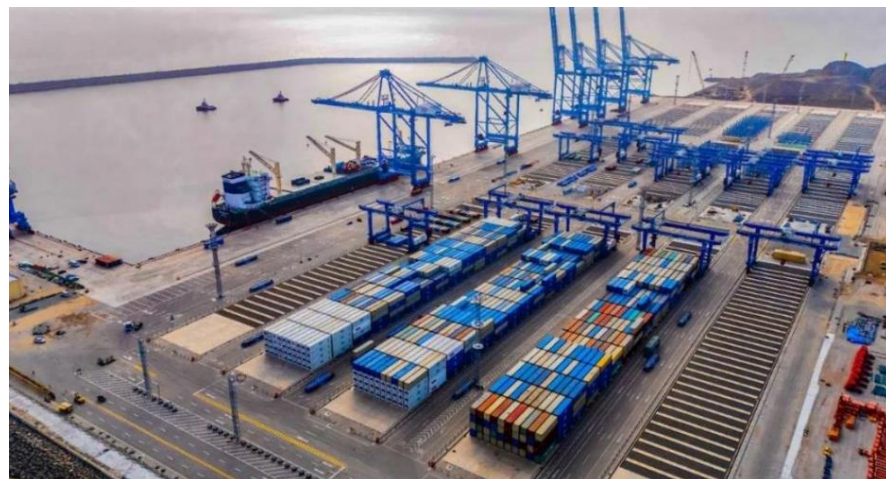
**Figura 3 Solución de equipamiento 5G del Terminal de Hungría**



Fuente: (Huawei, 2023)

En Sudamérica el puerto de Chancay ubicado en Perú es considerado en base al diseño como un puerto inteligente usando como medio de comunicación de los dispositivos móviles una Red 5G Privada Autónoma, el puerto ya se encuentra funcionando desde el 14 de noviembre del 2024, en la primera fase de su operatividad las grúas STS se manejan desde el cuarto de control, grúas RTG autónomas para almacenamiento de contenedores y adicional cuenta con vehículos autónomos para el traslado de los contenedores y son guiados por las señales luminosas en el piso hacia los carriles asignados donde dejan los contenedores con mercancía , se integran las videocámaras que con inteligencia artificial sirven para monitorear el curso de la mercadería y alertar en caso de desvió de ruta, dispone de localizadores GPS para ubicación de cada equipamiento operativo.

**Figura 4 Panorámica del puerto de Chancay en Perú Operativo**





Fuente: (Camara Maritima del Ecuador, 2024)

En los ejemplos citados la digitalización del puerto es posible debido a la que se integran las tecnologías de los dispositivos y sistemas de servidores con inteligencia artificial por medio de la Red 5G Autónoma.

Hay que considerar que el ecosistema del puerto se logra que sea más verde y sostenible, la tecnología 5G consume menos energía, el estudio realizado por Telefónica en España se demuestra que a nivel del equipamiento de la red móvil es hasta un 90% más eficiente en los consumos de energía en base a la métrica basada en la unidad de tráfico que la red 4G. Adicional se permite el uso de sensores que utilizan baterías de litio que pueden durar al menos 10 años, manteniendo una evolución tecnológica ecológica. (Telefonica, 2023).

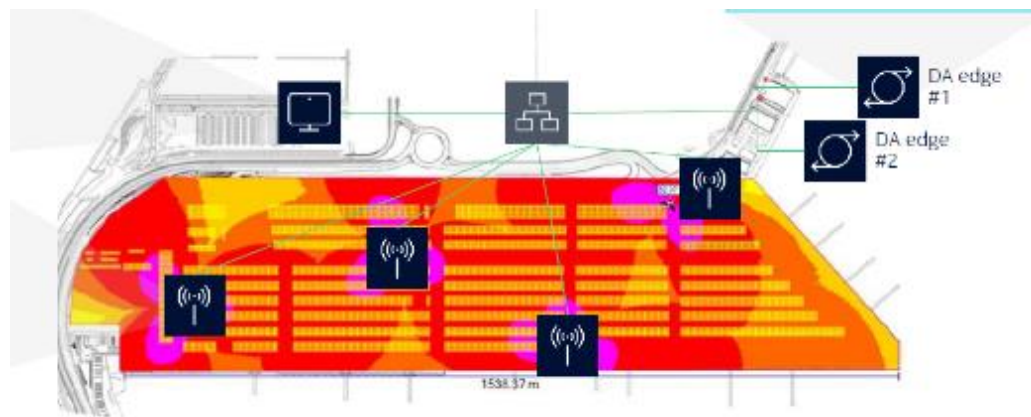
### **3.3. Descripción de la Red de Acceso Nueva Radio**

La tecnología del 5G Autónomo se basa en establecer la conexión entre el terminal CPE o dispositivo con simcard en su interfaz de aire (Uu) a la gNb 5G, mediante los arreglos de antenas massive-MIMO 32T/32R sectoriales.

Se usa la portadora de 100Mhz en la banda de 3.5Ghz combinado con los módulos de radio frecuencia con una potencia de 320vatios.

Se considera en la Red de Acceso una cantidad de cuatro estaciones gNb para cumplir con la cobertura en exteriores para todos los dispositivos CPEs se puedan conectar con niveles óptimos de señal.

**Figura 5 Dimensionamiento de Red de Acceso 5G NR**



Fuente: (TIC, 2025)

Una vez que el terminal establece comunicación con el gNb se integra al del 5G Núcleo (CORE) para envió/recepción de la señalización y datos, se comunica hacia el cuarto de control del Terminal Portuario y se interconecta a los sistemas de administración de los servidores de videovigilancia, monitores de cámaras con seguimiento de rutas, sistema PLC propio del sistema de grúas y a las aplicaciones de inteligencia artificial para el caso de los vehículos autónomos.

