

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

ESCUELA DE POSTGRADO



**DISEÑO Y PLANEAMIENTO DE UNA RED DE INTERNET DE LAS COSAS PARA
LOS ESTABLECIMIENTOS PENITENCIARIOS DE LIMA**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAGÍSTER EN
INGENIERÍA DE LAS TELECOMUNICACIONES**

AUTOR

DANNY ALONZO SANTA CRUZ CUEVA

ASESOR

ALESSANDRO DEFILIPPI ELÍAS

Lima, Noviembre del 2021

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme la oportunidad de estudiar esta maestría y permitirme seguir creciendo profesionalmente.

A mis padres, Zoila y Otonar, y mi hermano Rudy, por acompañarme a la distancia y brindarme su apoyo en todo momento, en el transcurso de la maestría y de toda mi trayectoria profesional, ellos son mi motivo y razón para seguir adelante.

A mi buen amigo Wuily Nino, que me brindó su apoyo, me impulsó a seguir mis metas, a pesar de las limitaciones económicas que se me presenten y confió en mí.

A mis maestros de la maestría, por compartir sus enseñanzas y experiencias en cada curso.

A mi asesor, por el tiempo y dedicación, en el desarrollo de la presente tesis.

INDICE

DEDICATORIA	2
INDICE	3
INDICE DE FIGURAS	6
INDICE DE TABLAS	8
RESUMEN	9
GLOSARIO DE TÉRMINOS	10
INTRODUCCIÓN	15
ALCANCE	17
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO	18
1.1. Introducción	18
1.2. Características	19
1.2.1. Interconectividad	19
1.2.2. Servicios relacionados con objetos	19
1.2.3. Heterogeneidad	19
1.2.4. Cambios dinámicos	19
1.2.5. Escala enorme	19
1.3. Aplicaciones	19
1.3.1. Wearables	20
1.3.2. Salud.	20
1.3.3. Monitoreo de tráfico.	20
1.3.4. Gestión de flotas.	21
1.3.5. Agricultura.	21
1.3.6. Hotelería.	21
1.3.7. Ahorro energético y Smart Grid.	22
1.3.8. Suministro de agua.	22
1.3.9. Gestión de mantenimiento.	22
1.4. Situación actual	23
1.4.1. Formas de conectividad	23
1.4.2. Tendencias	25
1.4.2.1. Inteligencia Artificial (IA)	26
1.4.2.2. IoT legal, social y ética	26
1.4.2.3. Infonomía y corretaje de datos	27
1.4.2.4. El pase del borde inteligente a malla inteligente	27
1.4.2.5. Gobierno de IoT	27
1.4.2.6. Innovación de sensores	27
1.4.2.7. Hardware y sistema operativo de confianza	28

1.4.2.8.	Nuevas experiencias de usuario de IoT	28
1.4.2.9.	Innovación en chips de silicio	28
1.4.2.10.	Nuevas tecnologías de redes inalámbricas para IoT	29
1.4.3.	Beneficios	29
1.4.4.	IoT en el Perú	31
CAPÍTULO 2: SITUACIÓN ACTUAL DE LAS PRISIONES		35
2.1.	Introducción	35
2.2.	Historia	36
2.3.	Problemática actual	38
2.4.	Medidas adoptadas por el Estado frente al COVID-19	43
2.5.	Prisiones en el Perú	44
2.5.1.	Servicio de Bloqueo de Señales	44
2.5.1.1.	Descripción del bloqueo de señales	46
2.5.1.2.	Frecuencias Bloqueadas	47
2.5.2.	Servicio de Grilletes Electrónicos	47
2.6.	Tendencias de cárceles en el mundo	49
2.6.1.	Cámaras de CCTV, grabación y análisis de Video	49
2.6.2.	Prisión inteligente en Holanda	49
2.6.3.	Grabación de video embarcable para el traslado de reclusos	49
2.6.4.	Cámaras térmicas de 360°	50
2.6.5.	Sistemas de grabación de audio	50
2.6.6.	Detección, inhibición y localización de teléfonos móviles	50
2.6.7.	Sistemas de Detección Perimetral	50
2.6.8.	Hong Kong	50
CAPÍTULO 3: REGULACIÓN Y NORMATIVIDAD DEL USO DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO PARA APLICACIÓN DEL USO DE INTERNET DE LAS COSAS ...		52
3.1.	Introducción	52
3.2.	Espectro radioeléctrico	52
3.3.	Bandas Licenciadas	53
3.4.	Bandas No Licenciadas Libres.	54
3.4.1.	Bandas no licenciadas en Perú	56
3.5.	Tecnologías IoT	57
3.5.1.	Redes LPWAN (Low-Power Wide-Area Network)	58
3.5.1.1.	LoRa (Long Range)	59
3.5.1.2.	SigFox	60
3.5.1.3.	NB – IoT	61
3.6.	Aplicaciones Verticales	63
3.7.	MulteFire	65

3.8. Tecnologías de Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT)	66
3.9. Comparativa de Tecnologías	67
3.10. Plan de Atribución de Frecuencias	68
3.11. Propuesta de Informe para canalización de la frecuencia 433MHz en Perú	71
3.12. Elección de tecnología	73
3.13. Equipos basados en la tecnología LoRaWAN	74
3.13.1. Dispositivo IoT	74
3.13.2. Gateway IoT	75
CAPÍTULO 4: DISEÑO DE LA RED IOT	77
4.1. Objetivos	77
4.2. Red LoRaWAN	78
4.2.1. Dispositivo IoT	79
4.2.2. Gateway IoT	80
4.2.3. Servidor de red LoRaWAN	80
4.2.4. Plataforma de software IoT y aplicación comercial	80
4.3. Procedimiento	81
4.4. Ubicaciones geográficas	82
4.5. Ubicación de los Gateway IoT y Dispositivos IoT	84
4.6. Pruebas de cobertura	86
4.7. Diagrama de red	100
4.7.1. Diagrama por penal	100
4.7.2. Diagrama central INPE	101
4.7.3. Diagrama Red IoT	102
4.8. Aplicaciones	103
4.8.1. Monitoreo de temperatura en los pabellones	103
4.8.2. Control de seguridad contra posibles fugas de internos	104
4.8.3. Control de acceso en los pabellones	106
4.9. Presupuesto estimado	107
4.10. Justificación y desarrollo de la presente tesis.	109
4.11. Análisis Estadístico	110
4.12. Análisis Costo – Beneficio	115
CONCLUSIONES	117
RECOMENDACIONES	118
ANEXO A: DESCRIPCIÓN SOFTWARE RADIO MOBILE	125
ANEXO B: ENTREVISTA A PERSONAL PRISONTEC	129

INDICE DE FIGURAS

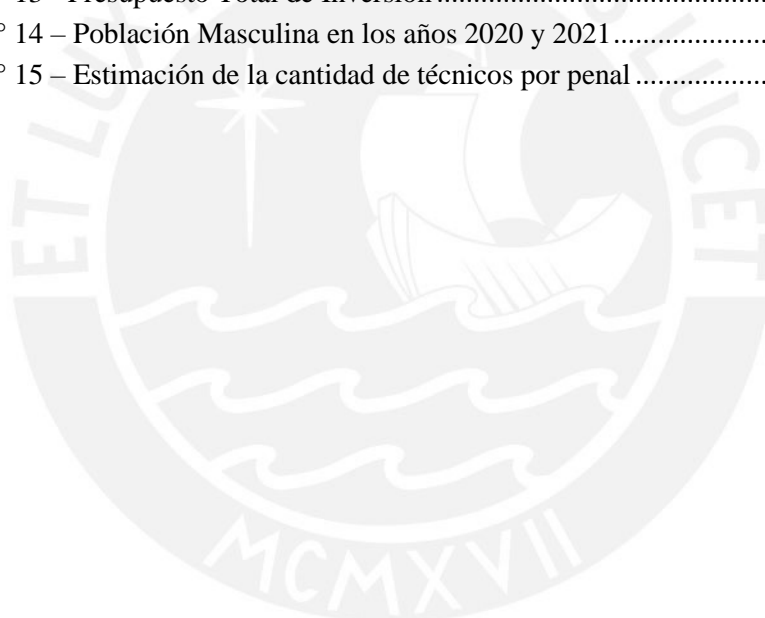
Figura N° 1 – Número de dispositivos conectados [40].....	23
Figura N° 2 – Beneficios del IoT en las empresas [42].....	30
Figura N° 3 - Organigrama INPE 2019 [47]	37
Figura N° 4 - Estado de uso de las prisiones a cargo del INPE [46]	38
Figura N° 5 - Población penal 2020 [45]	39
Figura N° 6 - Objetos prohibidos encontrados en requisas [46]	42
Figura N° 7 - Servicio de Bloqueo de Señales en Penales [54].....	46
Figura N° 8 - Bandas ISM [70]	55
Figura N° 9 - Bandas Libres [70]	55
Figura N° 10 - Modos de operación para NB-IoT [73].....	62
Figura N° 11 - Estándares actuales de IoT según verticales [79].....	64
Figura N° 12 - Declaración de Reserva de Bandas de espectro en Perú [84].....	66
Figura N° 13 - Lista de Canales EU433 [75]	70
Figura N° 14 - Bandas de Frecuencia [89].....	75
Figura N° 15 - Componentes de una red LoRaWAN [92].....	79
Figura N° 16 – Ubicación Geográfica EP ANCON 2	82
Figura N° 17 – Ubicación Geográfica EP Callao.....	82
Figura N° 18 - Ubicación Geográfica EP Castro Castro	83
Figura N° 19 – Ubicación Geográfica EP LURIGANCHO	83
Figura N° 20 – Ubicación Gateway IoT y Dispositivo IoT ANCON 2	84
Figura N° 21 - Ubicación Gateway IoT y Dispositivo IoT Callao.....	84
Figura N° 22 - Ubicación Gateway IoT y Dispositivo IoT Castro Castro	85
Figura N° 23 - Ubicación Gateway IoT Lurigancho y Dispositivo IoT Lurigancho	85
Figura N° 24 - Configuración Coordenadas – EP ANCÓN 2	86
Figura N° 25 - Configuración Frecuencias – EP ANCÓN 2.....	86
Figura N° 26 - Configuración Potencia TX - RX, Pérdida – EP ANCÓN 2.....	87
Figura N° 27 - Ubicación Geográfica del Gateway IoT Ancón 2	87
Figura N° 28 - Ubicación Geográfica del Dispositivo IoT Ancón 2.....	88
Figura N° 29 - Configuración Gateway IoT - Dispositivo IoT Ancón 2.....	88
Figura N° 30 - Diagrama de Cobertura de Propagación - Gateway IoT Ancón 2.....	89
Figura N° 31 - Configuración Coordenadas EP Castro Castro	89
Figura N° 32 - Configuración de frecuencias EP Castro Castro	90
Figura N° 33 - Configuración parámetros radioeléctricos EP Castro Castro	90
Figura N° 34 - Ubicación Geográfica del Gateway IoT Castro Castro	91
Figura N° 35 - Ubicación Geográfica del Dispositivo IoT Castro Castro.....	91
Figura N° 36 - Configuración Gateway IoT - Dispositivo IoT Castro Castro	92
Figura N° 37 - Diagrama de Cobertura de Propagación Gateway IoT Castro Castro.....	92
Figura N° 38 - Configuración Coordenadas EP Callao.....	93
Figura N° 39 - Configuración de frecuencias EP Callao.....	93
Figura N° 40 - Configuración parámetros radioeléctricos EP Callao	94
Figura N° 41 - Ubicación Geográfica del Gateway IoT Callao	94

Figura N° 42 - Ubicación Geográfica del Dispositivo IoT Callao	95
Figura N° 43 - Configuración Gateway IoT - Dispositivo IoT Callao.....	95
Figura N° 44 - Diagrama de Cobertura de Propagación Gateway IoT Callao	96
Figura N° 45 - Configuración Coordenadas EP Lurigancho.....	96
Figura N° 46 - Configuración de frecuencias EP Lurigancho.....	97
Figura N° 47 - Configuración parámetros radioeléctricos EP Lurigancho	97
Figura N° 48 - Ubicación Geográfica del Gateway IoT Lurigancho	98
Figura N° 49 - Ubicación Geográfica del Dispositivo IoT Lurigancho	98
Figura N° 50 - Configuración Gateway IoT - Dispositivo IoT Lurigancho.....	99
Figura N° 51 - Diagrama de Cobertura de Propagación Gateway IoT Lurigancho	99
Figura N° 52 - Diagrama de red en cada penal	100
Figura N° 53 - Diagrama de red Central INPE	101
Figura N° 54 - Diagrama de Red IoT para los penales de Lima	102
Figura N° 55 - Diagrama de red de Aplicación Temperatura en Pabellón.....	103
Figura N° 56 - Diagrama de red de Aplicación Movimiento en Pabellón	104
Figura N° 57 – Modo de funcionamiento del Sensor HC-SR501 [95].....	105
Figura N° 58 - Diagrama de red de Aplicación Control de acceso en Pabellón.....	106
Figura N° 59 – Población técnica de INPE	111
Figura N° 60 – Cantidad de eventos originados por los internos [108]	112



INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 – Distribución de Establecimientos Penitenciarios por regiones [45].....	37
Tabla N° 2 – Lista de Establecimientos Penitenciarios a nivel nacional [56].....	44
Tabla N° 3 - Bandas de Frecuencias Bloqueadas [56].....	47
Tabla N° 4 - Diferencias Técnicas: SIGFOX, LORA Y NB-IOT [73].....	67
Tabla N° 5 – Plan Nacional de Atribución de Frecuencias.....	69
Tabla N° 6 – Atribución de Frecuencias (Sugerencia)	70
Tabla N° 7 – Direccionamiento IPv6.....	102
Tabla N° 8 - Presupuesto de equipos IoT en EP ANCON 2.....	107
Tabla N° 9 - Presupuesto de equipos en EP CALLAO.....	107
Tabla N° 10 - Presupuesto de equipos en EP CASTRO CASTRO	108
Tabla N° 11 - Presupuesto de equipos en EP LURIGANCHO	108
Tabla N° 12 - Presupuesto de equipos en Central INPE.....	109
Tabla N° 13 - Presupuesto Total de Inversión	109
Tabla N° 14 – Población Masculina en los años 2020 y 2021.....	111
Tabla N° 15 – Estimación de la cantidad de técnicos por penal	112



RESUMEN

El objetivo de la presente tesis, es realizar el diseño de una red de internet de las cosas para los establecimientos penitenciarios de Lima, con la finalidad de poder contribuir con la gestión de la seguridad penitenciaria, evitando causar interferencias o interrupciones del servicio de telefonía pública y bloqueo de señales de radiofrecuencias (2G, 3G, 4G, WiFi, etc.), que la empresa privada actualmente brinda, dentro de los penales.

La metodología usada en la presente tesis, consiste realizar un análisis comparativo de las tecnologías IoT y de las canalizaciones de frecuencias permitidas en el Perú, para poder escoger equipos que operen en frecuencias no licenciadas en redes LPWAN, con el fin de brindar una propuesta de diseño de una red de Internet de las Cosas, así como plantear 03 aplicaciones (monitoreo de temperatura, control de seguridad y control de acceso en los pabellones), que permitan mejorar la gestión de la seguridad en los establecimientos penitenciarios.

Ante la demanda constante de internos que ingresan a los establecimientos, estos se encuentran hacinados, lo que conlleva a un riesgo inminente del control interno como externo, a cargo del Instituto Nacional Penitenciario (INPE) y que, en inesperadas ocasiones, las consecuencias llevaron a daños colaterales del personal, debido a que, el control lo hacen de forma manual y rústico.

Actualmente, las instituciones públicas y privadas, están en constante desarrollo tecnológico, buscando automatizar sus procesos administrativos y logísticos. En ese sentido, se vio la necesidad de realizar esta tesis, que ofrezca una idea de una nueva canalización dentro del Plan Nacional de Atribución de Frecuencias, bajo la supervisión del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, generando un valor agregado a la gestión de seguridad dentro de las instituciones penitenciarias.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **3GPP:**
“3rd Generation Partnership Project: Proyecto Asociación de Tercera Generación” – Une a siete organizaciones de desarrollo de estándares de telecomunicaciones (ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA, TTC), conocidas como "Socios Organizacionales" y proporciona a sus miembros un entorno estable para producir los Informes y Especificaciones que definen las tecnologías 3GPP. [1]
- **6LowPAN:**
“Low Power Personal Area Network” – Es un estándar que combina el protocolo de Internet IPv6 con el estándar IEEE 802.15.4, cuya combinación garantiza un consumo de energía muy bajo en las redes de sensores inalámbricas. [2]
- **AFA:**
“Adaptive Frequency Agility (Agilidad de frecuencia adaptativa)” – Es una técnica que utilizan los transmisores de radio para evitar la transmisión en canales que ya están ocupados. [3]
- **ARM:**
Anteriormente “Advanced RISC Machine”, originalmente “Acorn RISC Machine” – La arquitectura ARM es una arquitectura RISC (Reduced Instruction Set Computer) de originalmente 32 bits (hoy día también disponible en 64 bits) desarrollada por la compañía ARM Holdings, y licenciada a las compañías productoras de procesadores móviles. [4]
- **BPSK:**
“Binary Phase Shift Keying (Modulación por desplazamiento de fase binario)” – Es una forma de modulación de onda cuadrada de portadora suprimida de una señal de onda continua. Son posibles dos fases de salida para una sola frecuencia de portadora. Una fase de salida representa un 1 lógico y la otra un 0 lógico. [5]
- **CCTV:**
“Closed Circuit Television (Circuito cerrado de televisión)” – Es una instalación de equipos conectados que generan un circuito de imágenes que solo puede ser visto por un grupo determinado de personas, estas se personalizan para adaptarse a las necesidades de cada cliente bien sean orientadas a la seguridad, vigilancia o mejora de servicio. [6]
- **CIO:**
“Chief information officer (Director de sistemas de información)” – Responsable de los sistemas de tecnologías de la información de la empresa a nivel de procesos y desde el punto de vista de la planificación. [7]
- **CSS:**
“Spread Spectrum Chirp (chirp de espectro ensanchado)” – Es una técnica de espectro ensanchado utiliza pulsos chirp modulados en frecuencia lineal de banda ancha para

codificar la información. Un chirrido es una señal sinusoidal cuya frecuencia crece o decrece con el tiempo (a menudo con una expresión polinomial para la relación entre tiempo y frecuencia). [8]

- **Deep learning:**
“Aprendizaje profundo” – Se define como un algoritmo automático estructurado o jerárquico que emula el aprendizaje humano con el fin de obtener ciertos conocimientos. Destaca porque no requiere de reglas programadas previamente, sino que el propio sistema es capaz de «aprender» por sí mismo para efectuar una tarea a través de una fase previa de entrenamiento. [9]
- **DNN:**
“Deep Neural Network (red neuronal profunda)” – Son una categoría poderosa de algoritmos de aprendizaje automático implementado apilando capas de redes neuronales a lo largo de la profundidad y el ancho de arquitecturas más pequeñas. [10]
- **DSSS:**
“Direct Sequence Spread Spectrum (espectro ensanchado por secuencia directa)” – Es una técnica de modulación también conocida como salto de frecuencia, la información a transmitir se mezcla con un patrón pseudoaleatorio de bits para extender los datos antes de que se transmitan. [11]
- **ETSI:**
“European Telecommunications Standards Institute (Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones)” – Es una organización líder en estandarización de estándares de tecnología de la información y la comunicación (TIC) que satisface las necesidades del mercado europeo y mundial. [12]
- **FOTA:**
“Firmware Over The Air (Firmware por aire)” – Es una tecnología de administración de software móvil (MSM) en la que el fabricante actualiza y actualiza de forma inalámbrica el firmware operativo de un dispositivo móvil. [13]
- **FSK:**
“Frequency Shift Keying (modulación por desplazamiento de frecuencia)” – Es una modulación de frecuencia donde la señal moduladora (datos) es digital. Los dos valores binarios son representados con dos frecuencias diferentes (f_1 y f_2) próximas a la frecuencia de la señal portadora f_p . [14]
- **GFSK:**
“Gaussian Frequency Shift Keying (modulación por desplazamiento de frecuencia gaussiana)” – Es un tipo de modulación FSK que utiliza un filtro gaussiano para dar forma a los pulsos antes de que sean modulados. Esto reduce el ancho de banda espectral y el espectro fuera de banda, para cumplir con los requisitos de rechazo de potencia del canal adyacente. [15]

- **GMSK:**
“Gaussian minimum shift keying (Modulación por desplazamiento mínimo gaussiano)” – Es una forma de modulación basada en modulación por desplazamiento de frecuencia que no tiene discontinuidades de fase y proporciona un uso eficiente del espectro, además de permitir amplificadores de potencia de radio de alta eficiencia. [16]
- **GPIO:**
“General Purpose Input/Output (Entrada/Salida de Propósito General)” – Es un sistema de entrada y salida de propósito general, es decir, consta de una serie de pines o conexiones que se pueden usar como entradas o salidas para múltiples usos. Estos pines están incluidos en todos los modelos de Raspberry Pi aunque con diferencias. [17]
- **GSMA:**
“Global System for Mobile Communications Association (Asociación del Sistema Global de Comunicaciones Móviles)” – Representa los intereses de los operadores móviles en todo el mundo, uniendo a más de 750 operadores con casi 400 empresas en el ecosistema móvil más amplio, incluidos fabricantes de teléfonos y dispositivos, empresas de software, proveedores de equipos y empresas de Internet, así como organizaciones en sectores industriales adyacentes. [18]
- **I2C:**
“Inter Integrated Circuits (Entre circuitos integrados)” – Un tipo de bus diseñado por Philips Semiconductors a principios de los 80s, que se utiliza para conectar circuitos integrados. [19]
- **IBeacon:**
Es el nombre del estándar tecnológico usado por Apple, la cual permite a aplicaciones móviles interpreten su posición a una escala micro-local y faciliten el contenido hipercontextual al usuario según la ubicación. [20]
- **IBM:**
“International Business Machines Corporation” – Es una empresa transnacional que fabrica y comercializa herramientas, programas y servicios relacionados con la informática. Tiene su sede en Armonk (Nueva York, Estados Unidos) y está constituida como tal desde el 15 de junio de 1911, pero lleva operando desde 1888. [21]
- **Infonomía:**
Es la gestión inteligente de la información. Pretende dar a individuos y organizaciones métodos e ideas mejorar el uso de la información. [22]
- **Jupitermesh:**
Es la red de malla inalámbrica de IoT industrial robusta y de bajo consumo con velocidades de datos flexibles que permite comunicaciones de área de campo y

vecindario para servicios públicos y municipios que implementan redes inteligentes y soluciones de ciudad inteligente. [23]

- **LBT**
“Listen Before Talk” – Escuchar antes de hablar (LBT) o escuchar antes de transmitir es una técnica utilizada en radiocomunicaciones mediante la cual un transmisor de radio detecta primero su entorno de radio antes de iniciar una transmisión. [24]
- **LPUSART1:**
“Universal synchronous asynchronous receiver transmitter (Transmisor receptor universal síncrono asíncrono)” – Es un tipo de dispositivo de interfaz en serie que se puede programar para comunicarse de forma asíncrona o síncrona. [25]
- **Machine learning:**
Aprendizaje automático o aprendizaje automatizado o aprendizaje de máquinas – Es una disciplina científica del ámbito de la Inteligencia Artificial que crea sistemas que aprenden automáticamente. Aprender en este contexto quiere decir identificar patrones complejos en millones de datos. [26]
- **MQTT:**
“Message Queuing Telemetry Transport” – Es un protocolo de mensajería estándar de OASIS para Internet de las cosas (IoT). Está diseñado como un transporte de mensajería de publicación / suscripción extremadamente liviana que es ideal para conectar dispositivos remotos con una huella de código pequeña y un ancho de banda de red mínimo. [27]
- **MSK:**
“Minimum-shift keying (modulación por desplazamiento mínimo)” – Es un esquema de modulación de fase continua que también puede interpretarse como una forma de FSK. [15]
- **NFC:**
“Near Field Communication (comunicación de campo cercano)” – Se define por ser una tecnología inalámbrica de corto alcance que sirve para vincular dos dispositivos móviles entre sí, o transmitir datos de uno a otro, en un radio de distancia inferior a los 20 centímetros. [28]
- **QPSK:**
“Quadrature Phase-Shift Keying (modulación por desplazamiento de fase en cuadratura)” – Esta modulación digital es representada en el diagrama de constelación por cuatro puntos equidistantes del origen de coordenadas. [5]
- **SOA:**
“Service Oriented Architecture (Arquitectura Orientada a Servicios)” – Es el nexo que une las metas de negocio con el sistema de software. Su papel es el de aportar flexibilidad, desde la automatización de la infraestructura y herramientas necesarias consiguiendo, al mismo tiempo, reducir los costes de integración. [29]

- **SPI:**
“Serial Peripheral Interface (Interfaz de periféricos serial)” – Es un protocolo de transmisión que permite alcanzar velocidades muy elevadas. Su diseño considera la comunicación del microcontrolador con diferentes periféricos y puede trabajar en full duplex. [30]
- **Wi-Sun:**
“Wireless Smart Ubiquitous Network (Red ubicua inteligente inalámbrica)” – Está brindando redes de servicios inteligentes a empresas, proveedores de servicios y municipios al permitir comunicaciones IPv6 interoperables, multiservicio y seguras a través de una red de malla inalámbrica basada en IEEE 802.15.4g. [31]
- **Z-wave:**
Se basa en una red tipo mesh. Esto significa que cada dispositivo instalado en la red se convierte en un repetidor de señal. Los dispositivos de Z-Wave pueden comunicarse de punto a punto hasta 30 metros por sí solos, pero con su capacidad de saltar señales, se alcanzan fácilmente rangos efectivos de hasta 100 metros. [32]
- **Zigbee:**
Crea flexibilidad para desarrolladores y usuarios finales al tiempo que ofrece una interoperabilidad estelar. Creado bajo el estándar 802.15.4 de la IEEE usando la banda 2.4GHz y una red de malla real de autocuración; Zigbee tiene muchas aplicaciones y está ampliamente implementado en todo el mundo. [33]

INTRODUCCIÓN

Las últimas innovaciones en la electrónica, la informática, las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), han llevado a un aumento exponencial de la capacidad de manejo de los sistemas de procesamiento de información y, por otro lado, han permitido la miniaturización de los microprocesadores usados como dispositivos IoT para la recolección de datos. [34]

La continua expansión de Internet y la creación de nuevas tecnologías, servicios y plataformas han dado lugar a un fenómeno llamado "Internet de las cosas" (Internet de las cosas, generalmente llamado su abreviatura en inglés IoT, término que será usado en adelante), que implica la evolución de Internet desde redes informáticas interconectadas a redes de objetos interconectados. [34]

Sin embargo, el IoT se ha convertido en una realidad existente en la sociedad más avanzada tecnológicamente, porque la Internet en la actualidad, no solo permite comunicarse con computadoras, sino también con teléfonos inteligentes, tablets y muchos otros tipos de "objetos" (o cosas): desde ropa tecnológica, dispositivos portátiles (como relojes, pulseras inteligentes y gafas de realidad aumentada), electrodomésticos (como refrigeradores, aspiradoras, etc.), televisores, consolas de juegos, automóviles, elementos arquitectónicos (como Cámaras de seguridad, control de acceso, dispositivos de temperatura IoT, etc.) y gran infraestructura pública (como puentes, carreteras o ciudades, etc.). [34]

La prisión inteligente es una de las nuevas innovaciones que se está desarrollando actualmente, con el despliegue de Internet de las cosas (IoT) y la inteligencia artificial (IA). Además de cuestionar la ineficacia del sistema penitenciario tradicional para la reforma, debido a que favorece el fomento del delito y las conductas ilegales. El encarcelamiento de los presos exige que las autoridades tomen una serie de medidas encaminadas a garantizar la seguridad de los internos, así como prevenir el tráfico y consumo de drogas, las peleas, los robos, la promiscuidad, la prevención de fugas y los ataques al personal penitenciario, debido a la sobrepoblación en los penales de Lima. [35]

En el capítulo 1, se describe la definición y las características de las redes IoT, así como algunas aplicaciones desarrolladas en diferentes industrias que adoptan esta tecnología en la actualidad dentro del territorio peruano, que beneficia a las empresas en la utilización de los datos recolectados por dispositivos usados en este tipo de redes.

En el capítulo 2, se contempla la situación problemática en las prisiones del Perú, así como situación actual de los servicios de telecomunicaciones desplegados como son la telefonía fija pública y el bloqueo de señales de radiofrecuencias. Asimismo, se describe algunas tendencias de cárceles en el mundo, donde han aplicado el despliegue de redes IoT.

En el capítulo 3, se define el espectro radioeléctrico, las bandas licenciadas y no licenciadas libres, para poder realizar un análisis comparativo de las tecnologías IoT y de los equipos que operan en la tecnología elegida. Asimismo, se describe acerca de las aplicaciones verticales, la tecnología MulteFire y las tecnologías de telecomunicaciones móviles internacionales, por último, se presenta una propuesta de informe para una canalización en la banda de 433 MHz, dentro del Plan Nacional de Atribución de Frecuencias, tomando como modelo el informe N° 001-2020 de la comisión multisectorial del PNAF.

En el capítulo 4, se plantea un diseño de una red de Internet de las Cosas, considerando la interconexión entre las cárceles de la ciudad de Lima, donde actualmente operan los servicios de bloqueo de señales de radiofrecuencia y servicio de telefonía pública, y la central del Instituto Nacional Penitenciario; con el fin de brindar una posible solución de monitoreo de los reclusos y optimización de la seguridad dentro de los penales. Por ello, se realizan pruebas de radio propagación con el uso de un software libre para plantear 03 propuestas de aplicaciones y el presupuesto que ello conlleva. Por último, se realiza un análisis estadístico y análisis costo-beneficio, para identificar el aporte de la presente tesis.

Adicionalmente, se presenta en los anexos A y B, una breve descripción del software usado en la presente tesis y una encuesta realizada a un trabajador de la empresa PRISONTEC, respectivamente.

ALCANCE

La presente tesis está orientado a planear y diseñar una red de Internet de las Cosas para establecimientos penitenciarios dentro de la ciudad de Lima, considerando el marco normativo para proponer una canalización del espectro según las frecuencias en las que operan los dispositivos IoT, evitando interferencias con el servicio de bloqueo de señales de radiofrecuencias, que impiden la comunicación inalámbrica dentro de los penales, todo esto con el propósito brindar una alternativa que sirva de modelo, para optimizar el control y la seguridad dentro de las prisiones.

Se deja la implementación y/o demostración del diseño de la red, como un potencial tema de tesis. Asimismo, no se describirá el detalle técnico del servicio de bloqueo de señales, debido a que no es una información de acceso público, establecido por la empresa privada.





CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

1.1. Introducción

Internet of Things (IoT), también llamado Internet of Objects, lo está cambiando todo, incluidos a nosotros mismos. Esto puede parecer una afirmación atrevida, pero piense en el impacto que Internet ha tenido en la educación, en la comunicación, los negocios, la ciencia, el gobierno y la humanidad. Es evidente que Internet es una de las creaciones más importantes y potentes de la historia de la humanidad. [36]

Al día de hoy, ya se están llevando a cabo proyectos relacionados con el IoT que prometen reducir las diferencias entre ricos y pobres, mejorar la distribución de los recursos del mundo para quienes más lo necesitan y ayudarnos a entender al planeta de manera que podamos ser más proactivos y menos reactivos. Aun así, existen varios obstáculos que amenazan con frenar el desarrollo del IoT, incluidos la transición a IPv6, tener un conjunto de estándares comunes y el desarrollo de fuentes de energía para millones (e incluso miles de millones) de sensores diminutos. [36]

1.2. Características

1.2.1. Interconectividad

Todos los dispositivos inteligentes deben estar interconectados con una infraestructura global de comunicación e información. Se dice que son inteligentes, porque están conectados entre sí, algunas veces inalámbricamente y otras por cables. [37]

1.2.2. Servicios relacionados con objetos

IoT suministra servicios con relación a objetos que cumplen la función de proteger la privacidad y tienen coherencia semántica entre dispositivos físicos y virtuales. [37]

1.2.3. Heterogeneidad

Se consideran heterogéneos porque se aprecian en distintas plataformas de hardware, asimismo, pueden comunicarse con otras plataformas de servicio y dispositivos a través de las redes. [37]

1.2.4. Cambios dinámicos

Todos los dispositivos tienen diferentes estados, así por ejemplo apagado/encendido, conectado/desconectado, además del contexto como la velocidad y ubicación donde se encuentren. También son configurados mediante acciones automáticas que permiten que puedan autoconfigurarse, automantenerse y autorepararse. [37]

1.2.5. Escala enorme

La cantidad de dispositivos aumentan rápidamente, por lo que se estima que el porcentaje de comunicación requerido por los dispositivos IoT será mayor que la comunicación existente entre humanos. [37]

1.3. Aplicaciones

IoT es un término que se refiere a la conexión entre objetos y su aplicación es diversa, pues se puede ajustar a casi cualquier tecnología que pueda brindar información sobre su propio funcionamiento, la ejecución de una actividad o incluso las condiciones ambientales que necesitamos monitorear de forma remota. [38]

Hoy en día, muchas empresas de diferentes industrias o departamentos están adoptando esta tecnología para simplificar, mejorar, automatizar y controlar diferentes procesos. Aquí hay algunas aplicaciones prácticas sorprendentes de Internet de las cosas. [38]

1.3.1.Wearables

Las gafas virtuales, bandas de fitness o bandas de rastreo GPS, que sirven para monitorear el gasto de calorías y la frecuencia cardíaca, son solo algunos ejemplos de dispositivos portátiles que hemos usado durante un tiempo. Empresas como Google, Apple, Samsung han desarrollado e introducido la aplicación del Internet de las cosas en nuestra vida diaria más práctica. [38]

Se trata de dispositivos pequeños y energéticamente eficientes, que se encuentran equipados con sensores, con el hardware necesario para realizar mediciones y lecturas, y con el software para recopilar y organizar la data e información de los usuarios. [38]

1.3.2.Salud.

Mediante el uso de dispositivos portátiles o sensores conectados a los pacientes, los médicos pueden controlar su estado en tiempo real fuera del hospital. Al recibir indicadores y alertas automáticas sobre los signos vitales, Internet de las cosas ayuda a mejorar el control de la atención de los pacientes de alto riesgo y a prevenir incidentes fatales. [38]

Otro uso consiste en la integración de la tecnología de IoT a las camas de hospitalización, dando paso a las camas inteligentes, equipadas con sensores especiales para observar los signos vitales, la presión sanguínea, oxímetro y temperatura corporal, entre otros. [38]

Se ha desarrollado recientemente un “Sistema IoT para el seguimiento y análisis del nivel de saturación y ritmo cardíaco en el diagnóstico temprano de Covid-19”, fue construido bajo una arquitectura de cuatro capas (captura, almacenamiento, análisis y visualización) y partiendo desde un oxímetro comercial. [39]

1.3.3.Monitoreo de tráfico.

