



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA TELECOMUNICACIONES

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RASTREO MEDIANTE GPS Y LA RED MÓVIL CELULAR PARA APLICACIONES DE DETECCIÓN DE UBICACIÓN DE SMART TVs ROBADOS”

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y REDES.

AUTORA: KARINA MONSERRATE TAMAYO ORTIZ

DIRECTOR: ING. PAÚL DAVID MORENO AVILÉS PhD.

Riobamba – Ecuador

2023

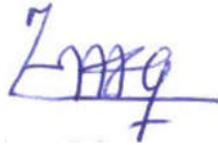
© 2023, Tamayo Ortiz Karina Monserrate

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, KARINA MONSERRATE TAMAYO ORTIZ, declaro que el presente trabajo de integración curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 13 de noviembre de 2023

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Karina', with a horizontal line underneath.

Karina Monserrate Tamayo Ortiz

1805460902

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA TELECOMUNICACIONES

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto técnico, **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RASTREO MEDIANTE GPS Y LA RED MÓVIL CELULAR PARA APLICACIONES DE DETECCIÓN DE UBICACIÓN DE SMART TVs ROBADOS**, realizado por la señorita **KARINA MONSERRATE TAMAYO ORTIZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Hugo Oswaldo Moreno Avilés, PhD PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-11-13
Ing. Paúl David Moreno Avilés, PhD DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-11-13
Ing. Jefferson Alexander Ribadeneira Ramírez, PhD. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-11-13

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a Dios que nunca me ha abandonado y me ha regalado la salud y habilidades para desarrollarme profesionalmente permitiendo que llegue este tan ansiado día. A mis padres, Rodrigo y Ruth quienes se merecen lo mejor por cuidarme en todo momento, ser tan amorosos, y tolerantes en mi educación desde la niñez. A ellos debo mis principios y valores que han sido la base para perseverar en mis metas.

Mi inteligente madre que siempre ha sido el impulso, mi amiga que sabe escucharme y me ha prestado todo su apoyo en las buenas y en las malas, le agradezco mucho por siempre buscar lo mejor para mí. Le estoy muy agradecida a mi querido padre quien con sus amables consejos siempre me anima a seguir delante de la manera más correcta posible.

A mi hermana Katherine por la fortaleza que me ha brindado para no rendirme, además de haberme acompañado en todo este proceso.

A mi amigo Steven con quien pasé momentos tristes y alegres. Al cuál debo reconocer por el entusiasmo, audacia y generosidad para conmigo, muchas gracias porque fuiste fundamental para demostrar que soy valiosa y puedo dar siempre mucho más.

Karina Tamayo

AGRADECIMIENTO

A mis profesores por su esmero al impartir los conocimientos, compartir sus experiencias y asesorarme durante todo el proceso académico universitario. Les tengo gran admiración por su calidad humana y profesionalismo, gracias por ser parte de mi crecimiento como persona.

Karina Tamayo

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	11
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	13
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	16
ÍNDICE DE ANEXOS.....	17
RESUMEN.....	18
INTRODUCCIÓN.....	20

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	21
1.1. Planteamiento del problema.....	21
<i>1.1.1. Antecedentes.....</i>	<i>21</i>
<i>1.1.2. Formulación del problema.....</i>	<i>23</i>
<i>1.1.3. Sistematización del problema.....</i>	<i>23</i>
1.2. Justificación.....	23
<i>1.2.1. Justificación teórica.....</i>	<i>23</i>
<i>1.2.2. Justificación aplicativa.....</i>	<i>25</i>
1.3. Objetivos.....	27
<i>1.3.1. Objetivo general.....</i>	<i>27</i>
<i>1.3.2. Objetivos específicos.....</i>	<i>27</i>

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	28
2.1. Referencias Teóricas	28
<i>2.1.1. Receptores GNSS/GPS</i>	28
<i>2.1.2. Servicios GPS</i>	31
<i>2.1.3. Códigos GPS</i>	32
2.1.3.1. Nuevas Señales Civiles	32
<i>2.1.4. Posicionamiento usando GPS</i>	34
<i>2.1.5. Tecnología de comunicación GPRS</i>	36
<i>2.1.6. Tecnología de comunicación UMTS</i>	38
<i>2.1.7. Tarjeta SIM</i>	41
<i>2.1.8. Tecnología de comunicación LTE</i>	42
2.1.8.1. Arquitectura LTE	42
<i>2.1.9. Cobertura de 2G+3G y 4G en el Ecuador</i>	45
2.1.9.1. Número de radio bases de las operadoras CONECEL, OTECEL, CNT	46
<i>2.1.10. Bandas de frecuencias de las operadoras del país.</i>	47
<i>2.1.11. Tarjetas de desarrollo GPS/LTE/UMTS</i>	48
2.1.11.1. A9G GPS/GPRS módulo	48
2.1.11.2. TTGO T-SIM7600G-H R2	51
<i>2.1.12. Batería de ion litio 18650</i>	52