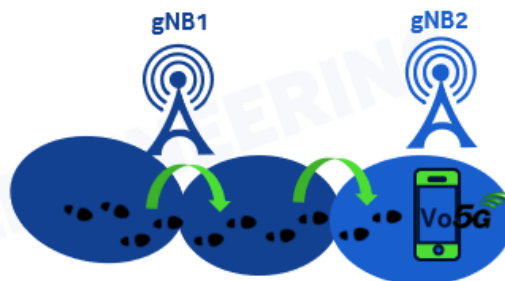
### **3.4. Terminales CPE 5G**

Los terminales CPE se caracterizan por ser robustos en la conexión de la interfaz de aire del 5G, se debe considerar que parte de la solución en 5G para el sector industrial portuario contempla bandas adicionales, su uso se basa en la capacidad de manejar las conexiones de entradas de los sensores PLC, dispositivos y localizadores que son parte de los sistemas de grúas autónomas. Se definen para estar en ambientes de exteriores, son robustos y con redundancia en sus fuentes de alimentación. La ubicación de los terminales CPE en cada equipamiento de grúa se definen en el compartimiento designado en la infraestructura.

En la figura 6 se muestra la movilidad que todos los tipos de CPE desde un dispositivo móvil del operador monitoreando las cámaras de videovigilancia en tiempo real, hasta los vehículos autónomos con sensores de ubicación y

movimiento que disponen de CPEs en su unidad, se pueda desplazar en el interior de las instalaciones del terminal portuario.

**Figura 6 Movilidad de Terminal CPE**



(Badri Narayanan, Omrey, & Joshi, 2022)

Para el caso de los sensores de ubicación o cámaras de monitoreo se van a usar e-sim o simcard conexión a la Red 5G. Una vez que el terminal establece comunicación con el gNB se integra al del 5G Núcleo (CORE) para envío/recepción de la señalización y datos, se comunica hacia el cuarto de control del Terminal Portuario y se interconecta a los sistemas de administración de los servidores de videovigilancia, monitores de cámaras con seguimiento de rutas, sistema PLC propio del sistema de grúas y a las aplicaciones de inteligencia artificial para el caso de los vehículos autónomos.

### **3.5. Consideraciones para la Infraestructura del Terminal Portuario**

Se realiza el levantamiento de la información sobre las estructuras disponibles en las instalaciones del Terminal Portuario, de las actuales condiciones operativas y de acuerdo al diseño propuesto se determina la ubicación del sistema radiante.

Se valida la necesidad del uso de los sistemas de iluminación actuales que tienen una altura aproximada de 32mts y se considera en tres de sus torres de iluminación la implantación de los sistemas radiantes (arreglo de antenas y módulos de radiofrecuencia).

El actual edificio donde trabaja el personal administrativo se valida el espacio físico del cuarto de control de los equipos existentes, sobre la

estructura del edificio se considera la implantación de una torreta de 9 mts de alto para la implantación del sistema radiante.

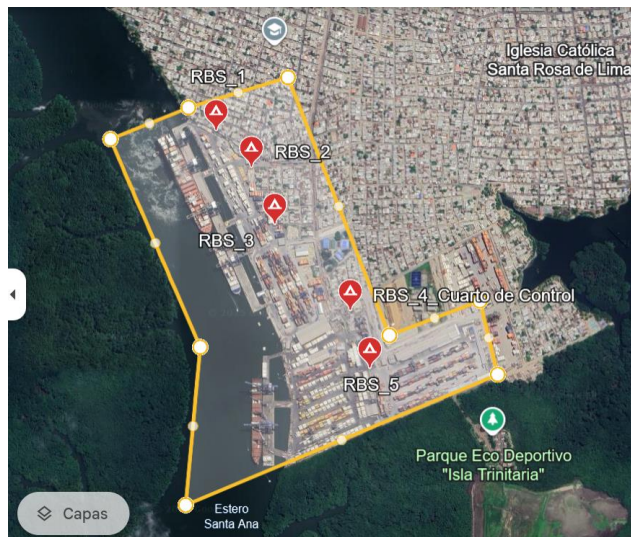
En base al dimensionamiento de equipos que son parte del sistema radiante propuesto y debido al uso de las estructuras existentes se establece viable considerando que las luminarias no supera los 80kg y la capacidad limite distribuida es de 500kg, el sistema radiante incluido antenas, módulos de radiofrecuencia y anillos de soporte se considera un peso de 220 kg. Se calcula un aumento en su uso del 16% al 60%.

### 3.6. Distribución de sistema radiante y topología de conexión

Para la distribución del sistema radiante este compuesto por un arreglo de tres sectores cada uno direccionado con valores de azimut en 0 grados, 120 grados y 240 grados, con polarización de +/-45 grados y ancho del lóbulo horizontal de 65 grados y en configuración de MIMO 2x2.

Se contempla las estaciones con un total de cinco ubicadas en orden secuencial como se indica en la figura 7.

**Figura 7 Dimensionamiento de Red de Acceso 5G NR**



(Earth, 2025)

La topología de conexión de la Red de Acceso (5G New Radio, RAN) es por medio de fibra óptica con topología anillo con redundancia hasta el Cuarto de Control donde se ubican el núcleo 5G y los equipos servidores de los

dispositivos inteligentes en curso y se incluye los sistemas de PLC de las maquinarias de grúas.