IoT puede ser muy útil en la gestión de tránsito vehicular de las grandes ciudades, contribuyendo con el concepto de las ciudades inteligentes. [38]

Cuando hacemos uso de los teléfonos móviles como sensores, podemos recopilar y compartir datos de los vehículos a través de aplicaciones como Waze o Google maps, asimismo, mediante el IoT podemos recibir información para poder monitorear las condiciones del tráfico, visualizar las diferentes rutas. De esta manera podemos actualizar la información en las aplicaciones estableciendo las diversas rutas, la distancia y el tiempo estimado, hacia un mismo destino. [38]

1.3.4. Gestión de flotas.

La instalación de sensores en la flota ayuda a establecer una interconexión efectiva entre el vehículo y su personal de gestión, así como entre el vehículo con el conductor; ambos pueden comprender el estado como el funcionamiento del equipo accediendo al software responsable de la recolección, procesamiento y organización de los datos. Incluso puede recibir alertas en tiempo real de eventos de mantenimiento sin ser detectado por el conductor. [38]

La aplicación del Internet de las Cosas a la gestión de flotas, favorece la geolocalización (y con ella el monitoreo de las rutas y la identificación de los trayectos más eficientes), el análisis de rendimiento, el control de la telemetría y el ahorro de combustible, la reducción de emisiones contaminantes al medio ambiente e incluso puede aportar información valiosa para mejorar la conducción de los vehículos. [38]

1.3.5. Agricultura.

Las granjas inteligentes son un hecho. La calidad de los suelos es determinante para producir buenas cosechas, y el Internet de las Cosas ofrece a los agricultores la posibilidad de acceder al conocimiento detallado de sus condiciones. [38]

Al implementar sensores de IoT, se puede obtener una gran cantidad de datos sobre el estado y la etapa del suelo. Información como la humedad del suelo, el nivel de acidez, la presencia de ciertos nutrientes, la temperatura y muchas otras características químicas ayudan a los agricultores a controlar el riego, aumentar su conciencia sobre el uso del agua, especificar el mejor momento para comenzar a plantar e incluso encontrar enfermedades en las plantas y el suelo. [38]

1.3.6. Hotelería.

La aplicación del Internet de las Cosas en la industria hotelera ha traído mejoras interesantes en la calidad del servicio. Mediante la realización de la llave electrónica enviada directamente al dispositivo móvil de cada huésped, se pueden realizar varias interacciones de forma automática. [38]

Por tanto, la ubicación del huésped, el envío de una oferta o información sobre actividades de interés, realizar un pedido a la habitación o room service (servicio de cuarto), el cargo automático de cuentas a la habitación o la solicitud de lencería o útiles de aseo personal, son actividades fácilmente gestionadas por aplicaciones integradas a la tecnología de Internet de las Cosas. [38]

Mediante el uso de una llave electrónica, se automatiza el proceso de check-out,

deshabilitando así el funcionamiento de la puerta, proporcionando información sobre la habitación inmediatamente disponible, e incluso asignando la tarea de limpieza de la habitación al personal de mantenimiento. [38]

1.3.7. Ahorro energético y Smart Grid.

El uso progresivo de medidores de energía inteligentes, o medidores equipados con sensores, y la instalación de sensores en diferentes puntos estratégicos que van desde las plantas de producción hasta los diferentes puntos de distribución, permite hacer un mejor seguimiento y control de la red eléctrica. [38]

Estableciendo una comunicación bidireccional entre la compañía prestadora de servicios y el usuario final, se puede obtener una información de enorme valor para la detección de fallas, toma de decisiones y la reparación de las mismas. [38]

También permite ofrecer información valiosa al usuario final sobre sus patrones de consumo y sobre las mejores formas de reducir o ajustar su gasto energético. [38]

1.3.8. Suministro de agua.

Un sensor, bien sea incorporado o ajustado externamente a los medidores de agua, conectado a Internet y acompañado del software necesario, ayuda a recopilar, procesar y analizar data, que permite comprender el comportamiento de los consumidores, detectar fallas en el servicio de suministro, reportar resultados y ofrecer cursos de acción a la compañía que suministra el servicio. [38]

Así mismo, ofrece a los consumidores finales la posibilidad de hacer seguimiento de su propia información de consumo, a través de una página web y en tiempo real, recibiendo incluso alertas automáticas en caso de detectar consumos fuera de rango a su registro promedio de consumo, lo que podría indicar la presencia de una fuga. [38]

1.3.9. Gestión de mantenimiento.

Una de las áreas donde más extensiva resulta la aplicación de la tecnología IoT, es precisamente la gestión de mantenimiento. Mediante la combinación de sensores y de un software especializado en la gestión de mantenimiento, se obtiene una herramienta multifuncional cuyo uso puede ser aplicable a una multiplicidad de disciplinas y prácticas, con la finalidad de alargar la vida útil de sus activos físicos, al tiempo que garantiza su confiabilidad y disponibilidad. [38]

Cuando las características del software encargado de procesar y disponer la data recopilada por los sensores, son diseñadas para atender específicamente las

necesidades de gestión de mantenimiento de los activos físicos, su aplicación es casi ilimitada. [38]

El monitoreo en tiempo real de los activos físicos, permite determinar el momento cuando una medición esta fuera de rango aplicando algoritmos de Inteligencia Artificial (IA) como Machine Learning o Deep Learning para predecir la falla antes de que ocurra. [38]

1.4. Situación actual

El mercado de IoT ha experimentado una aceleración algo inesperada en el primer y segundo trimestre de 2018 y ha elevado el número total de dispositivos IoT que están en uso a 7 billones. Este es uno de los muchos hallazgos en la última actualización de "El estado de la IoT y las perspectivas a corto plazo " de IoT Analytics. [40]

Las empresas en general, especialmente el software de IoT, la nube y las empresas de servicios, superaron con creces las expectativas de ingresos. Microsoft Azure y Amazon AWS crecieron 93% y 49% respectivamente (en los últimos 12 meses) con su porción de IoT contribuyendo significativamente al crecimiento. [40] “El número de dispositivos conectados que se usan en todo el mundo ahora supera los 17 mil millones, con un número de dispositivos IoT de 7 mil millones (ese número no incluye teléfonos inteligentes, tablets, computadoras portátiles o teléfonos de línea fija)”. [40]

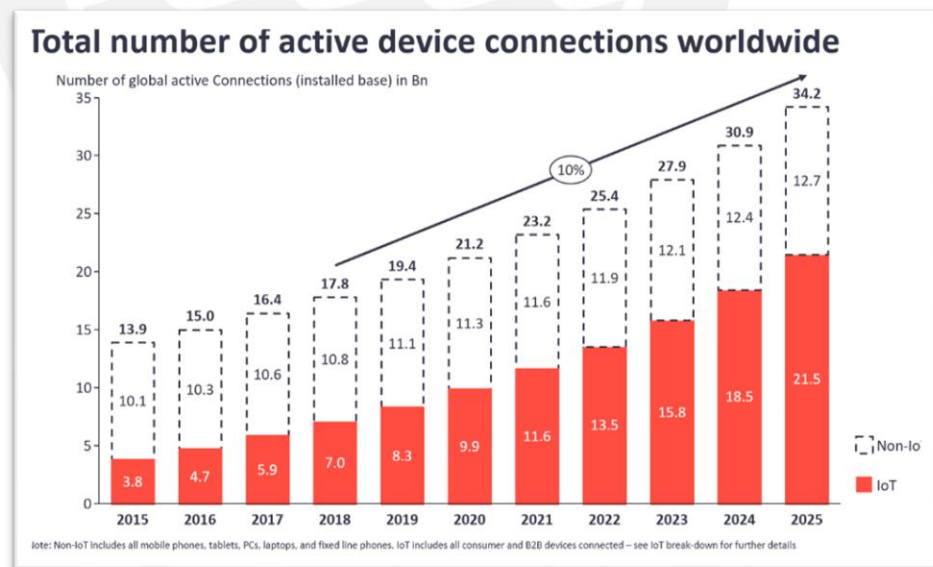


Figura N° 1 – Número de dispositivos conectados [40]

1.4.1. Formas de conectividad

Desde el punto de vista de la conectividad del dispositivo, la dinámica varía extremadamente: [40]

➤ **Redes personales inalámbricas (WPAN)**

El mayor número de dispositivos IoT están conectados a través de tecnología de corto alcance (WPAN) que generalmente no supera los 100 m en el rango máximo. Estos incluyen dispositivos conectados a Bluetooth, como auriculares, pero también dispositivos conectados a ZigBee y Z-wave que se pueden encontrar principalmente en hogares inteligentes, por ejemplo, para conectar detectores de humo o termostatos. [40]

➤ **Redes de área local inalámbricas (WLAN)**

Otra categoría importante son las redes inalámbricas de área local que cubren conectividad de hasta 1 kilómetro. El Wi-Fi es el estándar más común en esta categoría y está experimentando un gran crecimiento, principalmente a través del uso de asistentes domésticos, televisores inteligentes y altavoces inteligentes, pero también cada vez más a través del uso en entornos industriales como las fábricas (aunque sigue desempeñando un papel menor en esos entornos en comparación con otras tecnologías). [40]

➤ **Redes de área amplia de baja potencia (LPWAN)**

Se espera que una gran parte del crecimiento futuro en el número de dispositivos IoT provenga de redes de área amplia de baja potencia. Para 2025, se espera que más de 2 mil millones de dispositivos se conecten a través de LPWAN. La tecnología, que promete una duración de batería extremadamente alta y un alcance de comunicación máximo de más de 20 kilómetros, es utilizada por tres estándares principales de la competencia, SigFox, Lora y NB-IoT, que actualmente se están implementando en todo el mundo con más de 25 millones de dispositivos, conectados ahora, la mayoría de los cuales son medidores inteligentes. [40]

➤ **Cableado**

Pocas personas piensan en conexiones por cable cuando piensan en IoT. Sin embargo, en muchos entornos, una conexión de dispositivo con cable sigue siendo la opción más barata y confiable. Particularmente en entornos industriales, los buses de campo y las tecnologías de Ethernet utilizan conexiones cableadas en gran medida y se espera que lo sigan haciendo en los próximos años. [40]

➤ **Celular / M2M**

La tecnología 2G, 3G y 4G había sido durante mucho tiempo la única opción para

la conectividad de dispositivos remotos. A medida que LPWA y también 5G ganan impulso, se espera que estos estándares celulares heredados pierdan participación en las nuevas tecnologías, ya que presentan una oportunidad más lucrativa para muchos usuarios finales. [40]

➤ **5G**

5G es el comodín, el cual estuvo en desarrollo en 2018, la tecnología que promete una nueva era de conectividad a través de su ancho de banda masivo y su latencia extremadamente baja, ahora es fuertemente promovida por los gobiernos, particularmente el gobierno chino, el que considera que la adopción de 5G es un activo competitivo en la búsqueda de mover el equilibrio de la innovación tecnológica de los Estados Unidos y Europa hacia China. En los EE. UU., las primeras redes 5G pre estándar proporcionarán servicios de acceso inalámbrico fijo (Fixed Wireless Access) a usuarios residenciales y de pequeñas empresas a fines de este año. [40]

➤ **Redes inalámbricas de área de vecindad (WNAN)**

Las Redes Inalámbricas de Área Vecinal (WNAN) se ubican entre WLAN y tecnologías de largo alcance, como la red celular en términos de alcance de comunicación. Los defensores típicos de esta tecnología incluyen redes de malla como Wi-Sun o JupiterMesh. En algunos casos, la tecnología se utiliza como una alternativa para LPWA / Celular (p. Ej., En redes de área de campo de servicios públicos) y en otros casos como un elemento complementario (p. Ej., Para medir en el interior de la puerta donde nada más llega). [40]

➤ **Otro**

Otras tecnologías, como las redes patentadas satelitales y no clasificadas, seguirán desempeñando un papel en el Internet de las cosas, aunque de menor importancia en comparación con otras tecnologías. [40]

1.4.2.Tendencias

Gartner, Inc. (Gartner, en adelante), es la empresa líder en el mundo en investigación y asesoría. Equipa a líderes empresariales con conocimientos, consejos y herramientas indispensables para poder lograr sus prioridades de misión crítica hoy y construir exitosas organizaciones de mañana. [41]

Gartner seleccionó 10 de las tecnologías y tendencias de IoT más estratégicas que

traerán nuevas formas de ingresos y modelos comerciales, así como nuevas relaciones y experiencias: [41]

1.4.2.1. Inteligencia Artificial (IA)

Gartner había pronosticado un total 14,2 mil millones de cosas conectadas en el 2019, y que el total alcanzaría los 25 mil millones para 2021, produciendo un inmenso volumen de datos. "Los datos son el combustible que impulsa el IoT y la capacidad de la organización para derivar significado de ellos definirá su éxito a largo plazo", dijo Jones. "La IA se aplicará a una amplia gama de información de IoT, que incluye video, imágenes fijas, voz, actividad de tráfico de red y datos de sensores". [41]

La perspectiva tecnológica para la IA es muy compleja y se mantendrá hasta 2023. Muchos proveedores de tecnologías de la información coexisten fuertemente en IA, así como en sus variantes, además de nuevos servicios y peajes basados en esta tecnología. A pesar de esta complejidad, en una variedad de situaciones de IoT, el uso de IA aún puede lograr buenos resultados. Por lo tanto, el CIO (Chief Information Officer) debe construir una organización con las herramientas y habilidades para utilizar la inteligencia artificial en su estrategia de IoT. [41]

1.4.2.2. IoT legal, social y ética

A medida que el IoT madura y se despliega más ampliamente, una amplia gama de problemas sociales, legales y éticos crecerá en importancia. Estos incluyen la propiedad de los datos y las deducciones hechas de ellos, sesgo algorítmico, intimidad y el cumplimiento de regulaciones como el Reglamento General de Protección de Datos . [41]

"El despliegue exitoso de una solución de IoT exige que no solo sea técnicamente efectivo sino también socialmente aceptable", dijo Jones. "Los CIO deben, por lo tanto, educarse a sí mismos y a su personal en esta área, así como considerar formar grupos, como consejos de ética, para revisar la estrategia corporativa. Los CIO también deberían considerar que los algoritmos clave y los sistemas de IA sean revisados por consultores externos para identificar posibles sesgos". [41]

1.4.2.3. Infonomía y corretaje de datos

La encuesta de Gartner sobre los proyectos de IoT mostró que el 35 por ciento de los encuestados vendía o planeaba vender datos recopilados por sus productos y servicios. La teoría de la Infonomía lleva esta monetización de datos más allá al verla como un activo comercial estratégico para ser registrado en las cuentas de la compañía. Para 2023, la compra y venta de datos de IoT se convertirá en una parte esencial de muchos sistemas de IoT. Los CIO deben educar a sus organizaciones sobre los riesgos y las oportunidades relacionadas con el corretaje de datos para establecer las políticas de TI requeridas en esta área y asesorar a otras partes de la organización. [41]

1.4.2.4. El pase del borde inteligente a malla inteligente

El cambio de arquitecturas centralizadas y de nube a borde está en marcha en el espacio de IoT. Sin embargo, este no es el punto final porque el conjunto ordenado de capas asociadas con la arquitectura de borde evolucionará a una arquitectura más desestructurada que comprende una amplia gama de "cosas" y servicios conectados en una malla dinámica. Estas arquitecturas de malla permitirán sistemas IoT más flexibles, inteligentes y receptivos, aunque a menudo a costa de complejidades adicionales. Los CIO deben prepararse para el impacto de las arquitecturas de malla en la infraestructura, las habilidades y el abastecimiento de TI. [41]

1.4.2.5. Gobierno de IoT

A medida que IoT continúa expandiéndose, la necesidad de un marco de gobernanza que garantice un comportamiento adecuado en la creación, almacenamiento, uso y eliminación de información relacionada con proyectos de IoT será cada vez más importante. El gobierno abarca desde tareas técnicas simples, como auditorías de dispositivos y actualizaciones de firmware, hasta problemas más complejos, como el control de dispositivos y el uso de la información que generan. Los CIO deben asumir el papel de educar a sus organizaciones sobre temas de gobernanza y, en algunos casos, invertir en personal y tecnologías para abordar la gobernanza. [41]

1.4.2.6. Innovación de sensores

El mercado de sensores evolucionará continuamente hasta 2023. Los nuevos

sensores permitirán detectar una gama más amplia de situaciones y eventos, los sensores actuales bajarán de precio para ser más asequibles o se empaquetarán de nuevas maneras para admitir nuevas aplicaciones. Los CIO deben asegurarse de que sus equipos estén monitoreando las innovaciones de sensores para identificar aquellas que puedan ayudar a nuevas oportunidades e innovación empresarial. [41]

1.4.2.7. Hardware y sistema operativo de confianza

Las encuestas de Gartner muestran invariablemente que la seguridad es el área más importante de preocupación técnica para las organizaciones que implementan sistemas IoT. Esto se debe a que las organizaciones a menudo no tienen control sobre la fuente, así como la naturaleza del software y el hardware que se utiliza en las iniciativas de IoT. "Sin embargo, para 2023, esperamos ver el despliegue de combinaciones de hardware y software, que juntas creen sistemas de IoT más confiables y seguros", dijo Jones. [41]

1.4.2.8. Nuevas experiencias de usuario de IoT

La experiencia del usuario de IoT (UX) cubre una amplia gama de tecnologías y técnicas de diseño. Será impulsado por cuatro factores: nuevos sensores, nuevos algoritmos, nuevas arquitecturas y contextos de experiencia, así como experiencias con conciencia social. Con un número creciente de interacciones que ocurren con cosas que no tienen pantallas y teclados, los diseñadores de UX de las organizaciones deberán usar nuevas tecnologías y adoptar nuevas perspectivas si desean crear una UX superior. [41]

1.4.2.9. Innovación en chips de silicio

“Actualmente, la mayoría de los dispositivos de punto final de IoT utilizan chips de procesador convencionales, siendo particularmente populares las arquitecturas ARM de baja potencia. Sin embargo, los conjuntos de instrucciones tradicionales y las arquitecturas de memoria no son adecuadas para todas las tareas que los puntos finales deben realizar”, dijo Jones. "Por ejemplo, el rendimiento de las redes neuronales profundas (Deep Neural Networks – DNN) a menudo está limitado por el ancho de banda de la memoria, en lugar de la potencia de procesamiento". [41]

Para 2023, se espera que los nuevos chips dedicados reduzcan el consumo de

energía necesario para ejecutar DNN, lo que permitirá nuevas arquitecturas de borde y funciones DNN integradas en puntos finales de IoT de baja potencia. Esto permitirá nuevas funciones, como el análisis de datos integrado por sensores y el reconocimiento de voz incluidos en dispositivos de bajo costo que funcionan con baterías de bajo costo. [41]

1.4.2.10. Nuevas tecnologías de redes inalámbricas para IoT

Las redes de IoT implican equilibrar un conjunto de requisitos competitivos, como el costo del punto final, el ancho de banda, la latencia, el consumo de energía, la densidad de conexión, la calidad del servicio, el rango y el costo operativo. Ninguna tecnología de red puede optimizar todo esto, la nueva tecnología de red de Internet de las cosas proporcionará a los CIO más opciones y flexibilidad. Especialmente deberían explorar 5G, satélites de órbita terrestre baja de próxima generación y redes de retrodispersión. [41]

1.4.3. Beneficios

El Internet de las Cosas (IoT) ocupa cada vez más el mundo que nos rodea, porque en nuestro trabajo diario, contamos con equipos técnicos que conectan objetos cotidianos a Internet a través de redes inalámbricas. [42]

Con la ayuda del IoT, las empresas pueden utilizar los datos proporcionados por estos dispositivos para comprender mejor el desempeño, los intereses y los problemas de los clientes. Con esta información, podemos crear productos o servicios mejor personalizados. [42]

De la misma manera, la coordinación entre los distribuidores y proveedores también se beneficiará, porque con el Internet de las cosas, se puede anticipar el agotamiento del stock. Los sensores advierten cuando los productos están agotados, para que puedan reponerlos rápidamente cuando sea necesario. [42]



Figura N° 2 – Beneficios del IoT en las empresas [42]

Todos los sectores se ven beneficiados con el Internet de las Cosas:

- **Control de las Infraestructuras:** Control absoluto de carreteras y de sus elementos, como semáforos, pasos de nivel, radares, y otros muchos sistemas de seguridad. La respuesta inmediata en emergencias, asistencia vial, así como mejora de la supervivencia del individuo, gestión de ahorro y costes en edificios. [42]
- **Control ambiental:** Permite acceder a información de sensores sísmicos, meteorológicos y atmosféricos desde cualquier lugar. [42]
- **Industria:** Optimización y programación de las cadenas de producción, control remoto, gestión centralizada de procesos, así como la automatización de las actividades de reparación, de mantenimiento y rápida respuesta a las demandas de producto. [42]
- **Energía:** Optimizar y monitorear de forma remota el consumo de energía de los dispositivos conectados, así como detectar alarmas, conectar bombillas y optimización de procesos. [42]
- **Salud y Medicina:** Un sistema que permite al personal de salud monitorear a los pacientes activamente de forma no invasiva y ambulatoria, crear un sistema de notificación de emergencias y ver los datos operativos en tiempo real. [42]
- **Transporte y Logística:** Control de carga, seguimiento de vehículos, optimización de sistemas de transporte, incluidos conductores, vehículos e infraestructura, control de tráfico inteligente y búsqueda de aparcamiento. [42]

- Entretención: Realidad virtual, control desde diferentes dispositivos, cambios continuos y personalizados según el comportamiento del usuario. [42]

1.4.4.IoT en el Perú

Un 22% de las industrias empezaron a usar objetos conectados hace un par de años pero el gran salto se está dando, con la llegada de 5G y la fibra óptica al interior. [43] Los principales usuarios locales del IoT están, según IBM (International Business Machines), en la agricultura, la minería y la manufactura. Esto se confirma con un estudio de Real Time Management, en donde en promedio el 22% de las empresas peruanas la utiliza, pero en el sector agro se eleva al 38% y 43% en minería. [43]

En el país, tenemos dos años de abrimos al IoT, pero a nivel regional el crecimiento sostenido lleva cinco años. No alcanza aún el volumen global de uso -60%- pero en el 2017 ya había un 32% de adopción y se sumó 16% más en el 2020, según un estudio de IBM. [43]

Los chips miden el consumo, pero no pueden cortar el servicio. Tenemos una calcomanía en el parabrisas con la placa y datos como el número de registro del auto, pero no se sincroniza con las multas o impuestos. [43]

El IoT llegó, pero todavía no se le saca provecho en el ámbito ciudadano. A nivel corporativo, el potencial de crecimiento es enorme y ya es una de las divisiones más dinámicas en ventas para las telecomunicaciones, que en otros sectores de consumo masivo están en decrecimiento o desaceleración. [43]

Por ejemplo, Telefónica en el 2019 tenía 180.000 computadoras conectadas a internet en Perú y planeaba crecer un 30% ese año. Proporcionan soluciones de telemetría para la agricultura (humedad y temperatura del suelo), eficiencia energética y control de temperatura en almacenes de alimentos, que pueden reducir los procesos operativos hasta en un 50%. [43]

➤ LAS BASES

"El Perú atraviesa una fase de exploración de necesidades en todas las industrias: no es una demanda explosiva, pero sí de alto crecimiento", precisa Jorge Sánchez (director de Innovación de Italtel). [43]

Agregó que, en los últimos tres meses del 2019, su interés en el desarrollo de proyectos de IoT creció un 25%. El interés local inicial en los objetos interconectados no es gratuito. Surge de la urgente necesidad de transformación digital y convertirse en Industria 4.0 como el resto del mundo. [43]

El arquitecto de Cisco IoT, Francisco Bolaños, enfatizó que, en este proceso, el

IoT es la base y fundamento del proyecto. Todos los objetos y las máquinas relacionadas con la producción pueden tener sensores que generan datos, que se guardan en un chip y se transmiten a otras máquinas a través de Internet, donde reciben datos, realizan procesamientos inteligentes y emiten notificaciones o alarmas. [43]

IoT genera información en cantidad exponencial que, si se procesa de manera inteligente, le permite redefinir de manera rápida y dinámica la estrategia desde IBM. [43]

Jorge Sánchez agregó que quienes han comenzado a procesar datos comunicados por máquinas han podido aumentar la eficiencia, ahorrar tiempo, reducir costos de proceso y ganar competitividad frente a sus contrapartes internacionales. [43]

➤ **EL GRAN RETO**

En el 2019 los analistas coincidieron en que la explosión de Internet de las cosas llevará de tres a cinco años y no fuera solo el 1% de la empresas que aprovecharían esta ventaja. Para ello, es necesario superar dos obstáculos principales: el miedo al cambio y el despliegue adecuado de la infraestructura.

Francisco Bolaños dijo que, en las minas, por ejemplo, el problema no es la falta de soluciones o presupuestos adecuados, sino la resistencia al cambio. Están acostumbrados a trabajar en dos mundos paralelos: producción y gestión o marketing. [43]

Dijo que, para convertirse en una mina digital, es necesario integrar datos y que el personal de ventas conozca la salida en tiempo real para negociar los precios de las subastas. Dijo: "Si hoy van despacio es por la falta de factores humanos: alinearlos con el nuevo modelo de trabajo y sincronizarlos". [43]

Sánchez agregó que el desafío no es ser dueño de la tecnología o el campo de la innovación, sino habilitar el uso de talentos humanos, por lo que los líderes del diálogo deben gestionar el cambio cultural sin desconocer el impacto social. [43]

Alonso Bringas Díaz, director Comercial Regional de Eric Dal, agregó que los preparativos van desde el proceso de evangelización hasta generar confianza en los clientes. [43]

Agregó que esta es una etapa en la que aún queda trabajo por hacer porque los peruanos son muy ajenos y desconfiados en la digitalización de procesos clave de negocios y aún prefieren el trabajo manual. [43]

“El otro gran desafío es equilibrar la infraestructura adecuada y las redes de Internet para soportar cientos de máquinas -serán más que los humanos- conectadas con un adecuado consumo energético”, añade Gustavo Pinedo,

gerente de Vertiv Perú. [43]

“Y para ello se necesita que las redes de fibra óptica regionales estén finalmente listas y que las antenas 4G/5G permitan un nivel de conectividad adecuado para correr las soluciones IoT en zonas alejadas de difícil acceso, donde están la mayoría de minas o agroindustrias”, recalca Bringas. [43]

Cuando estas carreteras estén listas, quizás para 2025, el país podrá respaldar todo el ecosistema digital, no solo algunos pilotos de IoT. [43]

➤ **RETOS DEL 5G**

Sin 5G, IoT no tiene sentido. Carlos Huamán (director de DN Consultores) explicó que estos son dos conceptos que existen al mismo tiempo, y traerán cambios disruptivos, gracias al crecimiento no lineal y exponencial de la velocidad (100 veces en teoría, en la práctica 50 veces), lo que creará nuevos servicios inviables en 3G. [43]

Agregó que esto trae mayores desafíos para la inversión, pero también brinda oportunidades a la industria de las telecomunicaciones, que se esfuerza ahora por lograr rentabilidad. [43]

Claro, Movistar, Entel y Bitel, e incluso Incacel (OMV, operadores sin red propia) han manifestado que se esforzarán por ganar participación en el mercado en la venta de chips de mercados emergentes, esperando que representen el 21% de la conexión en dos años. [43]

“Clientes hay: no en vano un informe de Forrester señala que ya el 96% de organizaciones en el mundo están interesadas. Ellos saben que no hay Industria 4.0 sin IoT y 5G, y no existirá más si no te unes a la ola de la digitación”, remarca Grados. [43]

Huamán afirmó que asumir que el proceso de integración implica inversión en el uso de 5G en IoT es una posibilidad potencial en el mercado, pero esto también es un cambio brusco en el modelo de negocio de los operadores a las plataformas móviles, ya que la clave del crecimiento exponencial viene de sus competidores tecnológicos. [43]

A diferencia de otros servicios, el negocio de las máquinas interconectadas en este campo seguirá desarrollándose y las apuestas están garantizadas. Según la GSMA (Asociación Global de Operadores Móviles), para el 2025, en América Latina y el Caribe, los ingresos de IoT se cuadruplicarán a 47 mil millones de dólares estadounidenses. Las aplicaciones, plataformas y servicios generarán los mayores ingresos (61%). [43]

Un estudio realizado por la consultora McKinsey estima que para el 2025,

Internet de las cosas puede tener un impacto económico potencial de entre 3.900 y 11.100 millones de dólares cada año. Además, debido a la mejora del Internet de las cosas, tendrá un mayor impacto en el valor global de las economías avanzadas. [44]

Por otro lado, su potencial en las economías en desarrollo es enorme, posiblemente representa casi el 40% del valor de Internet de las cosas, y algunas industrias lo han adoptado más rápido y de manera más importante que otras. Por ejemplo, en el sector de la salud, se estima que para el 2025, el monitoreo remoto de pacientes con enfermedades crónicas generará aproximadamente \$ 1.1 mil millones en ingresos cada año. [44]





CAPÍTULO 2: SITUACIÓN ACTUAL DE LAS PRISIONES

2.1. Introducción

El sistema penitenciario peruano atraviesa desde hace varios años una situación de emergencia cuya solución se vuelve una tarea impostergable. La capacidad de recibir internos de las cárceles nacionales se encuentra rebasada, lo que deviene en el caldo de cultivo para problemas de salud física y mental de la población penitenciaria, y hace difícil, o casi imposible, la readaptación. [45] De acuerdo con el organismo competente, el Instituto Nacional Penitenciario (INPE), esta situación origina escenarios de violencia y agresión, mayor dificultad en el control de conductas y actividades ilícitas desde y al interior de los penales, además de una mayor degradación y deterioro de la propia infraestructura carcelaria. [46]

El hacinamiento en las cárceles deviene a su vez, en el origen de otros problemas no menos graves, como son las condiciones poco dignas para los reclusos, la insalubridad física y psicológica, la violencia, la corrupción, la delincuencia desde los establecimientos penitenciarios, pero lo principal es que impide acciones de resocialización del interno y fomenta la reincidencia que afecta la seguridad ciudadana. [46]

2.2. Historia

Durante el período colonial peruano (1532-1821) se tenía la certeza de que existía el derecho penitenciario, cada pueblo o ciudad contaba con un centro de detención o prisión, cuyo propósito era custodiar y vigilar a los delincuentes. Este sistema puede calificarse de inhumano y cruel, porque pocos historiadores en estas cárceles señalan que los presos fueron torturados. Su característica principal es que la prisión se licita al mejor postor, a cambio, el ganador de la subasta o alcaide obtienen el derecho de cobrar al preso su estadía en la prisión, montos que se cobraban en exceso. [46]

Fue el gobierno del general José Rufino Echenique (1851-1855) quien encargó al historiador y geógrafo peruano Mariano Filipe Paz Soldán realizar una investigación sobre los problemas carcelarios del país. Ante esta situación, en 1853 Paz Soldán se trasladó a Estados Unidos para visitar las cárceles y correccionales de Maryland, Pennsylvania, Nueva York, Massachusetts, Columbia y Washington, y analizar el modelo penitenciario del país. Como resultado de este viaje el 24 de noviembre de 1853, redactó un informe sugiriendo que el gobierno construyera dos cárceles, una en Lima y la otra en Cusco. Recomendaciones que se concretaron cuando se estableció la prisión de Lima en 1862. [46]

Treinta años después, en 1892, bajo la dirección del coronel Remigio Morales Bermúdez, se construyó y aperturó la Prisión Central. En el mismo año a pedido de la Sor Hermelinda Carrera, se inauguró la Cárcel Departamental de Mujeres en el antiguo local del Convento de Santo Tomás, y la monja misma se desempeñó como primera directora. En 1917, durante el gobierno de José Pardo y Barreda, se construyó una prisión en la Isla El Frontón, localizada a 7 kilómetros de la costa de la Provincia Constitucional del Callao, al este del distrito de La Punta. Esta prisión tiene capacidad para unos 200 presos, entre los más avezados y peligrosos. [46]

Entre 1963 y 1968, durante el primer gobierno del arquitecto Fernando Belaunde Terry, se estableció el Centro Penitenciario de Lurigancho en Lima, y se inició la construcción del Centro Penitenciario de Ica (Cachiche) y el Penal de Quenqoro en Cusco. En 1968, durante el gobierno del General Juan Velasco Alvarado, la Inspección General de Prisiones pasó a denominarse Dirección General de Establecimientos Penitenciarios y quedó subordinada al Ministerio del Interior. Posteriormente, durante el gobierno del General Francisco Morales Bermúdez en 1979, esta dirección fue asignada al Ministerio de Justicia. [46]

“El 6 de marzo de 1985 se promulgó el Código de Ejecución Penal, aprobado mediante el Decreto Legislativo 330 y, el 12 de junio del mismo año, se promulgó su Reglamento, aprobado mediante el Decreto Supremo 012”. [46]

Estos ordenamientos normativos establecen el actual INPE, un organismo público descentralizado de aplicación del “Ministerio de Justicia y Derechos Humanos”, que tiene como misión controlar y orientar, administrativa, así como técnicamente, el sistema penitenciario nacional, para asegurar que su formulación sea propicia para la reeducación, rehabilitación y la reincorporación del interno a la sociedad; y el establecimiento y el mantenimiento de la infraestructura penitenciaria. Sus funciones incluyen tres áreas principales: gestión, tratamiento y seguridad. [46]

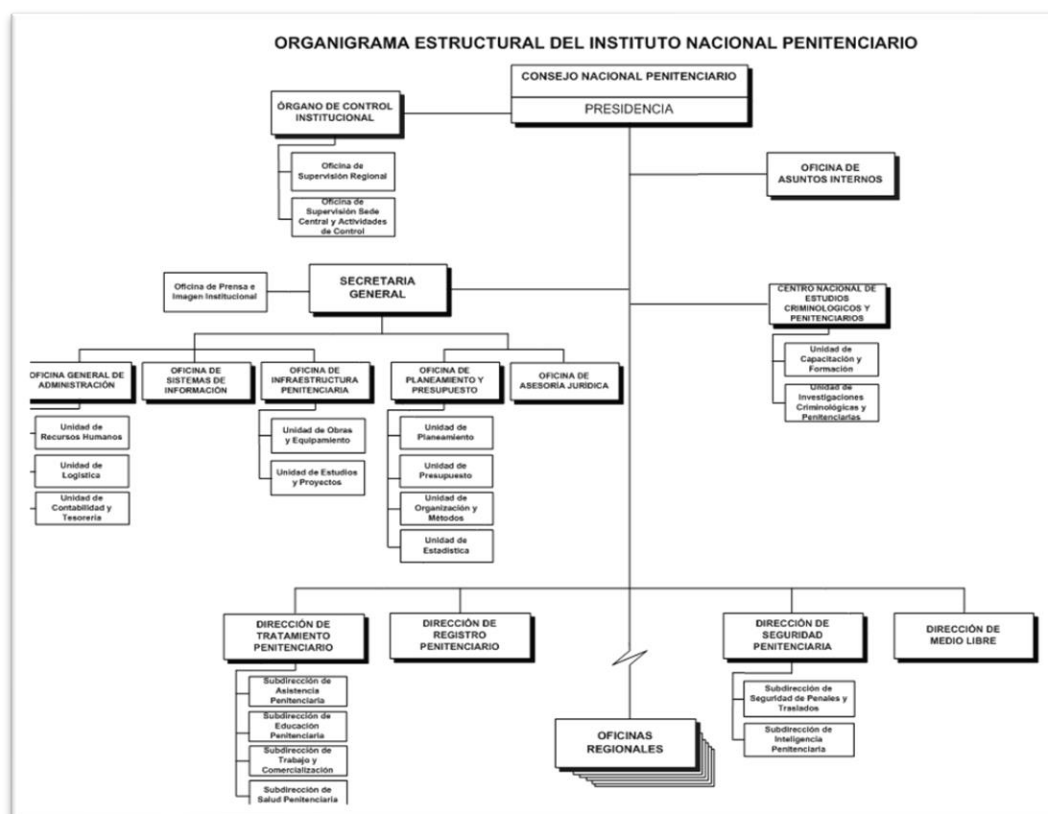


Figura N° 3 - Organigrama INPE 2019 [47]

Actualmente, el INPE, tiene a cargo, 68 establecimientos penitenciarios existentes a nivel nacional, distribuidos en ocho regiones:

Tabla N° 1 – Distribución de Establecimientos Penitenciarios por regiones [45]

Oficina Regional	Número de penales
Norte - Chiclayo	10
Lima - Lima	18
Sur - Arequipa	6
Centro - Huancayo	10
Oriente - Huánuco	4
Sur oriente - Cusco	7
Nor oriente - San Martín	9
Altiplano - Puno	4
TOTAL	68

2.3. Problemática actual

El denominador común en la historia relacionada con la infraestructura carcelaria y la política penitenciaria del Perú es la escasa planificación de la infraestructura penitenciaria, la casi nula participación del sector privado en los sistemas penitenciarios, la falta de políticas públicas sobre temas de criminalidad y penitenciarías claras y coordinadas con las normas técnicas penitenciarias, la creación de administraciones públicas penitenciarias sin un norte definido, y, además, los problemas conexos que ello trae como consecuencia. [46]

La Defensoría del Pueblo, realiza supervisiones constantes a los sistemas penitenciarios, con el fin de corregir situaciones que puedan afectar los derechos de los internos. [48]

Al respecto, se puede señalar que los principales problemas comunes a todos los establecimientos penitenciarios del país en la actualidad son: [46]

- Infraestructura penitenciaria deficiente.
- Hacinamiento o sobrepoblación de internos.
- Escaso presupuesto para construir nuevos penales y/o mantener como se debe los existentes.
- Corrupción enquistada en los establecimientos penitenciarios.
- Inseguridad penitenciaria

2.3.1. Deficiente infraestructura penitenciaria

La infraestructura penitenciaria se caracteriza por su antigüedad y escasa protección. En cuanto a la antigüedad de las instituciones penitenciarias, se puede señalar que, de las 84 instituciones existentes en el país, 30 tienen más de 40 años, que representan alrededor del 37% del total, y 13 de ellas son instituciones antiguas de 20 y 40 años. [46]

Además, de las 67 instituciones penitenciarias existentes administradas por el INPE, la mayoría se encuentran en mal estado y en uso, y solo unas pocas se encuentran en un estado aceptable, lo que significa que la esperanza de vida promedio de la infraestructura del sistema penitenciario peruano es de unos 40 años. [46]

Estado de uso	Establecimientos penitenciarios	
	Número	Porcentaje
Malo	26	38.8
Regular	29	43.3
Bueno	12	17.9
Total	67	100.0

Figura N° 4 - Estado de uso de las prisiones a cargo del INPE [46]

2.3.2. Hacinamiento en las prisiones

A finales de diciembre del 2020, había una población penal de 86955, en comparación con la capacidad de albergue de 40827, existe una sobrepoblación del 113%. [45]

Oficinas Regionales / Establecimiento Penitenciario	Capacidad de Albergue (C)	Población Penal (P)	% Ocupacion	Sobre Población (S=P-C)	% Sobre Población (%S)	Hacinamiento (%S>20%)
Totales	40,827	86,955	213 %	46,128	113 %	SI
☒ NORTE - CHICLAYO	6,874	16,306	237 %	9,432	137 %	SI
☒ LIMA - LIMA	17,383	41,508	239 %	24,125	139 %	SI
☒ SUR - AREQUIPA	1,252	3,594	287 %	2,342	187 %	SI
☒ CENTRO - HUANCAYO	2,352	6,312	268 %	3,960	168 %	SI
☒ ORIENTE - HUANUCO	3,240	6,106	188 %	2,866	88 %	SI
☒ SUR ORIENTE - CUSCO	2,918	5,301	182 %	2,383	82 %	SI
☒ NOR ORIENTE - SAN MARTIN	5,352	5,461	102 %	109	2 %	SI
☒ ALTIPLANO - PUNO	1,456	2,367	163 %	911	63 %	SI

Figura N° 5 - Población penal 2020 [45]

Este desequilibrio, entre otras consecuencias, ha provocado que determinados sectores de la población penitenciaria no estén controlados y disciplinados por las autoridades penitenciarias, y su labor de rehabilitación ni siquiera se haya realizado. Esta situación también conduce a: [46]

- Atención alimentaria deficiente y de salud de los reclusos. [46]
- Tiempo de recreación reducido de los internos. [46]
- Aumento de problemas emocionales y psicológicos en los presos, pues es imposible establecer un espacio propio dentro de la celda. [46]
- Rápida propagación y contagio de enfermedades como la tuberculosis (o TBC), enfermedades respiratorias agudas, hepatitis y aquellas producidas por el virus de inmunodeficiencia humana (VIH) conocidas como síndrome de inmunodeficiencia adquirida (SIDA). [46]
- Crecimiento de la cantidad de violaciones entre presos. [46]
- Desgaste rápido de la infraestructura carcelaria. [46]
- Aumento de actos violentos (motines, reyertas, etc.). [46]
- Tráfico de alcohol y drogas. [46]
- Posesión de armas de fuego y/o punzocortantes. [46]
- Posesión de celulares para concretar delitos de extorsión. [46]

2.3.3. Insuficiente presupuesto para nuevas inversiones y mantenimiento

Si históricamente el sistema penitenciario mereció una asignación muy reducida del presupuesto público, desde 1993 en adelante ha recibido un presupuesto insuficiente,

que incluso llegó a decrecer anualmente en contraposición al aumento acelerado de internos de ese periodo. Este mayor desbalance, que se debió a políticas de austeridad y/o a la incomprensión del problema, se tradujo en la paralización y/o no construcción de proyectos carcelarios nuevos y en el deterioro de la infraestructura carcelaria nacional. La situación se ha revertido ligeramente en los últimos años, pues el contexto económico-financiero del país ha mejorado, lo que ha permitido incrementar los presupuestos públicos de todas las entidades, incluido el INPE. Pese a ello, el presupuesto anual sigue siendo insuficiente para satisfacer todas las necesidades del sistema penitenciario y, principalmente, las relacionadas con la infraestructura carcelaria. [46]

El presupuesto anual para el 2019, destinado al INPE, era de S/ 820,5 millones, de los cuales S/170,6 millones se destinaría a infraestructura. Ante la necesidad de recursos financieros, surgió la alternativa de concesionar cárceles bajo la modalidad de privatización del diseño, construcción y equipamiento, otra alternativa es tercerizar algunas operaciones o dejar el 100% del establecimiento a empresas privadas. Perú en el 2010 intentó construir un centro penitenciario bajo la modalidad de privatización, sin embargo, la Defensoría del Pueblo descubrió inconsistencias de orden jurídico respecto a la delegación de funciones que eran ajenas al INPE. [49]

2.3.4. Carencia de servicios

Las cárceles del INPE cuentan con escaso personal, carecen de motivación, preparación y / o experiencias insuficientes. Según datos de la Defensoría del Pueblo, actualmente hay 5.440 funcionarios dedicados a la seguridad penitenciaria, mientras que hay 67.597 presos. En otras palabras, solo hay un agente penitenciario por cada 13 presos, lo que ni siquiera es el nivel promedio de otros países. Además, no solo es necesario capacitar a este personal en orden, disciplina y agilidad física, sino también la capacidad de mantener el principio de autorización sin el abuso o uso excesivo de la fuerza (autocontrol) para poder prevenir sucesos futuros y peligrosos. En tales circunstancias, la prisión carece gravemente de la capacidad de prestar servicios a los presos, entre ellos: [46]

- Transporte. En el caso de deficiencias graves, el INPE, con la asistencia de la “División de Diligencias Judiciales”, perteneciente a la “División de Seguridad de Penales” de la PNP, traslada al preso fuera de la institución penitenciaria: [46]
 - Personal. La división policial manifiesta la falta de personal. En octubre de 2011, tenía 105 oficiales designados, de los cuales solo 52 trabajaban en turnos todos los días. [46]
 - Logística. A octubre de 2011, además de no contar con los equipos de

comunicación correspondientes, Lima solo tenía tres unidades móviles disponibles para las tareas diarias. En otras zonas, no hay suficientes unidades móviles para realizar el traslado de presos. [46]

- Coordinación. La coordinación interinstitucional era deficiente. [46]
- Salud. Los principales problemas relativos a este servicio son: [46]
 - Hay una falta de organizaciones de servicios de salud que aborden específicamente los problemas de salud en las cárceles y, por lo tanto, no pueden implementar las políticas de salud necesarias. Además, el Ministerio de Salud (Minsa) no ha incorporado oficialmente a su organización los servicios de salud penitenciaria, lo que lo coloca en un dilema legal y no permite la implementación de planes nacionales de salud en las cárceles. [46]
 - Dificultades para obtener un seguro médico universal. [46]
 - Con la llegada del COVID-19 al Perú, el Ministerio de Salud (MINSA), emitió algunas normas con el propósito de prevenir y controlar la pandemia global, sin embargo, ninguna norma contempló al sistema nacional penitenciario. [50]
 - Al 2018 se contaba con 64 médicos para un total de 82492 internos, 41 médicos laboraban en Lima, presentando la situación crítica en la región Nor Oriente, donde laboraba solo 1 médico para las 09 cárceles de la región. [48]
- Internas mujeres. Los problemas identificados son la escasez de cárceles de mujeres, el cuidado de los niños dentro y fuera de las cárceles; el trato de las cárceles es muy reducido o diferente al de los hombres; y la corrupción, como la dada en estos establecimientos, aunque en menor grado. [46]
- Dado los efectos del Coronavirus, la atención se centra en la situación de los adultos mayores y niños en las cárceles. A diciembre del 2019, existían 4761 adultos mayores de 60 años dentro de las cárceles, de los cuales, 225 eran mujeres. [48]