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO.....	54
3.1. Compatibilidad con las características de diseño.....	54
3.2. Arduino IDE para controlar tarjetas ESP32.....	56
3.3. Librería TinyGSM 0.11.5.....	56
3.4. Librería PubSubClient.....	59
3.5. Ubidots.....	60
3.6. Envío y recepción de datos.....	61
3.6.1. Prueba de descarga de la batería mediante el SOC.....	66
3.7. Geocerca en la aplicación Ubidots.....	68
3.7.1. Configuración alarma en el módulo TTGO T-SIM7600G-H R2.....	70
3.7.2. Pantalla de notificaciones Telegram chat bot Rastreo TV.....	71
3.8. Evento estado de conexión.....	71
3.9. Creación de la variable KML.....	72
3.9.1. Recepción del archivo ruta.kml y visualización de la ruta.....	75
3.10. Tablero de la aplicación RASTRO_K.....	75
3.11. Capacidad de la batería de Litio 18650.....	77
3.11.1. Obtención de la capacidad requerida para la batería y su duración.....	78
3.12. Prueba de rastreo de la SMART TV: Visualización y comparación de las coordenadas geográficas.....	82
3.12.1. Comparación de la ruta real con la medida por el sistema de rastreo de SMART TVs.....	83

3.13. Prueba de rastreo de Smart TVs: Comparación y visualización de las coordenadas tomadas en espacios indoor.....	89
<i>3.13.1. Comparación de la ruta real con la medida por el sistema de rastreo de SMART TVs.....</i>	<i>92</i>
3.14. Prueba de retardo entre los eventos para la transmisión de la alarma.....	96
3.15. Prueba de rastreo de la SMART TV en un punto fijo del domicilio.....	99
3.16. Implementación del sistema de rastreo de SMART TVs.....	99

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	101
4.1. Evaluación de la capacidad requerida con LTE y 4G.	101
4.2. Porcentaje de descarga y autonomía del sistema de rastreo de SMART TVs.....	102
4.3. Evaluación de la fiabilidad del sistema de rastreo de SMART TVs en un ambiente outdoor.....	103
<i>4.3.1. Precisión del sistema.</i>	<i>103</i>
4.4. Prueba U de Mann-Whitney para comparar muestras independientes entre las coordenadas medidas y reales outdoor.	105
4.5. Evaluación de la fiabilidad del sistema de rastreo de SMART TVs en ambientes indoor.....	106
<i>4.5.1. Precisión del sistema</i>	<i>106</i>
4.6. Prueba U de Mann-Whitney para comparar muestras independientes entre las coordenadas medidas y reales en ambientes indoor.	108
4.7. Evaluación del retardo entre los eventos para la transmisión de la alarma.....	110
<i>4.7.1. Consumo de datos TELEGRAM.....</i>	<i>110</i>

4.8. Precisión del sistema de rastreo de SMART TVs en condiciones estáticas indoor.	111
4.9. Cálculo de la función de densidad de probabilidad de Rayleigh	112
4.10. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	114
4.11. PROPUESTA	116

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	120
5.1. Conclusiones	120
5.2. Recomendaciones	121