Se detalla en la siguiente tabla 1 la distribución de las estaciones y su ubicación.

**Tabla 1 Coordenadas de estaciones RBS**

<b>Nodo ID</b>	<b>Nombre Nodo</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Banda</b>
1001	5G_RBS1_TPG	-2,244946	-79,928486	5G 3,5GHZ
1002	5G_RBS2_TPG	-2,246060	-79,927400	5G 3,5GHZ
1003	5G_RBS3_TPG	-2,248385	-79,927216	5G 3,5GHZ
1004	5G_RBS4_TPG	-2,250848	-79,926047	5G 3,5GHZ
1005	5G_RBS5_TPG	-2,253443	-79,924245	5G 3,5GHZ

### **3.7. Características del Núcleo 5G Autónomo**

El despliegue del núcleo 5G se considera su ubicación en el cuarto de control en el área de los servidores, las características del hardware se basan servidores tipo chasis robustos con redundancia de alimentación y con sistema operativo en redhat y con base de datos. El servidor se conecta a los equipos enrutadores existentes en el terminal para la comunicación con los servidores de administración de cámaras de videovigilancia, servidores de inteligencia artificial, los sistemas de PLC y servidores de los sistemas de grúas autónomas.

Se muestra en la figura 8 la arquitectura para la Red 5G Autónoma (StandAlone).

**Figura 8 arquitectura para la Red 5G Autónoma**



(Digi, 2025)

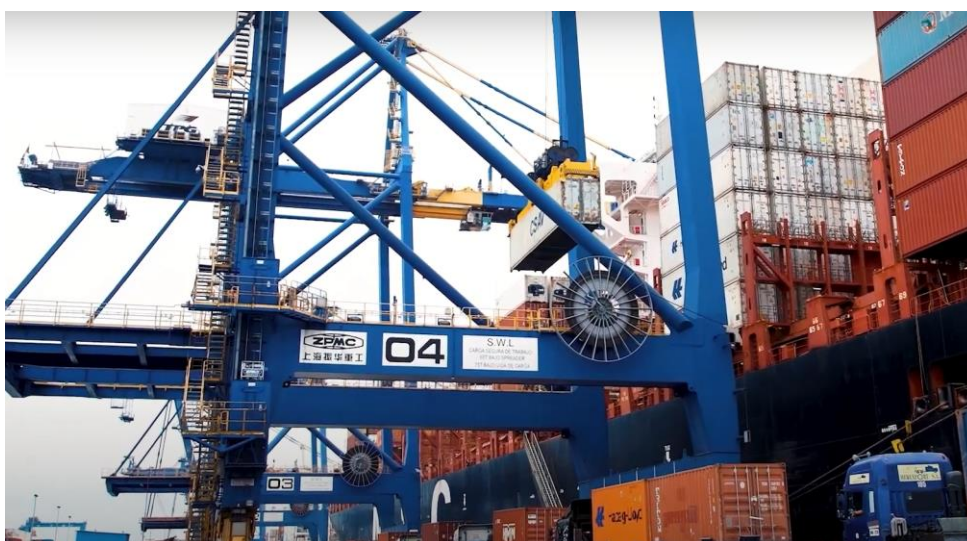
Las especificaciones técnicas de los servidores dependen de la solución ofrecida por el operador de servicio móvil avanzando, en el diseño se considera el servidor HPE ProLiant DL110 Gen11 y en el anexo 1.2 se detallan las especificaciones que dispone.

### **3.8. Descripción de las Grúas Remotas para puertos marítimos**

En el Terminal Portuario se dispone de grúas STS y RTG de la marca constructora ZPMC, la multinacional ya se tiene desarrollado los nuevos modelos de grúas automatizadas de pórtico. Se requiere considerar la modernización de la grúa y/o el reemplazo modular para lograr su automatización (ZPMC, 2024), la evolución tecnológica del constructor ya cuenta con la solución implementada en otros países del mundo.

En la figura 9 se muestra una grúa de pórtico STS en funcionamiento de la constructora ZPMC.

Figura 9 Grúa de pórtico STS operativa



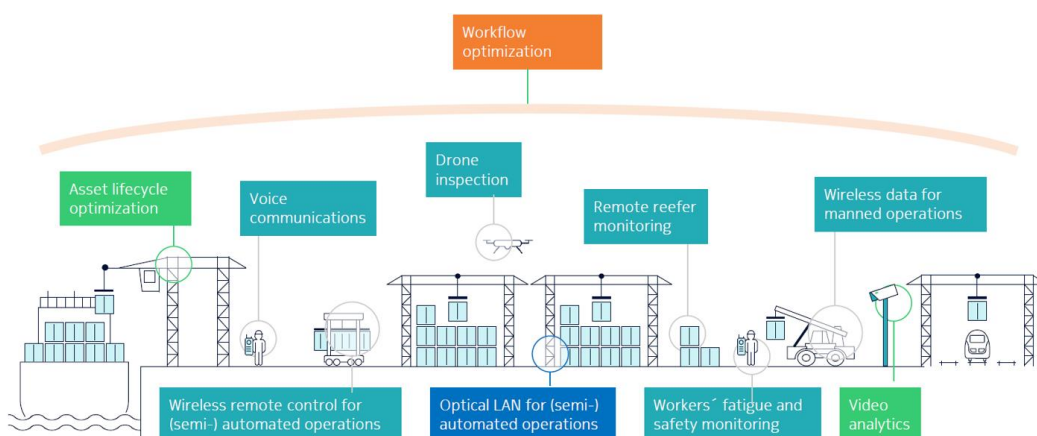
(El Emisario Ec 2024, 2024)

### 3.9. Funcionalidad de dispositivos localizadores y soluciones digitales

La funcionalidad de uso para los vehículos autónomos se considera fundamental en la trayectoria de la movilización de los contenedores, se debe digitalizar el terminal para que cada punto del recorrido sea monitoreado y controlado a través de los servidores con inteligencia artificial. La instalación y puesta en servicio se requiere un período de pruebas para calibrar las mediciones en campo y se logra al autoaprendizaje de las rutas.