2.3.5. Corrupción

Según la “Defensoría del Pueblo”, existe otro problema común e igualmente catastrófico en el sistema penitenciario, como es la corrupción. En la mayoría de las cárceles, en las cuatro zonas de riesgo se observa una corrupción grave atribuible al personal del INPE y/o la PNP: [46]

- Extorsión por destino y locación. El personal penitenciario exige dinero a los presos durante el proceso de colocación y clasificación en los establecimientos penitenciarios. Además, durante el período de reclusión, los "representantes" del pabellón cobran una cuota por el costo de la permanencia o reconstrucción del

pabellón de los presos. [46]

- Extorsión por trámites administrativos. El encargado de las acciones administrativas solicita dinero a los presos, sus abogados o familiares para preparar, tramitar, agilizar y monitorear los expedientes administrativos y entregar la prueba de conducta que aprueba el beneficio penitenciario. Lo mismo aplica para la emisión de certificados médicos o laborales y el ingreso a talleres o educación. [46]
- Extorsión por trato privilegiado. El personal penitenciario solicita dinero a los presos para: [46]
 - Aceptar un acceso especial no permitido por el “Reglamento del Código de Ejecución Penal”. [46]
 - Se permite ingresar paquetes, artefactos (TV, etc.), suministros de trabajo o artículos prohibidos (alcohol, drogas, armas y / o teléfonos móviles), o utilizar el teléfono, o pasar de la sala de exposiciones a servicios legales, psicológicos, sociales y médicos, etc. Autorizar para operar o vender alimentos a terceros. [46]
 - Permitir el acceso a trabajadoras sexuales. [46]
- Peculado y malversación. Existen casos de enriquecimiento ilegal por parte de las autoridades en los penales, por abuso de los presupuestos de las agencias o negociaciones irregulares con proveedores de alimentos u otros artículos. [46]

2.3.6. Inseguridad penitenciaria

Según la Comisión Episcopal de Acción Social, la seguridad carcelaria es el aspecto más vulnerable de la gestión del INPE. En base a esto, especifica que, como resultado de esta gestión ineficiente (control de acceso), los presos casi siempre tienen los mismos objetos prohibidos en las operaciones de registro de celda o registros: [46]

Objeto	Unidad	Cantidad
Celular	Unidades	2,437
Batería de celular	Unidades	634
Chip para celular	Unidades	609
Cargador para celular	Unidades	1,329
Hands-free para celular	Unidades	173
Arma de fuego	Unidades	7
PBC	Gramos	1,443
Marihuana	Gramos	286
Chicha «canera»	Litros	17,739
Destilado (aguardiente)	Litros	578

Figura N° 6 - Objetos prohibidos encontrados en requisas [46]

De igual manera, según el propio INPE, su personal de seguridad ha estado constantemente sometido a estrés, lo que puede provocar agotamiento físico, emocional y mental. También informó que su equipo electrónico de seguridad está desactualizado o inutilizable, lo que ayuda a los presos a escapar, y no cuenta con un equipo de inteligencia y contrainteligencia para detectar problemas en la prisión. En definitiva, históricamente y en la actualidad, el sistema penitenciario de gestión pública parece estar en crisis. Su realidad está llena de fallas y deficiencias, lo que se desvía del propósito y funciones que le asignan la Constitución y la ley, lo que obliga a pensar en modelos alternativos. [46]

Debido a que algunos establecimientos penitenciarios se encuentran aledaños o próximos a locales, restaurantes, viviendas, etc., se descubrió recientemente a fines del 2020, un túnel que había sido construido desde una vivienda de la cuadra 8 de la avenida Santa Rosa, del distrito de San Juan de Lurigancho, hacia el penal Castro Castro, presuntamente cavado por narcos extranjeros. [51]

2.4. Medidas adoptadas por el Estado frente al COVID-19

- i. Como consecuencia de la pandemia de COVID-19 en los penales, el Perú emitió 04 normas con el fin de des hacinamiento: [52]
 - ✓ Decreto Legislativo N° 1459 (13/04/2020), destinado a disminuir el número de reclusos por delitos de omisión de asistencia familiar. La norma exige un pago íntegro de reparación civil y el total de deudas alimenticias acumuladas. [52]
 - ✓ Decreto Supremo N° 004-2020-JUS (22/04/2020), que promueve las gracias presidenciales, en especial, los indultos humanitarios y conmutaciones de penas. [52]
 - ✓ Decretos Legislativos N° 1513 y N° 1514, publicados el 04/06/2020, el primero establece 02 medidas destinadas a procesados internos y 02 medidas destinadas a condenados internos, la segunda norma impulsa la vigilancia electrónica personal, a través de grilletes electrónicos, para procesados y condenados con penas entre los 04 y los 10 años. [52]
- ii. El 06 de marzo del 2020, el INPE ordenó que se restrinjan las visitas de las personas de riesgo alto en las cárceles de Lima y Callao, posteriormente la medida se generalizó a nivel nacional. [53]
- iii. El 20 de marzo del 2020, mediante el Decreto de Urgencia N° 029-2020, se otorgó al INPE la suma de 10 millones de soles para adoptar medidas de prevención contra el COVID-19. [48]
- iv. En abril del 2020, el INPE tomó la decisión de cerrar todos los penales, sin poder recibir más detenidos. [53]

- v. Se habilitó el Ex Penal San Jorge para el aislamiento de internos que se vean afectados o sospechosos de contagio del coronavirus. [53]
- vi. En abril del 2020, El Poder Ejecutivo aprobó el indulto a 3000 internos, aquellos que contaban con una pena privativa de libertad de 4 años o menos y aquellos que cumplían condena en los próximos 06 meses. [53]
- vii. El MINSA, hizo la entrega de alrededor de 110 mil mascarillas reutilizables y 13 mil pruebas rápidas para los agentes penitenciarios. [53]

2.5. Prisiones en el Perú

2.5.1. Servicio de Bloqueo de Señales

La empresa Prisontec, ganadora de la licitación, firmó contrato con el Estado y será la responsable de que el sistema funcione en los 33 penales peruanos que acogen al 90% de la población penitenciaria. [54]

El “Ministerio de Justicia y Derechos Humanos” (MINJUS), por encargo del Estado Peruano, el “Instituto Nacional Penitenciario” (INPE) y la empresa Prisontec, firmaron el contrato para el bloqueo de celulares y Wi-Fi en 33 penales. [54]

De los penales ubicados en la ciudad de Lima, la empresa Prisontec ha realizado la instalación del sistema de bloqueo en los establecimientos penitenciarios de Callao, Castro Castro, Lurigancho, Ancón 2 y Ancón 1, donde en este último solo se realizó la instalación en un pabellón, debido a que se encuentra en régimen cerrado especial, mediante Resolución Suprema N° 264-2004-JUS de fecha 15 de diciembre. [55]

Tabla N° 2 – Lista de Establecimientos Penitenciarios a nivel nacional [56]

N°	Establecimiento Penitenciario (EP)
1	Cañete
2	Huaral
3	Ica
4	Callao
5	Chincha (Lima)
6	Trujillo
7	Chiclayo
8	Ancón I
9	Ancón II
10	Huacho
11	Miguel Castro Castro
12	Cajamarca
13	Lurigancho

14	Juliaca
15	Pucallpa
16	Ayacucho
17	Chimbote
18	Huánuco
19	Arequipa
20	Iquitos
21	Piura
22	Huancayo
23	Cusco
24	Tacna
25	Chachapoyas
26	Huaraz
27	Puerto Maldonado
28	Puno
29	Moyobamba
30	Tumbes
31	Mujeres Chorrillos
32	Chanchamayo
33	Tarapoto

Prisontec obtuvo la calificación para ejecutar el proyecto el 30 de junio de 2014 por ofrecer el mayor descuento sobre las tarifas más altas de llamadas desde los teléfonos públicos de las instituciones penitenciarias. La tasa de descuento es del 55,11%. [54] ProInversión informa que el proyecto contempla la instalación de teléfonos públicos en los centros penitenciarios antes mencionados para garantizar la calidad y seguridad de las comunicaciones de los reclusos. [54]

El Proyecto es autosostenible, porque la inversión se recuperará mediante el cobro de la tarifa del servicio telefónico público de la institución penitenciaria. No considera la cofinanciación por parte del estado. [54]

El Contrato Innominado de Prestación de Servicios tendrá una vigencia de 25 años. Durante este período, los ganadores deben implementar todos los cambios técnicos necesarios para evitar que nuevos servicios móviles ingresen al mercado. [54]

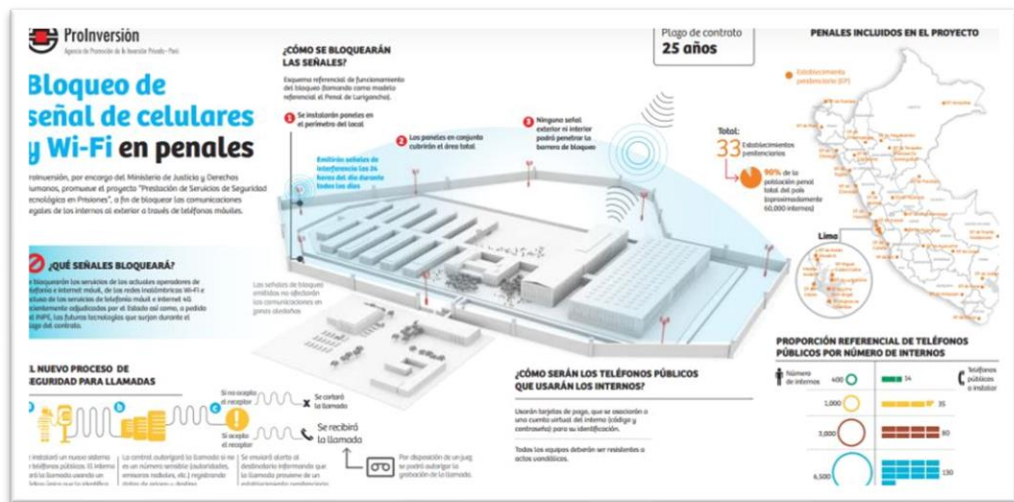


Figura N° 7 - Servicio de Bloqueo de Señales en Penales [54]

2.5.1.1. Descripción del bloqueo de señales

Los bloqueadores son dispositivos de radiofrecuencia que intencionalmente transmiten señales que interrumpen la comunicación entre la estación base de una red de comunicaciones y el equipo móvil del usuario, impidiendo que se establezca una comunicación. [57]

Los inhibidores o jammers funcionan mediante la transmisión deliberada de señales de radio que interrumpen las comunicaciones a una determinada área (prisiones) por la disminución de la relación señal-ruido. [56]

El bloqueador y/o inhibidor o Jammers es un sistema compacto, modular y escalable para emisión de señales electromagnéticas sintonizables a teléfonos celular en multibanda, emite e irradia las ondas electromagnéticas por intermedio del arreglo de antenas externas que irradian de manera constante y principal a las áreas críticas requeridas, por intermedio de sus arreglos de antenas radiantes, sectoriales y omnidireccionales, en las mismas frecuencias sintonizadas que utilizan para comunicarse los celulares, esto causa suficiente interferencia para la comunicación entre teléfonos celulares y las E.B.C. (Estaciones Base Celular de los respectivos operadores) para inutilizar la comunicación e interconexión de los teléfonos Celulares. [56]

Opera con ataque a capa física donde constantemente se emite una señal que colisiona a nivel de frecuencia sobre las bandas definidas para bloquear áreas preestablecidas y colateralmente áreas no requeridas, impidiendo que se establezca una comunicación entre emisor y receptor. [56]

El sistema de bloqueo o inhibición de las señales radioeléctricas multibanda está habilitado para bloquear o inhibir cada una de las señales electromagnéticas o

radioeléctricas utilizadas por los concesionarios de los servicios públicos de telefonía móvil celular, comunicaciones personales (PCS) y de canales múltiples de selección automática (Troncalizado) que operan actualmente y que se identifican mediante la evaluación del área a bloquear. [56]

2.5.1.2. Frecuencias Bloqueadas

Tabla N° 3 - Bandas de Frecuencias Bloqueadas [56]

	BANDAS	UPLINK	DOWNLINK
BANDAS LICENCIADAS	BANDA 700 MHz	703 - 748 MHz	758 - 803 MHz
	BANDA 850 MHz	806 - 849 MHz	851 - 894 MHz
	BANDA 900 MHz	894 - 915 MHz	939 - 960 MHz
	BANDA 1900 MHz	1850 - 1910 MHz	1930 - 1990 MHz
	BANDA 1700/2100 MHz	1710 - 1770 MHz	2110 - 2170 MHz
BANDAS NO LICENCIADAS	BANDA 2,4 GHz	2400 – 2483.5 MHz	
	BANDA 5 GHz	5150-5350 Mhz / 5470-5850 Mhz	
	BANDA 915	915 - 928 MHz	

2.5.2.Servicio de Grilletes Electrónicos

El sistema electrónico de grilletes es una tecnología que se utiliza para rastrear al personal. Consiste en colocar un localizador satelital en el tobillo del preso. El dispositivo informa permanentemente al centro de vigilancia de la ubicación geográfica del preso. [58]

- Localización Satelital: El grillete utiliza la información recibida de los satélites de la red GPS (Global Positioning System) para calcular sus coordenadas geográficas (latitud y longitud). [58]
- Datos vía celular: El grillete utiliza la red de comunicación de datos del sistema de comunicación celular para transmitir sus coordenadas, y esta información se transmite al servidor. [58]
- Software de monitoreo: El software de monitoreo recibe información del grillete, la almacena y la procesa. El software reside Centrales de procesamiento de información en la nube en Estados Unidos. Para hacerlo inaccesible para los delincuentes que desean interrumpir el sistema. [58]
- Centro de monitoreo: Son un grupo de personas encargadas de monitorear las alarmas enviadas por los presos que violaron las condiciones de prisión domiciliaria. Cada agente del centro de monitoreo realiza su trabajo a través de una aplicación de Internet. [58]

El programa "Vigilancia Electrónica Personal" (VEP) del Instituto Nacional de

Prisiones (INPE) se encarga de la vigilancia en tiempo real y vía GPS a los presos cuyas condenas son menores a ocho años, ellos reciben un grillete y quedan bajo arresto domiciliario. [59]

El Poder Judicial recibe la solicitud y decide si el detenido cumple con los requisitos para el uso del grillete, según lo dispone Decreto Legislativo No. 1322. [60]

Para que el juez dictamine que el detenido cumple con los requisitos y puede otorgarle los beneficios del uso de grilletes, se implementan dos procesos paralelos: uno está relacionado con el cumplimiento de los protocolos de seguridad y el otro está relacionado con la implementación tecnológica. [60]

El Poder Judicial (PJ) confirma que los documentos del solicitante cumplen con los requisitos y cumplen con los requisitos. La empresa verifica si hay señal en su casa e INPE a través del director del penal y el coordinador del centro de vigilancia para asegurar que el preso instale la cerradura en el hogar. [60]

La vigilancia y monitoreo empieza a partir del instante en que se unen los extremos del grillete (en casa) y la señal aparece en la pantalla del centro de vigilancia. Desde entonces, de acuerdo con las regulaciones de PJ, los expertos se han dividido en turnos 24 x 7 para monitorear a los presos. [60]

Desde 2017 (el país instaló los primeros grilletes electrónicos), solo 19 presos han utilizado estos dispositivos. Actualmente solo aplica a Lima y Callao. [59]

Actualmente, el costo de los equipos electrónicos y los servicios de vigilancia electrónica lo paga en su totalidad el acusado o la persona condenada. La tarifa diaria es de S / 25; es decir, S / 750 por mes. [59]

El programa VEP se aplica a presos primarios. Se da prioridad a las personas mayores de 65 años, personas con enfermedades graves, discapacidades físicas permanentes, mujeres embarazadas, mujeres con hijos menores de 3 años, madres o padres de jefes de hogar con hijos menores o discapacidades permanentes y personas que son procesadas o condenadas por delito culposo. [59]

Se exceptúa de este beneficio a los presos culpados de lesiones agravadas, homicidio, delito sexual y crimen organizado. En el país, ellos representan el 62% de la población penitenciaria. [59]

De acuerdo con el análisis costo-beneficio del proyecto de ley en estudio, por cada beneficiario el INPE ahorraría diariamente los S/27,9 que gasta en su permanencia en un establecimiento penitenciario. El ahorro mensual llegaría a S/837; y el anual, a S/10.183,50. [59]

2.6. Tendencias de cárceles en el mundo

2.6.1. Cámaras de CCTV, grabación y análisis de Video

- Permiten el control y monitoreo de las instalaciones en tiempo real, desde la periferia de la prisión hasta celdas, zonas de visita, cafeterías, etc. [61]
- Se pueden implementar con otros sistemas de seguridad, como detección de incendios y el control de acceso. [61]
- La grabación de imágenes ayuda a investigar incidentes de seguridad, identificar a los responsables y aportar pruebas en los tribunales. [61]
- El análisis de video puede mejorar el control de eventos peligrosos y la seguridad periférica, como la agrupación de personal en determinadas áreas, de modo que el personal penitenciario pueda capturar la información adecuada en tiempo real, para mejorar su capacidad de respuesta. [61]

2.6.2. Prisión inteligente en Holanda

En la ciudad holandesa de Lelystad en 2006 se inauguró la primera prisión denominada "inteligente". La prisión puede leer continuamente los datos de los presos mediante el uso de tecnología de la información. El propósito es ser menos invasivo, pero quizás Control más eficaz y, lo que es más importante, para prevenir el comportamiento agresivo, incluido hacer que los presos se sientan infelices y puedan autorregularse debido a la pérdida de los beneficios del comportamiento. Para "reconocer las emociones del preso", el programa informático es sensible a la combinación de la intensidad del movimiento y el sonido que se produce en la celda. El aumento de estos registros debería alertar a los guardias sobre la posibilidad de alborotos en las celdas. [61]

2.6.3. Grabación de video embarcable para el traslado de reclusos

Los vehículos utilizados para trasladar a los presos suelen estar sujetos a amenazas relacionadas con los intentos de fuga o la propia seguridad de los presos, así como a reclamaciones y juicios por el trato que se les pueda imponer durante el traslado. El sistema de grabación de video integrado permite: [61]

- Controlar siempre las condiciones externas y las actividades internas del vehículo, y transmita imágenes al centro de control correspondiente en tiempo real. [61]
- Rastrear y ubicar el vehículo vía GPS integrada en el vehículo. [61]

2.6.4. Cámaras térmicas de 360°

Constituyen una solución ideal para detección en cualquier tipo de circunstancia meteorológica o ambiental (completa oscuridad, niebla, lluvia, humo,). Se pueden utilizar en la mejora de la seguridad perimetral combinadas con cámaras de CCTV y sistemas de Análisis de Video. [61]

2.6.5. Sistemas de grabación de audio

- Permiten grabar todas las comunicaciones de voz entre el personal de seguridad y los centros de control y equipos de emergencia (ambulancias, bomberos, policía etc.). [61]
- Grabación de locutorios. [61]

2.6.6. Detección, inhibición y localización de teléfonos móviles

Las cárceles deben enfrentar los problemas que genera la introducción secreta de teléfonos móviles en sus instalaciones todos los días. Estos dispositivos permiten a los presos continuar liderando organizaciones criminales desde la prisión, coordinar intentos de fuga, obstruir investigaciones en curso, planificar ataques terroristas, organizar disturbios, etc. El sistema puede ayudar a los funcionarios penitenciarios a detectar y localizar cualquier actividad relacionada con los teléfonos móviles (intentar enviar o recibir mensajes de texto, MMS, llamadas, etc.) y proporcionar información en tiempo real sobre el equipo utilizado sin autorización y prohibido. [61]

2.6.7. Sistemas de Detección Perimetral

- Barreras de Infrarrojos. [61]
- Detectores de Choques. [61]
- Detectores de Doble Tecnología. [61]
- Vallas detectoras. [61]
- Sistema de monitoreo de salud de internos remota. [61]

2.6.8. Hong Kong

El boom de los objetos “inteligentes” se está haciendo sentir en todos los aspectos de las actividades humanas, desde los hogares hasta las cárceles. Ahora, la Administración de Servicios Correccionales de Hong Kong ha anunciado su intención de organizar prisiones inteligentes en las que los sistemas automatizados asumirán parte del monitoreo de los presos. [62]

Según informa el diario “South China Morning Post” (SCMP), los nuevos sistemas harán que la ejecución de las sentencias sea más eficiente y las personas en prisión

sean más seguras. Además, el servicio de guardia será más seguro de lo que es actualmente.

"El Departamento de Servicios Correccionales se esfuerza por mejorar la eficiencia de las operaciones de custodia y la seguridad de las instituciones correccionales a través de la aplicación de la innovación y la tecnología, al tiempo que protege la seguridad de los oficiales y personas bajo custodia", dijo el Comisionado Danny Woo Ying-ming. [62]

La tecnología no solamente impulsará la creación de hogares conectados o Smart cities: Hong Kong tiene un plan para utilizar robots, dispositivos portátiles e IoT para mejorar la forma en que administra a los 8.300 internos alojados en sus instituciones correccionales. La tecnología está pensada para controlar que los reclusos no experimenten problemas como sufrir una sobredosis de drogas de contrabando, pelear con otros presos o autolesionarse. El plan del sistema inteligente de prisiones de la ciudad china fue anunciado por el "Departamento de Servicios Correccionales" (CSD) de Hong Kong. El primer paso será probar varias tecnologías a pequeña escala y luego implementarlas de forma más amplia si tienen el impacto deseado. [62]

La labor de la IA será en parte, realizar el "trabajo sucio": de acuerdo con el South China Morning Post, una de esas tecnologías es un brazo robótico que filtra heces de los reclusos recién ingresados en busca de artículos de contrabando, como las drogas, una tarea previamente realizada por oficiales que empuñan palos de madera. [62]

Otra es una pulsera de seguimiento que el SCMP describe como "similar a los wearables de deporte y salud que se venden en el mercado". Estos dispositivos portátiles harán un seguimiento de los signos vitales y el paradero de los reclusos, recopilando información biométrica y alertando a los funcionarios si advierte algo que no está bien, incluidas las señales de que el recluso puede haber lesionado sí mismos. En 2018 se registraron dos suicidios y 48 lesiones. [62]

Las instalaciones elegidas para comenzar la prueba son las de la prisión de Pik Uk, que ya está implementando un sistema de video vigilancia "inteligente". Sus 12 cámaras incluyen funciones de monitoreo analítico de vídeo capaces de detectar comportamientos inusuales, como que un preso se lastime o se derrumbe, alertando a los funcionarios. [62]

Mientras que las tareas de cribado de heces realizadas por un autómatas no son demasiado controvertidas, la polémica se cierne sobre las otras dos medidas, ya que tanto wearables como cámaras pueden atentar contra la privacidad e intimidad de los presos. De hecho, dos de las cámaras en uso en la prisión de Pik Uk están ubicadas en baños de presos, aunque Ng Chiu-kok afirmó que partes de las imágenes del inodoro están ocultas y se oscurecen. [62]



CAPÍTULO 3: REGULACIÓN Y NORMATIVIDAD DEL USO DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO PARA APLICACIÓN DEL USO DE INTERNET DE LAS COSAS

3.1. Introducción

En Perú, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, es responsable de la gestión del espectro radioeléctrico. Mediante Decreto Supremo N ° 041-2011-PCM se estableció la Comisión Multisectorial Permanente, que se encarga de emitir informes técnicos especializados y recomendaciones para planificar y administrar el espectro radioeléctrico, y la adecuación del “Plan Nacional de Asignación de Frecuencias – PNAF” adscrito al “Ministerio de Transportes y Comunicaciones”. [63]

3.2. Espectro radioeléctrico

El espectro radioeléctrico, es el medio por el que las ondas radioeléctricas pueden propagarse sin guía artificial. Es un recurso natural, libre disponible a nivel mundial, pero supervisado y controlado por entidades estatales de cada país, puesto que es considerado

dentro del patrimonio nacional de cada país. [64]

Al espectro radioeléctrico se le asigna una determinada canalización destinada a la prestación de servicios de telecomunicaciones, estas canalizaciones dependen de los límites regionales establecidos por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). El Perú se encuentra clasificado dentro de la Región 2, según lo establecido por la UIT y es regulado por el Ministerio de Transporte y comunicaciones. [64]

3.3. Bandas Licenciadas

Son fragmentos del espectro radioeléctrico, asignados exclusivamente para un servicio de telecomunicaciones. Este tipo de bandas de frecuencia ofrece una transmisión de alta confiabilidad a través de largas distancias, puesto que estas bandas no sufren de interferencias al solo ser asignadas a un determinado servicio. [65]

Para realizar el uso de estas frecuencias, es necesario contar con una concesión o autorización del servicio de telecomunicaciones correspondiente. Quiere decir que, para poder desplegar las estaciones radioeléctricas, estos fragmentos deben de contar con su atribución, asignación y adjudicación de las frecuencias. Cabe mencionar que al ser bandas concesionadas a una única persona natural o jurídica está sujeta a los pagos por derecho de explotación de los recursos naturales “Canon”. [64]

Se tienen algunas consideraciones para el pago por el uso de frecuencia, las que implican el pago del canon para los servicios públicos de telecomunicaciones y las que no implica el pago del canon para las frecuencias adjudicadas:

- **Canon:** En el “Texto Único Ordenado del Reglamento General de la Ley de Telecomunicaciones” aprobada mediante Decreto Supremo N° 020-2007-MTC especifica que el pago de canon aplica para la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones, como lo son: Servicio de Telefonía Móvil, Servicio de Comunicaciones Personales y Teleservicio Móvil de Canales Múltiples de Selección Automática (troncalizado) cuyo pago está en función a la cantidad de terminales móviles activados. [66]

El uso del espectro radioeléctrico da lugar al pago de un canon que es asumido por los titulares de estaciones radioeléctricas, emisoras y de las receptoras que usan una determinada frecuencia. El cumplimiento de esta obligación es de tal importancia que la falta de pago por dos años consecutivos constituye causal de resolución de pleno derecho del contrato de concesión y de revocación de la autorización según se trate de servicios públicos o privados de telecomunicaciones lo que determina la reversión del espectro al Estado [67]

- **Adjudicación:** Es la inscripción de un canal determinado en un plan, adoptado por una conferencia competente, para ser usado en un servicio de radiocomunicación espacial o terrenal, ya sea en uno o en varios países o en determinadas zonas geográficas y según condiciones específicas. [68]

A manera de ejemplo se puede citar la licitación de la banda de 700 MHz para el desarrollo y despliegue de infraestructura de la tecnología 4G, esta licitación se llevó a cabo en el año 2016 donde los tres operadores Claro, Movistar y Entel se adjudicaron los 3 Bloques del espectro licitado. [69]

- **Bloque B:** Claro ganó tras ofertar US\$ 306 millones. Movistar ofreció US\$ 305 millones, mientras que Entel, US\$ 290 millones. [69]
- **Bloque C:** Movistar ganó al ofrecer US\$ 315 millones. Entel ofreció US\$ 290.2 millones. Claro no participó en este proceso debido a que ya había ganado el bloque B. [69]
- **Bloque A:** Entel fue adjudicado directamente con su oferta de US\$ 290.2 millones. [69]

3.4. Bandas No Licenciadas Libres.

Son aquellos rangos de frecuencia que están exceptuados de la clasificación de servicios de la Ley, del Reglamento y de los Reglamentos Específicos que se dicten, las telecomunicaciones instaladas dentro de un mismo inmueble que no utilizan el espectro radioeléctrico y no tienen conexión con redes exteriores. [64]

Al ser rangos de frecuencias que no están sujetos a un título habilitantes no están afectadas al pago por conceptos de canon por el uso de estas dentro del territorio nacional. [65]

Las bandas de frecuencias no licenciadas también son conocidas como bandas ISM (Industrial, Scientific and Medical) o bandas ICM (Industriales, Científicas y Médicas) éstas están destinadas a las Aplicación de equipos o de instalaciones a producir y utilizar en un espacio reducido energía radioeléctrica con fines industriales, científicos, médicos, domésticos o similares, con exclusión de todas las aplicaciones de telecomunicación. [68]

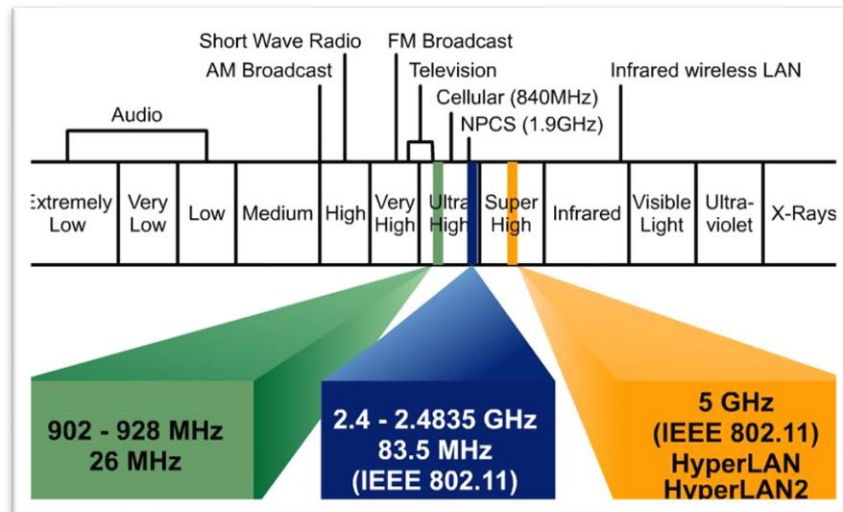


Figura N° 8 - Bandas ISM [70]

En Europa, la banda de 863 a 870 MHz se ha asignado para funcionamiento sin licencia utilizando FHSS, DSSS o modulación analógica, con un período de transmisión del 0,1%, 1% o 10% (según la banda de frecuencia) o “Listen Before Talk” (LBT) con “Adaptive Frequency Agility” (AFA). Aunque esta banda de frecuencia es usada por dispositivos de corta alcance, también se ha utilizado en redes de telecomunicaciones inalámbricas de red de área amplia de baja potencia (LPWAN) para permitir que los objetos (objetos conectados) puedan comunicarse a una tasa baja de bits. [70]

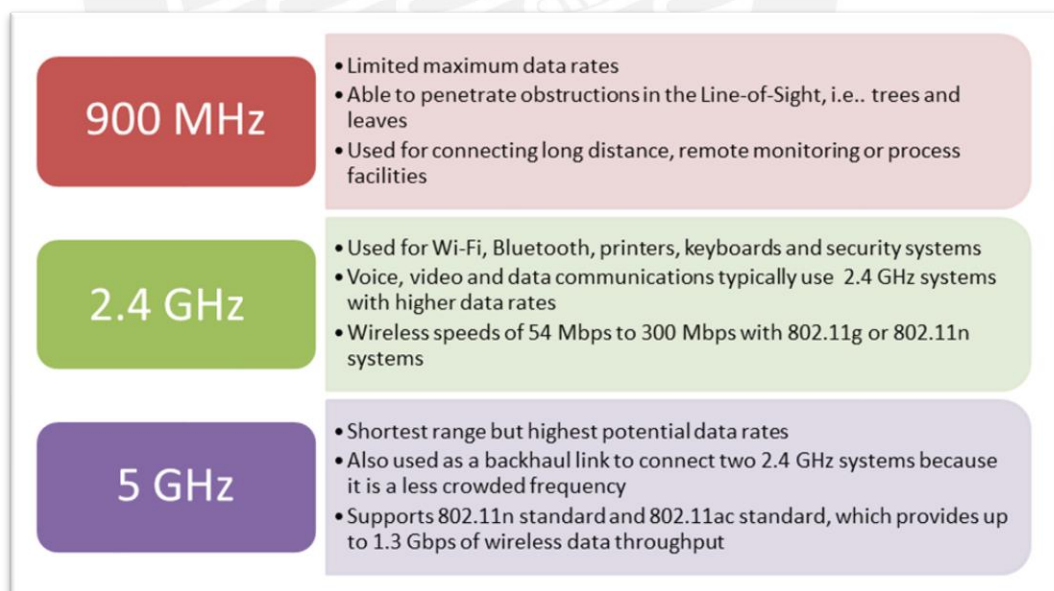


Figura N° 9 - Bandas Libres [70]

Dentro de las bandas libres existen varias posibilidades: [70] [71]

- Banda 2,4 GHz usando WiFi, Bluetooth o ZigBee.
- Banda 5 GHz usado WiFi

- Banda de 868 MHz con opción de usar ZigBee, LoRa o SigFox
- Banda de 433 MHz.
- Frecuencias RFID (13,56 MHz, 125 kHz, etc.).

La banda de frecuencia de 868 MHz ofrece unas características superiores en cuanto al alcance (es 2 o 3 veces mayor que los estándares referidos en la banda de 2,4 GHz). El coste de la implementación y el consumo de energía es relativamente bajo. [70]

La banda de 868 MHz no está disponible en todo el mundo, en los EEUU se requiere una banda de 915 MHz. El hardware para ambos estándares es el mismo, sin embargo, requieren diferentes versiones de software. [70]

La banda 433 MHz es mejor respecto al alcance, pero no garantiza una transmisión de datos segura. Debido a que muchos equipos trabajan en esta banda, especialmente controles remotos, es frecuente que se produzcan interferencias en la transmisión. [70]

3.4.1. Bandas no licenciadas en Perú

En Perú, estos rangos de frecuencias son catalogadas como bandas ICM, se encuentran detalladas en la nota P23 dentro del Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF), donde se indica que los servicios de radiocomunicación que funcionan en estas bandas deben aceptar la interferencia perjudicial resultante de estas aplicaciones y en ningún caso podrán causar interferencias a aplicaciones ICM: [63] [68]

Las bandas ICM en Perú son:

- 13 553 – 13 567 kHz (frecuencia central 13 560 kHz)
- 26 957 – 27 283 kHz (frecuencia central 27 120 kHz)
- 40,66 – 40,70 MHz (frecuencia central 40,68 MHz)
- 902 – 928 MHz (frecuencia central 915 MHz)
- 2 400 – 2 500 MHz (frecuencia central 2 450 MHz)
- 5 725 – 5 875 MHz (frecuencia central 5 800 MHz)
- 24 - 24,25 GHz (frecuencia central 24,125 GHz)

El MTC emitió la Resolución Ministerial N° 199-2013-MTC/03 que modifica las “Condiciones de operación de los servicios cuyos equipos utilizan las bandas 915-928 MHz, 916-928 MHz, 2400-2483.5 MHz, 5150-5250 MHz, 5250-5350 MHz, 5470-5725 MHz y 5725-5850 MHz”. Colocando topes a las potencias y condiciones en las que puedes usar esas frecuencias. [63]

Además, el estándar también estipula que siempre que el dispositivo transmita en la

banda de frecuencia de 915-928 MHz, con una potencia de no más de 4 vatios (4 W) o 36 dBm en antena (potencia efectiva irradiada), no es necesario tener una asignación de espectro de radio, autorización, licencia o licencia para operar el dispositivo en espacios abiertos o zonas rurales, para aplicaciones de comunicación de más de 1 km. También puede operar con equipos utilizando la banda 915-928 MHz, que transmite con una potencia no superior a un vatio (1 W) 30 dBm en antena (potencia efectiva irradiada) y se puede usar en áreas urbanas. [63]

De las frecuencias ISM internacionales el Perú asignó a Bitel las frecuencias 900 MHz concesionada para la provincia de Lima y Callao (899-915 MHz y 944-960 MHz), y en el resto del país (902-915 MHz y 947-960 MHz), por lo que solo podremos usar las frecuencias ISM de 915 – 928 MHz. [63]

3.5. Tecnologías IoT

Partiendo de que las tecnologías existentes en el momento que comenzó el auge del IoT no eran las más óptimas para muchas de sus aplicaciones, el mercado ha debido de ir adaptándose e innovando. Si bien es cierto que nos encontramos en pleno proceso de transición, es fundamental entender las distintas aproximaciones usadas cuando se va a crear una nueva solución IoT. Las podemos dividir en 4 grandes bloques: [72]

- **Las tecnologías tradicionales de conectividad inalámbrica:** la conectividad celular (del 2G al 4G) y el WiFi, son de un consumo energético alto, pero ampliamente soportadas y con gran cobertura. [72]
- **Las tecnologías de corto alcance, que requieren de despliegue de repetidores o pasarelas:** Son la clave del éxito inicial de Internet de las cosas, pero en muchos casos, no son muy eficaces en implementaciones a gran escala al transferir la responsabilidad de las operaciones de red al cliente final, una decisión que se ha revelado como poco apropiada en las implementaciones iniciales realizados con estas tecnologías o similares, dentro de las cuales tenemos ZigBee, Z-Wave, 6LowPAN, etc. [72]
- En las tecnologías de corto alcance, existe un subgrupo, incluidas las que brindan conectividad entre objetos conectados y dispositivos móviles. Por ejemplo, tecnologías como Bluetooth, especialmente su última versión de bajo consumo, BLE (Bluetooth Low Energy) o NFC (tecnología de comunicación sin contacto), se revelan como la clave de este tipo de interacción que podemos llamarlo área personal. El BLE también es muy útil para implementar balizas de bajo costo para el intercambio de información a través de dispositivos móviles, como ejemplos mediáticos tenemos a los iBeacons. [72]

- En la actualidad se están popularizando las nuevas tecnologías de comunicación nativas para el Internet de las Cosas, con muy bajo consumo, largas distancias y bajos costos de equipamiento, podemos destacar principalmente tres: SigFox, LoRa y NB-IoT. [72]

3.5.1. Redes LPWAN (Low-Power Wide-Area Network)

Es una red de área amplia de comunicación inalámbrica diseñada para permitir la comunicación remota entre objetos conectados (como sensores alimentados por baterías) a velocidades de bits bajas. El bajo consumo de energía, la baja tasa de bits y el uso previsto distinguen este tipo de red de las WAN inalámbricas, porque las WAN están diseñadas para conectar usuarios o empresas y utilizar más energía para transportar más datos. La velocidad de datos LPWAN varía de 0,3 kbit/s 50 kbit/s por canal. [70]

Se pueden usar para crear una red de sensores inalámbricos privada, pero también puede ser un servicio o una infraestructura proporcionada por un tercero, lo que permite a los propietarios de sensores implementarlos en el campo sin invertir en tecnología o infraestructura. [70] Trabajan en la banda ISM libres sin necesidad de licencia. [70]

LPWAN está ganando cada vez más popularidad en las comunidades industriales y de investigación debido a sus características de comunicación de bajo consumo, largo alcance y bajo costo. Proporciona comunicación de largo alcance hasta 10–40 km en zonas rurales y 1–5 km en zonas urbanas [73]

- **Largo alcance:** El rango operativo de la tecnología LPWAN varía desde unos pocos kilómetros en áreas urbanas hasta más de diez kilómetros en áreas rurales. También puede lograr una comunicación de datos eficaz en ubicaciones interiores y subterráneas previamente inutilizables. [74]
- **Baja potencia:** optimizados para el consumo de energía, los transceptores LPWAN pueden funcionar con baterías pequeñas y económicas hasta por 20 años. [74]
- **Bajo costo:** los protocolos simplificados y livianos de LPWAN reducen la complejidad en el diseño del hardware y reducen los costos del dispositivo. Su largo alcance combinado con una topología en estrella reduce los costosos requisitos de infraestructura, y el uso de bandas sin licencia o con licencia reduce los costos de red. [74]