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Especificaciones de las nuevas señales Civiles con sus satélites.	34
Tabla 2-2:	Cobertura por el número de radio bases por parroquias y a nivel nacional.	46
Tabla 2-3:	Bandas de operación de Claro.....	47
Tabla 2-4:	Bandas de operación de CNT.....	48
Tabla 2-5:	Bandas de operación de Movistar	48
Tabla 2-6:	Especificaciones módulo A9G.....	50
Tabla 2-7:	Especificaciones módulo TTGO T-SIM7600G-H R2.....	52
Tabla 2-8:	Especificaciones batería de litio 18650.....	53
Tabla 3-1:	Compatibilidad de los módulos con los requerimientos GPS.....	54
Tabla 3-2:	Compatibilidad de los módulos con los requerimientos de red móvil.	55
Tabla 3-3:	Compatibilidad de los módulos con los requerimientos de memoria.	56
Tabla 3-4:	Variables GPS.....	58
Tabla 3-5:	Descripción de las herramientas del tablero RASTRO_K.....	76
Tabla 3-6:	Tiempo entre eventos para la transmisión de la alarma.	97
Tabla 4-1:	Capacidad de la batería utilizada por el sistema de rastreo de SMART TVs.....	10
1		
Tabla 4-2:	Obtención del estado de carga, duración de funcionamiento y autonomía del sistema de rastreo de SMART TVs.....	10
2		
Tabla 4-3:	Parámetros estadísticos de las medidas de precisión del sistema.....	103
Tabla 4-4:	Prueba de normalidad.....	105
Tabla 4-5:	Prueba U de Mann-Whitney.....	106
Tabla 4-6:	Parámetros estadísticos de las medidas de precisión del sistema.....	107
Tabla 4-7:	Prueba de normalidad.....	109
Tabla 4-8:	Prueba U de Mann-Whitney.....	109
Tabla 4-9:	Estadísticos del retardo entre los eventos para la transmisión de la alarma.....	110
Tabla 4-10:	Consumo de datos por envío de mensajes de alerta en Telegram.	111
Tabla 4-11:	Parámetros estadísticos de las medidas de precisión estáticas indoor.....	111
Tabla 4-12:	Mercado potencial.....	117
Tabla 4-13:	Presupuesto del sistema de rastreo de SMART TVs.....	118
Tabla 4-14:	Precio del sistema de rastreo de SMART TVs.....	119

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1:	Diagrama del funcionamiento del sistema de rastreo de SMART TVs.....	26
Ilustración 2-1:	Principio básico del tiempo de vuelo para la mediación de la distancia en GNSS.....	30
Ilustración 2-2:	Señal GPS.....	31
Ilustración 2-3:	Cálculo de la posición en el receptor.....	35
Ilustración 2-4:	Arquitectura GPRS.....	37
Ilustración 2-5:	Interfaces de acceso radio de UMTS.....	39
Ilustración 2-6:	Arquitectura UMTS.....	40
Ilustración 2-7:	Servicios al usuario que proporciona UMTS.	41
Ilustración 2-8:	Protocolos de interfaz radio.....	43
Ilustración 2-9:	Arquitectura de red LTE.....	44
Ilustración 2-10:	Evolución del número de radio bases, marzo 2008- marzo 2020 por operadora.....	47
Ilustración 2-11:	Tarje de desarrollo GPS/GPRS A9G MÓDULO.....	49
Ilustración 2-12:	Tarjeta de desarrollo GPS/LTE/UMTS TTGO T-SIM7600G-H R2	51
Ilustración 3-1:	Creación de la instancia cliente.....	57
Ilustración 3-2:	Declaración de los pines activos.	57
Ilustración 3-3:	Registro de conexión a la red GPRS.	58
Ilustración 3-4:	Llamado a la función modem.enableGPS()	59
Ilustración 3-5:	Obtención de los datos GPS.....	59
Ilustración 3-6:	Creación del cliente MQTT.....	60
Ilustración 3-7:	Conexión hacia el servidor Ubidots.	60
Ilustración 3-8:	Tablero del dispositivo RASTRO_K.	61
Ilustración 3-9:	Cadena JSON para publicar los datos GPS.....	62
Ilustración 3-10:	Raw widget position.	63
Ilustración 3-11:	Simulación del divisor de voltaje en multisim.....	64
Ilustración 3-12:	Circuito divisor de voltaje añadido a la batería del módulo.....	64
Ilustración 3-13:	Código para publicar el estado de carga SOC.....	65
Ilustración 3-14:	Código lectura de voltaje corregido y cadena JSON de los datos de la batería.....	66
Ilustración 3-15:	Curva de descarga de la batería de litio registrada en Ubidots.	67
Ilustración 3-16:	Fila de datos de la variable batería con el estado de carga SOC.....	68
Ilustración 3-17:	Evento alarma activa generado con la geocerca.....	69