En la figura 10 se muestran las soluciones digitales que se pueden implementar con la red 5G y se detallan:

Figura 10 Soluciones digitales



(Nokia, 2022)

- Sistema de videovigilancia con inteligencia artificial que se permite validar que los contenedores sigan la ruta definida y al momento de cambiar su curso, se envíe alarma al cuarto de control como medio de seguridad.
- Manejo de maquinaria por control remoto para tareas de carga y descarga de movimiento de mercancías de menor dimensión donde el operador se encuentra en sitio seguro.
- Monitoreo de perímetro de seguridad en base a sistema de drones, permite alertar de posibles amenazas en el perímetro del terminal.



## **Capítulo 4: Diseño y simulación de la Red de Acceso 5G NR**

### **4.1. Descripción de cobertura existente en las instalaciones del Terminal**

Para el caso del Ecuador no se ha subastado la banda de operación de servicios 5G, sin embargo, el Ministerio de Telecomunicaciones a través de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) se ha autorizado un permiso temporal a las operadoras de Servicio Móvil Avanzado (SMA) para el uso del espectro en la banda de 3.5Ghz. Se determina que el plan de negocios e inversión para el caso de la operadora que sea parte del proyecto es factible la implementación de la Red 5G Privada Autónoma.

El desarrollo en el campo de las telecomunicaciones se determina como alianzas estratégicas con las empresas público/privadas para su aplicación y puesta en servicio del diseño para los puertos marítimos.

Actualmente la cobertura existente para el caso de las tres operadoras es a través de un sistema 5G No Autónomo (NSA) en la ciudad de Guayaquil en los sectores más densamente poblados; en este sistema se comparte el Núcleo (Core 4G). Este tipo de solución no es aplicable para los terminales portuarios por los tiempos elevados de latencia.

### **4.2. Parámetros de Diseño de la Red de Acceso 5G Autónoma**

Se considera que las estaciones RBS son modulo para exteriores (outdoor), se incluye un sistema autónomo de rectificación y de respaldo con dos bancos de baterías de litio, a nivel del hardware de la RBS se va a contar con redundancia en la tarjeta de banda base y la tarjeta controladora. El medio de conexión de las estaciones es por medio de fibra óptica y en topología anillo para redundancia, el medio de transmisión va hasta el cuarto de control y llega al servidor del núcleo (Core). En la figura 11 se detalla un ejemplo del equipamiento por cada estación radio base.

**Figura 11 equipamiento por cada estación radio base**



(Huawei, 2023)

#### **4.2.1. Descripción de herramienta de uso Xirio**

Para la etapa simulación del diseño de la red de acceso se utiliza el aplicativo en la nube y de acceso via web de la plataforma Xirio que tiene como una de sus funciones de uso comercial el estudio y análisis de cobertura de radio frecuencia. Para el caso del 5G Autónomo si dispone de la opción para su aplicación. Los casos de estudio son almacenados en la nube y se pueden publicar para otros usuarios. En la figura 12 se detalla el sitio web de acceso y sus aplicaciones.

**Figura 12 sitio web de acceso y sus aplicaciones**



(XIRIO\_ON\_LINE, 2025)

El proceso de registro es gratuito, sin embargo, tiene un costo sobre las simulaciones efectuadas, por tal motivo tiene un limitado uso de simulaciones gratuitas. Una vez que se registra se procede a la creación de estudio 5G con configuración autónoma para cada estación radio base.

En la figura 13 se visualiza la creación para una radio base, se procede con la selección de la banda 5G que es de 3.5Ghz

Figura 13 Propiedades del estudio

**Propiedades del estudio de Cobertura**

**Estudio**

**Nombre:** RBS\_1\_S1\_S1

**Grupo:** TPG

**Servicio:** 5G

**Banda:** Nueva Banda 5G\_TPG ↑

**Descripción:** Estudio de cobertura...

**Fecha de última puesta en servicio/apagado:** 31

**Estado:** Diseño

**Extremos**

**Sector:** Nuevo sector\_S1

**Parámetros del terminal:**

**Parámetros de cálculo**

**Método de cálculo:** Nuevo New York University

**Capas de cartografía:**

(XIRIO\_ON\_LINE, 2025)

Se define el área de cobertura que corresponde a las dependencias del Terminal Portuario como se muestra en la figura 14.

Figura 14 Área de cobertura

**Parámetros de cálculo**

Método de cálculo: Nuevo New York University

Capas de cartografía:

Tipo	Nombre	Año	Res. (m)
MDT	Altimetría mundial	2006	100

**Área del cálculo**

Esquina NorOeste	Latitud: 02°14'34.54"S	Longitud: 079°55'52.15"W
Esquina SurEste	Latitud: 02°15'01.10"S	Longitud: 079°55'29.91"W

**Rangos**

Rango de Señal SS-RSRP

Color	Rango	Descripción
Blue	[-112.00 , -102.00) dBm	
Dark Green	[-102.00 , -92.00) dBm	
Light Green	[-92.00 , Infinity) dBm	

Visualizar niveles de señal

(XIRIO\_ON\_LINE, 2025)

Se detallan en cuadro de colores los rangos de los niveles de señal de potencia recibidos para los terminales CPEs, de esta manera se va a mostrar la intensidad de la señal.