3.5.1.1. LoRa (Long Range)

Los dispositivos finales EU433 pueden funcionar en la banda de frecuencia: 433,05 a 434,79 MHz y presentar una estructura de datos de canal para almacenar parámetros de hasta 16 canales. Una estructura de datos de canal corresponde a una frecuencia y un conjunto de velocidades de datos usado en esa frecuencia. [75]

LoRa es la capa física de modulación inalámbrica utilizada para crear enlaces de comunicación de largo alcance. Utiliza modulación de espectro ensanchado para mantener características de baja potencia similares a la modulación por desplazamiento de frecuencia, pero aumenta significativamente su rango de comunicación. Debido a que estas frecuencias pueden alcanzar grandes distancias y resistir posibles interferencias, se han utilizado en comunicaciones militares y espaciales durante muchos años. Sin embargo, LoRa es el primer intento de aplicaciones comerciales de bajo costo. [76]

- **Largo alcance:** La distancia entre los nodos del sensor puede alcanzar los 15 km y la velocidad de transmisión de datos es de 300 a 50.000 bits por segundo. [76]
- **Baja potencia:** Los nodos de sensores consumen muy poca energía y la duración de la batería puede durar de 5 a 10 años. [76]
- **Bajo coste:** La inversión necesaria para construir la infraestructura y obtener el nodo sensor final es baja. [76]
- **Seguridad:** Debido a su cifrado de datos AES-128 extremo a extremo integrado, es casi imposible interceptar información. [76]
- **Altamente escalable:** Se pueden conectar billones de sensores a millones de nodos. [76]
- **Geolocalización:** Seguimiento interior / exterior sin GPS. [76]

Para ahorrar energía y extender la vida útil de la batería, el protocolo de comunicación utilizado con el nodo es Aloha (por lo que no se precisa sincronización con la pasarela). [76]

Para garantizar la seguridad, el protocolo utiliza dos capas: una para la red y otra para la aplicación. La seguridad de la red garantiza la autenticidad de los nodos, mientras que la seguridad de la capa de aplicación garantiza que los operadores no puedan acceder a la información sobre los dispositivos de los usuarios finales. [76]

Aunque existe una feroz competencia entre los nuevos proveedores de soluciones LPWAN, LoRa destaca por sus muchas ventajas: batería de larga duración, medidas de seguridad, posibilidad de escenarios móviles y potencia de salida. Es una de las tecnologías con más posibilidades de convertirse en clave en el nuevo mundo de IoT que tenemos ante nosotros. [76]

LoRa se usa principalmente de dos maneras:

- Uno es LoRaWAN, que se ha implementado principalmente en Europa. Tiene una capacidad de mensaje muy pequeña, tan baja como 12 bytes. [77]
- Otro es Symphony Link, que es un producto de Link Labs. Symphony Link es un sistema inalámbrico basado en la tecnología LoRa que está diseñado para superar las limitaciones de un sistema LoRaWAN. A menudo se incluye como un componente de soluciones de red LoRa más complejas, principalmente en los EE. UU. Y Canadá, y está diseñado para aplicaciones industriales. [77]

Ventajas:

- Es compatible con aplicaciones de un solo edificio. [77]
- Puede configurar y gestionar su propia red. [77]
- LoRa es una buena opción si necesita bidireccionalidad, por ejemplo, funcionalidad de comando y control, debido al enlace simétrico. [77]
- Los dispositivos LoRa funcionan bien cuando están en movimiento, lo que los hace útiles para rastrear activos en movimiento, como los envíos. [77]
- Los dispositivos LoRa tienen una batería de mayor duración que los dispositivos NB-IoT. [77]

Desventajas:

- Tasa de datos más bajas que NB-IoT. [77]
- Tiempo de latencia más largo que NB-IoT. [77]
- Requiere una puerta de enlace para trabajar (que también, en muchos casos, es una ventaja). [77]

3.5.1.2. SigFox

SigFox es un operador de red LPWAN que ofrece una solución de conectividad IoT de extremo a extremo basada en sus tecnologías patentadas. SigFox implementa sus estaciones base patentadas equipadas

con radios cognitivas definidas por software y las conecta a los servidores de back-end utilizando una red basada en IP. Los dispositivos finales conectados a estas estaciones base utilizan modulación de desplazamiento de fase binaria (BPSK) en una portadora de banda ISM sub-GHZ de banda ultra estrecha (100 Hz). SigFox utiliza bandas ISM sin licencia, por ejemplo, 868 MHz en Europa, 915 MHz en América del Norte y 433 MHz en Asia. Al emplear la banda ultra estrecha, SigFox utiliza el ancho de banda de frecuencia de manera eficiente y experimenta niveles de ruido muy bajos, lo que lleva a bajo consumo de energía, alta sensibilidad del receptor y diseño de antena de bajo costo a expensas del rendimiento máximo de solo 100 bps. SigFox inicialmente solo admitía la comunicación de enlace ascendente, pero luego evolucionó a tecnología bidireccional con una asimetría de enlace significativa. La comunicación de enlace descendente, es decir, los datos de las estaciones base a los dispositivos finales solo pueden ocurrir después de una comunicación de enlace ascendente. El número de mensajes a través del enlace ascendente está limitado a 140 mensajes por día. La carga útil máxima y la longitud de cada mensaje de enlace ascendente es de 12 bytes. Sin embargo, el número de mensajes a través del enlace descendente está limitado a cuatro mensajes por día, lo que significa que no se admite el reconocimiento de cada mensaje de enlace ascendente. La longitud máxima de carga útil para cada mensaje de enlace descendente es de ocho bytes. Sin el soporte adecuado de acuses de recibo, la fiabilidad de la comunicación de enlace ascendente se garantiza utilizando la diversidad de tiempo y frecuencia, así como la duplicación de transmisión. Cada mensaje del dispositivo final se transmite varias veces (tres por defecto) a través de diferentes canales de frecuencia. Para este propósito, en Europa, por ejemplo, la banda entre 868.180 MHz y 868.220 MHz se divide en 400 canales ortogonales de 100 Hz (entre ellos 40 canales están reservados y no se usan). Como las estaciones base pueden recibir mensajes simultáneamente en todos los canales, el dispositivo final puede elegir aleatoriamente un canal de frecuencia para transmitir sus mensajes. Esto simplifica el diseño del dispositivo final y reduce su costo. [73]

3.5.1.3. NB – IoT

NB-IoT es una tecnología de banda estrecha IoT especificada en la versión 13 del 3GPP en junio de 2016. NB-IoT puede coexistir con GSM (sistema global para comunicaciones móviles) y LTE (evolución a largo plazo) bajo bandas

de frecuencia con licencia (por ejemplo, 700 MHz, 800 MHz y 900 MHz). NB-IoT ocupa un ancho de banda de frecuencia de 200 KHz, que corresponde a un bloque de recursos en la transmisión GSM y LTE. Con esta selección de banda de frecuencia, son posibles los siguientes modos de operación, como se muestra en la figura: [73]



Figura N° 10 - Modos de operación para NB-IoT [73]

- Operación independiente: un posible escenario es la utilización de bandas de frecuencias GSM actualmente utilizadas. [73]
- Operación de banda de protección: utilizando los bloques de recursos no utilizados dentro de la banda de protección de un operador LTE. [73]
- Operación *dentro de banda*: utilizando bloques de recursos dentro de un operador LTE. [73]

Para la operación independiente, los portadores GSM en la parte derecha de la Fig. 3 se muestran como un ejemplo para indicar que la operación es posible en el despliegue NB-IoT. De hecho, el 3GPP recomienda la integración de NB-IoT junto con las redes celulares LTE. NB-IoT se puede admitir solo con una actualización de software además de la infraestructura LTE existente. [73]

El protocolo de comunicación NB-IoT se basa en el protocolo LTE. De hecho, NB-IoT reduce las funcionalidades del protocolo LTE al mínimo y las mejora según sea necesario para las aplicaciones de IoT. Por ejemplo, el sistema de back-end LTE se usa para transmitir información que es válida para todos los dispositivos finales dentro de una celda. A medida que el sistema de back-end de transmisión obtiene recursos y consume energía de la batería de cada dispositivo final, se mantiene al mínimo, tanto en tamaño como en su aparición. Fue optimizado para mensajes de datos pequeños e infrecuentes y evita las características no requeridas para el propósito de IoT, por ejemplo, mediciones para monitorear la calidad del canal, la agregación de portadora y la conectividad dual. Por lo tanto, los dispositivos finales requieren solo una pequeña cantidad de batería, lo que lo hace rentable. [73]

Ventajas:

- La cobertura sería muy buena. Los equipos NB-IoT son dependientes de la cobertura 4G, por lo que en interiores y en áreas urbanas densas funcionarían bien. [77]
- Tiempo de respuesta más rápido que LoRa y puede garantizar una mejor calidad de servicio. [77]

Desventajas:

- Es muy difícil implementar firmware por el aire (FOTA) o transferencias de archivos. Algunas de las especificaciones de diseño para NB-IoT hacen difícil enviar gran cantidad de datos a un dispositivo. [77]
- La transferencia de red y torre serán un problema, por lo que NB-IoT es el más óptimo para activos principalmente estáticos, como sensores y medidores en una ubicación fija, en lugar de activos itinerantes. [77]

3.6. Aplicaciones Verticales

Actualmente en el mercado encontramos una amplia oferta de tecnologías IoT desarrolladas por múltiples compañías, integradores, y proveedores de servicios en la nube. La mayor cantidad de soluciones se orientan a resolver problemas específicos de negocio para un rubro de la industria en particular, contemplando la provisión de todos los componentes del ecosistema y en algunos casos ofreciendo un modo comercialización del tipo servicio, todo incluido. Estas soluciones que llamaremos Soluciones Verticales por lo general manifiestan problemas de sustentabilidad y/o vendor lock-in. Algunos fabricantes han transformado su solución de Machine-to-Machine (M2M) a soluciones de IoT, incorporando soporte a dispositivos con protocolos IP, pero mantienen limitaciones de interoperabilidad, y hasta contemplan solo la integración con dispositivos conectados. De esta manera estas soluciones limitan el concepto de IoT a dispositivos y no integran bases de datos, aplicaciones, redes sociales, etc. [78]

Las plataformas IoT se pueden clasificar por la orientación que poseen al respecto del segmento de mercado objetivo para el que fueron desarrolladas. También se las conoce como Plataformas IoT Verticales dado que están orientadas a resolver las problemáticas de una “vertical de mercado”. Por ejemplo las plataformas IoT impulsadas por el concepto de Industria 4.0 (RAM 4.0), han tomado el nombre de “IIoT Platforms” (Industrial IoT Platforms), las plataformas orientadas a ciudades inteligentes han tomado el nombre de “SmartCity IoT Platforms”, las plataformas que están orientadas a integrar IoT con los procesos y sistemas de una compañía se llaman “Enterprise IoT Platforms”, las plataformas IoT orientadas a soluciones de domótica e inmótica para usuarios finales, se han llamado “Consumer IoT Platforms” y por último las plataformas que no pueden

clasificarse bajo un mercado objetivo, son Plataformas IoT de propósito general, que en oposición a las verticales, se han de llamar Plataformas IoT Horizontales. [78]

Actualmente, los gobiernos deben identificar qué aplicaciones verticales (p. ej.: agricultura, transporte, automotrices, o energía) podrían producir la mayor cantidad de beneficios para el país en el contexto de un ecosistema de IoT en pleno funcionamiento. La cuantificación de los beneficios económicos efectivos para el país debería ser realizada en base en las mejores prácticas, y abrir camino para una política basada en evidencias. Por otro lado, identificar industrias prioritarias no significa levantar barreras para otras industrias, eso podría retrasar la innovación y afectar los beneficios generales que puede ofrecer la IoT. [79]

TECNOLOGÍA CELULAR	VERTICAL	APLICACIONES	DRIVER DE CONECTIVIDAD	DESEMPEÑO
NB-IoT, LTE-M	Ciudades inteligentes	Iluminación inteligente, manejo de residuos, estacionamiento inteligente, bicicletas inteligentes, servicios inteligentes	Consumo de baja potencia, cobertura de red amplia	<ul style="list-style-type: none"> Baterías de hasta 10 años de duración¹⁹; Cobertura aumentada comparada con LTE (hasta varias veces el radio de una célula estándar dependiendo de las condiciones operativas)
	Agricultura inteligente	Calidad del agua, monitoreo de ganado, control de plagas	Cobertura para área exterior/rural, bajo costo, continuidad de servicio	<ul style="list-style-type: none"> Baja potencia y cobertura aumentada (como más arriba) Fácil despliegue Bajo costo - el precio de los módulos bajará rápidamente a USD 7 en 2025²¹
Celular V2X (red y modo directo)	Automotriz	Vehicle-to-everything (V2X), mapping, actualización de software, infoentretenimiento, telemetría	Latencia ultra-baja (aplicaciones relativas a seguridad), cobertura extendida, amplia base instalada	<ul style="list-style-type: none"> C-V2X ofrece más de 450mt² en modo directo, cobertura de área de red amplia en modo red; Hasta un 90% de vehículos con modems celulares para el año 2025.
LTE	Drones	Administración de tráfico UAV (vehículos autónomos no tripulados, por sus siglas en inglés), registro de ID, geolocalización	Cobertura aérea	<ul style="list-style-type: none"> Cobertura aérea vertical de hasta 121mt sobre el nivel de superficie²³

Figura N° 11 - Estándares actuales de IoT según verticales [79]

En América Latina y el Caribe, hasta la fecha, sólo hay un país que ha adoptado una estrategia nacional de IoT: Brasil. En 2017, Brasil desarrolló una matriz para ayudar a guiar el desarrollo del IoT en los próximos cinco años, estableciendo cuatro sectores prioritarios o “verticales”: ciudades inteligentes, salud, agroindustria y manufactura. Estos sectores están apoyados de manera transversal por cuatro sectores “horizontales”: innovación e internacionalización; capital humano; políticas de seguridad y privacidad; e infraestructura para la conectividad e interoperabilidad. Otros países de la región han comenzado a desarrollar políticas para impulsar el desarrollo del IoT. Algunos ejemplos son el “CEA-IoT” de Colombia, o Centro de Excelencia y Apropiación en IoT; el mercado virtual argentino de soluciones de IoT auspiciado por la Cámara Argentina de Internet; y un conjunto de políticas del gobierno mexicano para apoyar al sector industrial de la IoT, especialmente a la industria automotriz. [80]

3.7. MulteFire

Es una nueva tecnología innovadora diseñada para crear nuevas redes inalámbricas operando bajo la tecnología LTE de forma independiente, sin licencia o espectro compartido. Las especificaciones de la versión 1.0 de MulteFire se completaron en enero de 2017 por la Alianza MulteFire. La Alianza es una organización internacional dedicada a apoyar los intereses comunes de sus miembros, desarrolladores y usuarios en la aplicación de LTE y próxima generación de tecnología celular móvil en configuraciones que utilice solo espectro de radio sin licencia. Con MulteFire, en los espacios públicos y privados, las aplicaciones IoT (Internet de las cosas) verticales, negocios y propiedades pueden crear, instalar y operar sus propios hosts privados o neutrales de la red MulteFire en la misma forma en que lo hacen con Wi-Fi. MulteFire incorpora servicios y funcionalidad LTE de alta calidad, soporte local de servicios IP de voz y datos ya sea de forma independiente como una red privada o Inter funcionamiento con redes móviles existentes para proporcionar servicio seguro y sin problemas como anfitrión neutral. [81]

En diciembre de 2015, la alianza MulteFire fue formada por Qualcomm, Nokia, Ericsson e Intel para promover la tecnología MulteFire y varias empresas se han unido a la alianza desde entonces. El primer lanzamiento de las especificaciones técnicas para MulteFire se emitió en enero de 2017. MulteFire, similar a Wi-Fi, se basa solo en el espectro sin licencia y puede brindar servicio a usuarios con o sin tarjeta USIM (Módulo de identidad de abonado universal). Por lo tanto, MulteFire combinará los beneficios de la tecnología LTE avanzada y la simplicidad de despliegue de redes Wi-Fi. [82]

MulteFire puede ser implementado por operadores móviles tradicionales o por hosts neutrales. En consecuencia, MulteFire especifica dos arquitecturas diferentes:

- Modo de acceso a la red pública terrestre móvil (PLMN), que permite a los operadores de redes móviles extender su cobertura a la banda sin licencia, especialmente en caso de que el espectro con licencia no esté disponible en ciertas ubicaciones. [82]
- Modo de acceso Neutral Host Network (NHN), que es similar a Wi-Fi, el cual proporciona una red autónoma para acceso a Internet. Debido a la naturaleza de la transmisión en la banda sin licencia y la necesidad de adherirse al Listen-Before-Talk (LBT) requisitos, MulteFire ha introducido varias modificaciones en la interfaz aérea de radio en comparación con LTE. [82]

La versión 1.0 de MulteFire, está basado en el estándar 3GPP, diseñada para operar en el espectro con banda sin licencia a 5 GHz. Asimismo, habilita una gama completa de servicios en LTE, incluyendo la voz, banda ancha móvil. Seguridad y movilidad de usuario. Posteriormente, la versión 1.1 de MulteFire es optimizada para IoT industrial,

mejorando su potencial y ofreciendo una gama más amplia de servicios como NB-IoT y eMTC, a través del espectro sin licencia y acceso a nuevas bandas. [83]

3.8. Tecnologías de Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT)

Mediante Resolución Ministerial N° 095-2018 MTC/01.0347, publicada el 23 de febrero de 2018, se modificaron las Notas P48, P51, P52, P53, P54, P55, P57, P61, P65, P67, P68A y P73 del Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF). En dicha modificación se precisó que las bandas correspondientes a las citadas Notas, se declaran en Reserva, lo cual implica que mientras dure tal situación, el MTC no realizará nuevas asignaciones en estas bandas. Asimismo, se señala que las empresas concesionarias con asignaciones en dichas bandas, podrán seguir operando hasta el vencimiento de sus respectivos títulos habilitantes, o hasta que se dispongan modificaciones de la atribución, canalización y/o se inicien procesos de reordenamiento, en cuyo caso las empresas concesionarias deberán cumplir las disposiciones que el MTC determine. [84]

Nota	Rango de Frecuencias	Área de Asignación
P48	452,5-457,5 MHz y 462,5-467,5	A nivel Nacional
P51	698-806 MHz	A nivel Nacional
P52	806-821 MHz y 851-866 821-824 MHz y 866-869 MHz	A nivel Nacional
P53	824-849 MHz y 869-894 MHz	A nivel Nacional
P54	849-851 MHz y 935-939 MH	A nivel Nacional
P55	894-899 MHz y 939-944 MHz	Lima y Callao
	894-902 MHz y 939-947 MHz	Resto del País
P57	899-915 MHz y 944-960	Lima y Callao
	902-915 MHz y 947-960 MHz	Resto del País
P61	1427-1518 MHz	A nivel Nacional
P65	1850-1910 MHz y 1930-1990 MHz 1 710-1 770 MHz y 2 110-2 170 MHz 1 770-1 850 MHz y 1 910-1 930 MHz	A nivel Nacional
P67	1990-2025 MHz y 2170-2200 MHz	A nivel Nacional
	2500-2692 MHz	A nivel Nacional
P68A	2300-2400 MHz	A nivel Nacional
P73	3400-3600 MHz	A nivel Nacional

Figura N° 12 - Declaración de Reserva de Bandas de espectro en Perú [84]

Asimismo, mediante la citada RM, se agregó al PNAF la Nota P51A, la cual señala que las bandas de frecuencias ubicadas en los rangos de 450-470 MHz, 698-960 MHz, 1427-1518 MHz, 1710-1885 MHz, 2300-2400 MHz, 2500-2690 MHz, 1885-2025 MHz, 2110-2200 MHz y 3400-3600 MHz han sido identificadas para ser usadas en el despliegue de tecnologías IMT. [84]

En conclusión, la modificación del PNAF donde declara bajo reserva una serie de

frecuencia para el despliegue de tecnologías IMT, no se encuentra afectando el rango de 433 MHz – 435 MHz propuesto en la presente tesis, la cual se plantea que el mencionado rango de frecuencia pueda ser utilizados en los Servicio para aplicaciones IoT.

3.9. Comparativa de Tecnologías

La siguiente tabla muestra una comparativa de las tecnologías posibles que interactúan con IoT, salvo MulteFire que solo opera en la banda en la frecuencia 5GHz, para la LTE privada y aún no hay despliegues comerciales.

Tabla N° 4 - Diferencias Técnicas: SIGFOX, LORA Y NB-IOT [73]

Características	SigFox	LoRaWAN	NB-IoT
Modulación	BPSK	CSS	QPSK
Frecuencia	Bandas ISM sin licencia (868 MHz en Europa, 915 MHz en América del Norte y 433 MHz en Asia)	Bandas ISM sin licencia (868 MHz en Europa, 915 MHz en América del Norte y 433 MHz en Asia)	Bandas de frecuencia LTE con licencia
Ancho de banda	100 Hz	250 kHz y 125 kHz	200 kHz
Velocidad de datos máxima	100 bps	50 kbps	200 kbps
Bidireccional	Limitado / Half-duplex	Sí / semidúplex	Sí / semidúplex
Máximo mensajes / día	140 (UL), 4 (DL)	Ilimitado	Ilimitado
Distancia	10 km (urbano), 40 km (rural)	5 km (urbano), 20 km (rural)	1 km (urbano), 10 km (rural)
Inmunidad a la interferencia	Muy alto	Muy alto	Bajo
Autenticación y encriptación	No soportado	Sí (AES 128b)	Sí (encriptación LTE)
Permitir red privada	No	Sí	No
Normalización	La compañía SigFox está colaborando con ETSI en la	LoRa-Alliance	3GPP

	estandarización de la red basada en SigFox		
Costo Implementar	> 4000 € / Est. Base	> 100 € / Gateway > 1000 € / Est. Base	> 15000 € / Est. Base
Costo Dispositivo Final	> 2 €	3 – 5 €	> 20 €

3.10. Plan de Atribución de Frecuencias

Contiene la tabla de atribución de frecuencias de los diferentes servicios de telecomunicaciones de la República del Perú, de manera que diversos servicios operen en las bandas de frecuencia previamente definidas para cada servicio para asegurar su operabilidad, minimizar las interferencias perjudiciales y permitir en la misma banda de frecuencias, una coexistencia de servicios. [68]

El PNAF debe actualizarse periódicamente, debido a la naturaleza dinámica de la gestión de frecuencias, de acuerdo a lo establecido en las “Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones” de la “Unión Internacional de Telecomunicaciones” (UIT), los acuerdos bilaterales y multilaterales con otras administraciones y las recomendaciones de organismos internacionales, donde el Perú es miembro como por ejemplo la “Comisión Interamericana de Telecomunicaciones” (CITEL) y aquellas modificaciones, adiciones o expedición de normas nacionales, que son aplicadas a los planes de distribución de radiocanales para los servicios de radiocomunicaciones que actualmente operan, o para nuevos servicios de radiocomunicaciones. [68]

3.10.1. Categoría de los servicios primarios, permitidos y secundarios

Una banda de frecuencias se atribuye a varios servicios, cuando, en una casilla del Cuadro figura en el “Cuadro de atribución de frecuencias”, ya sea en una Región o en todo el mundo, estos servicios se clasifican de la siguiente manera: [68]

- a) Servicios primarios: Cuando el nombre está señalado en “mayúsculas” en el Cuadro (ejemplo: FIJO). [68]
- b) Servicios permitidos: Cuando el nombre está señalado en mayúsculas entre barras en el Cuadro (ejemplo:/RADIOLOCALIZACION/). [68]
- c) Servicios secundarios: Cuando el nombre está señalado en “caracteres normales” en el Cuadro (ejemplo: Móvil). [68]

Los servicios permitidos y primarios tienen los mismos derechos, a menos que, en la elaboración del plan de frecuencias, los servicios primarios, hayan sido los primeros en elegir frecuencias. [68]

Las estaciones de un servicio secundario:

- No causarán interferencias perjudiciales a los principales servicios o estaciones de servicios permitidos para los que se hayan atribuido previamente o puedan haberse atribuido frecuencias en el futuro. [68]
- No pueden reclamar protección contra interferencias perjudiciales causadas por servicios primarios o servicio permitidos que se le hayan asignado previamente o puedan asignar frecuencias en el futuro. [68]
- Pero tienen derecho a la protección contra interferencias perjudiciales ocasionadas por estaciones del mismo servicio o de otros servicios secundarios a las que se le asignen frecuencias posteriormente. [68]

3.10.2. Disposiciones del Cuadro de atribución de bandas de frecuencias

- El título del cuadro incluye dos columnas, una atribuida a la Región 2 y la otra al Perú. Estas bandas de frecuencia se utilizan para diversos servicios de radiocomunicación. [68]
- La columna correspondiente a la atribución nacional incluye dos subcolumnas, una subcolumna de atribución de la banda de frecuencia del servicio y la otra subcolumna con comentarios y observaciones relacionados con el tipo de utilización indicado. [68]
- Los números que figuran precedidos por la letra P en el Cuadro, son referidos a servicios indicados en la banda de frecuencias. [68]

3.10.3. Cuadro de atribución de bandas de frecuencias

a) Banda 433 MHz [68]

Tabla N° 5 – Plan Nacional de Atribución de Frecuencias

REGION 2	PERÚ	
	ATRIBUCION	NOTAS Y OBSERVACIONES
432 MHz – 438 MHz RADIOLOCALIZACION Aficionados Exploración de la Tierra por satélite (activo)	432 MHz – 438 MHz RADIOLOCALIZACION Radioaficionados Exploración de la Tierra por satélite (activo)	435 MHz Frecuencia de llamada P46, P47

- P46: “La utilización de esta banda por sensores del servicio de exploración de la Tierra por satélite (SETS) (activo) será conforme con la Recomendación UIT-R SA.1260-1. Las disposiciones de esta nota no

derogan de ningún modo la obligación del SETS (activo) de funcionar en calidad de servicio secundario”. [68]

- P47: “El servicio de radioaficionados por satélite podrá explotarse en las bandas 435 - 438 MHz, 1 260 – 1 270 MHz, 2 400 – 2 450 MHz, 3 400 – 3 410 MHz, y 5 650 – 5 670 MHz, siempre que no cause interferencia perjudicial a otros servicios explotados de conformidad con el Cuadro. Toda interferencia perjudicial causada por emisiones de una estación del servicio de radioaficionados por satélite será inmediatamente eliminada. La utilización de las bandas 1 260 – 1 270 MHz y 5 650 – 5 670 MHz por el servicio de radioaficionados por satélite se limitará al sentido Tierra-espacio”. [68]

Como se aprecia, la banda 433 MHz esta atribuida a otros servicios privados, por lo cual, para el uso en dispositivos IoT, que operan en esta banda de frecuencia, solo podrían operar con potencia máxima de transmisión de 10mW. En ese sentido, como los dispositivos IoT operan con una potencia mayor a 10mW, se recomienda canalizar dicha banda, en 16 canales y con un ancho de banda de 125 KHz, de acuerdo a la lista de frecuencias que deben usar los dispositivos finales según la siguiente imagen: [75]

Modulation	Bandwidth [kHz]	Channel Frequency [MHz]	FSK Bitrate or LoRa DR / Bitrate	Nb Channels	Duty cycle
LoRa	125	433.175 433.375 433.575	DR0 – DR5 / 0.3-5 kbps	3	<1%

Figura N° 13 - Lista de Canales EU433 [75]

Sugerencia de la canalización del espectro:

Tabla N° 6 – Atribución de Frecuencias (Sugerencia)

Fuente: Propia

REGION 2	PERÚ	
	ATRIBUCION	NOTAS Y OBSERVACIONES
432 MHz – 433 MHz RADIOLOCALIZACION Aficionados Exploración de la Tierra por satélite (activo)	432 MHz – 433 MHz RADIOLOCALIZACION Radioaficionados Exploración de la Tierra por satélite (activo)	432 MHz Frecuencia de llamada P46, P47

433 MHz – 435 MHz Aficionados Exploración de la Tierra por satélite (activo)	433 MHz – 435 MHz Radioaficionados Exploración de la Tierra por satélite (activo) Servicio para aplicaciones IoT	433 MHz
435 MHz – 438 MHz Aficionados Exploración de la Tierra por satélite (activo)	435 MHz – 438 MHz Radioaficionados Exploración de la Tierra por satélite (activo)	435 MHz

3.11. Propuesta de Informe para canalización de la frecuencia 433MHz en Perú

Ante la constante evolución de la tecnología y el incremento de sensores conectados a internet, lo cual quiere decir que la mayor parte de dispositivos que nos rodean están en constante monitoreo de nuestro entorno ayudando a controlar o predecir determinadas circunstancias con la ayuda de la inteligencia artificial, que a la fecha viene siendo utilizada en el análisis y procesamientos de datos por visión computacional. Sin embargo, estas tecnologías aún están siendo desplegadas en las principales ciudades del mundo, mientras que, el despliegue de dispositivos IoT es masificado a nivel global aún menor costo.

Dentro de las aplicaciones IoT, se encuentran las tecnologías de SigFox, Z-wave, ZigBee y LoRaWAN, cada una de estas con sus beneficios y desventajas. Estas tecnologías, son desplegadas con redes inalámbricas en bandas no licencias establecidas de acuerdo los planes de canalizaciones de frecuencias de cada país. En Perú nos encontramos comprendidos dentro de la región 2 establecidas por la UIT, por lo que, contamos con determinados rangos de frecuencias tales como: 902 – 915 MHz, 2 400 – 2 500 MHz, 5 725 – 5 875 MHz, etc.

En términos generales, las frecuencias de transmisión por debajo de 1GHz, gracias a su capacidad de penetración, son más útiles que las frecuencias altas para los propósitos de las aplicaciones IoT, no sólo en las aplicaciones industriales, agrícola y médicas, sino en aplicaciones IoT en general. Un ejemplo de esto se está dando en la tecnología LoRa: originalmente sólo disponible en las bandas ICM de los 868 y 915 MHz, destinadas a los rangos de frecuencias europea y americana, comprendidos en las regiones 1 y 2, respectivamente; Por lo que, están limitaciones en las bandas ICM están dando lugar, rápidamente, a transceptores en la banda de los 433 MHz. [85]

En 2017, la Subsecretaria de Telecomunicaciones (Subtel), el ente regulatorio de los servicios de telecomunicaciones de Chile, planteo un Informe de la situación actual de

los requerimientos de transmisión de datos y la estimación de la demanda prospectiva de consumo de datos para zonas agrícolas donde sugieren que se utilice las frecuencias desde 380 MHz a los 410 MHz en modalidad TDD, exclusivamente para aplicaciones IoT. Tomando en consideraciones el cálculo de ancho de banda LoRa, esta banda podría ser otorgada en bloques de 250 KHz como mínimos. [85]

Este planteamiento es debido a que el proveedor de tecnología Huawei propone estas bandas para la comunicación entre máquinas (M2M/IoT). De ser viable, se puede extender el uso a actividades de relevancia económica y social para el país, como es el caso de agricultura de precisión o establecimientos penitenciarios inteligentes. Es decir, ellos tratan de proponer una coexistencia de tecnologías IoT en bandas compartidas, orientadas a actividades económicas especificadas por el ente regulador. Cabe mencionar que, la banda sugerida no está destinada para uso ISM por la ITU-T; por lo tanto, su uso estaría sujeto a lo que disponga el organismo regulador. [85]

Si se considera el caso IoT con la tecnología LoRa, ésta utiliza la estrategia de espectro ensanchado. Esto significa que cada bit de dato es representado por un conjunto de bits de menor duración, los que se denominan chips. La modulación de LoRa envía el flujo de chips a una velocidad igual a la del ancho de banda programado. Así, un ancho de banda de 125 KHz corresponde a una velocidad de chip de 125 kbps. Adicionalmente, LoRa puede programar el número de chips por cada bit de dato real, llegando, en el caso extremo, a utilizar 12 chips por cada bit. La tecnología LoRa, puede programar 3 anchos de banda en sus módulos transceptores: 125 KHz, 250 KHz y 500 KHz. Por lo tanto, se puede generalizar adoptando un ancho de banda para requerimientos IoT de 250 KHz. [85]

En Perú, el rango de frecuencia de 380 MHz a los 410 MHz abarca varios tipos de servicios de telecomunicaciones; por lo que, para realizar el reordenamiento de estos servicios sería necesario realizar un estudio para la limpieza de este fragmento del espectro; sin embargo, existe un pequeño fragmento del espectro radioeléctrico comprendido entre el rango de 433 – 435 MHz, el cual puede ser canalizado como espectro para servicios IoT e iniciar el despliegue con redes LoRaWAN, esto es debido a que los dispositivos finales EU433 pueden funcionar en la banda de frecuencia: 433,05 a 434,79 MHz y presentar una estructura de datos de canal para almacenar parámetros de hasta 16 canales.

Para poder plantear un propuesta de informe para realizar esta canalización sería necesario contar con una propuesta de plan piloto sugerida por una empresa o entidad estatal que pueda desplegar y administrar esta tecnología, posteriormente sería necesario que el ente regulador del espectro radioeléctrico, en este caso el Ministerio de Transporte y Comunicaciones, solicite la intervención de otras entidades interesadas en

el despliegue de esta tecnología y poder realizar las pruebas de campo necesarias, para poder concluir y masificar la tecnología IoT dentro de todo el territorio peruano.

Finalmente, sería necesario poder establecer una mesa de diálogo entre empresas del sector comunicación y el MTC para poder sugerir y elaborar un grupo de estudio de las nuevas tecnologías inalámbricas que podrían contribuir a que el Perú este dentro de las principales ciudades tecnológicas y encaminar algunas de nuestra ciudad a que se puedan convertir en pilotos de Smart Cities.

3.12. Elección de tecnología

Basándonos en la comparativa hecha en el punto 3.9, se toma la decisión de utilizar el protocolo LoRaWAN. Aunque se trata de una tecnología cuyo despliegue depende de la cobertura y aplicación, es realizada por quien va hacer uso de la tecnología, ya que no existe una infraestructura predeterminada por las empresas operadoras. A continuación, se detallan las razones principales de su elección.

- **Facilidad de despliegue:** como se necesita que sea una tecnología que opere en las frecuencias no licenciadas de Perú, no se puede usar NB-IoT, debido a que opera en bandas licenciadas, solo podría usarse la SigFox o LoRaWAN.
- **Costo de despliegue:** el costo en LoRaWAN es mucho más cómodo.
- **Inmunidad de interferencia:** SigFox y LoRaWAN son las que mayor inmunidad a la interferencia tienen.
- **Ancho de banda:** LoRaWAN es la que mayor ancho de banda tiene, en comparación con las otras 02
- **Mensajes transmitidos:** la tecnología LoRaWAN puede transmitir mensajes de forma ilimitada en comparación con la SigFox que es de 140
- **Comunicación bidireccional:** SigFox es limitado en este aspecto.
- **Seguridad:** SigFox no es una tecnología segura, es decir, no maneja algún protocolo de seguridad como lo usa LoRaWAN a través de la encriptación AES.

Debido a que en las prisiones se encuentran bloqueadas las frecuencias usadas por los operadores y en la banda de 900 MHz, está bloqueada en el rango 894 - 915 MHz, según la tabla N.º 2 en el punto 2.4.1.2, se considera usar la frecuencia 433 MHz, debido a que, se tiene un mayor radio de cobertura. Sin embargo, se recomienda que el Ministerio de Transportes y Comunicaciones debe canalizar esta frecuencia hasta los 125 KHz, para poder hacer uso de esta frecuencia en su máximo potencial.

3.13. Equipos basados en la tecnología LoRaWAN

3.13.1. Dispositivo IoT

a) RAK813 [86]

- Frecuencia: 433MHz, 470MHz, 863 MHz, 928MHz
- Interface: UART, SPI, I2C, GPIOs
- Transmisión: LoRa: 14dBm, 20 dBm (máx.)
- BLE: -20dBm a +4dBm in 4 dB steps
- Recepción: LoRa: -146 dBm, BLE: -96dBm
- Alcance: 15km
- Aplicaciones: Conservación del agua / Agricultura / Monitoreo del medio ambiente / Estacionamiento / Sistema de estacionamiento / Alumbrado público / Ciudades inteligentes / Activos / Posicionamiento del personal / Detector de humo / Sensación térmica / Monitoreo y control industrial.

b) LSN50 [87]

- Frecuencia: 433MHz, 868 MHz, 915MHz, 915MHz
- Interface: I2C, LPUSART1, USB
- Transmisión LoRa: 14dBm, 20 dBm (máx.)
- Recepción LoRa: -148 dBm
- LoRa Chip: sx1276/sx1278
- Temperatura de operación: -40°C ~ 85°C
- Capacidad: 4000mAh
- Auto descarga: < 1% / año
- Información: LSN50-XX-YY
 - XX:
 - 433: Best Tuned at 433MHz
 - 868: Best Tuned at 868MHz
 - 915: Best Tuned at 915/920 MHz
 - YY:
 - 12: With M12 waterproof cable hole
 - 16: With M16 waterproof cable hole
 - 20: With M20 waterproof cable hole
- Aplicaciones: Sistemas inalámbricos de alarma y seguridad, automatización de viviendas y edificios, lectura automática de medidores, monitoreo y control industrial, sistemas de riego de largo alcance, etc.

c) RF1276T [88]

- Alcance: 5km
- Transmisión: LoRa: Max100 mW. (20 dBm)
- Frecuencia: 169MHz, 410MHz - 510MHz, 868MHz o 915MHz
- Recepción LoRa: -148dBm
- Espacio de canal: 125KHz-500KHz
- Aplicaciones: Lectura automática de medidores (AMR), control remoto, sistema de medición remota, control de acceso, recopilación de datos, sistema de identificación, electrodomésticos de TI, sistema de alarma inalámbrico.

d) SX1279 [89]

- Rango de frecuencia: 137 – 960 MHz
- Ancho de banda (BW) = 7.8 – 500 KHz
- Packet Error Rate (PER)= 1%
- Potencia transmisión: +20 dBm RF output
- Longitud de carga útil = 64 bytes
- Sensibilidad de recepción: -111 to -148 dBm
- Modulación: FSK, GFSK, MSK, GMSK

Name	Frequency Limits	Products
Band 1 (HF)	862 (*779)-1020 (*960) MHz	SX1276/77/79
Band 2 (LF)	410-525 (*480) MHz	SX1276/77/78/79
Band 3 (LF)	137-175 (*160)MHz	SX1276/77/78/79

* For SX1279

Figura N° 14 - Bandas de Frecuencia [89]

3.13.2. Gateway IoT

a) LG02 [90]

- 2 x módulos LoRa SX1276 / SX1278
- Administrado por Web GUI, SSH vía LAN o WiFi
- Conexión a internet vía LAN, WiFi, 3G o 4G vía opcional módulo LTE
- LoRa banda: 433/868/915/920 MHz
- Max rango en LoRa: 5 ~ 10 km
- WiFi : 802.11 b/g/n
- 2 puertos 10M/100M RJ45
- Aplicaciones: Sistemas inalámbricos de alarma y seguridad, automatización de

viviendas y edificios, lectura automática de medidores, monitoreo y control industrial, sistemas de riego de largo alcance, rastreador GPS, etc.

- Información: LG02-XX-YY
 - XX:
 - 433: Best Tuned at 433Mhz
 - 868: Best Tuned at 868Mhz
 - 915: Best Tuned at 915/920 MHz
 - YY:
 - EC25-AU: With Quectel
 - EC25-AU EC25-E: with Quectel
 - EC25-E EC25-A: With Quectel EC25-A.

b) RAK7258 [91]

- Conexión a internet vía LAN, WiFi, 3G o 4G vía opcional LTE module
- 100M base-T Ethernet con PoE (802.3 af)
- Características WIFI: 802.11b/g/n, 20 dBm. (máx.), 1-13 canales
- Frecuencia: EU433/CN470/EU868/US915/AS923/AU915/IN865/KR920
- TX potencia: 27 dBm (Max)
- RX sensibilidad: -142 dBm (Min)
- Interfaces: RJ45(10/100M), RJ45 (RS232), LoRa: RP-SMA conector hembra
- Max rango: 15 km
- Además, el Gateway puede actuar como un puente MQTT e integrarse con otros datos de la aplicación de reenvío de Gateway.