Ilustración 3-18:	Geocerca ubicada en la ciudadela Juan Montalvo perteneciente a Riobamba.....	69
Ilustración 3-19:	Switch case para envío de notificación al chat bot de Telegram.....	70
Ilustración 3-20:	Enlace de notificación de Telegram y mapa con la ubicación.	71
Ilustración 3-21:	Condiciones para el evento estado de conexión.....	72
Ilustración 3-22:	Switch case para envío del archivo kml al chat bot de Telegram.	73
Ilustración 3-23:	Código que activa la función textokmlfin.....	73
Ilustración 3-24:	Creación del archivo ruta.kml.	74
Ilustración 3-25:	Archivo ruta.kml.	75
Ilustración 3-26:	Tablero de la aplicación RASTRO_K con sus widgets etiquetados respectivamente.	77
Ilustración 3-27:	Coefficiente de Peukert de la batería 18650.....	78
Ilustración 3-28:	Consumo de corriente en una hora.....	79
Ilustración 3-29:	Capacidad vs tiempo de duración de la batería para el modo de conexión WCDMA.....	80
Ilustración 3-30:	Capacidad vs tiempo de duración de la batería para el modo de conexión LTE.....	81
Ilustración 3-31:	Mapa de la ruta establecida.....	82
Ilustración 3-32:	Marcas de latitud y longitud pertenecientes a la Av. Pedro Vicente Maldonado.....	83
Ilustración 3-33:	Marcas de latitud y longitud pertenecientes a la Av. Veloz.....	84
Ilustración 3-34:	Ruta de ida.	86
Ilustración 3-35:	Ruta de vuelta.	86
Ilustración 3-36:	Máscara de precisión sobre la calle Colón.....	87
Ilustración 3-37:	Máscara de precisión calles Milton Reyes y 11 de Noviembre.	88
Ilustración 3-38:	Máscara de precisión en la Av. Veloz.....	89
Ilustración 3-39:	Ruta establecida Paseo Shopping.....	91
Ilustración 3-40:	Ruta establecida Multiplaza.....	91
Ilustración 3-41:	Ruta Paseo Shopping-Multiplaza completa.	92
Ilustración 3-42:	Ruta Paseo Shopping.	93
Ilustración 3-43:	Ruta Paseo Shopping.	93
Ilustración 3-44:	Ruta Multiplaza.....	94
Ilustración 3-45:	Croquis del Paseo Shopping y descripción de las marcas de latitud y longitud medidas.....	95
Ilustración 3-46:	Croquis del Multiplaza y descripción de las marcas de latitud y longitud medidas.....	96

Ilustración 3-47:	Implementación del sistema de rastreo de SMART TVs.....	100
Ilustración 4-1:	Histograma y polígono de frecuencias de la precisión del sistema de rastreo de SMART TVs en un ambiente outdoor.....	104
Ilustración 4-2:	Histograma y polígono de frecuencias de la precisión del sistema de rastreo de SMART TVs en ambientes indoor.....	108
Ilustración 4-3:	Modelo de Rayleigh de las distancias medidas.....	112

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2-1:	Distancia desde el satélite al receptor.....	35
Ecuación 3-1:	SOC (Estado de carga)	47
Ecuación 3-2:	SOC (Estado de carga)	65
Ecuación 3-3:	Profundidad de descarga.	66
Ecuación 3-4:	Fórmula de Peukert para determinar la capacidad de la batería respecto a una corriente promedio.	79
Ecuación 3-5:	Tiempo de duración de la batería.	82
Ecuación 3-6:	Fórmula de Haversine.	84
Ecuación 3-7:	Fórmula de la tasa de transferencia.	98
Ecuación 4-1:	Función de densidad de probabilidad de Rayleigh.....	112
Ecuación 4-2:	Confiabilidad.....	113

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Distancia geográfica para la ruta de ida.
- ANEXO B:** Distancia geográfica para la ruta de vuelta.
- ANEXO C:** Distancia geográfica de la ruta indoor Paseo Shopping.
- ANEXO D:** Distancia geográfica de la ruta indoor Multiplaza.
- ANEXO E:** Distancia geográfica obtenida de la prueba estática indoor.
- ANEXO F:** Consumo de datos inicial en la aplicación de Tuenti.
- ANEXO G:** Consumo diario de datos de Ubidots
- ANEXO H:** Consumo diario de datos Ubidots y Telegram
- ANEXO I:** Uso de datos por las aplicaciones Ubidots y Telegram detallado por día.
- ANEXO J:** Manual de usuario del sistema de rastreo de smart TVs.
- ANEXO K:** Recolección de datos ruta outdoor.
- ANEXO L:** Medición del voltaje de saturación la batería.
- ANEXO M:** Suelda del divisor de voltaje.
- ANEXO N:** Medición de la corriente con osciloscopio y punta amperimétrica.
- ANEXO O:** Tablero de Ubidots.
- ANEXO P:** Ubicación del módulo TTGO T-SIM7600G-H R2 en la caja.
- ANEXO Q:** Registro de las coordenadas en la variable position.
- ANEXO R:** Tablero de Ubidots aplicación celular.