#### 4.2.2. Definición de los parámetros considerados para el arreglo de antenas

Se procede a declarar cada uno de los sectores de la estación considerando su ubicación física con las coordenadas, las antenas se cuentan con la plantilla cargada (template) para 5G con ganancia de 17,5 dBi de ancho de lóbulo horizontal de 65 grados, la inclinación mecánica es de cuatro y la inclinación eléctrica es de 6.

Las alturas de las estructuras se consideran de 30mts y para el sistema radiante se trabaja con un MIMO 2x2 para efectos de la simulación. En la figura 15 se muestran los parámetros.

Figura 15 Parámetros del sector

### Propiedades del sector

Sector	
<b>Nombre:</b>	<input type="text" value="Nuevo sector_S1"/>
Emplazamiento	
<b>Emplazamiento:</b>	<input type="text"/>  
<b>Coordenadas</b>      	
<b>Latitud:</b>	<input type="text" value="02°14'41.93\"/>
<b>Longitud:</b>	<input type="text" value="079°55'42.93\"/>
Parámetros de radio	
<b>Tipo sistema:</b>	<input type="text" value="Estándar"/> 
<b>Antena:</b>	<input type="text" value="3G/4G/5G 17,5 dBi 65°"/>    
<b>Altura antena:</b>	<input type="text" value="30"/> m
<b>Orientación:</b>	<input type="text" value="120"/> °
<b>Inclinación mecánica:</b>	<input type="text" value="4"/> °
<b>Inclinación eléctrica:</b>	<input type="text" value="6"/> °

(XIRIO\_ON\_LINE, 2025)

Se ha considerado que las estructuras sobre los cuales se instala el sistema radiante están a nivel del terreno.

La frecuencia de transmisión es en 3350Ghz, la polarización es cruzada de +/- 45 grados, los latiguillos (jumpers) de conexión entre el módulo RF y el puerto de la antena es de 3 metros, la potencia de la portadora es de 100 vatios como se muestra en la figura 16.

**Figura 16 Referencias y parámetros**

The screenshot shows a configuration window with the following sections and fields:

- Referencia de alturas de antenas:**
  - Alturas respecto a: Nivel del terreno (dropdown)
  - Usar altura de edificio: Capa de elevación (MDE) (dropdown)
  - Altura edificio: 0 m (input field)
- Frecuencias de transmisión:**
  - Table with columns: Frecuencias, Canal
  - Row 1: 3350.000 MHz, [icon]
- Polarización:** Cruzada (dropdown)
- Feeder:** [empty input field]
- Longitud del feeder:** 3 m (input field)
- Pérdidas del feeder:** 0.00 dB (input field)
- Pérdidas pasivos:** 0 dB (input field)
- Potencia:** 100 W (input field)
- RSRP:** 0.078616352201 W (input field)

(XIRIO\_ON\_LINE, 2025)

Para el caso de los parámetros 5G se define al sistema en configuración Autónoma (StandAlone), y la configuración del Canal Físico Aleatorio de Acceso (PRACH), se valida en estático la coordinación de la interferencia intercelular de los sectores de una misma RBS en caso del CPE se encuentre en el borde de dos sectores como se muestra en la figura 17.

**Figura 17 Parámetros 5G**

The screenshot shows a configuration window titled "Parámetros 5G" with the following sections and fields:

- Planificador:** Nuevo Planificador (dropdown)
- Configuración de TDD:** No (dropdown)
- Stand alone:** Stand Alone (dropdown)
- Umbral de agregación:** -5 dB (input field)
- Numerología ( $\mu$ ):** 0 (dropdown)
- Offset de potencia SS-RSRP:** 0 dB (input field)
- Configuración PRACH:**
  - Categoría del preámbulo: Largo (dropdown)
  - Número de preámbulos PRACH: 64 (input field)
  - Zero correlation zone: 0 (input field)
  - Número de RS necesario: 1 (input field)
- Configuración ICIC:**
  - Tipo ICIC de red: Estático (dropdown)
  - Distribución potencia por ICIC: Frequency reuse factor 1 (dropdown)
  - Considerar ICIC en la estación

(XIRIO\_ON\_LINE, 2025)

Para los parámetros de descarga (downlink) se considera un valor del 70% del uso de su capacidad, se considera el número de símbolos asignados al canal de control por cada subtrama, con un valor de MIMO 2x2 y de ganancia fija.

Para los parámetros de carga (uplink) se considera una interferencia recibida de piso de ruido y con un valor de MIMO2x2 y de ganancia fija como se muestra en la figura 18.