Entre las 02 opciones vamos a considerar como el más óptimo el Gateway RAK7258, debido que permite la configuración de la potencia y alcance de cobertura por software, así como cumple con la característica de ser PoE y trabaja como repetidor.



CAPÍTULO 4: DISEÑO DE LA RED IOT

El sistema de seguridad en las cárceles peruanas, está mejorando lentamente a lo largo de los años, gracias a la tecnología y a empresas privadas que invierten en el control y monitoreo de lo que ocurre dentro de las prisiones. No obstante, existen muchas limitaciones debido al poco personal penitenciario, al hacinamiento que crece exponencialmente y la inversión en la creación de nuevas cárceles para poder hacer una redistribución de los reclusos a nivel nacional. En ese sentido, es que el diseño de una cárcel inteligente es una alternativa de solución para el control de la seguridad, gracias a la instalación de Dispositivos IoT en los diferentes ambientes y hasta en el mismo cuerpo, que permitirán monitorear la rutina diaria de los internos y hasta posibles acciones inesperadas que ellos hagan, de esta manera, puedan controlarse a tiempo y evitar daños colaterales.

4.1. Objetivos

- Mejorar el orden y seguridad en los pabellones dentro de un penal.
- Monitorear algunas actividades de los internos para evitar acciones inesperadas.
- Automatizar el procedimiento de registro de los internos.
- Brindar servicios adicionales de seguridad dentro de un establecimiento penitenciario y evitar interferencias con los servicios que actualmente se brindan.

4.2. Red LoRaWAN

LoRaWAN es el protocolo de comunicación de red, basado en el LoRa capa de comunicación, que permite operar una red de Dispositivos IoT y puertas de enlace. [92]

Las radiofrecuencias autorizadas para LoRaWAN son diferentes entre las regiones del mundo, 868 MHz para Europa, 915 MHz en EEUU y Sudamérica, asimismo 923 MHz para Asia. [92]

El principio operativo general de una red LoRaWAN es el siguiente: un intercambio de mensajes entre el Dispositivo IoT y su aplicación: [92]

UPLINK - del sensor LoRaWAN a la aplicación [92]

- El sensor LoRaWAN, también llamado "End-Node", emite mensajes, ya sea a intervalos regulares o por evento. Estos mensajes contienen una carga útil, lo útil contenido que deberá decodificarse para obtener información útil. Estamos hablando acerca de los mensajes UPLINK.
- Estos mensajes se transmiten a un servidor de red a través de una red de antena (las puertas de enlace LoRaWAN).
- El servidor de red luego envía mensajes al software que procesará y verlos a menudo a través de una plataforma de software dedicada a IOT.

DOWNLINK - de la aplicación al sensor LoRaWAN [92]

- La aplicación envía un mensaje al sensor. Puede ser un comando para un actuador, o un cambio de parámetro / configuración.
- Estos mensajes se transmiten al servidor de red, que lo transmitirá al Sensor LoRaWAN, ya sea inmediatamente (en modo de funcionamiento de Clase C) o tan pronto como el sensor envía un mensaje UPLINK (en modo operativo Clase A).

El servidor de red también intercambia ciertos mensajes de forma autónoma con los "Dispositivo IoT". Para la activación del sensor (negociación de claves de cifrado), configure el tipo de transmisión (Velocidad de datos adaptativa...) o para confirmar la recepción de mensajes (si este modo está habilitado). [92]

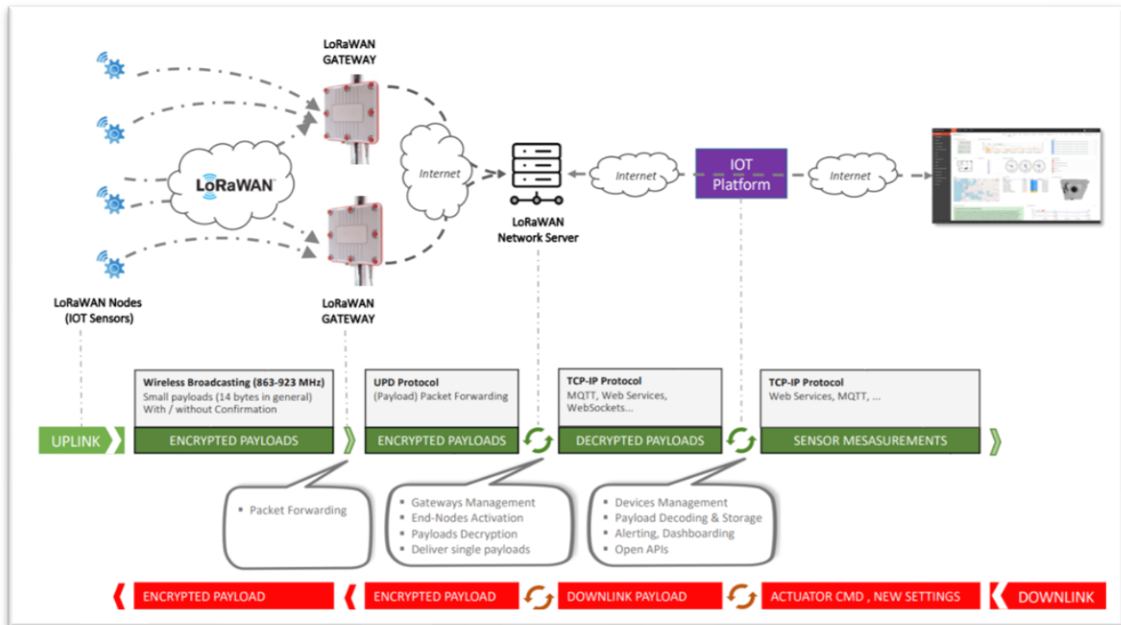


Figura N° 15 - Componentes de una red LoRaWAN [92]

4.2.1. Dispositivo IoT

El principio general de un dispositivo LoRa es transmitir mensajes, de 12 bytes, ya sea en función de un evento (medido, por ejemplo, el parado de una máquina), o en una frecuencia predefinida (por ejemplo, todas horas) Como máximo, el dispositivo puede enviar 140 mensajes por día, uno cada 10 minutos en promedio. [92]

De hecho, la realidad es más compleja. Y permite intercambios de datos potencialmente más grandes. Porque la regla se basa en las características legales de la banda de frecuencia ISM (Instrumentos, Científicos, Medical) utilizado por LoRaWAN. Es de uso gratuito, pero un sensor no puede utilizar más del 1% (del tiempo). Por lo tanto, es necesario analizar la potencia de transmisión, y la frecuencia y duración de la transmisión para determinar el número de mensajes autorizados, y el tamaño del mismo. [92]

Esta característica se llama Factor de difusión. Un pequeño factor de propagación significa más rápido, transmisión más corta y, por lo tanto, la capacidad de comunicar más datos. Por el contrario, un SF12 factor de propagación requerirá un mayor tiempo de comunicación. Este factor de difusión será determinado por la calidad de su red LoRaWAN (incluida la distancia entre Gateway y el sensor). Cuanto más densa sea la red de Antenas, mejor. Los Dispositivos IoT de velocidad de datos adaptativa pueden ser configurados, lo que significa que el Factor de propagación se adaptará a condiciones locales. Sin embargo, tenga en cuenta que el factor de propagación ideal también dependerá de si el sensor se mueve o se queda quieto. [92]

4.2.2. Gateway IoT

Las puertas de enlace LoRaWAN gestionan la comunicación por radio con los dispositivos LoRa, los cuales son administrados y controlados por el servidor de red. La estación base está conectada al servidor de red, ya sea a través de un Cable Ethernet, una tarjeta 3G / 4G o WIFI. [92] Entre los parámetros importantes de un Gateway LoRaWAN, el número de canales de comunicación. Este parámetro es el factor que limitará la cantidad de Dispositivos IoT que pueden ser conectados a ella. Para hacer un simple cálculo, se puede considerar que una comunicación de un dispositivo tarda aproximadamente 2 segundos como máximo lo que ocupará un canal de comunicación por 2 segundos. [92]

4.2.3. Servidor de red LoRaWAN

Es el elemento central de una red LoRaWAN. Él está a cargo de:

- Gestión de diferentes puertas de enlace LoRaWAN (las "antenas"). [92]
- Activación de "dispositivos" en la red, su autorización para comunicarse, gestión de claves de seguridad. [92]
- Cifrado y descifrado de cargas útiles (mensajes enviados / recibidos de los Dispositivos IoT). [92]
- Recepción de cargas útiles de enlace ascendente de Dispositivos IoT. [92]
- Envío de cargas útiles de enlace descendente a Dispositivos IoT. [92]
- La gestión de los planes de frecuencia LoRa utilizados y la velocidad de datos adaptativos, que corresponde a una parametrización dinámica de las emisiones del sensor LoRa según las condiciones locales (distancia, calidad de transmisión, etc.). [92]
- La transmisión de mensajes a la plataforma de software y aplicaciones remotas, generalmente a través de MQTT, servicios web o sockets web. [92]

Algunos ejemplos de los servidores LoRaWAN tenemos: The Things Network (TTN), Ursalink, The Things Industries, LoRaServer, Everynet, ThingPark – Actility, etc. [92]

4.2.4. Plataforma de software IoT y aplicación comercial

Finalmente, los datos recopilados por los dispositivos LoRa deben ser interpretados, almacenados y visualizados. Este es el rol de la aplicación empresarial, que se implementa con mayor frecuencia en una plataforma de software IOT. En las características esperadas para una plataforma de software IOT, encontramos: [92]

- Decodificación, procesamiento y almacenamiento de datos del sensor.
- La gestión de la flota de dispositivos LoRa (sensores / actuadores)

- La generación de alertas basadas en reglas (por ejemplo: exceder un umbral ...)
- La capacidad de generar informes y analizar datos, posiblemente basados en Artificial Inteligencia (IA) o aprendizaje automático (mantenimiento predictivo / preventivo)
- La capacidad de crear sus propios paneles.
- Y, por supuesto, poder interactuar, a través de API, con sistemas / softwares remotos.

Algunos ejemplos de plataformas de Software IoT tenemos: IoT Factory [93], LORIOT [94], Amazon AWS [94], IBM Bluemix [94], Google IoT Core [94], Azure IoT [94], etc.

4.3. Procedimiento

Para la presente tesis, se va considerar el despliegue en los penales de Lima, donde la empresa Prisontec ha desplegado su red: Callao, Castro Castro, Lurigancho y Ancon 2. El penal de Ancón 1 no se va considerar, debido a que se encuentra en un régimen cerrado especial, mediante Resolución Suprema N° 264-2004-JUS de fecha 15 de diciembre. [55]

- Definir los parámetros que se desea medir y controlar, en este caso serán los parámetros de temperatura del ambiente, movimiento, temperatura térmica humana y huella dactilar.
- Definir el dispositivo IoT que se adapte a la necesidad y las variables que se van a medir.
- De acuerdo a la cantidad de dispositivos y la ubicación de ellos, se define el Gateway a utilizar.
- Definir el servidor LoRaWAN si se desea contar con licencia o libre, lo recomendable es usar licenciado para mejor seguridad de los datos.
- Definir la plataforma de software IoT, dependiendo de la administración y gestión de los datos que se tenga.
- Simular la ubicación de los dispositivos y Gateway a través del programa Google Earth para poder obtener las coordenadas geográficas.
- Realizar pruebas de cobertura de propagación de los Gateway, con las coordenadas obtenidas en el Google Earth, las pruebas se realizaron con el software Radio Mobile, ya que es un software libre.
- Realizar el diagrama de red y definir el direccionamiento a usar en la LAN de cada establecimiento penitenciario, haciendo uso del protocolo IPv6.
- Contratar servicios de internet de al menos 02 operadores para tener redundancia y que la interconexión entre las sedes y la central del INPE, sea a través de fibra óptica.

4.4. Ubicaciones geográficas

Haciendo uso del software Google Earth, se ubicó a los 04 establecimientos penitenciarios de Lima (Ancón 2, Callao, Castro Castro y Lurigancho). Se obtuvo las coordenadas de cada uno, tal como se muestra:

4.4.1. Establecimiento Penitenciario de Ancón 2

- Coordenadas: $11^{\circ} 48' 45''$ S // $77^{\circ} 07' 07''$ O



Figura N° 16 – Ubicación Geográfica EP ANCON 2

Fuente: Google Earth

4.4.2. Establecimiento Penitenciario de Callao

- Coordenadas: $12^{\circ} 01' 06''$ S // $77^{\circ} 08' 99''$ O

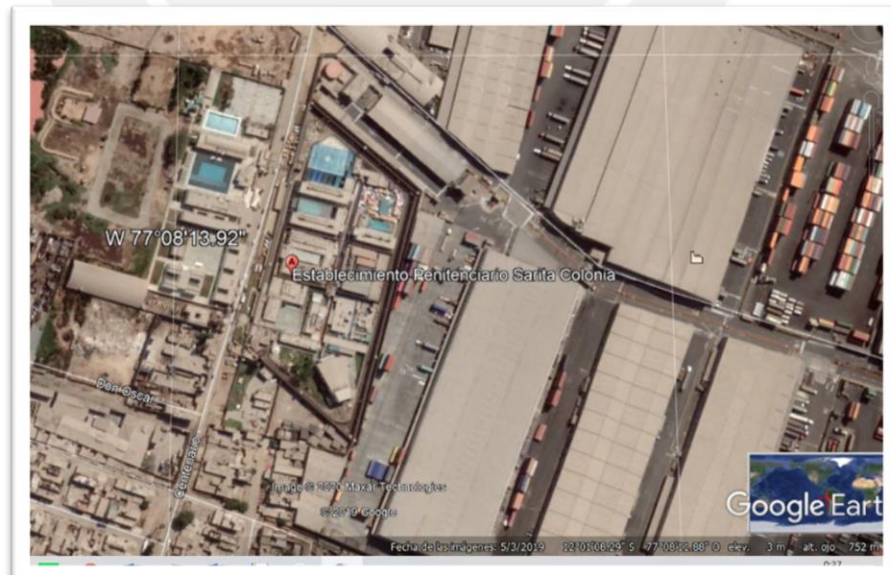


Figura N° 17 – Ubicación Geográfica EP Callao

Fuente: Google Earth

4.4.3. Establecimiento Penitenciario de Castro Castro

- Coordenadas: 11° 58' 58" S // 76° 59' 24" O



Figura N° 18 - Ubicación Geográfica EP Castro Castro

Fuente: Google Earth

4.4.4. Establecimiento Penitenciario de Lurigancho

- Coordenadas: 11° 59' 29" S // 76° 59' 47" O



Figura N° 19 – Ubicación Geográfica EP LURIGANCHO

Fuente: Google Earth

4.5. Ubicación de los Gateway IoT y Dispositivos IoT

4.5.1. Establecimiento Penitenciario Ancón 2

- Coordenadas Gateway IoT: $11^{\circ}48'49.57''S$ // $77^{\circ}7'9.29''O$



Figura N° 20 – Ubicación Gateway IoT y Dispositivo IoT ANCON 2

Fuente: Google Earth

4.5.2. Establecimiento Penitenciario Callao

- Coordenadas: $12^{\circ}1'7.89''S$ // $77^{\circ}8'11.41''O$

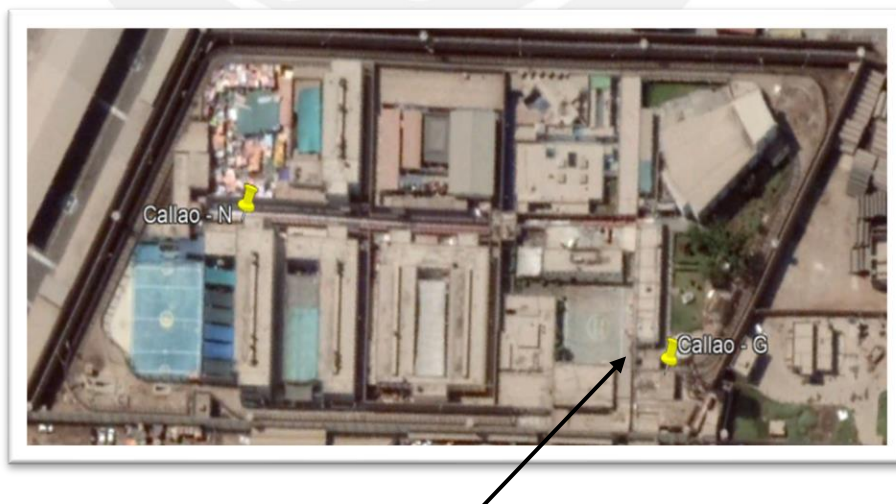


Figura N° 21 - Ubicación Gateway IoT y Dispositivo IoT Callao

Fuente: Google Earth

4.5.3. Establecimiento Penitenciario Castro Castro

- Coordenadas: $11^{\circ}59'0.76''S$ // $76^{\circ}59'23.32''O$



Figura N° 22 - Ubicación Gateway IoT y Dispositivo IoT Castro Castro

Fuente: Google Earth

4.5.4. Establecimiento Penitenciario Lurigancho

- Coordenadas: $11^{\circ}59'26.58''S$ // $76^{\circ}59'47.23''O$



Figura N° 23 - Ubicación Gateway IoT Lurigancho y Dispositivo IoT Lurigancho

Fuente: Google Earth

4.6. Pruebas de cobertura

Las pruebas de cobertura de propagación se realizaron haciendo uso del Software Radio Mobile, simulando los parámetros de configuración del Gateway IoT.

4.6.1. Ancón 2

- Configurar las propiedades del mapa, tomando como referencias las coordenadas obtenidas del Google Earth, ubicamos las mismas coordenadas en el Radio Mobile en la opción de “Unit Properties”.

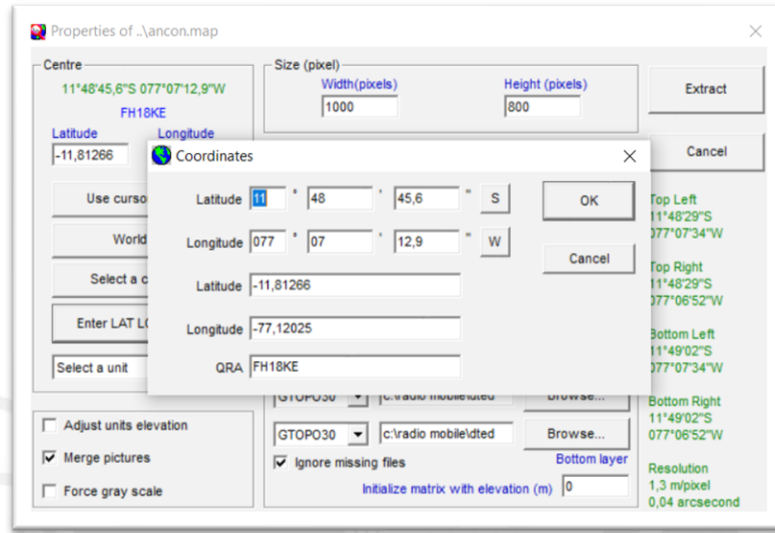


Figura N° 24 - Configuración Coordenadas – EP ANCÓN 2

- Configurar las propiedades de red, que en este caso llamaremos IoT y establecemos el rango de frecuencias en la opción “Network Properties”.

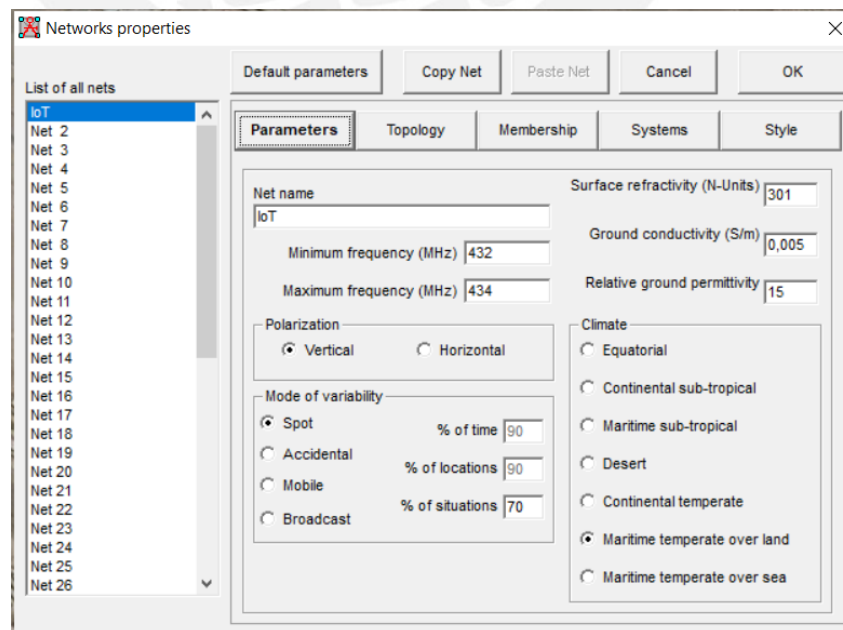


Figura N° 25 - Configuración Frecuencias – EP ANCÓN 2

- Configuración de los parámetros radioeléctricos

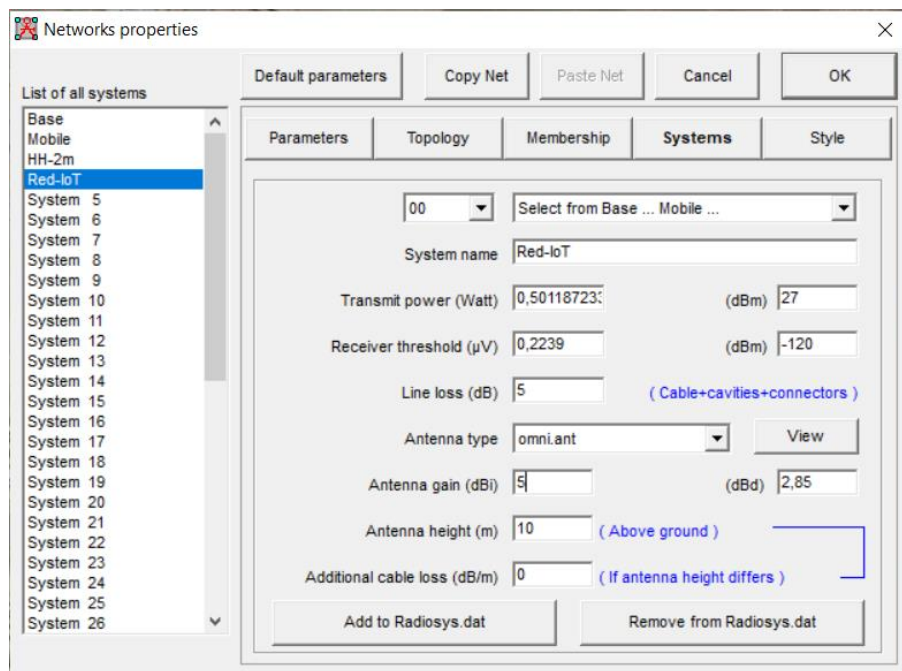


Figura N° 26 - Configuración Potencia TX - RX, Pérdida – EP ANCÓN 2

- Configuramos las coordenadas en la opción de propiedades de unidad y establecemos la Unidad Gateway IoT y la unidad Dispositivo IoT

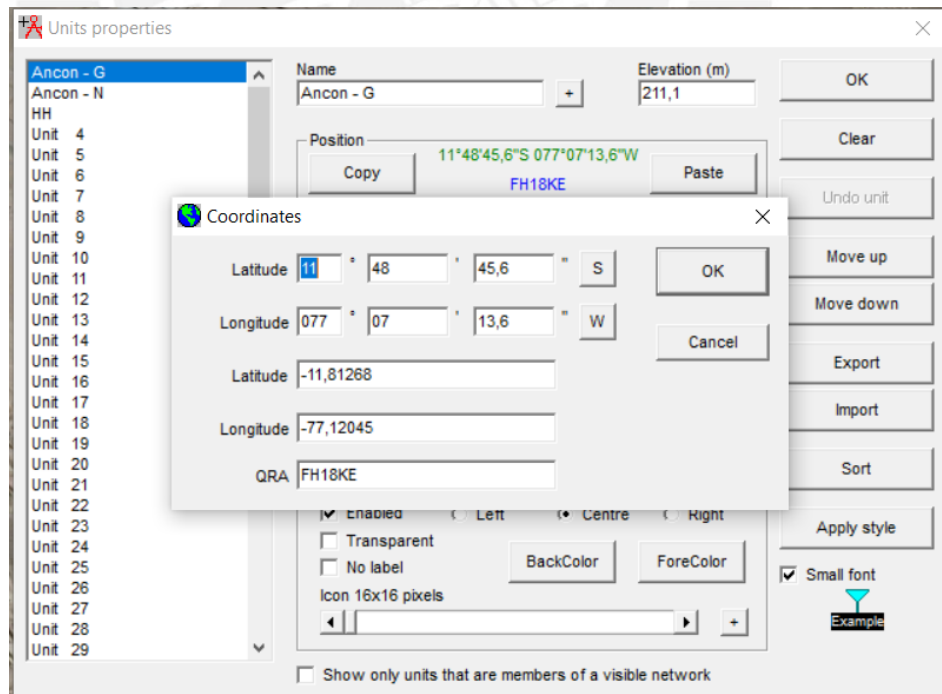


Figura N° 27 - Ubicación Geográfica del Gateway IoT Ancón 2

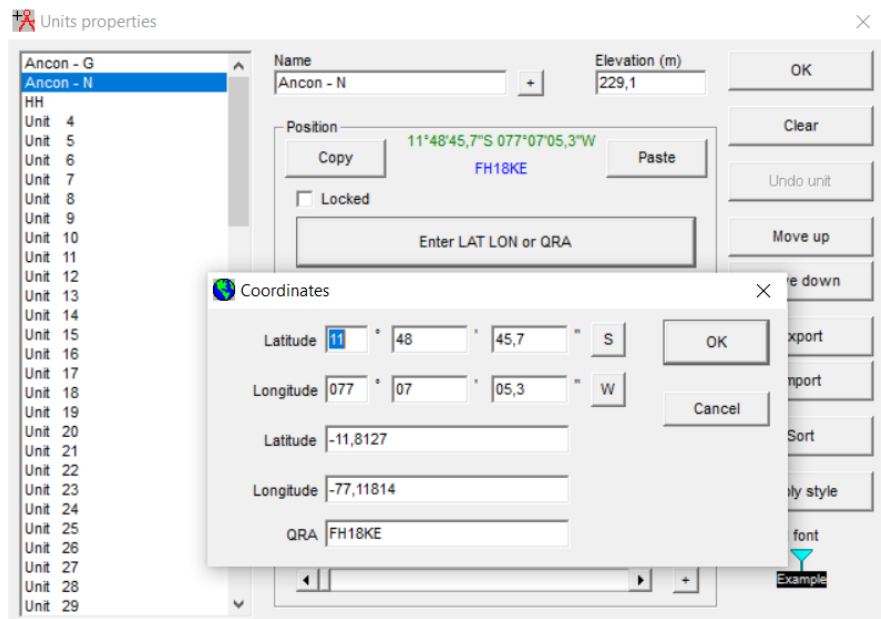


Figura N° 28 - Ubicación Geográfica del Dispositivo IoT Ancón 2

- Luego hacer click en “Tools”, luego en “Radio Coverage”, luego el Single Polar, seleccionar como Unidad Central al Gateway IoT y como Unidad Móvil al Dispositivo IoT y por último en la opción “Draw”.

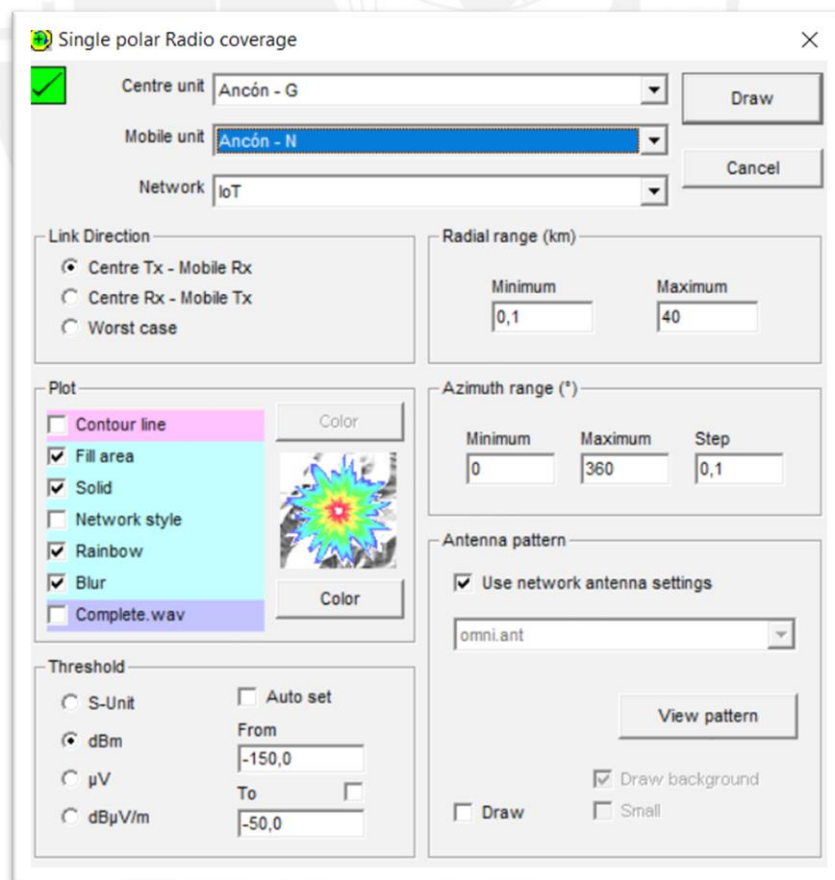


Figura N° 29 - Configuración Gateway IoT - Dispositivo IoT Ancón 2

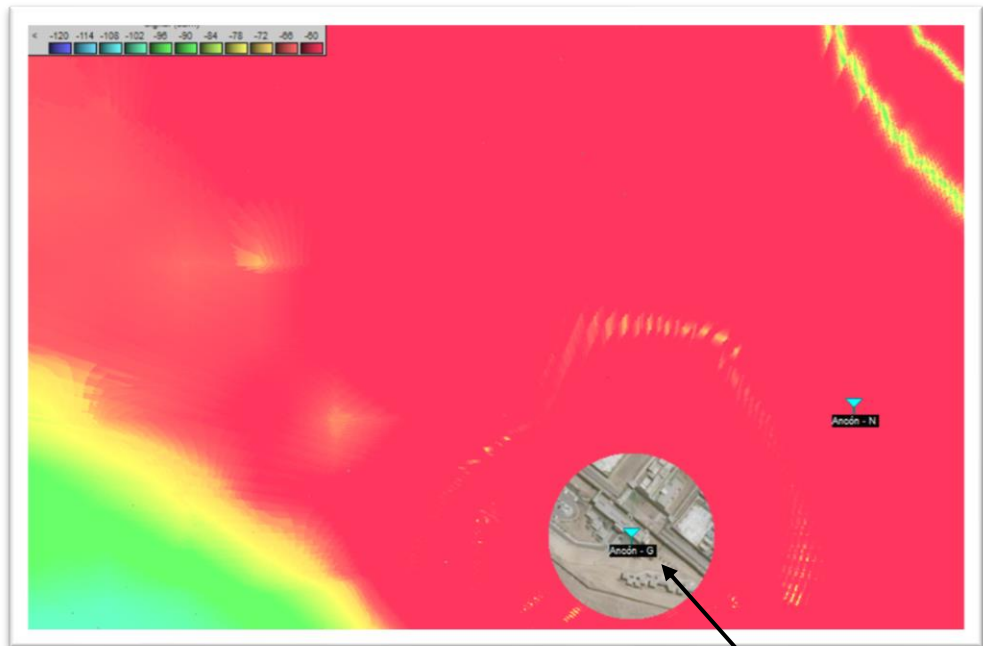


Figura N° 30 - Diagrama de Cobertura de Propagación - Gateway IoT Ancón 2

Al respecto se observa que la cobertura de radio propagación desde el Gateway IoT, donde señala la flecha, hacia el Dispositivo IoT, cubre toda la superficie del establecimiento penitenciario con una sensibilidad de recepción de -60dBm.

4.6.2. Castro Castro

- Configurar las propiedades del mapa, tomando como referencias las coordenadas obtenidas del Google Earth, ubicamos las mismas coordenadas en el Radio Mobile en la opción de “Unit Properties”.

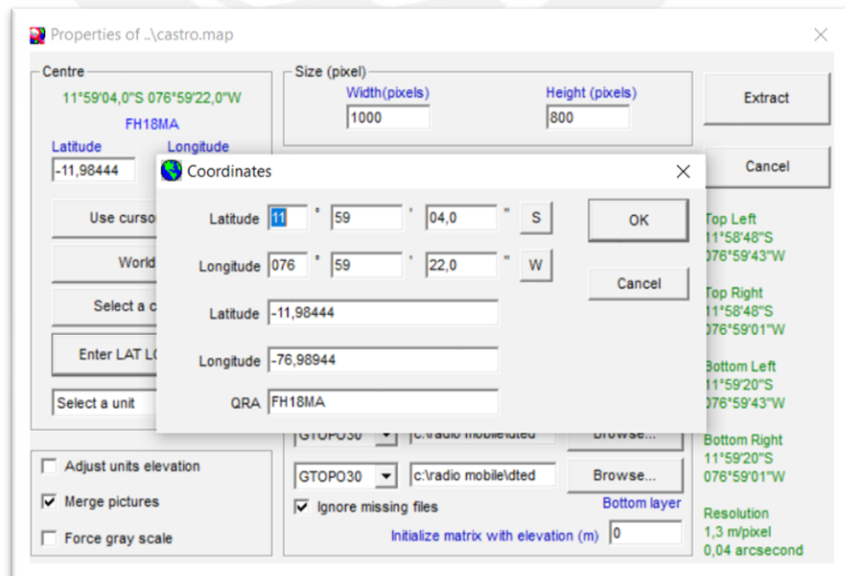


Figura N° 31 - Configuración Coordenadas EP Castro Castro

- Configurar las propiedades de red, tomamos la Red IoT creada anteriormente y establecemos el rango de frecuencias en la opción “Network Properties”.

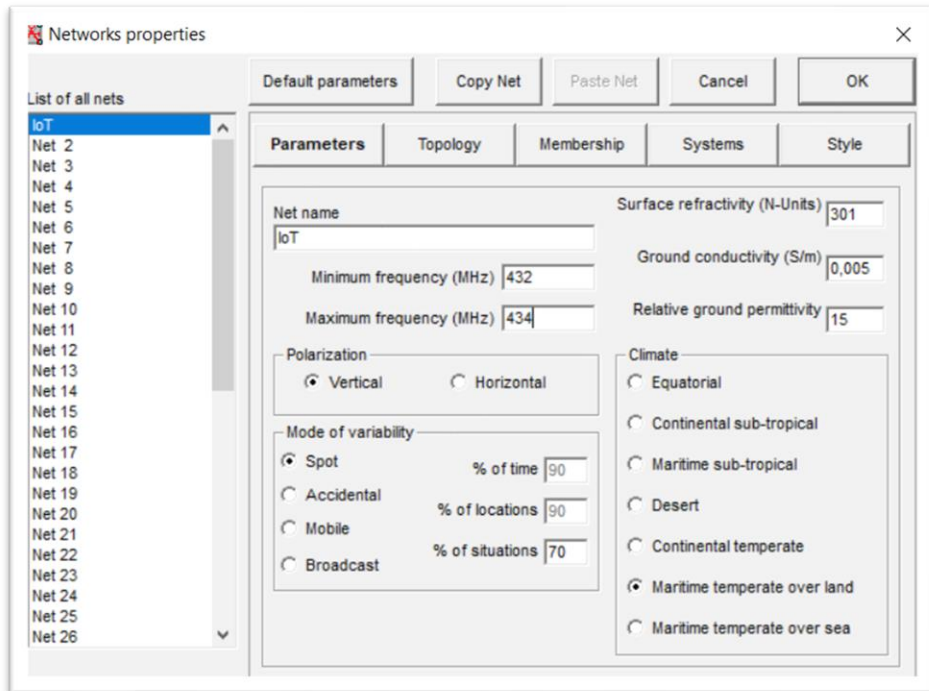


Figura N° 32 - Configuración de frecuencias EP Castro Castro

- Configuración de los parámetros radioeléctricos

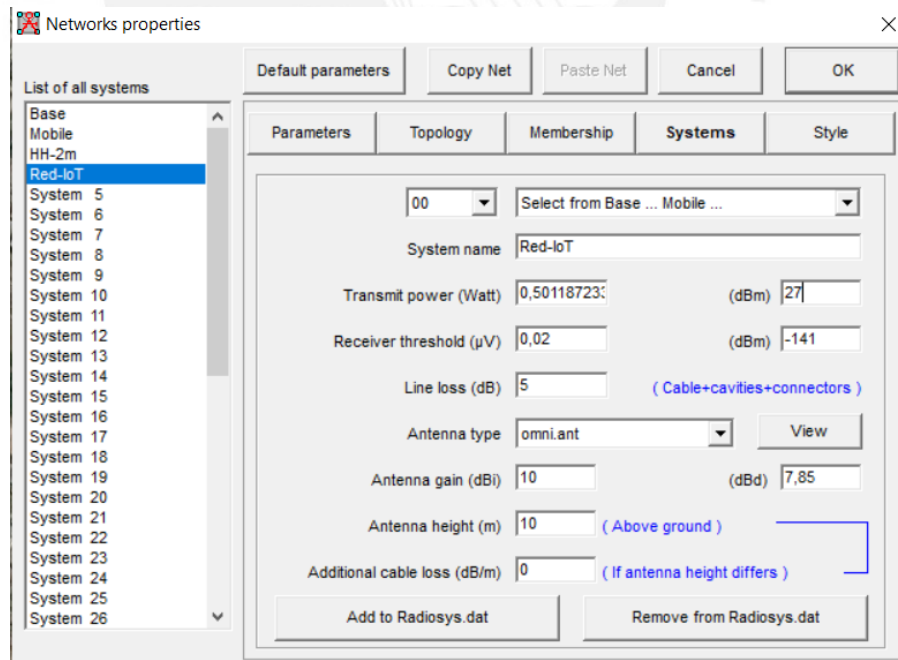


Figura N° 33 - Configuración parámetros radioeléctricos EP Castro Castro

- Configuramos las coordenadas en la opción de propiedades de unidad y establecemos la Unidad Gateway IoT y la unidad Dispositivo IoT

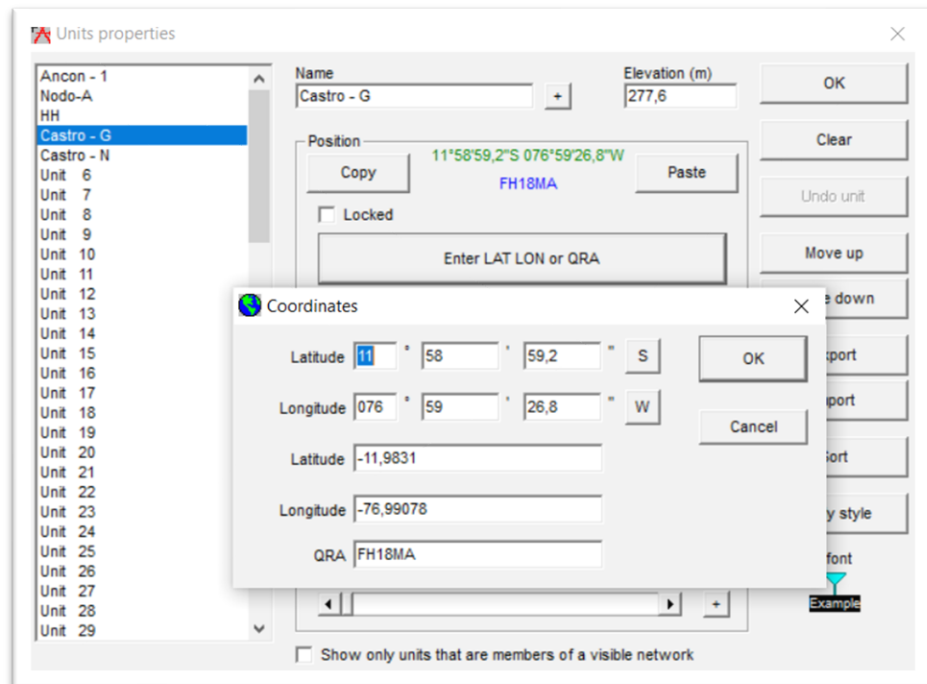


Figura N° 34 - Ubicación Geográfica del Gateway IoT Castro Castro

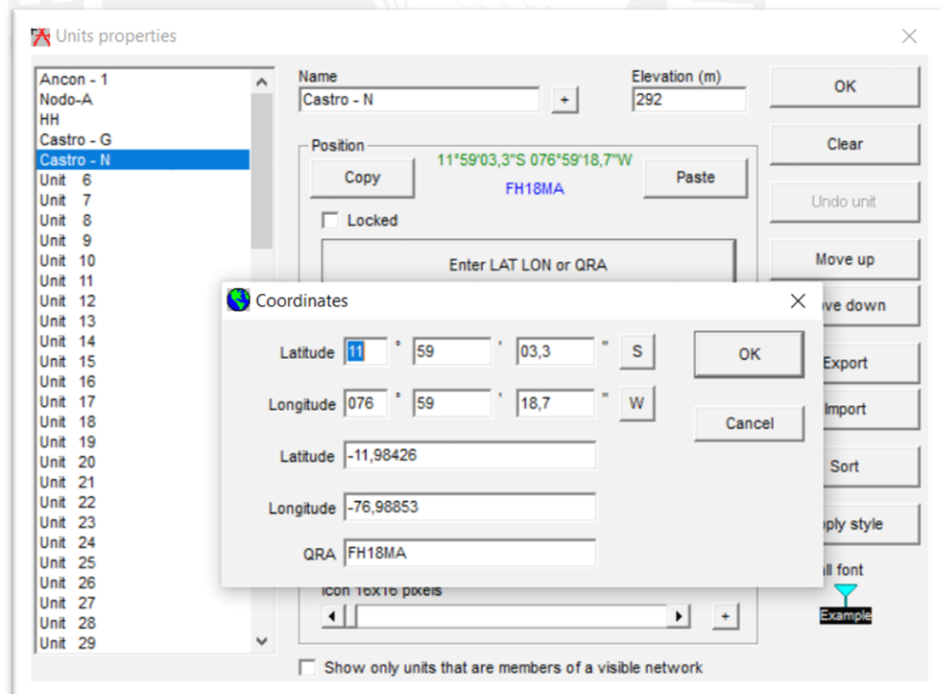


Figura N° 35 - Ubicación Geográfica del Dispositivo IoT Castro Castro

- Luego hacer click en “Tools”, luego en “Radio Coverage”, luego el Single Polar, seleccionar como Unidad Central al Gateway IoT y como Unidad Móvil al Dispositivo IoT y por último en la opción “Draw”.