RESUMEN

Se diseñó e implementó un sistema de rastreo mediante el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y la red móvil celular para detectar la ubicación de televisores inteligentes robados. Esto implicó la programación de la comunicación serial y móvil de Cuarta y Tercera Generación (4G/3G). Los datos se envían a Ubidots a través de librerías vinculadas al dispositivo TTGO T-SIM7600G-H R2. Dicha plataforma activa la alarma de robo cuando la televisión sale de la geocerca predefinida. Las alertas se envían al chat bot de Telegram. Ubidots proporcionó una interfaz para visualizar la posición, porcentaje de batería, estado de conexión, y alarma. El botón kml envía las coordenadas recolectadas al chat bot de Telegram. Las coordenadas son recopiladas incluso cuando no existe conexión a la red móvil celular sin importar que el dispositivo esté conectado al Bus Universal en Serie (USB), debido a la batería de litio. Se evaluó el funcionamiento de la batería mostrando una autonomía de 4h:56, y una vida útil de 17 meses. El sistema mostró una precisión del 79,65% para coordenadas en exteriores dentro del rango de precisión de 8 metros; y de 64,58% en interiores en el rango de precisión de 30 metros. Se compararon las muestras reales y medidas por medio de la prueba U de Mann-Whitney, y se concluyó que las medianas en ambos ambientes son iguales. El modelamiento de la función de densidad de probabilidad Rayleigh en el rastreo estático indoor, indicó un 99,90 % de certeza de que las ubicaciones permanecen en la geocerca. La evaluación del rendimiento entre los eventos para la transmisión de la alarma presentó un retardo promedio de 25 segundos y una tasa de transferencia de mensajes de 1,23 por minuto.

Palabras clave: <RASTREO SMART TV >, <GEOCERCA>, <COORDENADAS GEOGRÁFICAS>, <NOTIFICACIONES>, <EVOLUCIÓN A LARGO PLAZO (LTE) >, <TRANSPORTE DE TELEMETRÍA DE MENSAJES EN COLA (MQTT)>, <RAÍZ DE LA DESVIACIÓN CUADRÁTICA MEDIA (RMSE) >, <ESTADO DE CARGA (SOC)>.



1747-DBRA-UPT-2023

SUMMARY

A tracking system using the Global Positioning System (GPS) and the mobile cellular network was designed and implemented to detect the location of stolen smart TVs. This involved programming Fourth and Third Generation (4G/3G) serial and mobile communication. Data is sent to Ubidots through libraries linked to the TTGO T-SIM7600G-H R2 device. This platform activates the theft alarm when the TV moves out of the predefined geofence. Alerts are sent to the Telegram chatbot. Ubidots provides an interface to visualize the position, battery percentage, connection status, and alarm. The KML button sends collected coordinates to the Telegram chatbot. Thanks to the lithium battery, coordinates are collected even without a mobile cellular network connection, regardless of whether the device is connected to the Universal Serial Bus (USB). Battery performance was evaluated, showing an autonomy of 4h:56 and a lifespan of 17 months. The system demonstrated 79,65% accuracy for outdoor coordinates within an 8-meter precision range and 64,58% accuracy indoors within a 30-meter precision range. The Mann-Whitney U test compared Real and measured samples, concluding that the medians in both environments are equal. Modeling the Rayleigh probability density function in static indoor tracking indicated 99,90% certainty that locations remain within the geofence. Performance evaluation between events for alarm transmission showed an average delay of 25 seconds and a message reference rate of 1,23 per minute.

Keywords: <SMART TV TRACKING>, <GEOFENCE>, < GEOGRAPHICAL COORDINATES>, < NOTIFICATIONS >, <LONG-TERM EVOLUTION (LTE)>, <MQTT PROTOCOL>, <ROOT MEAN SQUARE ERROR (RMSE)>, < STATE OF CHARGE (SOC)>.