**Figura 18 Parámetros Uplink Downlink**

Parámetros Downlink:	
Carga de tráfico:	70 %
Símbolos PDCCH:	2
Ocupación de PDCCH:	10 %
MIMO DL:	MIMO 2x2
SINR mínima para MIMO:	8.5 dB
Tipo de ganancia MIMO DL:	<input checked="" type="radio"/> Fija <input type="radio"/> Variable <input type="radio"/> Curva de eficiencia espectral
Ganancia MIMO DL:	1.48

Parámetros Uplink:	
Incremento de ruido:	3 dB
Factor de ruido:	2 dB
Alfa (control de potencia):	1
P0 (control de potencia):	-90 dBm
MIMO UL:	MIMO 2x2
Tipo de ganancia MIMO UL:	<input checked="" type="radio"/> Fija <input type="radio"/> Variable <input type="radio"/> Curva de eficiencia espectral
Ganancia MIMO UL:	1.48

(XIRIO\_ON\_LINE, 2025)

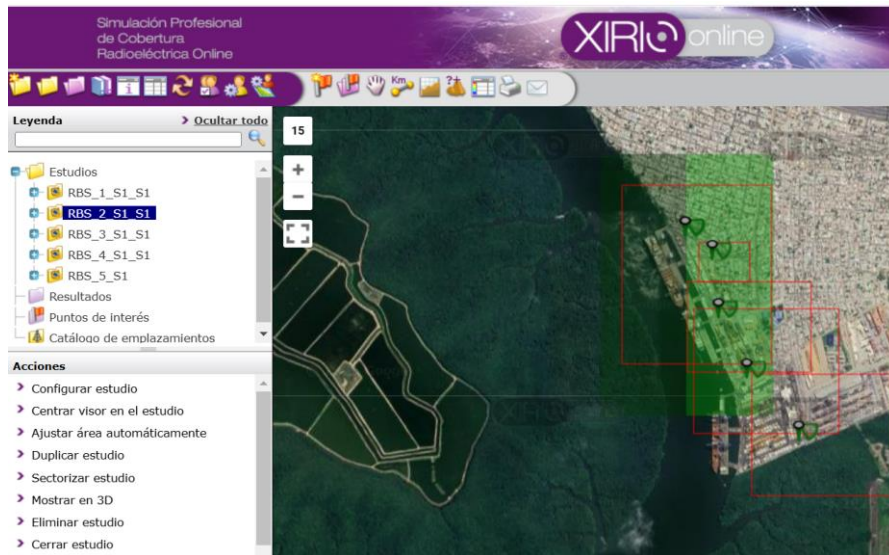
El proceso de declarar cada estación (radio base) y sus sectores se lo realiza en el estudio para proceder con la data creada a la simulación.

#### **4.2.3. Simulación de cobertura de la Red de Acceso**

Se procede con la simulación para las estaciones declaradas con los sectores, con los datos del sistema se obtiene los niveles de recepción de la señal para garantizar un rango óptimo de trabajo de los CPEs.

Se muestra en la figura 19 la simulación para el caso de un solo sector para el total de las estaciones, de esta manera se puede visualizar el exitoso método de uso.

**Figura 19 Simulación para un solo sector**



(XIRIO\_ON\_LINE, 2025)



## CONCLUSIONES

El presente diseño de Red 5G Autónoma se debe exponer la propuesta a las operadoras de servicio móvil avanzado en el país (Otecel, Conecel y CNT EP) para que se establezca el plan de negocios, acompañamiento y la rentabilidad de su implementación, se puede optimizar los costos del equipamiento que incluye adquisición, instalación, comisionamiento y puesta en servicio considerando que las ofertas se van a canalizar por medio de los operadores tecnológicos con presencia en el Ecuador como Nokia y Huawei.

La solución integral para modernizar el puerto TPG y alcanzar estándares internacionales para comparar con puertos como Chancay (Perú), Valencia (España) sea integrado con cada una de los desarrolladores de Plataformas de Inteligencia Artificial, Aprendizaje automático en la Logística Marítima y Sistemas de Transparencia, Trazabilidad y Confianza en el manejo de las mercaderías de esta manera se optimice su implementación.

Se desarrolla el modelo de la NRAN (New RAN) Red de Acceso Inalámbrico de las estaciones radio bases con sus topologías de conexión y el sistema radiante con una simulación de MIMO 2x2, los CPEs para su ubicación en los equipos autónomos, grúas automatizadas y se determina el hardware de la solución para el Núcleo 5G (Virtualizado).

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda para la financiación de la solución integral para digitalizar el TPG que incluye la modernización del sistema de grúas existentes, equipamiento IoT, Plataforma de Servicios de Inteligencia Artificial se puede canalizar su estudio integrando a las empresas interesadas en ser parte del desarrollo y de esta manera se exponga el proyecto de inversión por medio del Gobierno Nacional al BID (Banco Interamericano de Desarrollo) que ya presenta casos de éxito donde el resultado final transforma el terminal portuario.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alexandersson, S., & Norstrom, G. (1964). *World Shipping: An Economic Geography of Ports and Seaborne*.
- Badri Narayanan, S., Omrey, A., & Joshi, N. (2022). *VoNR E2E Optimization Guideline*. Finlandia: MN S NPO Network Optimization Services.
- Camara Maritima del Ecuador*. (25 de Noviembre de 2024). Obtenido de <https://www.camae.org/puerto-chancay/avanza-analisis-de-exportadores-ecuatorianos-para-salir-desde-chancay-en-peru-y-llegar-a-china-en-solo-25-dias-a-inicios-del-2025-habria-novedades/>
- Chen, H. Y. (2021). *Domain-specific Threat Modeling for Mobile Communication Systems*.
- Chen, H. Y.;. (2021).
- Digi. (14 de Enero de 2025). *Digi 40 years*. Obtenido de <https://es.digi.com/resources/library/white-papers/planning-your-journey-to-5g>
- Earth, G. (Cinco de Febrero de 2025). <https://www.google.com/intl/es-419/earth/about/>. Obtenido de <https://earth.google.com/earth/d/1uTR88jOmPbkJfNX3vdl4ZKnIXLLjNBZS?usp=sharing>
- Ecuador, A. d. (2025). *Ecuapass*. Obtenido de [https://www.aduana.gob.ec/archivos/Ecuapass/faqs\\_ECUAPASS.pdf](https://www.aduana.gob.ec/archivos/Ecuapass/faqs_ECUAPASS.pdf)
- El Emisario Ec 2024. (15 de Agosto de 2024). *TPG cumple 18 años de liderazgo y compromiso con el sector portuario y el comercio internacional*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=rF9pusEMD80>