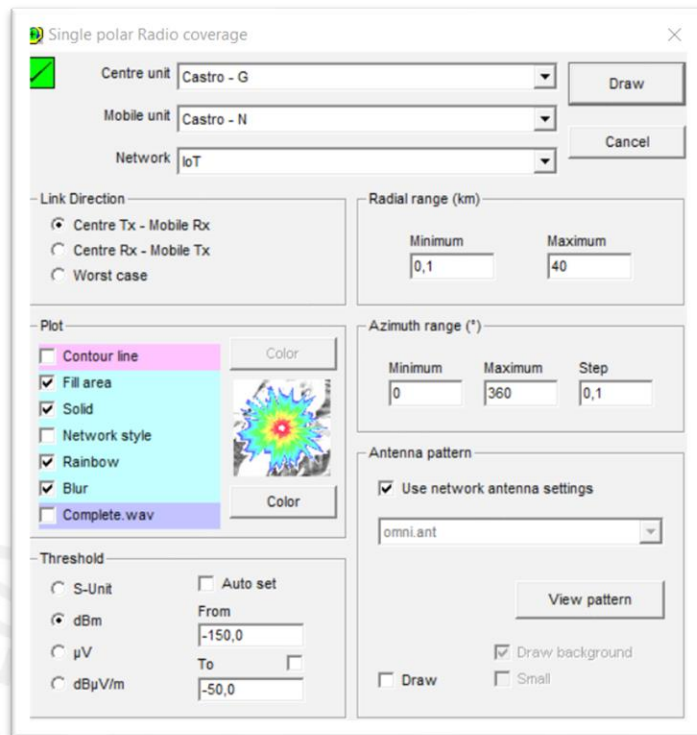


Figura N° 36 - Configuración Gateway IoT - Dispositivo IoT Castro Castro

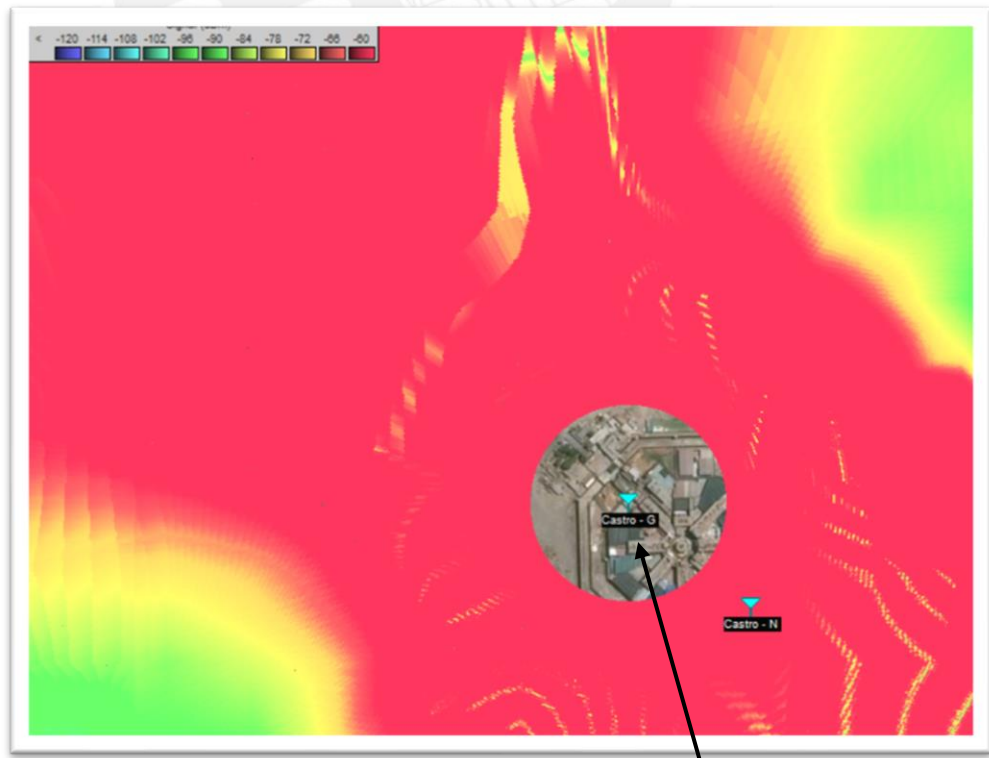


Figura N° 37 - Diagrama de Cobertura de Propagación Gateway IoT Castro Castro

Al respecto se observa que la cobertura de radio propagación desde el Gateway IoT, donde señala la flecha, hacia el Dispositivo IoT, cubre toda la superficie del establecimiento penitenciario con una sensibilidad de recepción de -60dBm.

4.6.3. Callao

- Configurar las propiedades del mapa, tomando como referencias las coordenadas obtenidas del Google Earth, ubicamos las mismas coordenadas en el Radio Mobile en la opción de “Unit Properties”.

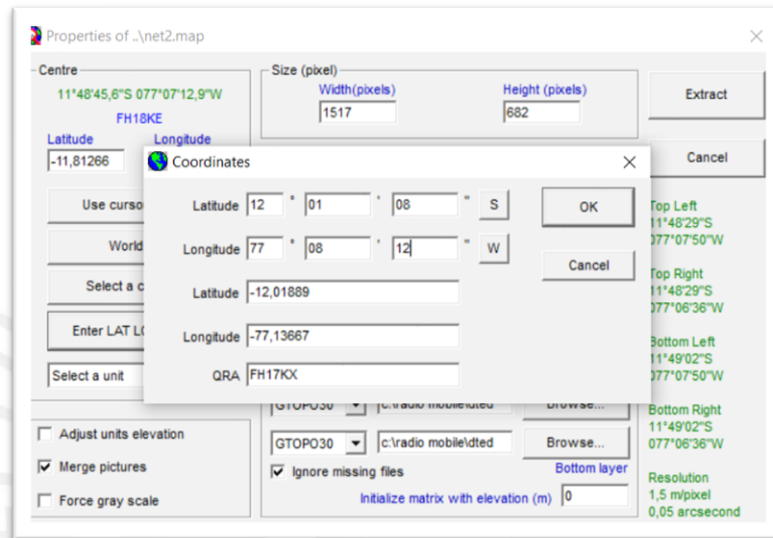


Figura N° 38 - Configuración Coordenadas EP Callao

- Configurar las propiedades de red, tomamos la Red IoT creada anteriormente y establecemos el rango de frecuencias en la opción “Network Properties”.

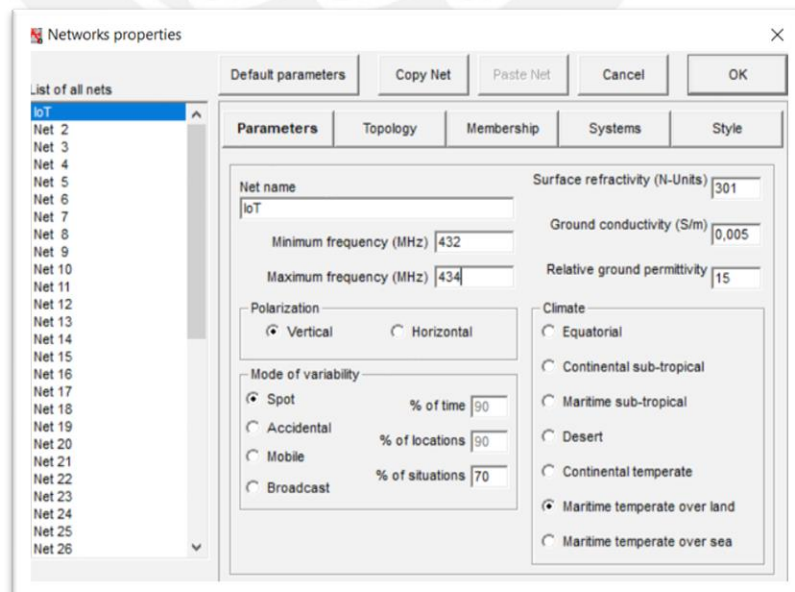


Figura N° 39 - Configuración de frecuencias EP Callao

- Configuración de los parámetros radioeléctricos

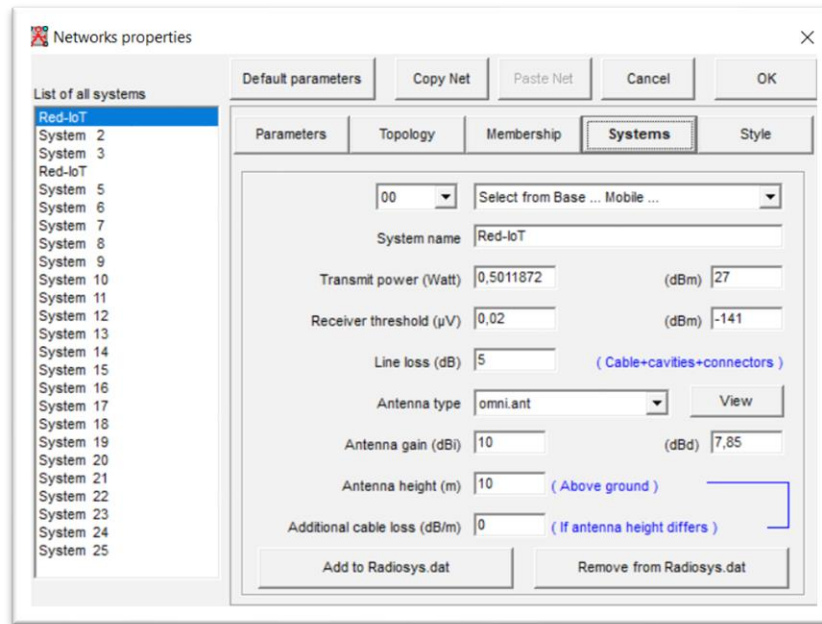


Figura N° 40 - Configuración parámetros radioeléctricos EP Callao

- Configuramos las coordenadas en la opción de propiedades de unidad y establecemos la Unidad Gateway IoT y la unidad Dispositivo IoT

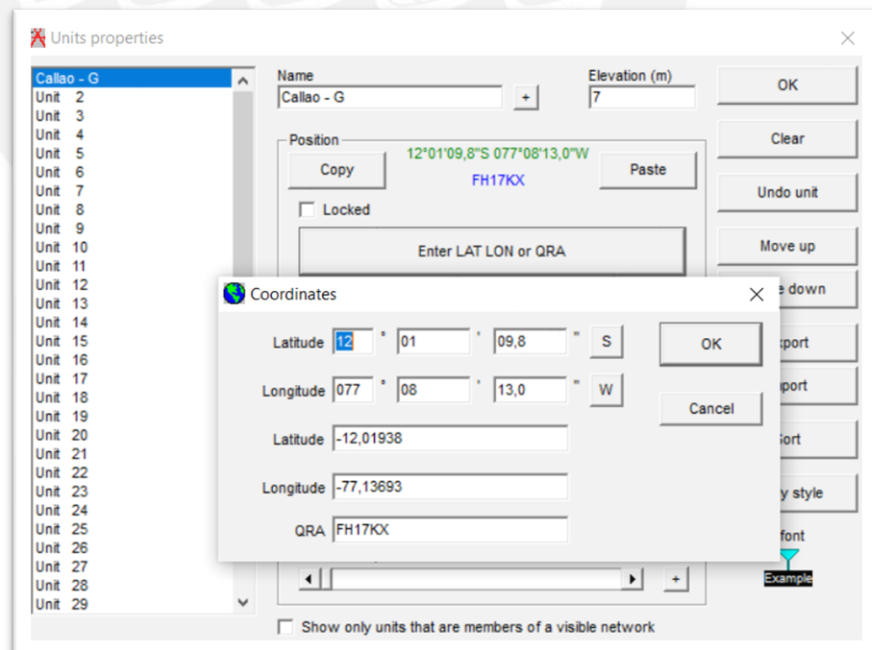


Figura N° 41 - Ubicación Geográfica del Gateway IoT Callao

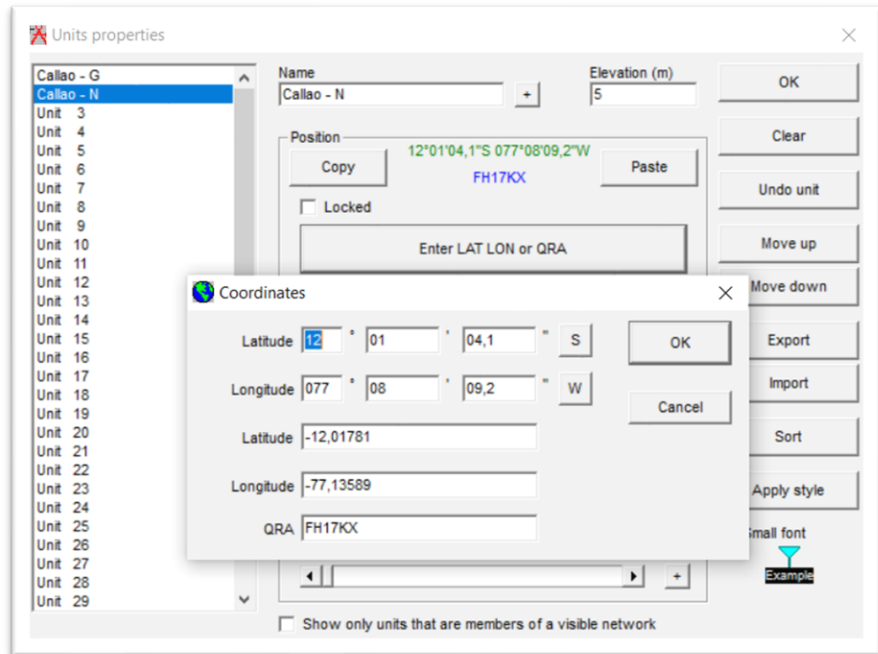


Figura N° 42 - Ubicación Geográfica del Dispositivo IoT Callao

- Luego hacer click en “Tools”, luego en “Radio Coverage”, luego el Single Polar, seleccionar como Unidad Central al Gateway IoT y como Unidad Móvil al Dispositivo IoT y por último en la opción “Draw”.



Figura N° 43 - Configuración Gateway IoT - Dispositivo IoT Callao

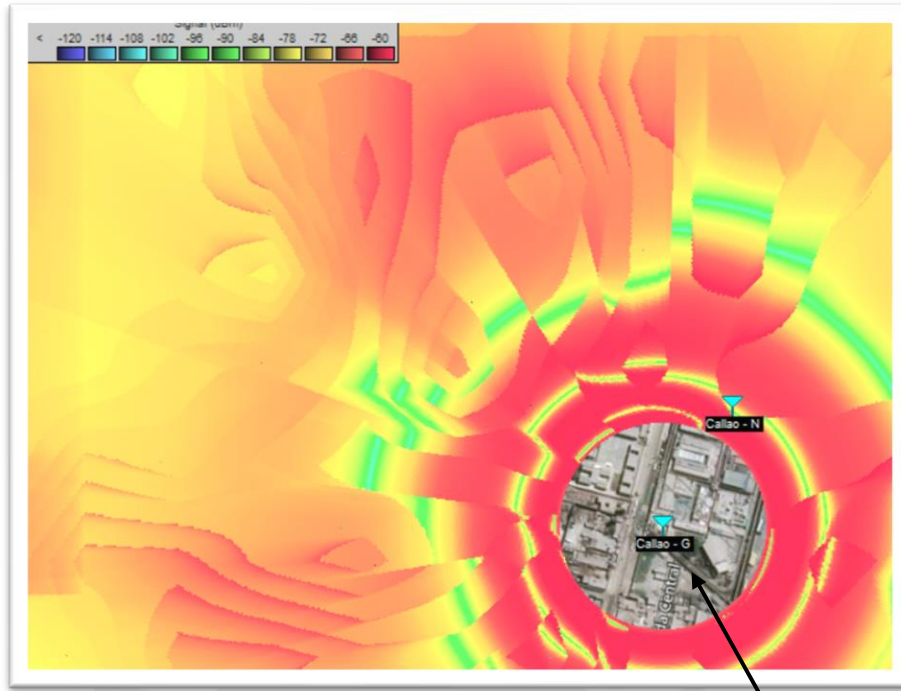


Figura N° 44 - Diagrama de Cobertura de Propagación Gateway IoT Callao

Al respecto se observa que la cobertura de radio propagación desde el Gateway IoT, donde señala la flecha, hacia el Dispositivo IoT, cubre toda la superficie del establecimiento penitenciario con una sensibilidad de recepción entre -60dBm y -72 dBm.

4.6.4. Lurigancho

- Configurar las propiedades del mapa, tomando como referencias las coordenadas obtenidas del Google Earth, ubicamos las mismas coordenadas en el Radio Mobile en la opción de "Unit Properties".

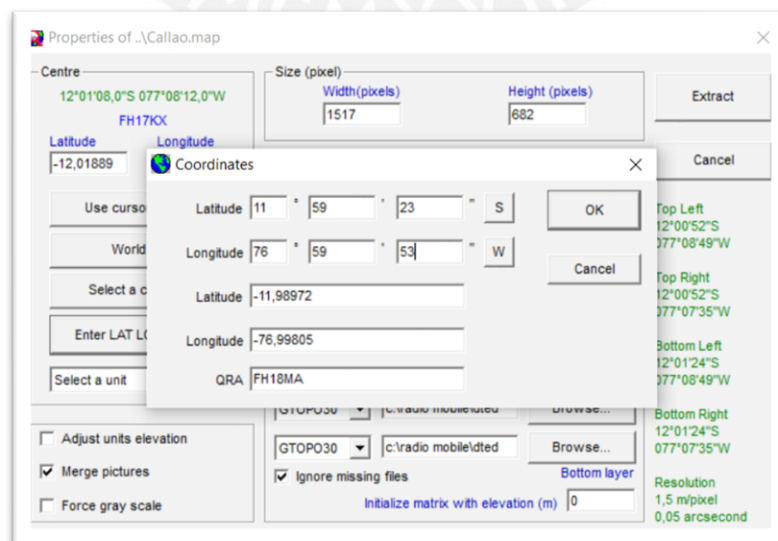


Figura N° 45 - Configuración Coordenadas EP Lurigancho

- Configurar las propiedades de red, tomamos la Red IoT creada anteriormente y establecemos el rango de frecuencias en la opción “Network Properties”.

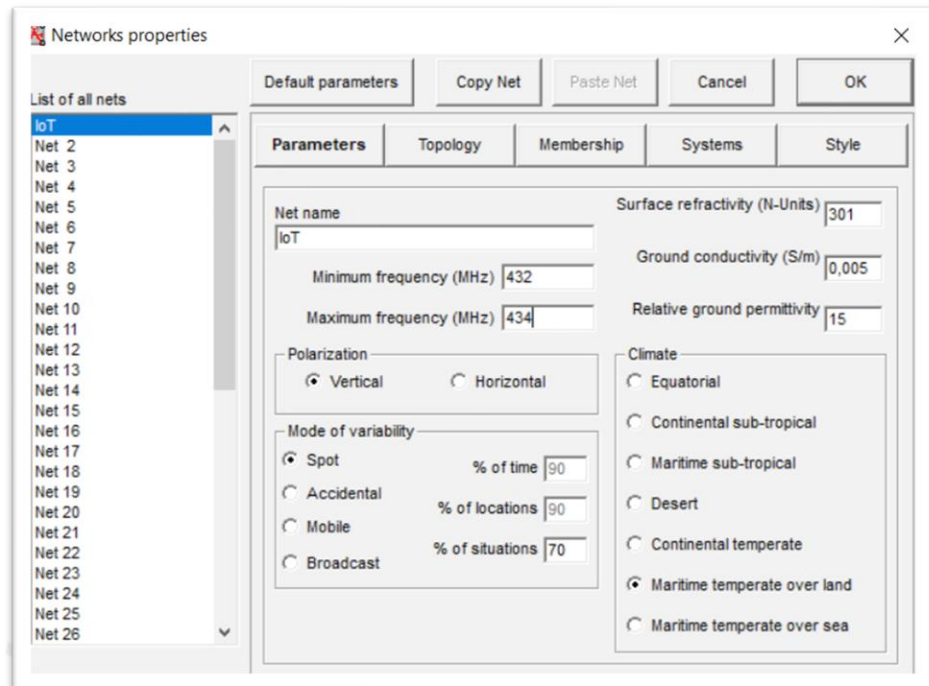


Figura N° 46 - Configuración de frecuencias EP Lurigancho

- Configuración de los parámetros radioeléctricos

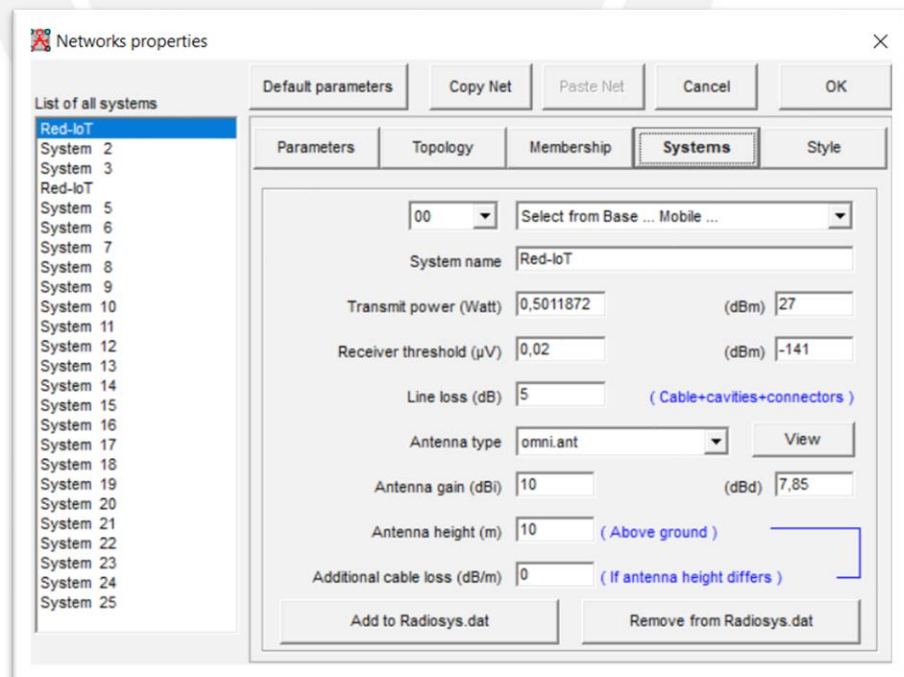


Figura N° 47 - Configuración parámetros radioeléctricos EP Lurigancho

- Configuramos las coordenadas en la opción de propiedades de unidad y establecemos la Unidad Gateway IoT y la unidad Dispositivo IoT

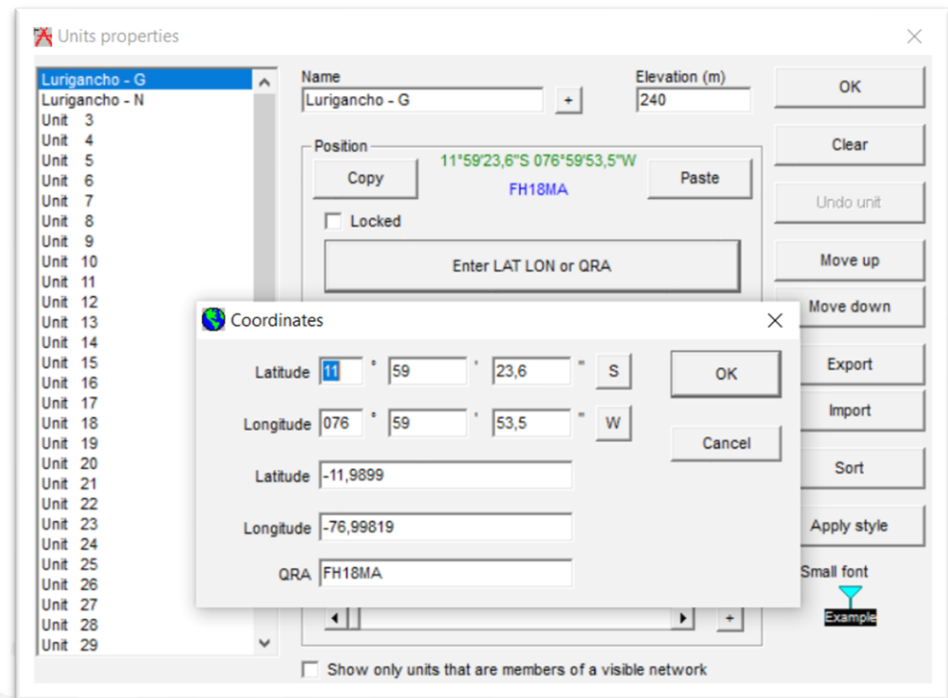


Figura N° 48 - Ubicación Geográfica del Gateway IoT Lurigancho

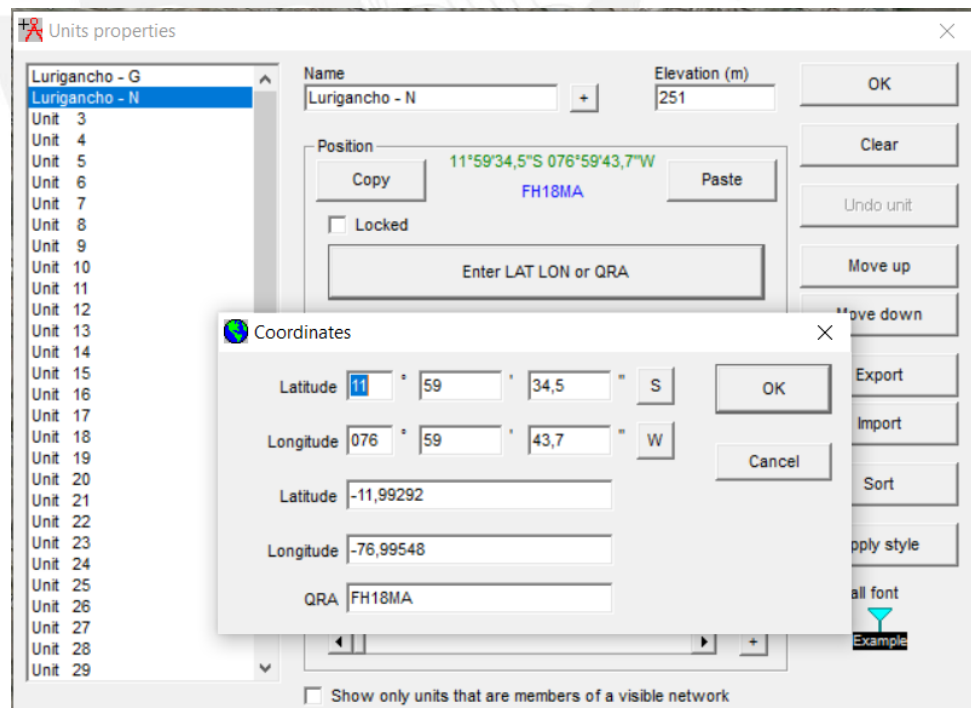


Figura N° 49 - Ubicación Geográfica del Dispositivo IoT Lurigancho

- Luego hacer click en “Tools”, luego en “Radio Coverage”, luego el Single Polar, seleccionar como Unidad Central al Gateway IoT y como Unidad Móvil al Dispositivo IoT y por último en la opción “Draw”.

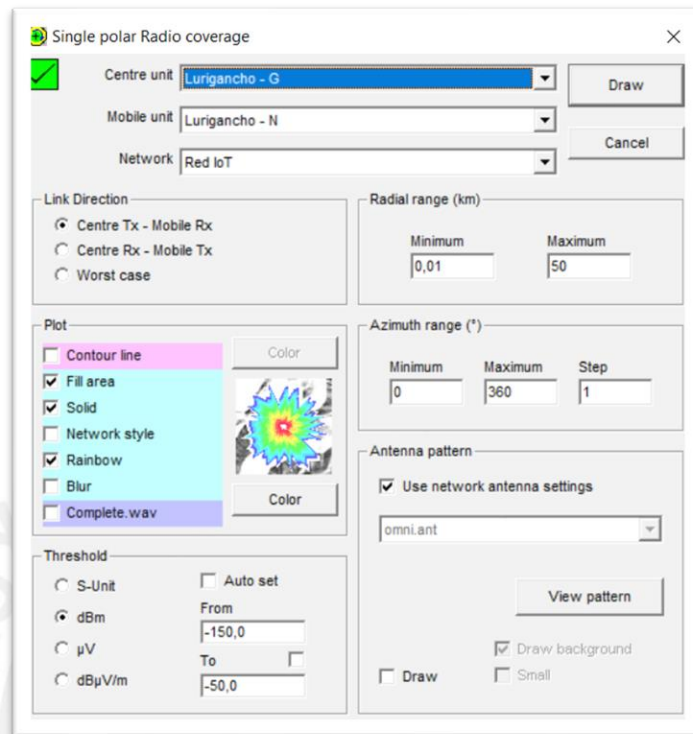


Figura N° 50 - Configuración Gateway IoT - Dispositivo IoT Lurigancho

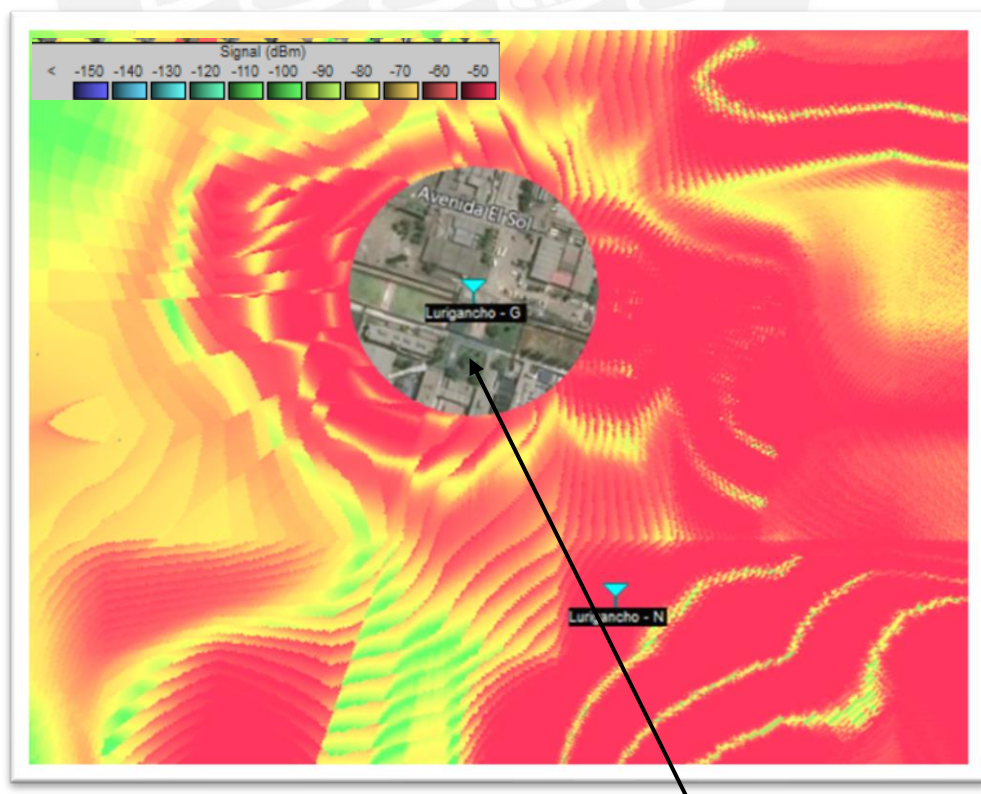


Figura N° 51 - Diagrama de Cobertura de Propagación Gateway IoT Lurigancho

Al respecto se observa que la cobertura de radio propagación desde el Gateway IoT, donde señala la flecha, hacia el Dispositivo IoT, cubre toda la superficie del establecimiento penitenciario con una sensibilidad de recepción de -70dBm.

4.7. Diagrama de red

4.7.1. Diagrama por penal

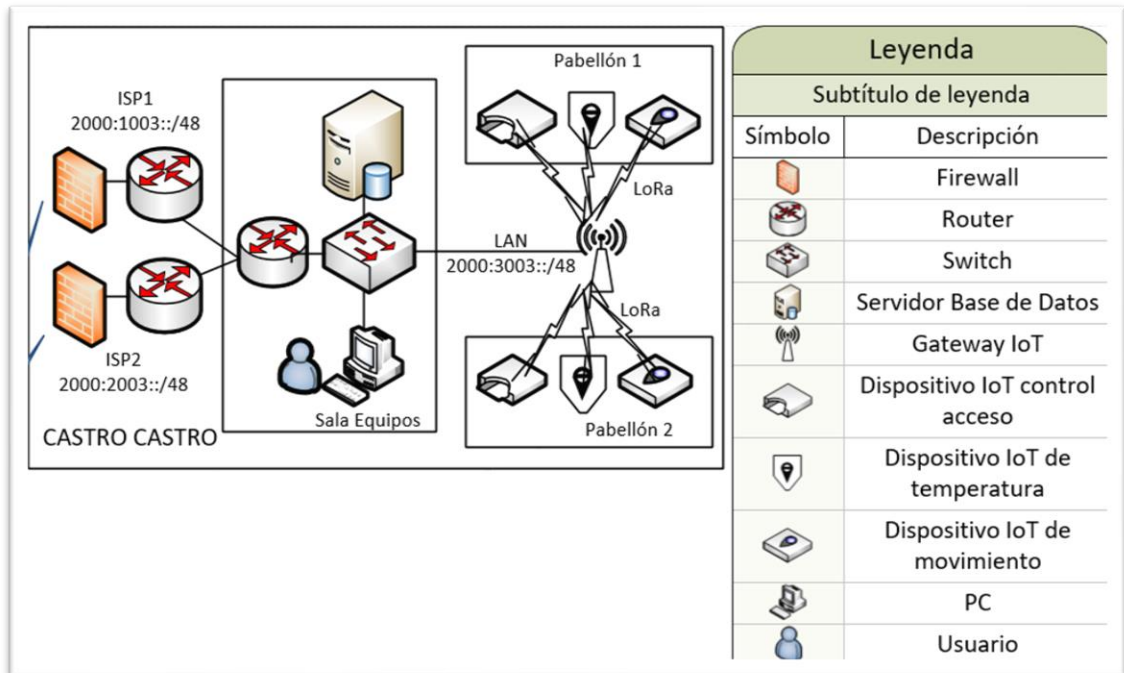


Figura N° 52 - Diagrama de red en cada penal

El diagrama muestra como los datos son captados por los Dispositivos IoT, los cuales se encuentran en cada uno de los pabellones y envían la información de manera inalámbrica a través de la interfaz LoRa (433 MHz) hacia el Gateway IoT, el cual se encuentra en el techo de la sala de equipos, éste envía los datos vía Ethernet hacia el switch para luego transmitir al router y al servidor de base de datos para poder almacenarlos localmente. Los datos pueden ser visualizados y controlados en el computador o enviados hacia el servidor LoRaWAN vía internet a través de uno de los proveedores de servicios de internet, también se cuenta con un proveedor de servicios de backup como redundancia ante cualquier eventualidad con el principal. Se solicita al proveedor la seguridad en la transmisión de los datos con la instalación del firewall correspondiente.

4.7.2. Diagrama central INPE

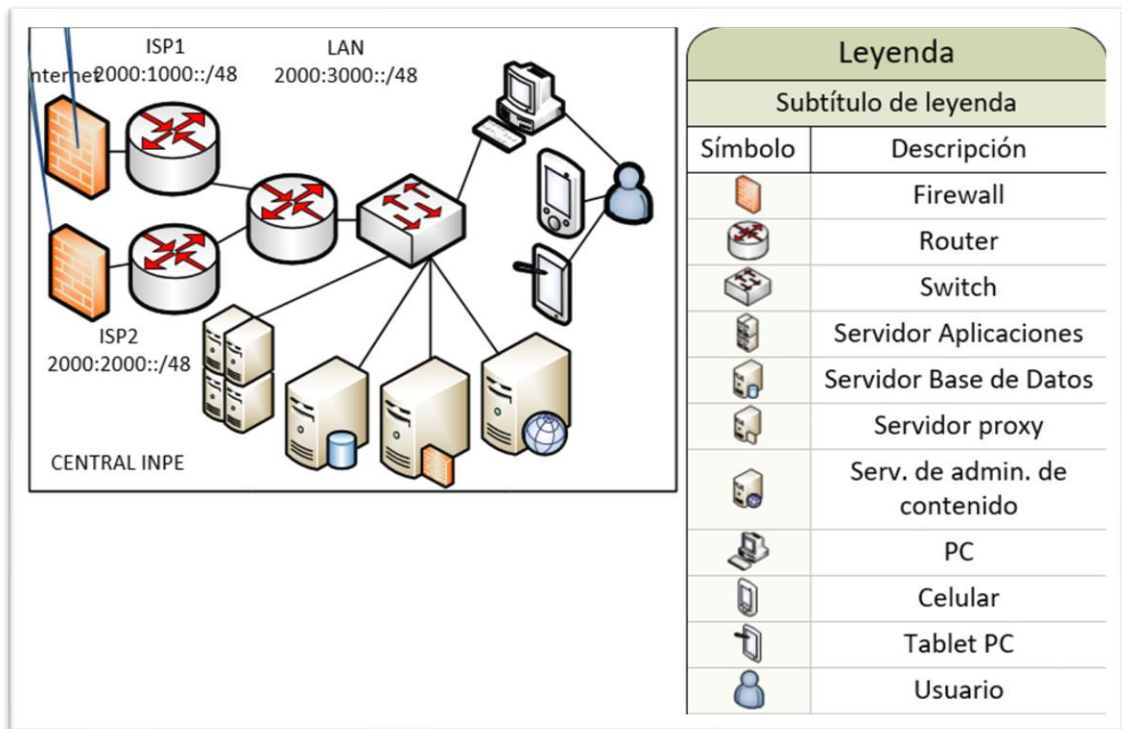


Figura N° 53 - Diagrama de red Central INPE

El diagrama muestra como los datos son recepcionados por el proveedor de servicios principal hacia el router LAN, luego al switch hasta el servidor de aplicaciones, base datos local y comprador donde se podrá visualizar y monitorear por un personal de INPE, para poder administrar la información y alertas generadas en todos los establecimientos. Las alertas y notificaciones pueden ser vistas en los dispositivos móviles.