- Huawei. (23 de Enero de 2023). *Huawei Technologies*. Obtenido de <https://www.huawei.com/en/media-center/our-value/the-world-first-smart-rail-logistics-terminal>
- Información, M. d. (30 de Enero de 2025). *Portal Unico de Tramites Ciudadanos*. Obtenido de <https://www.gob.ec/apg>
- Koi-Akrofi, G. Y. (2022). INTL JOURNAL OF ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS. Obtenido de <https://doi.org/10.24425/ijet.2023.144338>
- Moviles, A. R. (24 de Agosto de 2024). *Arquitectura de una red 5G*. Obtenido de [https://www.youtube.com/watch?v=A4Z\\_bUfnOZ4&t=451s](https://www.youtube.com/watch?v=A4Z_bUfnOZ4&t=451s)
- Nokia. (30 de Noviembre de 2022). *Nokia selected by STI to deploy the first industrial-grade LTE private network in a port terminal in Chile*. Obtenido de <https://www.nokia.com/about-us/news/releases/2022/11/30/nokia-selected-by-sti-to-deploy-the-first-industrial-grade-lte-private-network-in-a-port-terminal-in-chile/>
- Telefonica. (24 de Mayo de 2023). *Telefónica España*. Obtenido de <https://www.telefonica.com/es/sala-comunicacion/blog/como-mejora-la-red-5g-la-gestion-de-los-puertos-espanoles/>
- THE LOGISTICS WORLD, Redacción TLW. (2024). ¿Qué es ETA en el transporte marítimo? optimización de tiempos en la logística internacional. *The Logistics world*.
- TIC, A. y. (2025). *Xirio*. Obtenido de <https://www.xirio-online.com/web/main.aspx>
- Valentin, V. F., Benamara, H., & Hoffman, J. (2013). Transporte marítimo y comercio marítimo internacional. *Política y gestión marítima*, 226-242.

XIRIO\_ON\_LINE. (6 de Febrero de 2025). *Xirio On Line*. Obtenido de  
<https://www.xirio-online.com/web/home/welcome.aspx>

ZPMC. (9 de Octubre de 2024). *CHINA CORPORATION CONSTRUCTION*.  
Obtenido de  
[https://espanol.ccccltd.cn/xwzx/mtk/spk/202410/t20241012\\_216501.ht  
ml](https://espanol.ccccltd.cn/xwzx/mtk/spk/202410/t20241012_216501.html)

## GLOSARIO DE TERMINOS

<b>Abreviatura</b>	<b>Significado en español</b>	<b>Significado en Ingles</b>
<b>5G NR</b>	5G Nueva Radio	5G New Radio
<b>gNb</b>	NodoB 5G	G-Node B
<b>CPE</b>	Equipo de instalación del Cliente	Customer Premises Equipment
<b>5G CORE</b>	5G Núcleo	5G Core
<b>AMF</b>	Administración de la Señalización de plano de control – N2	Access and Mobility Management Function
<b>UPF</b>	Función en el plano del usuario (datos) – N3	User Plane Function
<b>SMF</b>	Administración de Políticas de QoS plano de control	Session Manager Function
<b>DN</b>	Red de Datos externa	Data Network
<b>MIMO</b>	Múltiples entradas múltiples salidas	Multiple Input multiple output
<b>M- MIMO</b>	Masivo Múltiples entradas múltiples salidas (mas de 10)	Multiple Input multiple output
<b>RTG</b>	Grua Portico sobre neumáticos	Rubber Tyred Gantry
<b>STS</b>	Grua de Barco a Muelle	Ship to Shore
<b>SS-RSRP</b>	Nivel de Potencia referencial de la señal de sincronismo	Synchronization Signal-Reference Signal Received Power
<b>PRACH</b>	Canal Aleatorio físico de acceso	Physical Radio Access Channel
<b>ICIC</b>	Coordinación de la Interferencia Intercelular	Inter-Cell Interference Coordination

## ANEXOS

### 1. ESPECIFICACIONES MODULOS DE RADIO FRECUENCIA

#### Equipamiento

##### AHFB AirScale Micro RRH 4T4R n25/B25 20W

###### Technical data

	Product Specifications
Standard	3GPP/FCC/ISED
Supported RAT*	3G/4G/5G, IoT (NB,GB), FDD
Band / Frequency range	Band: 25 (RX: 1850-1915MHz, TX: 1910-1995MHz)
Max. supported modulation*	256QAM (TX), 64QAM (RX)
Number of TX/RX paths	4T4R
Instantaneous bandwidth (IBW)	65MHz
Occupied bandwidth (OBW)	65MHz
Max. RF output power	20W
Dimensions (H*W*D)	DC: 295mm x 245mm x 55mm; AC: 295mm x 270mm x 55mm;
Volume	DC: 4.0L, AC: 4.5L
Weight (excluding mounting bracket)	DC: 5.5kg, AC: 6.1kg
Supply voltage / Connector type	DC: -40 5V to -57V/OCTIS Plug Kit DC Power AC: 80V to 276V (via external AC/DC converter) /OCTIS Plug Kit AC Power
Antenna ports	16x-10
Optical ports	2x SFP+ Ports CPRI 9.8 Gbps (Rate 7)
Other interfaces / Connector type	One EAC port, supporting two external alarms
Operational temperature range	-40 °C ... +55 °C
Cooling	Convection
Installation options	Pole, Wall, Bookshelf, Stacked, Shroud
Ingress / Surge protection	IP65, AC/DC Power Port: ±6 kV pulse 1.2/50 µs, RS=20

2 © 2023 Nokia Confidential

\*HW specifications, capabilities are subject to relevant feature support.

#### AirScale Micro RRH benefits

- Manages cell site costs with right size radio for the right purpose.
- Reduces OPEX with common management system for Macro and Micro cells
- Provides deployment flexibility for different use cases with versatile installation scenarios
- Tunable Output Power



AHFB\_474036A

NOKIA

### 2. ESPECIFICACIONES TECNICAS DE SERVIDOR PARA NUCLEO

#### 5G

**HPE**   
**GreenLake**

Data sheet

## HPE ProLiant DL110 Gen11

1014705731



---

[For additional technical information, available models and options, please reference the QuickSpecs](#)

**HPE Services**

No matter where you are in your transformation journey, you can count on HPE Services to deliver the expertise you need when, where and how you need it. From strategy and planning to deployment, ongoing operations and beyond, our experts can help you realize your digital ambitions.

**Consulting services**

Experts can help you map out your path to hybrid cloud and optimize your operations.

**Managed services**

HPE runs your IT operations, giving you unified control, so you can focus on innovation.

**Operational services**

Optimize your entire IT environment and drive innovation. Manage day-to-day IT operational tasks while freeing up valuable time and resources.

- HPE Complete Care Service: a modular service designed to help optimize your entire IT environment and achieve agreed upon IT outcomes and business goals. All delivered by an assigned team of HPE experts.
- HPE Tech Care Service: the operational service experience for HPE products. The service provides access to product specific experts, an AI driven digital experience, and general technical guidance to help reduce risk and search for ways to do things better.

**Lifecycle Services**

Address your specific IT deployment project needs with tailored project management and deployment services.

**HPE Education Services**

Training and certification designed for IT and business professionals across all industries. Create learning paths to expand proficiency in a specific subject. Schedule training in a way that works best for your business with flexible continuous learning options.

[The Defective Media Retention \(DMR\)](#) service feature option applies only to Disk or eligible SSD/Flash Drives replaced by Hewlett Packard Enterprise due to malfunction. [Comprehensive Defective Material Retention \(CDMR\)](#) allows you to keep all data retentive components.





Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



**SENESCYT**  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Guerrero Echeverría, Alex Fabián** con C.C: # **0919197095** autor del trabajo de titulación: **Diseño de una red 5G para el uso en puertos marítimos inteligentes, caso de estudio Terminal Portuario de Guayaquil**, previo a la obtención del título de **Magister en Telecomunicaciones** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 13 de marzo del 2025

f. \_\_\_\_\_

Nombre: **Guerrero Echeverría, Alex Fabián**

C.C: **0919197095**



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



SENESCYT  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Diseño de una red 5G para el uso en puertos marítimos inteligentes, caso de estudio Terminal Portuario de Guayaquil.		
<b>AUTOR(ES)</b>	Guerrero Echeverría, Alex Fabián		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Zamora Cedeño, Néstor Armando; Peñafiel Olivo, Kety Jenny; Bohórquez Heras, Daniel Bayardo.		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Sistema de Posgrado		
<b>PROGRAMA:</b>	Maestría en Telecomunicaciones		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Magister en Telecomunicaciones		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	13 de marzo del 2025	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	41 p.
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Redes 5G privadas, sistema, diagrama de cobertura, medio de transmisión, tecnología.		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Red 5G Autónoma, grúas de pórtico, inteligencia artificial, puertos inteligentes, terminales de contenedores, Núcleo		
<p>El presente trabajo se basa en la necesidad que requieren los puertos marítimos en el Ecuador para que se evolucione de manera tecnológica y se digitalice con los nuevos desarrollos de inteligencia artificial para la optimización de procesos, sistemas de vehículos autónomos de traslado de contenedores, sistemas de control remoto de grúas de pórtico y sistemas de videovigilancia con inteligencia artificial. El medio de transmisión para la evolución tecnológica es el diseño de una Red 5G Autónoma en el Terminal Portuario de Guayaquil como caso de estudio, para el sector industrial marítimo que cumple con los tiempos de latencia y ancho de banda para que la maquinaria sea administrable de manera remota. El costo del proyecto para su implementación se puede gestionar por medio del Gobierno Nacional mediante una alianza pública y privada con los administradores de los Terminales Portuarios y las Empresas Navieras; la valoración en el costo de inversión se debe plantear por medio de las empresas de servicio móvil avanzado mediante mesas de trabajo a través del Ministerio de Transporte con un plan de negocios para definir el mecanismo de retorno de la inversión. El Diseño de la Red 5G Autónoma Privada se define como el primer paso para crear la vía de desarrollo de los puertos marítimos, es el medio de comunicación con los equipos terminales para su registro, control, administración y operación. Se determina una investigación descriptiva de las bases tecnológicas disponibles en el Ecuador considerando que el Terminal Portuario de Guayaquil es el caso de estudio.</p>			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/>	NO
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593988877688	<b>E-mail:</b> alex.guerrero@cu.ucsg.edu.ec	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO):</b>	<b>Nombre:</b> Bohórquez Escobar Celso Bayardo		
	<b>Teléfono:</b> +593905147293		
	<b>E-mail:</b> celso.bohorquez@cu.ucsg.edu.ec		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			