4.7.3. Diagrama Red IoT

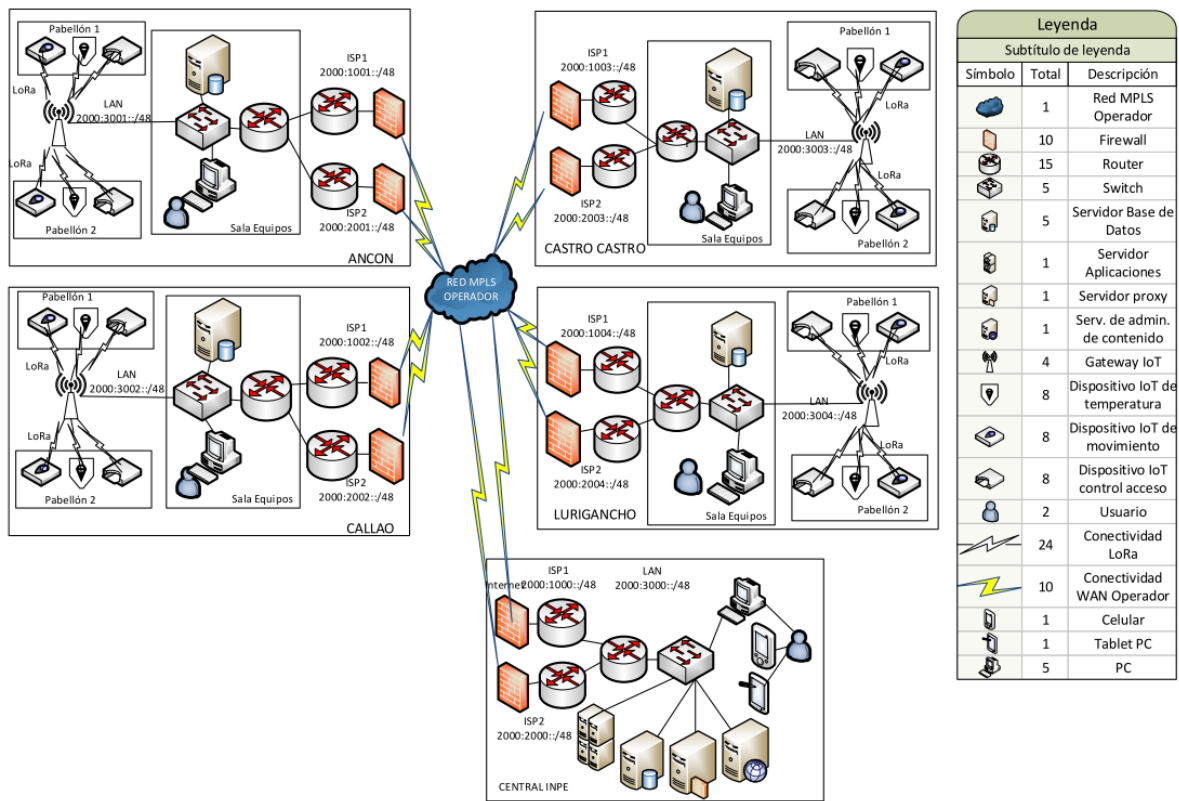


Figura N° 54 - Diagrama de Red IoT para los penales de Lima

El diagrama de red muestra la interconexión entre la central de INPE y los establecimientos penitenciarios de Lima, todos están interconectados a través de internet por los proveedores de servicios de internet, teniendo un proveedor principal y un proveedor de backup. Los datos son almacenados en el servidor de base de datos y las alarmas, notificaciones y control de las eventualidades se realizan en la plataforma IoT, del servidor de aplicaciones y de administración de contenido. El envío y transmisión de los datos hacia el servidor de base de datos y servidor de aplicaciones y de administración de contenido se hace a través de la red MPLS, por medio de los proveedores de internet.

Tabla N° 7 – Direccionamiento IPv6

PENAL	ISP1	ISP2	LAN
CENTRAL INPE	2000:1000::/48	2000:2000::/48	2000:3000::/48
ANCON 2	2000:1001::/48	2000:2001::/48	2000:3001::/48
CALLAO	2000:1002::/48	2000:2002::/48	2000:3002::/48
CASTRO CASTRO	2000:1003::/48	2000:2003::/48	2000:3003::/48
LURIGANCHO	2000:1004::/48	2000:2004::/48	2000:3004::/48

4.8. Aplicaciones

4.8.1. Monitoreo de temperatura en los pabellones

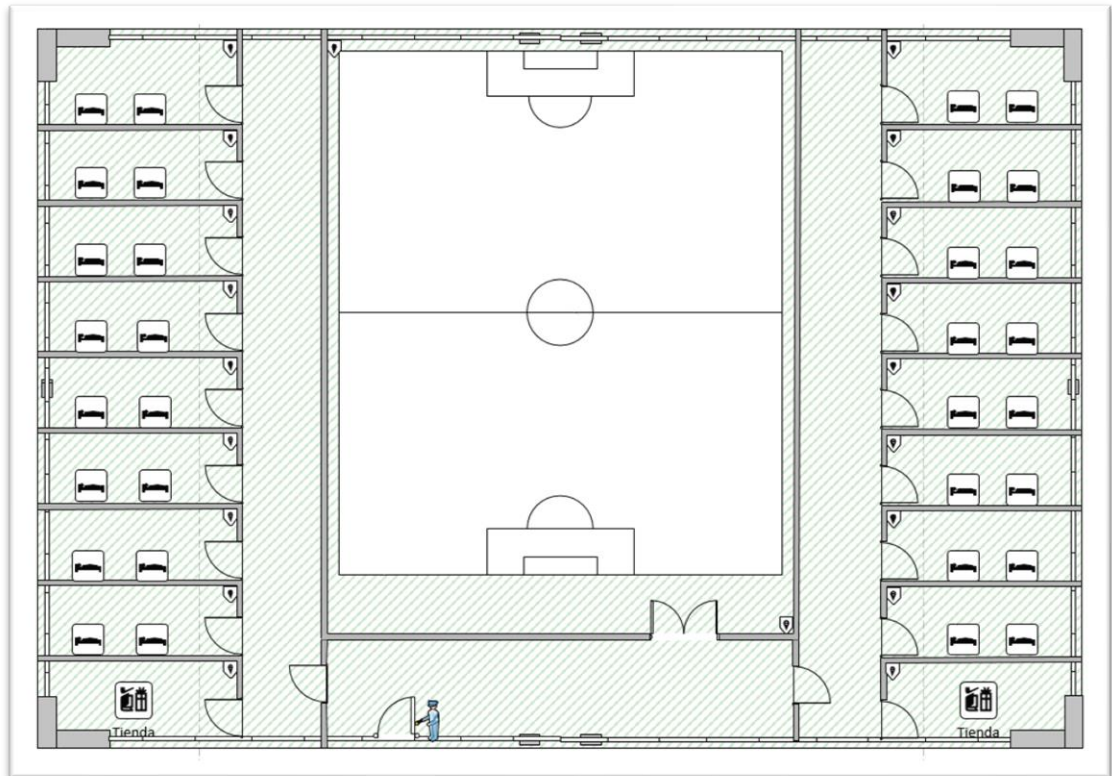


Figura N° 55 - Diagrama de red de Aplicación Temperatura en Pabellón

Esta aplicación consiste en ubicar e instalar el Dispositivo IoT LSN50 en las esquinas dentro de cada celda o en el patio. El Dispositivo IoT trabaja conjuntamente con el sensor de temperatura LM35 que sirve para medir la temperatura en los ambientes donde circulan los internos. Para la instalación de este dispositivo se está considerando que se le integre una rejilla externa de metal para poder elevar su nivel de protección ante posibles vandalismos por parte de los internos y no se pierda el monitoreo de la temperatura, cabe mencionar, que esta rejilla no genera un obstáculo al momento de sensar el control de su parámetro. El Dispositivo IoT se programa para que cense constantemente la temperatura ambiental, estableciendo un límite que podría ser de 37 °C a 40 °C, de acuerdo a un diagnóstico previo dependiendo la cantidad de internos en cada ambiente, el límite es configurado en el servidor de aplicaciones y de administración de contenido, en ese sentido, cuando la temperatura ambiente sobrepase el límite, esto puede indicar que hay un altercado o enfrentamiento entre internos y envía una alerta al personal INPE, encargado de monitorear, para poder apersonarse al lugar que generó la alerta.

4.8.2. Control de seguridad contra posibles fugas de internos

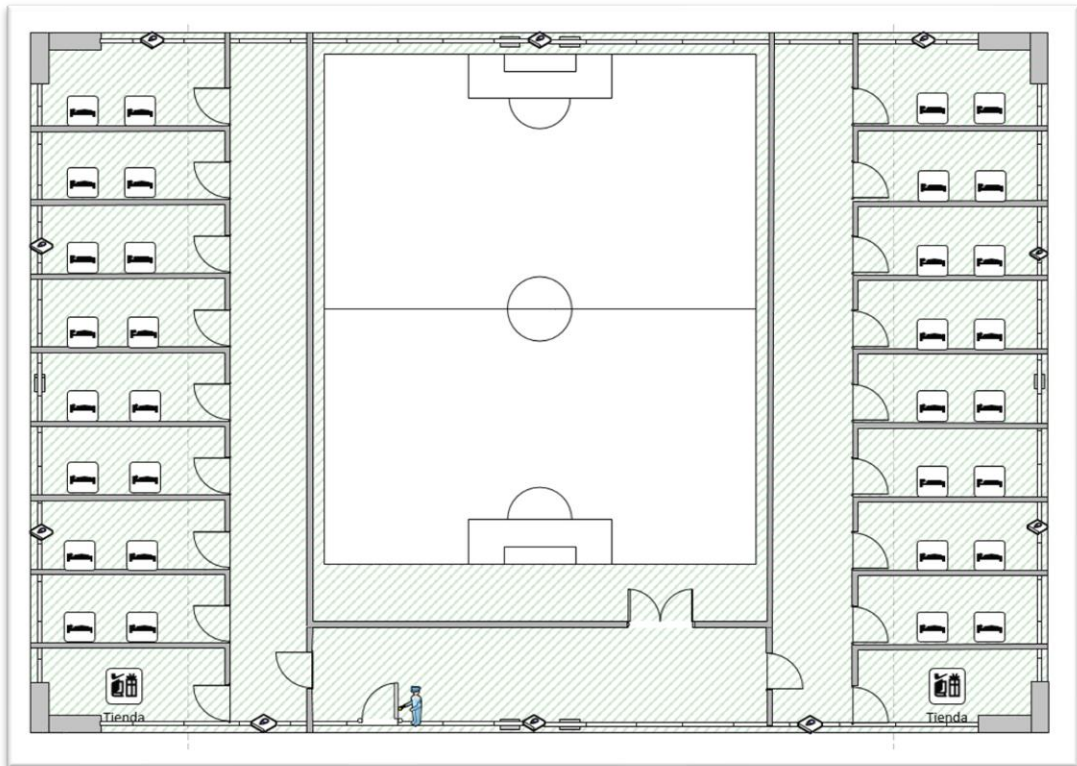


Figura N° 56 - Diagrama de red de Aplicación Movimiento en Pabellón

Esta aplicación consiste en ubicar e instalar el Dispositivo IoT LSN50 en el perímetro del pabellón, alrededor de las mallas de alambre punzante de seguridad, colocando 02 en los lados que dan a espaldas de los pabellones y 03 en los otros lados. El Dispositivo IoT trabaja conjuntamente con el sensor de movimiento HC-SR501 que sirve para detectar el movimiento de una persona u objeto cuando se aproxima al Dispositivos IoT.

El sensor HC-SR501, sólo funciona cuando alguien se aproxima al límite que puede barrer su detector. Este dispositivo realiza el control de proximidad mediante tecnología infrarroja (IR), quiere decir que detecta la radiación térmica de las personas a una determinada distancia; por lo que, su sistema de protección no puede interferir en que se generen una refracción por el material a utilizar, es por esta razón que se propone que se proteja con un enmallado metálico que no afecte la luz IR producida por el sensor. El dispositivo puede detectar movimiento cuando la persona se acerca de 3 hasta 7 metros de distancia. Este sensor de movimiento PIR tiene 3 pines, VCC, OUTPUT y GND, 2 potenciómetros para ajustar la sensibilidad y la demora. El retardo se puede configurar entre 5 y 300 segundos mientras que el potenciómetro de sensibilidad ajusta el rango de detección de 3 metros a 7 metros. [95]

De tal forma que, si un interno se acerca al sensor, emite una alerta, la cual es configurada en el servidor de aplicaciones y de administración de contenido, lo que permite identificar donde ocurre un posible intento de fuga y el personal de INPE, puede rápidamente tomar las medidas para controlar la seguridad.

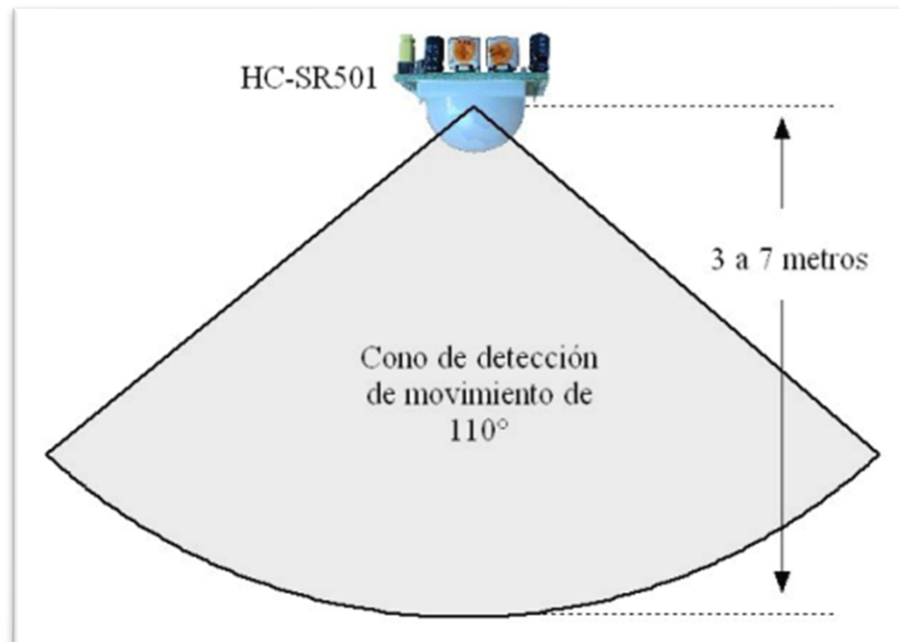


Figura N° 57 – Modo de funcionamiento del Sensor HC-SR501 [95]

4.8.3. Control de acceso en los pabellones

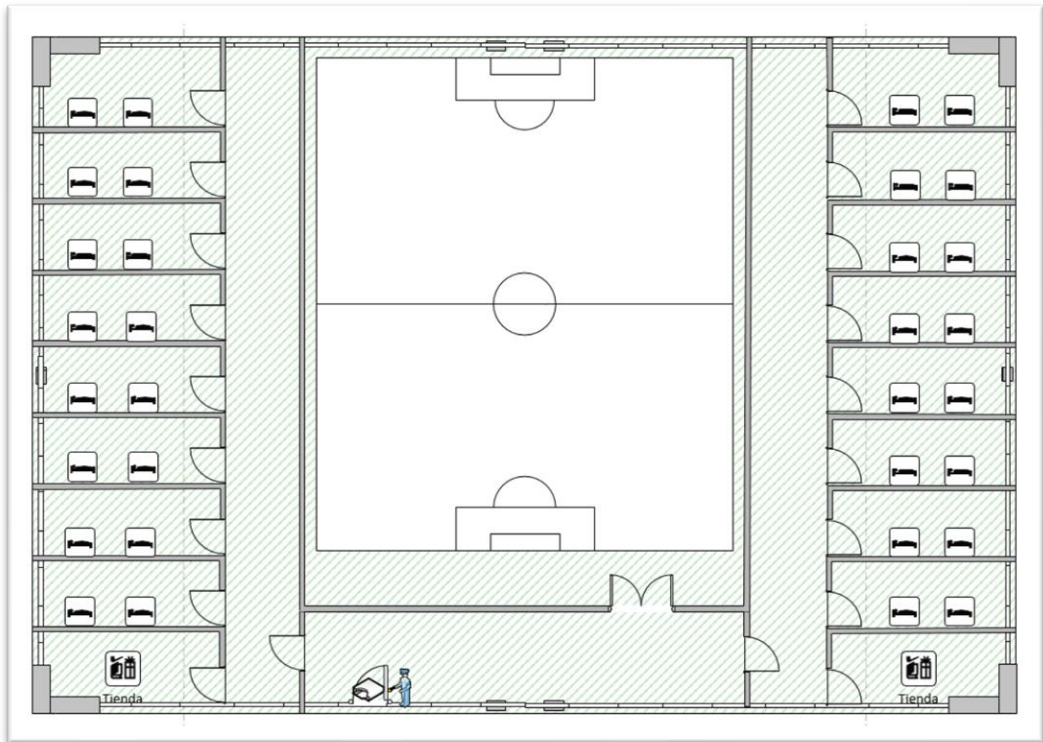


Figura N° 58 - Diagrama de red de Aplicación Control de acceso en Pabellón

Esta aplicación consiste en ubicar e instalar un Dispositivo IoT control de acceso, con un módulo de marca “APPCONWIRELESS” y modelo “RF1276T” en la puerta del pabellón, para poder controlar la apertura y cierre de las puertas de los pabellones, de esa manera monitorear los accesos. Cada puerta tendrá una nomenclatura que permitirá la identificación de las mismas y pueda ser operada desde la sala de equipos por un personal de INPE, el cual recibirá la solicitud vía radio de otro personal desde el pabellón. Asimismo, toda la información podrá ser almacenada para mantener el histórico. Esto servirá para poder controlar los accesos y no pueda ser manipulado desde el pabellón por los mismos intentos como se ve hoy en día en los penales y poder evitar eventualidades de posibles fuga y corrupción.

4.9. Presupuesto estimado

Tabla N° 8 - Presupuesto de equipos IoT en EP ANCON 2

ESTABLECIMIENTO PENITENCIARIO DE ANCON							
ITEM	EQUIPO	MARCA	MODELO	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD POR PAB	TOTAL PAB	PRECIO TOTAL
1	Router [56]	Cisco	WS-C3650-24TS	\$3.266,81	1	1	\$3.266,81
2	Switch [96]	Cisco	WS-C2960X-24TS-L	\$595,00	1	1	\$595,00
3	Servidor [97]	HP	PROLIANT ML110	\$1.796,00	1	1	\$1.796,00
4	Computadora [56]	DELL	9TPY221	\$370,00	1	1	\$370,00
5	Gateway IoT [98]	RAK	RAK7258	\$149,00	1	1	\$149,00
6	Dispositivo IoT para temperatura [99]	SM	LSN50	\$42,50	20	24	\$20.400,00
7	Sensor de temperatura [100]	SM	LM35	\$1,75	20	24	\$840,00
8	Dispositivo IoT para movimiento [99]	SM	LSN50	\$42,50	15	24	\$15.300,00
9	Sensor de movimiento [101]	SM	HC-SR501	\$2,34	15	24	\$842,40
10	Dispositivo IoT para control de acceso [102]	APPCON WIRELESS	RF1276T	\$13,00	5	24	\$1.560,00
TOTAL							\$45.119,21

Tabla N° 9 - Presupuesto de equipos en EP CALLAO

ESTABLECIMIENTO PENITENCIARIO DE CALLAO							
ITEM	EQUIPO	MARCA	MODELO	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD POR PAB	TOTAL PAB	PRECIO TOTAL
1	Router [56]	Cisco	WS-C3650-24TS	\$3.266,81	1	1	\$3.266,81
2	Switch [96]	Cisco	WS-C2960X-24TS-L	\$595,00	1	1	\$595,00
3	Servidor [56]	HP	PROLIANT ML110	\$1.796,00	1	1	\$1.796,00
4	Computadora [56]	DELL	9TPY221	\$370,00	1	1	\$370,00
5	Gateway IoT [98]	RAK	RAK7258	\$149,00	1	1	\$149,00
6	Dispositivo IoT para temperatura [99]	SM	LSN50	\$42,50	40	8	\$13.600,00
7	Sensor de temperatura [100]	SM	LM35	\$1,75	40	8	\$560,00
8	Dispositivo IoT para movimiento [100]	SM	LSN50	\$42,50	15	8	\$5.100,00
9	Sensor de movimiento [101]	SM	HC-SR501	\$2,34	15	8	\$280,80
10	Dispositivo IoT para control de acceso [102]	APPCON WIRELESS	RF1276T	\$13,00	10	60	\$7.800,00
TOTAL							\$33.517,61

Tabla N° 10 - Presupuesto de equipos en EP CASTRO CASTRO

ESTABLECIMIENTO PENITENCIARIO DE CASTRO CASTRO							
ITEM	EQUIPO	MARCA	MODELO	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD POR PAB	TOTAL PAB	PRECIO TOTAL
1	Router [56]	Cisco	WS-C3650-24TS	\$3.266,81	1	1	\$3.266,81
2	Switch [96]	Cisco	WS-C2960X-24TS-L	\$595,00	1	1	\$595,00
3	Servidor [56]	HP	PROLIANT ML110	\$1.796,00	1	1	\$1.796,00
4	Computadora [56]	DELL	9TPY221	\$370,00	1	1	\$370,00
5	Gateway IoT [98]	RAK	RAK7258	\$149,00	1	1	\$149,00
6	Dispositivo IoT para temperatura [99]	SM	LSN50	\$42,50	30	14	\$17.850,00
7	Sensor de temperatura [100]	SM	LM35	\$1,75	30	14	\$735,00
8	Dispositivo IoT para movimiento [100]	SM	LSN50	\$42,50	15	14	\$8.925,00
9	Sensor de movimiento [101]	SM	HC-SR501	\$2,34	15	14	\$491,40
10	Dispositivo IoT para control de acceso [102]	APPCON WIRELESS	RF1276T	\$13,00	7	14	\$1.274,00
TOTAL							\$35.452,21

Tabla N° 11 - Presupuesto de equipos en EP LURIGANCHO

ESTABLECIMIENTO PENITENCIARIO DE LURIGANCHO							
ITEM	EQUIPO	MARCA	MODELO	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD POR PAB	TOTAL PAB	PRECIO TOTAL
1	Router [56]	Cisco	WS-C3650-24TS	\$3.266,81	1	1	\$3.266,81
2	Switch [96]	Cisco	WS-C2960X-24TS-L	\$595,00	1	1	\$595,00
3	Servidor [56]	HP	PROLIANT ML110	\$1.796,00	1	1	\$1.796,00
4	Computadora [56]	DELL	9TPY221	\$370,00	1	1	\$370,00
5	Gateway IoT [98]	RAK	RAK7258	\$149,00	1	1	\$149,00
6	Dispositivo IoT para temperatura [99]	SM	LSN50	\$42,50	25	33	\$35.062,50
7	Sensor de temperatura [100]	SM	LM35	\$1,75	25	33	\$1.443,75
8	Dispositivo IoT para movimiento [100]	SM	LSN50	\$42,50	15	33	\$21.037,50
9	Sensor de movimiento [101]	SM	HC-SR501	\$2,34	15	33	\$1.158,30
10	Dispositivo IoT para control de acceso [102]	APPCON WIRELESS	RF1276T	\$13,00	6	33	\$2.574,00
TOTAL							\$67.452,86

Tabla N° 12 - Presupuesto de equipos en Central INPE

CENTRAL DE INPE						
ITEM	EQUIPO	MARCA	MODELO	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
1	Router [56]	Cisco	WS-C3650-24TS	\$3.266,81	1	\$3.266,81
2	Switch [96]	Cisco	WS-C2960X-24TS-L	\$595,00	1	\$595,00
3	Servidor [56]	HP	PROLIANT ML110	\$1.796,00	4	\$7.184,00
4	Computadora [56]	DELL	9TPY221	\$370,00	1	\$370,00
TOTAL						\$11.415,81

Tabla N° 13 - Presupuesto Total de Inversión

ITEM	PENITENCIARIA	PRECIO TOTAL
1	Establecimiento Penitenciario Ancón 2	\$45.119,21
2	Establecimiento Penitenciario Callao	\$33.517,61
3	Establecimiento Penitenciario Castro Castro	\$35.452,21
4	Establecimiento Penitenciario Lurigancho	\$67.452,86
5	Central del Instituto Nacional Penitenciario	\$11.415,81
6	Servicio de instalación	\$25.000,00
7	Mantenimiento cada 5 años (20% de costo implementación)	\$38.591,54
TOTAL		\$256.549,24

4.10. Justificación y desarrollo de la presente tesis.

En el Perú la rehabilitación social es un tema de segundo orden. Las cifras no dejan mentir. Hasta inicios de 2015 se contaron 67891 presos en el sistema carcelario nacional, el cual fue diseñado para albergar a 31100. La sobrepoblación supera en 180% la capacidad que brindan las 64 cárceles repartidas en todo el territorio. [103]

La situación es alarmante dentro de los centros penitenciarios de Perú, donde por cada guardia de seguridad existen 51 presos, es decir, medio centenar de personas a las que está llamado a controlar. La situación no es diferente para el resto de profesionales enrolados en el sistema nacional penitenciario. [103] Mientras que, en el Estado brasileño se mantiene una proporción un guardia por cada 2.5 internos [104], los que nos lleva a la necesidad de poder implementar un sistema inteligente que sirva de soporte para el control y monitoreo de los prisioneros.

Las consecuencias del hacinamiento también repercuten en la seguridad externa e interna de los penales al hacer más complicado su manejo. Por ejemplo, en el año 2005 se produjeron 34 fugas y diversos enfrentamientos entre los internos, de diversos centros penitenciarios, al no contar con suficiente espacio para desarrollarse individualmente, situación que exacerba sus ánimos. [105]

El desarrollo para la prestación de servicios IoT en los establecimientos penitenciarios permitirá tener un monitoreo constante de los reclusos y ayudaría a disminuir el cansancio físico y emocional de los guardias, quienes estarán más preparados y prevenidos para posibles fugas que se puedan presentar en los centros penitenciarios.

En cada centro penitenciario miles de personas purgan condena por diferentes actos y/o acciones que socavaron la integridad física de personas, establecimientos públicos o privados, dentro de algunos de los principales delitos se observa que el abuso por parte de los hombres hacia las mujeres ha provocado que muchos de estos, se convierten en actos de feminicidios llevando a que estos índices se incrementen alarmantemente cada año. Por otro lado, el sicariato y el tráfico ilícito de drogas, forma parte de los principales problemas que afectan a nuestra sociedad actual.

Por otra parte, los índices actuales de la delincuencia y la posibilidad que se produzca alguna fuga dentro de los principales penales de la ciudad de Lima, afectarían directamente a la toda la ciudadanía, generando que se puedan producir daños a la integridad física como a los bienes inmuebles de distintas entidades. Es por ello que, el despliegue de sensores de temperatura, sensores de movimiento y sensor para el control de acceso, permitirían controlar el flujo de personas en una determinada área de la prisión, esto también podría ayudar a controlar el flujo de prisioneros ante un eventual motín o peleas entre diferentes bandos de prisioneros. Bajo esta premisa, el beneficio que se obtendría sería muy considerable en cuanto al ámbito psicológico y social de la población brindando así una mayor seguridad y reduciendo los índices de delincuencia ciudadana.

Al ser un proyecto de IoT, será necesario contar con una serie de equipos, los cuales han sido mencionados en el acápite de presupuesto. Estos equipos se desplegarán a lo largo de todos los centros penitenciarios seleccionados y al tratarse de un proyecto, el cual involucra realizar trabajos en instalaciones del INPE y tiene un costo elevado, será necesario que sea producto de una licitación pública para la contratación de bienes según los márgenes que se establezcan en la norma presupuestal. [106]

4.11. Análisis Estadístico

Según la información del INPE, existen un total de 86785 personas privadas de su libertad entre hombres y mujeres, en todos los centros penitenciarios a nivel nacional, esta cantidad de personas esta actualizada periódicamente en la plataforma virtual del INPE, el dato mencionado anteriormente se encuentra actualizado a enero del 2021;

cabe mencionar, que durante el periodo de pandemia se autorizó la liberación de cierta población penitenciaria. Durante el mismo muestreo tomado para el año anterior, se registró un total de 96145, mientras que, en diciembre del mismo año existía 86955 personas en los centros penitenciarios. [107]

A continuación la tabla detalla la cantidad de hombres recluido en los centros penitenciarios mencionado en la presente tesis.

Tabla N° 14 – Población Masculina en los años 2020 y 2021

ESTABLECIMIENTO PENITENCIARIO	Ene-20	Ene-20 (%)	Ene-21	Ene-21 (%)
E.P DE ANCÓN II	1836	2%	1265	2%
E.P MIGUEL CASTRO CASTRO	5484	6%	5275	6%
E.P DE LURIGANCHO	10014	11%	9237	11%
E.P. DE CALLAO	3241	4%	3089	4%
TOTAL, GENERAL	20575	23%	18866	23%
TOTAL, A NIVEL NACIONAL	90,962	100%	82,456	100%

Según un reporte de la sub dirección de recursos humanos del INPE 2008, existe 15 reclusos (hombre) por funcionario en cada centro penitenciario de un total de 2258 trabajadores destinados a control y vigilancia penitenciaria, mientras que, de un total de 978 trabajadores destinadas a personas de reinserción, medidas alternativas, u otras funciones, cada uno de ellos se encarga de 44 reclusos.

PERU	Control y vigilancia penitenciaria	Personal de reinserción, medidas alternativas, u otras funciones
Total	2850	978
Hombres	2258	513
Mujeres	592	465
Cantidad de reclusos por funcionario	15	44
Cantidad de reclusas por funcionaria	5	-
Tiempo de formación	4 meses	Universitaria/Superior
Nivel educacional	Técnico/ Agentes Penitenciarios	Profesional

Figura N° 59 – Población técnica de INPE

En el informe sobre los derechos humanos de las personas privadas de libertad en las Américas, elaborado por la comisión interamericana de derechos humanos en el año 2011, donde se detalla a la letra “El Estado peruano informó: “Se han registrado 42 enfrentamientos entre internos, en diversos penales del país, de los cuales 35 son por gresca (enfrentamientos entre dos o más internos por asuntos personales) y siete por reyerta (enfrentamientos entre grupos de internos rivales por la pugna de dominio de

algunos sectores del establecimiento penal). El 31 de diciembre de 2009, se registró un motín con toma de rehenes e intento de fuga de internos en el E.P. Chachapoyas, como consecuencia resultaron dos internos fallecidos por herida de bala al intentar huir del penal”. Estos datos nos dan a entender que en los diferentes centros penitenciarios se vienen suscitando constantes reyertas o grescas entre los diferentes reclusos; asimismo, según los reportes de algunos periódicos nacionales, los intentos de fuga han sido controlados satisfactoriamente por el personal del INPE, puesto que, a la fecha no se ha encontrado un reporte donde se indique el porcentaje de estos incidentes al interior de los centros penales.

Mediante un resumen ejecutivo sustentación del Presupuesto 2018 del sector justicia y derechos humanos, la dirección de Seguridad Penitenciaria nos brinda información referente a la cantidad de fugas desde el interior de los penales y el número de reyertas en los mismos durante el año 2016. [108]

AÑO	Nº DE FUGAS DESDE EL INTERIOR DE LOS EPP	Nº DE MOTINES	Nº DE REYERTAS	Nº DE GRESCAS
2016	13	0	8	117

Figura N° 60 – Cantidad de eventos originados por los internos [108]

Debido a la pandemia que venimos afrontando, durante el inicio del periodo de cuarentena, en el mes de abril del 2020 se produjo un motín ocurrido en el penal Castro Castro, teniendo como un saldo de 9 personas fallecidas, 60 agente penitenciarios y 5 efectivos policiales que quedaron heridos tras el motín. [109]

Tabla N° 15 – Estimación de la cantidad de técnicos por penal

Personal de Control y Vigilancia penitenciaria (2008)	2850 (Ver figura N° 59)				Según Anexo B Personal aproximado en los E.P (2021)
	Cantidad de Personal Penitenciario Ideal				
ESTABLECIMIENTO PENITENCIARIO	Ene-21	Ene-20	Ene-21	Ene-20	
E.P DE ANCÓN II	84	122	1,52%	2%	90
E.P CASTRO CASTRO	352	366	6,4%	6%	165
E.P DE LURIGANCHO	616	668	11%	11%	300
E.P. DE CALLAO	206	216	4%	4%	100
TOTAL, GENERAL	1258	1372	23%	23%	615

De los datos estadístico obtenidos podemos desprender que el caso ideal para un trabajador penitenciario es hacerse cargo de al menos 15 presos; sin embargo, de

acuerdo a la información brindada por la empresa PRISONTEC SAC en el anexo B, se estima que del total de técnicos hay un 70% asociado al resguardo interno de los internos en pabellones, entonces presentamos los siguientes casos:

- a) Para el caso del E.P Ancón II con una población de 1265 personas y un aproximado de 90 trabajadores penitenciarios; el 70% que equivale a 63 técnicos, están al resguardo de los internos, por lo que cada trabajador debería ser responsable de al menos 20 reclusos, siendo este una cantidad mayor de reclusos al cuidado de una sola persona.
- b) Para el caso del E.P Miguel Castro Castro con una población de 5275 personas y un aproximado de 165 trabajadores penitenciarios; el 70% que equivale a 115 técnicos, están al resguardo de los internos, por lo que cada trabajador debería ser responsable de al menos 45 recluso, siendo este el triple de reclusos al cuidado de una sola persona.
- c) Para el caso del E.P Lurigancho con una población de 9237 personas y un aproximado de 300 trabajadores penitenciarios; el 70% que equivale a 210 técnicos, están al resguardo de los internos, por lo que cada trabajador debería ser responsable de al menos 44 recluso, siendo este el triple de reclusos al cuidado de una sola persona.
- d) Para el caso del E.P Callao con una población de 3089 personas y un aproximado de 100 trabajadores penitenciarios; el 70% que equivale a 70 técnicos, están al resguardo de los internos, por lo que cada trabajador debería ser responsable de al menos 44 recluso, siendo este el triple de reclusos al cuidado de una sola persona

Asimismo, del total de funcionarios un 20% asociado al resguardo del control en los exteriores de cada penal, en base a ello, podríamos presentar algunos casos ideales para redistribuir al personal:

- a) En el penal de Ancón II donde se tiene un aproximado de 90 técnicos de INPE, de los cuales el 20%, que equivale a 18 técnicos, cubren la parte externa en los techos y perímetro del establecimiento. Esta cantidad podría adicionarse al resguardo de internos dentro de los pabellones para tener un total de 81 agentes y así cada uno de ellos se ocuparía de 15 internos, o bien si nos inclinamos al ahorro de presupuesto al Estado, tenemos que según la convocatoria “CAS N° 035: AGENTES DE SEGURIDAD PENITENCIARIA (11 de mayo del 2021)”, el sueldo de cada agente es de S/1800 mensual, por lo que con la implementación

de la Red IoT de la presente tesis, el Estado Peruano estaría ahorrándose la suma de S/388800 anual.

- b) En el penal de Castro Castro donde se tiene un aproximado de 165 técnicos de INPE, de los cuales el 20%, que equivale a 33 técnicos, cubren la parte externa en los techos y perímetro del establecimiento. Esta cantidad podría adicionarse al resguardo de internos dentro de los pabellones para tener un total de 148 agentes y así cada uno se ocuparía de 35 internos, o bien si nos inclinamos al ahorro de presupuesto al Estado tenemos que según la convocatoria “CAS N° 035: AGENTES DE SEGURIDAD PENITENCIARIA (11 de mayo del 2021)”, el sueldo de cada agente es de S/1800 mensual, por lo que con la implementación de la Red IoT de la presente tesis, el Estado Peruano estaría ahorrándose la suma de S/712800 anual.
- c) En el penal de Lurigancho donde se tiene un aproximado de 300 técnicos de INPE, de los cuales el 20%, que equivale a 60 técnicos, cubren la parte externa en los techos y perímetro del establecimiento. Esta cantidad podría adicionarse al resguardo de internos dentro de los pabellones para tener un total de 270 agentes y así cada uno se ocuparía de 34 internos, o bien si nos inclinamos al ahorro de presupuesto al Estado tenemos que según la convocatoria “CAS N° 035: AGENTES DE SEGURIDAD PENITENCIARIA (11 de mayo del 2021)”, el sueldo de cada agente es de S/1800 mensual, por lo que con la implementación de la Red IoT de la presente tesis, el Estado Peruano estaría ahorrándose la suma de S/1296000 anual.
- d) En el penal de Callao donde se tiene un aproximado de 100 técnicos de INPE, de los cuales el 20%, que equivale a 20 técnicos, cubren la parte externa en los techos y perímetro del establecimiento. Esta cantidad podría adicionarse al resguardo de internos dentro de los pabellones para tener un total de 90 agentes y así cada uno se ocuparía de 34 internos, o bien si nos inclinamos al ahorro de presupuesto al Estado tenemos que según la convocatoria “CAS N° 035: AGENTES DE SEGURIDAD PENITENCIARIA (11 de mayo del 2021)”, el sueldo de cada agente es de S/1800 mensual, por lo que con la implementación de la Red IoT de la presente tesis, el Estado Peruano estaría ahorrándose la suma de S/432000 anual.

Por la implementación de este proyecto de tesis el Estado Peruano estaría invirtiendo S/1026196.96 y a su vez, se ahorraría anualmente la suma de S/2829600, por lo que en un año el Estado recuperaría la inversión y generaría ingresos de S/1803403

4.12. Análisis Costo – Beneficio

Beneficios a Corto plazo

- La instalación de Dispositivos IoT que miden temperatura va permitir el control y monitoreo de los internos dentro de los pabellones, para poder asegurar la seguridad debido a que las alertas indicarán donde ocurren eventos inesperados de enfrentamientos entre internos o algún accidente.
- La instalación de Dispositivos IoT detector de movimientos va permitir el control y seguridad en los penales para evitar las fugas de internos y alertar al personal donde ocurren estas posibles fugas para que el personal INPE pueda evitarlas.
- El registro y control de entradas y salidas en cada pabellón se hace de manera manual, a través de candados y son manipulados por los internos, el uso de controles de acceso podrá automatizar la apertura y cierre de las puertas debido a que el dispositivo podrá ser controlado a distancia por el personal en sala de equipos y registrado para futuras eventualidades.
- Los dispositivos electrónicos tienen gran eficiencia con el control de grandes masas de personas en ambientes controlados.

Beneficios a Mediano plazo

- Durante el año 2016, ocurrieron 13 fugas al interior de los establecimientos penitenciarios; sin embargo, esto podría ser controlado automáticamente colocando los sensores de movimiento en puntos vulnerables de los E.P.
- El Control de movimiento y temperatura desplegado al interior de los establecimientos penitenciarios podría ayudar a prevenir los motines o reyertas, evitando que los trabajadores penitenciarios, reos y policías sufran graves consecuencias mortales.
- La implementación de estos sensores permitirá tomar más acciones preventivas para una planificación adecuada y poder evitar que ambos lados sufran daños físicos.

Beneficios a Largo plazo

- Con la implementación de los 4 primeros penales planteado en esta tesis, podría ser beneficioso que esta solución se replique en los centros penitenciarios con

mayor índice de motines o incidencias ocurridas al personal penitenciario.

- El control automatizado y el monitoreo del flujo de las personas en un centro penitenciario permitirá a los trabajadores tener un mayor control de los reos asignados a su cargo.
- Con el control de ingresos y egresos de internos a los penales, se podrá tener controlado estadísticamente la cantidad de internos en cada pabellón y en todo el establecimiento, para así evitar que los internos tengan control en sus propios pabellones, en consecuencia, posibles fugas.

Finalmente, del análisis realizado de la información estadísticas y los beneficios que la implementación de este proyecto traería, nos da a conocer que el mayor beneficio es salvaguardar la integridad de las personas y reducir los altos costos de pérdidas humanas por el bajo nivel de control que se tiene en los establecimientos penitenciarios. Claro es que los diferentes sistemas electrónicos podrían brindar un alto grado de innovación tecnológica en esta parte de la población vulnerable.



CONCLUSIONES

1. La tecnología LoRa es la más óptima para usarse en aplicaciones IoT para establecimientos penitenciarios en Perú, gracias a que opera en la banda de frecuencia 433 MHz con un ancho de banda de 125 KHz y 250 KHz, cuyo despliegue no demanda costos por el uso del espectro y garantiza la información transmitida encriptada.
2. La tecnología SigFox, si bien también opera en la banda de frecuencia 433 MHz, el ancho de banda de 100 Hz es muy bajo y la cantidad de mensajes transmitidos es limitado, asimismo, no permite la creación de redes privadas y a pesar que el uso del espectro es gratuito, demanda un costo alto por implementar las estaciones base.
3. La tecnología NB-IoT implica depender del despliegue de las redes de los operadores en la banda de frecuencia LTE para poder hacer uso de ello, debido a que es una tecnología licenciada y el uso del espectro como el despliegue demanda costos muy elevados.
4. Con la simulación en el software Radio Mobile, se pudo verificar el alcance desde el Gateway, en el techo de la sala de equipos, hacia los dispositivos finales, en cada uno de los pabellones. En ese sentido, se evita que los internos puedan generar daños en el Gateway.
5. La implementación de la red IoT en las prisiones podrá optimizar el control y monitoreo de los internos a través de la medición de la temperatura, detección de movimiento y el acceso a pabellones, de tal manera que se notifique y alerte al personal penitenciario para poder tomar las medidas correspondientes.
6. Con la implementación de la presente tesis, el Estado Peruano podría redistribuir la cantidad de agentes penitenciarios que están al resguardo de la parte externa del penal y asignarlos al resguardo de la parte interna o en su defecto, prescindir de estos agentes y podría generar ingresos anualmente, que pueden ser usados para la ejecución de nuevos talleres que ayuden a la reinserción de los internos

RECOMENDACIONES

1. Realizar la canalización de la banda 433 MHz, estableciendo como rango de frecuencia 433 – 435 MHz, con un ancho de banda de 125 KHz y hasta 16 canales.
2. Realizar Drive Test con los dispositivos IoT para tener una mejor claridad de la propagación y poder contrastarla con la simulación realizada en el software Radio Mobile.
3. Realizar pruebas con diferentes niveles de potencia de transmisión y en diferentes ubicaciones geográficas para determinar la mejor posición del Gateway y en consecuencia, una mejor sensibilidad de recepción por parte de los Dispositivos IoT.
4. Usar dispositivos IoT que operen en diferentes bandas de frecuencia, no solo en la banda 433MHz, debido a la actualización en la atribución de frecuencias y gestación de nuevas tecnológica que se da constantemente a lo largo del tiempo, de esta manera no quede limitado el servicio IoT que se brinde.
5. Usar la red existente de la empresa PRISONTEC como escenario para la red IoT para obtener un mejor rendimiento, flexibilidad y seguridad de los datos transmitidos entre los establecimientos penitenciarios y la sede central del INPE.

BIBLIOGRAFÍA

[1]	3GPP, «3GPP,» 2020. [En línea]. Available: https://www.3gpp.org/about-3gpp . [Último acceso: 17 Setiembre 2020].
[2]	L. J. Ruiz, «oa.upm.es,» Septiembre 2016. [En línea]. Available: http://oa.upm.es/43013/1/TFG_LUIS_JIMENEZ_RUIZ.pdf . [Último acceso: 04 Febrero 2021].
[3]	TELECOM ABC, «TELECOM ABC,» 2005. [En línea]. Available: http://www.telecomabc.com/a/afa.html#:~:text=Adaptive%20Frequency%20Agility%20(AFA)%20is,notes%20channels%20that%20are%20occupied.. [Último acceso: 14 Setiembre 2020].
[4]	M. Malagelada, «Importancia.org,» 10 Febrero 2014. [En línea]. Available: https://www.importancia.org/arquitectura-arm.php . [Último acceso: 17 Setiembre 2020].
[5]	«GOOGLE SITES,» [En línea]. Available: https://sites.google.com/site/upqsisc/bpsq-y-qpsk-1 . [Último acceso: 14 Setiembre 2020].
[6]	IMSEL SEGURIDAD S.A., [En línea]. Available: https://www.imsel.com/que-es-cctv-y-cual-es-su-funcion/ . [Último acceso: 14 Setiembre 2020].
[7]	M. More, «Innovation & Entrepreneurship Business School,» 2019. [En línea]. Available: https://www.iebschool.com/blog/ceo-cfo-cio-cto-digital-business/#:~:text=CIO%20(Chief%20Information%20Officer),de%20vista%20de%20la%20planificaci%C3%B3n.. [Último acceso: 14 Setiembre 2020].
[8]	«IOT ONE,» 2020. [En línea]. Available: https://www.iotone.com/term/chirp-spread-spectrum-css/t110 . [Último acceso: 15 Setiembre 2020].
[9]	«SmartPanel,» [En línea]. Available: https://www.smartpanel.com/que-es-deep-learning/ . [Último acceso: 14 Setiembre 2020].
[10]	S. S. V. E. B. Pijush Samui, de <i>Handbook of Neural Computation</i> , 2017, p. 658.
[11]	«GLOSARIOIT,» [En línea]. Available: https://www.glosarioit.com/DSSS . [Último acceso: 15 Setiembre 2020].
[12]	«ETSI,» 2020. [En línea]. Available: https://www.etsi.org/about . [Último acceso: 15 Setiembre 2020].
[13]	«TECHOPEDIA,» [En línea]. Available: https://www.techopedia.com/definition/24236/firmware-over-the-air-fota . [Último acceso: 14 Setiembre 2020].
[14]	«TEXTOS CIENTIFICOS,» 04 Agosto 2005. [En línea]. Available: https://www.textoscificos.com/redes/modulacion/FSK . [Último acceso: 15 Setiembre 2020].
[15]	«MAXIM INTEGRATED,» [En línea]. Available: https://www.maximintegrated.com/en/glossary/definitions.mvp/term/GFSK/gpk/519 . [Último acceso: 14 Setiembre 2020].
[16]	«ELECTRONICS NOTES,» [En línea]. Available: https://www.electronics-notes.com/articles/radio/modulation/what-is-gmsk-gaussian-minimum-shift-keying.php . [Último acceso: 14 Setiembre 2020].
[17]	«PROGRAMO ERGO SUM,» [En línea]. Available: https://www.programoergosum.com/cursos-online/raspberry-pi/238-control-de-gpio-con-python-en-raspberry-pi/que-es-gpio . [Último acceso: 14 Setiembre 2020].
[18]	«GSM,» [En línea]. Available: https://www.gsm.com/aboutus/ . [Último acceso: 14 Setiembre 2020].
[19]	«ROBOTS DIDACTICOS,» 07 Diciembre 2018. [En línea]. Available: http://robots-argentina.com.ar/didactica/descripcion-y-funcionamiento-del-bus-i2c/#:~:text=DEFINICI%C3%93N%20DE%20I2C%20(I2,conectar%20circuitos%20integrados%20(ICs).. [Último acceso: 15 Setiembre 2020].
[20]	«Ibeacon Insider,» 1995. [En línea]. Available: http://www.ibeacon.com/what-is-ibeacon-a-guide-to-beacons/ . [Último acceso: 04 Febrero 2021].

[21]	«EcuRed.» [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/IBM/ . [Último acceso: 14 Setiembre 2020].
[22]	«BIBLIOTECA CEU.» [En línea]. Available: https://bibliotecaceu.wordpress.com/2014/07/28/que-es-la-infonomia/ . [Último acceso: 14 Setiembre 2020].
[23]	«Zigbee Alliance.» 2020. [En línea]. Available: https://zigbeealliance.org/solution/jupiternesh/ . [Último acceso: 14 Setiembre 2020].
[24]	«TELECOM ABC.» 2005. [En línea]. Available: http://www.telecomabc.com/lbt.html . [Último acceso: 14 Setiembre 2020].
[25]	«DOCS.RS.» [En línea]. Available: https://docs.rs/stm3210x2/0.0.1/stm3210x2/ . [Último acceso: 14 Setiembre 2020].
[26]	A. González, «CLEVERDATA.» [En línea]. Available: https://cleverdata.io/que-es-machine-learning-big-data/ . [Último acceso: 14 Setiembre 2020].
[27]	«MQTT.» 2020. [En línea]. Available: https://mqtt.org/ . [Último acceso: 14 Setiembre 2020].
[28]	«SoftwareLab.org.» [En línea]. Available: https://softwarelab.org/es/nfc/ . [Último acceso: 14 Setiembre 2020].
[29]	«PowerData.» 08 Setiembre 2014. [En línea]. Available: https://blog.powerdata.es/el-valor-de-la-gestion-de-datos/bid/394442/qu-es-la-arquitectura-orientada-a-servicios-soa . [Último acceso: 14 Setiembre 2020].
[30]	«APRENDIENDO ARDUINO.» 13 Noviembre 2016. [En línea]. Available: https://aprendiendoarduino.wordpress.com/category/bus-spi/ . [Último acceso: 14 Setiembre 2020].
[31]	«Wi-Sun Alliance.» [En línea]. Available: https://wi-sun.org/smart-utilities/ . [Último acceso: 14 Setiembre 2020].
[32]	D. Cruz, «TECNOSINERGLA.» 10 Setiembre 2020. [En línea]. Available: https://tecnosinergia.zendesk.com/hc/es/articles/115002480211--Qu%C3%A9-es-la-tecnolog%C3%ADa-Z-WAVE- . [Último acceso: 15 Setiembre 2020].
[33]	«Zigbee Alliance.» 2020. [En línea]. Available: https://zigbeealliance.org/es/ . [Último acceso: 15 Setiembre 2020].
[34]	M. B. Andrés, «Editorial Reus.» 2018. [En línea]. Available: https://www.editorialreus.es/static/pdf/primeraspaginas_9788429020380_internetdelas cosas.pdf . [Último acceso: 16 11 2019].
[35]	J. García, «Telcel Empresas.» [En línea]. Available: https://www.telcel.com/empresas/tendencias/notas/iot-transforma-carceles-inteligentes . [Último acceso: 16 11 2019].
[36]	D. Evans, «Internet of Things, La próxima evolución de Internet lo está cambiando todo,» CISCO, 2011.
[37]	G. T. Benito Condori, «Repositorio Institucional, Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle,» 2019. [En línea]. Available: http://repositorio.une.edu.pe/handle/UNE/4178 . [Último acceso: 05 Marzo 2021].
[38]	«FRACTTAL BLOG.» [En línea]. Available: https://www.fractal.com/blog/2018/10/10/9-aplicaciones-importantes-iot . [Último acceso: 17 Noviembre 2019].
[39]	G. E. Chanchí G., M. C. Gómez A. y C. E. Hernández Londoño, «Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información,» Febrero 2021. [En línea]. Available: https://search.proquest.com/openview/8c5bbc92b4525a0fd27262e16903fe18/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393 . [Último acceso: 06 Marzo 2021].
[40]	K. L. Lueth, «IoT Analytics,» 2019. [En línea]. Available: https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-update-q1-q2-2018-number-of-iot-devices-now-7b/ . [Último acceso: 17 Noviembre 2019].
[41]	Gartner, «GARTNER,» 07 Noviembre 2018. [En línea]. Available: https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2018-11-07-gartner-identifies-top-10-strategic-iot-technologies-and-trends . [Último acceso: 17 Noviembre 2019].
[42]	G. Garatu, «Grupo Garatu - IT SOLUTIONS,» [En línea]. Available: https://grupogaratu.com/5-beneficios-del-iot-en-la-empresa/ . [Último acceso: 21 Noviembre 2019].

[43]	M. M. Riofrío, «Internet de las Cosas ¿Cómo ha avanzado el Perú?», <i>El Comercio</i> , 27 Mayo 2019.
[44]	J. d. Río, «Internet de las cosas: Un elemento esencial para los negocios», <i>GESTION</i> , 21 Marzo 2017.
[45]	Instituto Nacional Penitenciario, «Sistema de Información de Estadísticas Penitenciarias», Diciembre 2020. [En línea]. Available: https://siep.inpe.gob.pe/form/reporte . [Último acceso: 06 Marzo 2021].
[46]	E. Cárcamo, A. Guamizo, M. Mendoza, C. Pajares y G. Vignolo, <i>Asociaciones público-privadas en el sistema penitenciario</i> , Lima: ESAN ediciones, 2015.
[47]	I. N. Penitenciario. [En línea]. Available: https://www.inpe.gob.pe/organigrama.html . [Último acceso: 24 Noviembre 2019].
[48]	Defensoría del Pueblo, «SITUACIÓN DE LAS PERSONAS PRIVADAS DE LIBERTAD A PROPÓSITO DE LA DECLARATORIA DE EMERGENCIA SANITARIA», Perú, 2020.
[49]	C. P. Castañeda, «Cárceles Peruanas: Hacinamiento y el alto costo económico», Cámara de Lima, Lima, 2019.
[50]	P. V. Escalante, «LA LEY», 29 Abril 2020. [En línea]. Available: https://laley.pe/art/9643/sobreviviendo-con-la-covid-19-en-las-carceles-del-peru . [Último acceso: 06 Abril 2021].
[51]	El Comercio, «elcomercio.pe», 07 Diciembre 2020. [En línea]. Available: https://elcomercio.pe/lima/policiales/san-juan-de-lurigancho-hallan-tunel-de-200-metros-cerca-del-penal-castro-castro-video-policia-nacional-nndc-noticia/ . [Último acceso: 06 Abril 2021].
[52]	C. V. Ganoza, «Instituto de Democracia y Derechos Humanos», 23 Junio 2020. [En línea]. Available: https://idehpucp.pucp.edu.pe/notas-informativas/las-carceles-al-dia-100-de-la-cuarentena/ . [Último acceso: 06 Abril 2021].
[53]	A. Duthurburu, «Punto Seguido», 21 Mayo 2020. [En línea]. Available: https://puntoseguido.upc.edu.pe/crisis-del-sistema-penitenciario-en-medio-de-la-pandemia-del-coronavirus/ . [Último acceso: 06 Abril 2021].
[54]	R. Gestión, «Conozca cómo funciona el sistema de bloqueo de celulares y Wi-Fi en los penales», <i>GESTIÓN</i> , 17 Octubre 2014.
[55]	Instituto Nacional Penitenciario, «intranet.inpe.gob.pe», 16 Febrero 2007. [En línea]. Available: https://intranet.inpe.gob.pe/intranet/directivas/04_pdf/0034.pdf . [Último acceso: 04 Febrero 2021].
[56]	PRISONTEC SAC, <i>Información de Proyectos de los Establecimientos Penitenciarios</i> , Lima, 2019.
[57]	GSMA, «Inhibidores de señal, Uso de Jammers en prisiones», GSMA Latin America, 2017.
[58]	http://www.expectativa.ec/como-funcionan-los-grilletes-electronicos/ , «Expectativa, la clave de la información», 25 Octubre 2018. [En línea]. Available: http://www.expectativa.ec/como-funcionan-los-grilletes-electronicos/ . [Último acceso: 06 Diciembre 2019].
[59]	J. G. Lara, «Grilletes electrónicos: solo 19 condenados en el país llevan estos dispositivos», <i>El Comercio</i> , 11 Marzo 2019.
[60]	S. Mendoza, «Grillete electrónico: reduce hacinamiento en cárceles y permite trabajar a sentenciado», <i>Agencia Peruana de Noticias - ANDINA</i> , 13 Enero 2019.
[61]	E. A. Sayas Sanabria y C. Andrés Ortiz, <i>LA PERTINENCIA DE LAS TECNOLOGÍAS DEL INTERNET DE LAS COSAS (IoT) EN LOS PROCESOS MISIONALES DEL INPEC (INSTITUTO NAL. PENITENCIARIO Y CARCELARIO)</i> , Bucaramanga, 2017.
[62]	V. Román, «China implementará una cárcel inteligente para monitorear más de cerca a los reclusos», <i>N + I</i> , 16 Febrero 2019.
[63]	M. S. Torres, «AGRO+», 23 Febrero 2019. [En línea]. Available: https://www.agromas.pe/frecuencias-inalambricas-de-uso-libre-en-peru/ . [Último acceso: 14 Junio 2020].
[64]	Ministerio de Transportes y Comunicaciones, «transparencia.mtc.gob.pe», 13 Abril 2015. [En línea]. Available: http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2137.pdf . [Último acceso: 17 Enero 2021].

[65]	D. F. Lozada Velastegui y M. R. Vega Viracucha, «BIBDIGITAL,» Diciembre 2010. [En línea]. Available: https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2674/1/CD-3359.pdf . [Último acceso: 01 Febrero 2021].
[66]	Osiptel, «El Espectro Radioeléctrico como herramienta para la promoción de la expansión de los servicios móviles y la competencia en el Perú,» 2013. [En línea]. Available: https://repositorio.osiptel.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12630/363/DT_radioelect_promoc_peru-02.pdf?sequence=1&isAllowed=y . [Último acceso: 04 Febrero 2021].
[67]	C. Monteza Palacios, «Revistas de Derecho Administrativo,» PUCP, 2008. [En línea]. Available: http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/derechoadministrativo/article/view/14490/15101 . [Último acceso: 03 02 2021].
[68]	Ministerio de Transportes y Comunicaciones, «Ministerio de Transportes y Comunicaciones,» 21 Febrero 2008. [En línea]. Available: https://portal.mtc.gob.pe/comunicaciones/autorizaciones/servicios_privados/documentos/pnaf_act_feb08.pdf . [Último acceso: 01 Febrero 2021].
[69]	I. F. Reyes, «Telecomunicaciones: Mercados y Tecnologías,» 21 Febrero 2017. [En línea]. Available: http://telecomunicaciones-peru.blogspot.com/2017/02/peru-antenas-en-banda-700-mhz-4g.html#:~:text=El%2026%20de%20Mayo%202016,Entel%2C%20US%24%20290%20millones.. [Último acceso: 03 Febrero 2021].
[70]	J. E. Crespo, «Aprendiendo Arduino,» 2018.
[71]	Ministerio de Transportes y Comunicaciones, «"Marco Normativo General para la promoción del desarrollo de los servicios públicos de telecomunicaciones de áreas rurales y lugares de preferente interés social",» D.S. 024-2008-MTC , Lima, 2008.
[72]	B. Cendón, «Blog, IoT, Tecnología,» 2017.
[73]	K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel y F. Meyer, «A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment,» <i>The Korean Institute of Communications and Information Sciences (KICS)</i> , 04 Enero 2018.
[74]	«Wikipedia,» 28 Noviembre 2019. [En línea]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/LPWAN . [Último acceso: 07 Diciembre 2019].
[75]	LoRa Alliance, Inc., «lora-alliance.org,» 2017. [En línea]. Available: https://lora-alliance.org/wp-content/uploads/2020/11/lorawan_regional_parameters_v1.0.2_final_1944_1.pdf . [Último acceso: 02 Febrero 2021].
[76]	I. Esnoz, «Teldat,» 14 Noviembre 2017. [En línea]. Available: https://www.teldat.com/blog/es/internet-de-las-cosas-de-largo-alcance-lora/ . [Último acceso: 08 Diciembre 2019].
[77]	B. Ray, «LinkLabs,» 25 Junio 2018. [En línea]. Available: https://www.link-labs.com/blog/nb-iot-vs-lora-vs-sigfox . [Último acceso: 08 Diciembre 2019].
[78]	Oficina Nacional de Tecnologías de Información - ONTI, «Argentina.gob.ar,» Marzo 2019. [En línea]. Available: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/docs_onti_0/lineamiento_onti_nt_09_1_version_para_la_revision_de_referentes.pdf . [Último acceso: 04 Febrero 2021].
[79]	GSMA, «GSMA Latin America,» 2018. [En línea]. Available: https://www.gsma.com/latinamerica/wp-content/uploads/2018/11/IoTGuide-ESP-NOV-DIG.pdf . [Último acceso: 04 Febrero 2021].
[80]	Banco Interamericano de Desarrollo, «Inter-American Development Bank,» 2019. [En línea]. Available: https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/IoT_en_ALC_2019_Tomando_el_pulso_al_Internet_de_las_Cosas_en_Am%C3%A9rica_Latina_y_el_Caribe_es.pdf . [Último acceso: 04 Febrero 2021].
[81]	MULTIFIRE, «MULTIFIRE,» 2017. [En línea]. Available: https://www.multefire.org/wp-content/uploads/MulteFire-Release-1.0-whitepaper_FINAL.pdf . [Último acceso: 05 Febrero 2021].
[82]	M. Labib, V. Marojevic, J. H. Reed y A. I. Zaghoul, «Cornell University,» 13 Septiembre 2017. [En línea]. Available: https://arxiv.org/pdf/1709.04458.pdf . [Último acceso: 05 Febrero 2021].
[83]	MulteFire Alliance, «MFA,» [En línea]. Available: https://www.multefire.org/faq/#:~:text=The%20MulteFire%201.1%20specification%20adds,especially%20for%20NB%20IoT . [Último acceso: 06 Abril 2021].

[84]	Osipitel, «Osipitel,» 2019. [En línea]. Available: https://www.osipitel.gob.pe/media/g4zh4gcn/dt-43-estado-espectro-radioelectrico-peru.pdf . [Último acceso: 06 Febrero 2021].
[85]	R. Sotomayor, C. Bottner, C. Hojas, A. Svriz y F. Jara, «Informe de la situación actual de los requerimientos de transmisión de datos y la estimación de la demanda prospectiva de consumo de datos para zonas agrícolas. Licitación ID 6606-25-LQ16,» Chile, 2017.
[86]	Shenzhen Rakwireless Technology Co., Ltd., «IoT LoRaWAN Solutions,» Shenzhen, China, 2017.
[87]	Dragino Technology Co., LTD., «DRAGINO,» 11 Agosto 2019. [En línea]. Available: https://www.dragino.com/products/lora-lorawan-end-node/item/128-lsn50.html . [Último acceso: 05 Enero 2020].
[88]	L. APPCON WIRELESS TECHNOLOGIES CO., «APPCONWIRELESS,» 02 Febrero 2018. [En línea]. Available: https://www.appconwireless.com/uploadfile/RF1276T.pdf . [Último acceso: 15 Junio 2020].
[89]	Semtech Corporation, «DATASHEET SX1276/77/78/79,» Semtech 2016, California, 2016.
[90]	Dragino Technology Co., LTD., «DRAGINO,» 11 Agosto 2019. [En línea]. Available: https://www.dragino.com/products/lora-lorawan-gateway/item/135-lg02.html . [Último acceso: 05 Enero 2020].
[91]	Shenzhen RAKwireless Technology Co., Ltd., «RAK docs,» 2019. [En línea]. Available: https://doc.rakwireless.com/datasheet/rakproducts/product-specifications---rak7258-micro-gateway . [Último acceso: 05 Enero 2020].
[92]	Lionel Anciaux, IoT Factory, «LoRaWAN Private Network,» Estados Unidos, 2019.
[93]	I. Factory, «IoT Factory,» [En línea]. Available: https://iotfactory.eu/products/software-platform/ . [Último acceso: 22 Mayo 2020].
[94]	L. AG, «LORIIOT,» [En línea]. Available: https://www.loriot.io/index.html#loriot-network-server . [Último acceso: 22 Mayo 2020].
[95]	Punto Flotante S.A., «puntoflotante.net,» 2017. [En línea]. Available: https://www.puntoflotante.net/MANUAL-DEL-USUARIO-SENSOR-DE-MOVIMIENTO-PIR-HC-SR501.pdf . [Último acceso: 04 Febrero 2021].
[96]	Router-switch.com, «Router-switch.com,» 2002. [En línea]. Available: https://www.router-switch.com/ws-c2960x-24ts-1-p-5268.html . [Último acceso: 24 Mayo 2020].
[97]	Magic Technologies E.I.R.L., «MAGITECH,» 7 Julio 1998. [En línea]. Available: https://www.magitech.pe/servidor-hp-proliant-ml110-g10-4u-torre-intel-xeon-bronze-3106-ram-32gb-ddr4-2-x-hdd-2tb-sata.html#additional . [Último acceso: 21 Junio 2020].
[98]	L. Shenzhen RAKwireless Technology Co., «RAK IOT MADE EASY,» 2014. [En línea]. Available: https://store.rakwireless.com/products/rak7258-micro-gateway?variant=27155353174116 . [Último acceso: 24 Mayo 2020].
[99]	D. LIMITED, «Digit Wireless Module,» 2011. [En línea]. Available: https://dwmzone.com/en/dragino/795-2670-lsn50-v2-ip68-waterproof-long-range-wireless-lora-sensor-node-with-external-antenna.html . [Último acceso: 24 Mayo 2020].
[100]	M. P. S.R.L, «Mercadolibre Perú,» 1999. [En línea]. Available: https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-425239239-sensor-de-temperatura-lm35-original-inc-igv-_JM?quantity=1#position=1&type=item&tracking_id=8a6ceec14-5304-4a84-a016-0eebb692579d . [Último acceso: 24 Mayo 2020].
[101]	N. M. SAC., «Naylamp Mechatronics,» [En línea]. Available: https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/55-modulo-de-deteccion-pir-hc-sr501.html . [Último acceso: 24 Mayo 2020].
[102]	appconwireless, <i>appconwireless (correo de respuesta)</i> , 2020.
[103]	V. Vimos, «El Telégrafo,» eltelegrafo, 22 Julio 2015. [En línea]. Available: https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/judicial/12/en-64-carceles-de-peru-hay-sobrepoblacion . [Último acceso: 07 Febrero 2021].

[104]	E. Cárcamo , A. Guarnizo, M. Mendoza, C. Pajares y G. Vignolo, «Repositorio Universidad ESAN,» 2015. [En línea]. Available: https://repositorio.esan.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12640/108/Gerencia_para_el_desarrollo_52.pdf?sequence=1&isAllowed=y . [Último acceso: 07 Febrero 2021].
[105]	J. Y. CORI CALIXTO, «Tesis PUCP,» 2011. [En línea]. Available: http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/1495/CORI_CALIXTO_JULIA_AGENDACION_PENITENCIARIOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y . [Último acceso: 08 Febrero 2021].
[106]	Subdirección de Capacitación del OSCE, «OSCE,» [En línea]. Available: http://www.osce.gob.pe/consucode/userfiles/image/m3_cap1a.pdf . [Último acceso: 08 Febrero 2021].
[107]	Instituto Nacional Penitenciario, «Sistema de Información de Estadísticas Penitenciarias,» 2018. [En línea]. Available: https://www.inpe.gob.pe/estad%C3%ADstica1.html . [Último acceso: 14 Julio 2021].
[108]	Sector Justicia y Derechos Humanos, «Resumen Ejecutivo Sustentación del Presupuesto 2018,» Lima, 2018.
[109]	CANAL N, «El INPE confirmó muerte de 9 internos tras motín en Castro Castro,» <i>CANAL N</i> , p. 1, 28 Abril 2020.
[110]	P. G. Garnacho, «UPCommons,» Junio 2006. [En línea]. Available: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6989/Anexo%2016.pdf . [Último acceso: 15 Setiembre 2020].



ANEXO A: DESCRIPCIÓN SOFTWARE RADIO MOBILE

Radio Mobile es un software de libre distribución para el cálculo de radio enlaces de larga distancia en terreno irregular. Para ello utiliza perfiles geográficos combinados con la información de los equipos (potencia, sensibilidad del receptor, características de las antenas, pérdidas, etc.) que quieren simularse. [110] Este software implementa con buenas prestaciones el modelo Longley-Rice, modelo de predicción troposférica para transmisión radio sobre terreno irregular en enlaces de largo-medio alcance. Además de tener múltiples utilidades de apoyo al diseño y simulación de los enlaces y las redes de telecomunicaciones. Los parámetros a introducir para realizar las simulaciones permiten reflejar de forma fiel los equipos reales que se piensa utilizar en la instalación para la que estarían destinados. [110]

Radio Mobile utiliza para la evaluación de los enlaces, el perfil geográfico de las zonas de trabajo. La obtención de estos mapas puede realizarse directamente desde una opción del software que permite descargarlos de Internet. Hay tres tipos de mapas disponibles: los SRTM, los GTOPO30 y los DTED. [110] Al igual que el modelo de propagación en el que se basa, permite trabajar con frecuencias entre los 20MHz y 40GHz y longitudes de trayecto de entre 1 y 2000 Km. En Radio Mobile existen varios tipos de ficheros que guardan para una misma red diferentes tipos de información. Los que interesan para entender cómo se cargan los mapas de forma correcta son: [110]

- Ficheros.map: ficheros que contienen la elevación de los mapas. Es la base con la que se cargan los perfiles del terreno. [110]
- Ficheros.bmp: ficheros que contienen imágenes (imágenes de los mapas asociados a las elevaciones y otro tipo de imágenes o mapas). Son representaciones gráficas, sin información del perfil del que son imagen. [110]
- Ficheros.net: ficheros que guardan la información de la red diseñada (unidades, redes, equipos, enlaces establecidos, etc.). Es el “corazón” de la red diseñada. [110]

Cuando se finaliza la sesión, el programa ofrece guardar estos dos tipos de ficheros (.map y .bmp) asociados al mismo .net. Esto hace que la siguiente vez que se abra ese fichero para una red determinada .net, se cargue el mismo espacio de trabajo que se utilizó en la sesión anterior. Si no se guardan de esta forma, y se han guardado por separado podrán cargarse sin problemas. Pero esta es la forma más rápida de mantener el trabajo actualizado. El resto de extensiones (.geo, .dat, etc.) son las que contienen las referencias para que esto sea posible. [110]

En cuanto a la notación de Radio Mobile: [110]

- Unit: denomina así a los emplazamientos pertenecientes a la red. Es decir, las unidades Unit 1...Unit n contienen las coordenadas y elevación de los emplazamientos, entre los que se establecen los enlaces. Para que resulte sencillo trabajar con ellas, se pueden

incluir iconos, el nombre del lugar real, etc.

- Network: se refiere a la información de la red. Los enlaces establecidos, los equipos de receptores y transmisores, etc.
- Systems: sistemas. Se pueden definir sistemas que guardarán la información de los equipos que se quiere simular en un emplazamiento. Por ejemplo, un Sistema 1 genérico tiene una antena situada a 12m, una tarjeta de potencia 200mW con sensibilidad -93dBm , pérdidas de los conectores para sus equipos de 3dB, etc. Este sistema a la hora de diseñar la red, se puede asociar a una Unit para que en ese emplazamiento se simule que estarían funcionando equipos con estas características.

1. PARÁMETROS GENERALES

Para el cálculo de la propagación, el modelo Longley-Rice tiene los siguientes parámetros comunes al de otros modelos de propagación:

- Frecuencia: el rango de frecuencias nominales para el modelo varía entre 20MHz y 40GHz. [110]
- ERP (Effective Radiated Power): potencia efectiva de radiación, se introducen en las unidades que fije el usuario en la opción de configuración del sistema (mW, W, kW, dBm, dBW, dBk). [110]
- Antena: se asume antena omni-direccional, a menos que se especifique el uso de una antena directiva. [110]
- Altura de la antena: altura a la que se sitúa la antena, medido en pies o metros, (sobre el nivel del mar), para transmitir y recibir. El programa computará las alturas efectivas necesarias para ajustarse a los cálculos del modelo. [110]

2. PARÁMETROS ESPECÍFICOS

La naturaleza del modelo requiere algunos parámetros adicionales:

- Polarización: debe especificarse si se trabaja con polarización horizontal o vertical. El modelo de Longley-Rice asume que ambas antenas tienen la misma polarización, vertical y horizontal. [110]
- Refractividad: la refractividad de la atmósfera determina la cantidad de “bending” o curvatura que sufrirán las ondas radio. En otros modelos, el parámetro de refractividad puede introducirse como la curvatura efectiva de la tierra, típicamente $4/3$ (1.333). Para el modelo Longley-Rice, hay tres formas de especificar la refractividad. Se puede introducir el valor de refractividad de superficie directamente, típicamente en el rango de 250 a 400 Unidades de n (correspondiente a valores de curvatura de la tierra de 1.232 a 1.767). Una curvatura efectiva de la

tierra de 4/3 (=1.333) corresponde a una refractividad de superficie de valor aproximadamente 301 Unidades de n. Longley y Rice recomiendan este último valor para condiciones atmosféricas promedio. La relación entre los parámetros “k” y “n”, viene dada por la siguiente expresión: [110]

$$N_s = 179.3 \cdot L_n \left[\frac{1}{0.0466665} \left(1 - \frac{1}{K} \right) \right]$$

- Permittividad: la permitividad relativa o constante dieléctrica del medio (ϵ), tiene unos valores típicos tabulados. [110]
- Conductividad: la conductividad, medida en Siemens por metro, tiene unos valores típicos tabulados. [110]

	PERMITIVIDAD	CONDUCTIVIDAD
Tierra media	15	0.005
Tierra pobre	4	0.001
Tierra rica	25	0.020
Agua fresca	81	0.010
Agua mar	81	5.000

- Clima: Hay 7 modelos de clima caracterizados en el modelo: Equatorial (Congo); Continental Subtropical (Sudan); Maritime Subtropical (West coast of Africa); Desert (Sahara); Continental Temperate; Maritime Temperate, over land (United Kingdom and continental west coasts); Maritime Temperate, over sea. De acuerdo con el modelo, el clima continental templado es común a la mayor parte de grandes superficies en la zona templada. Se caracteriza por extremos en la temperatura y cambios diarios y de estaciones pronunciados en la propagación. En latitudes medias en zonas costeras, donde los vientos predominantes llevan el aire húmedo marítimo hacia el interior, prevalece un clima marítimo templado. Esta situación es típica del Reino Unido y de las costas occidentales de los Estados Unidos y Europa. El resto de los climas pueden asociarse de la misma forma a otras regiones del mundo. [110]
- Variabilidad: el modelo de Longley-Rice define cuatro modos de variabilidad. El modo seleccionado determina el significado de la fiabilidad de los valores usados en el modelo. El modo de variabilidad puede ser considerado como la especificación para determinar la fiabilidad de los cálculos. Los modelos de variabilidad definidos son: Single message mode, Individual mode, Mobile mode, and Broadcast mode. El modo individual (“Accidental”), para calcular el campo en posiciones individuales se trazaban múltiples puntos a lo largo de varias radiales desde la ubicación del transmisor. Como estamos definiendo exactamente la localización del receptor para cada cálculo, el programa no tiene en cuenta la variabilidad por “localizaciones” o

posición. Los tipos de variabilidad descritos en el modelo Longley-Rice son el tiempo, la posición, y la variabilidad de situación. Estas tres dimensiones de variabilidad, fueron desarrolladas para considerar y clasificar variaciones en los niveles de señal medidos (mediana) La variabilidad de corto plazo del tipo asociado con la propagación de multitrayecto no es cubierta por el modelo. [110]

- Variabilidad de tiempo: los parámetros a tener en cuenta para considerar las variaciones de los valores medianos tomados por horas de atenuación, son, por ejemplo, cambios de la refracción atmosférica o de la intensidad de turbulencia atmosférica. El campo actual en la posición de receptor se espera que esté por encima de ese valor, durante media de cada hora, y por debajo de ese valor la otra media. La variabilidad de tiempo describe los efectos de estos cambios de tiempo, expresado como un porcentaje entre 0.1 % y el 99.9 %. Este valor da la fracción de tiempo durante la cual el campo de fuerzas recibido, se espera que sea igual o superior que el valor mediano de campo por hora calculado por el programa. Esta variabilidad permite especificar cómo se desea tratar con la variabilidad de tiempo de los cambios atmosféricos y otros efectos. Tomar un porcentaje mayor en este valor, reduce la variabilidad resultante de estos factores. El resultado calculado por el programa será menor, con lo que se asegura que el valor real medido será igual o superior en un porcentaje más elevado de tiempo. [110]
- Variabilidad por localización: Lo que hay que tener en cuenta en los estadísticos de largo plazo entre dos trayectos distintos debido, a por ejemplo, diferencias en los perfiles del terreno o diferencias ambientales entre ellos. La variabilidad por localización para los cálculos, se expresa como un porcentaje de 0.1% a 99.9%. Sucede lo mismo en los resultados que para el caso de la variabilidad de tiempo, pero con la fracción de localizaciones donde el campo recibido se espera que sea igual o superior. [110]
- Variabilidad por situación: esta variabilidad tiene en cuenta otro tipo de variables que pueden denominarse “hidden variables”. Este tipo de variables representan efectos que no pueden explicarse o que simplemente se ha decidido no controlar. Sirven para diferenciar casos con iguales equipos y condiciones de entorno similares. Estos cambios se reflejarán en los estadísticos. Y como en casos anteriores puede ser expresado como un porcentaje entre 0.1 % y el 99.9 % para controlar lo mucho o poco que se quiere que afecten. [110]

ANEXO B: ENTREVISTA A PERSONAL PRISONTEC

La empresa PRISONTEC SAC, quien firmó el contrato para el servicio de bloqueo de señales de radiofrecuencia y servicio de telefonía pública en los penales, así como en su relación contractual que existe con el Instituto Nacional Penitenciario, por la información que ambas entidades comparten y que son de importancia para el desarrollo de la presente tesis, se realizó una entrevista personal al Ingeniero Eduardo Requejo Chávez, en su cargo de Director de Proyectos, el día 03 de mayo del 2021, quien gustosamente aceptó a brindar información, indicando que puede ser usada únicamente para fines académicos, debido a la confidencialidad de la información que trata dicha empresa.

Las preguntas realizadas, con respuesta inmediata, fueron las siguientes:

1. ¿Cuál es la cantidad aproximada de técnicos en los penales de Ancón II, Callao, Castro Castro y Lurigancho?

Aproximadamente en el penal de Castro Castro se tiene 165 técnicos, 100 técnicos en el penal de Callao, 300 técnicos en el penal de Lurigancho y en el penal de Ancón II se tiene 90 técnicos.

2. ¿Cuántos técnicos son considerados para resguardar la seguridad dentro del penal (pabellones) y en la parte externa (perímetro y techos) de los establecimientos penitenciarios?

Aproximadamente del total de técnicos, se tiene entre un 10% dedicado a la parte administrativa, un 20 % resguardando los exteriores de cada penal, éstos incluyen el perímetro, los techos y en la puerta de ingreso a cada penal y un 70% cubriendo los interiores del penal, al cuidado de los internos.

3. ¿Cuál es el ciclo laboral en cada penal?

Del total de técnicos se dividen en 3 grupos con la misma cantidad de técnicos en cada grupo y tiene un ciclo laboral de 2x4, es decir, 2 días trabajan y 4 días descansan, asimismo, durante los días de trabajo, cumplen sus funciones 8 horas y reposan 4 horas.