Lenin Iván Lara Olivo
0602546103

INTRODUCCIÓN

La televisión como un dispositivo inteligente está destinada a facilitar la actividad humana, con funciones como la navegación en internet, conectividad Wi-Fi, uso de aplicaciones de streaming y de control remoto. Existen una infinidad de aplicaciones propuestas para satisfacer las necesidades del usuario al momento de acceder al contenido, pero ninguna antirrobo.

La seguridad antirrobo mayormente implementada en locales comerciales ha incrementado su demanda, requiriéndose en casas, debido al incremento de la delincuencia.

Dichos sistemas son costosos pues utilizan cámaras y sistemas de alarmas, carecen de autonomía, son visibles para los ladrones, y se encuentran empotrados haciendo que funcionen solo en su sitio de instalación.

Últimamente con el aumento de la incidencia de robos a domicilios, sería de gran utilidad diseñar un sistema de rastreo para este objeto y así obtener información pertinente que permita a las autoridades su recuperación. Este trabajo se refiere a un sistema de rastreo GPS, que se basa en el uso del Sistema Global de Navegación por Satélite GNSS, que provee estimaciones de posición, velocidad y tiempo; el cuál, es utilizado para calcular la posición de cualquier objeto sobre la tierra por medio de triangulación, determinando su, longitud y latitud.

Considerando lo anterior, una solución es el desarrollo de una aplicación que use la información de ubicación y se active mediante una geo cerca para dar el seguimiento al objeto. En este proyecto se utiliza un receptor GPS para obtener la información de ubicación de la televisión y una tarjeta SIM LTE-UMTS que posibilita la comunicación entre la aplicación y el dispositivo; el cuál permanece rastreando aun cuando no se encuentre conectado a la energía o esté fuera de área de conexión GPRS almacenando los datos para su posterior envío cuando el usuario lo requiera.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Antecedentes

Un sistema de rastreo para conocer la ubicación de niños utiliza comunicaciones móviles GSM y el sistema de posicionamiento Global GPS como las principales herramientas.

El diseño del dispositivo es fácil de llevar dentro de la ropa del niño como un accesorio, sea este un cinturón o un reloj de mano. Cuando el niño se encuentra fuera del límite el rastreador se activa y envía un mensaje de alerta que, notifica a la persona encargada la ubicación actual del niño. (Khutar et al., 2021, pp. 1-7)

Algunos autores utilizan técnicas GSM para distintas funciones como el envío de notificaciones para el control remoto de animales, personas o cosas, otros para el rastreo de cosas o personas desaparecidas, y más comúnmente se usa en los sistemas anti-robo de vehículos. En el artículo “Vehicle Anti-Theft Tracking System Based on Internet of Things” los autores abordan el problema persistente de la seguridad de los vehículos en países desarrollados, donde estos necesitan ser rastreados e identificados, para ello la función que vincula el motor CC con el GPS es el GSM. Este documento se enfoca en los microcontroladores, la tecnología IoT que da información del seguimiento del sistema, y GSM para el monitoreo remoto. (Liu et al., 2013, pp. 48-52)

En la UDLA se desarrolló un prototipo de localización mediante GPS y GSM para el monitoreo de bicicletas en tiempo real con la funcionalidad de alertar cuando ocurre un accidente. Este sistema posibilita al usuario la visualización de la ubicación, velocidad y altura de la bicicleta. Además, posee un giroscopio cuyos datos son enviados a través de un mensaje de notificación al correo cuando se detecta una variación del movimiento que indica cuando la bicicleta ha sufrido una caída. La arquitectura del prototipo interactúa con la base de datos donde se toma la información y se vincula al servidor web para la gráfica de las rutas realizadas.

Los resultados de este trabajo de tesis luego de realizar pruebas con dicho prototipo fueron satisfactorias; donde demostraron datos de fiabilidad, que comprueban que, usando la red móvil

celular para el envío de datos, el promedio de coordenadas perdidas en una hora es de 8%, en treinta minutos es de 2% y en quince minutos es de 7% sin representar un problema en la gráfica de rutas, y que la precisión para este sistema realizado al aire libre es adecuada. (Cordero & Salgado, 2019, pp.70-90)

En un estudio sobre la seguridad ciudadana realizado en el Barrio La Floresta ubicado en el centro norte de Quito, sobre delitos a la propiedad privada en los que se dimensiona el número de delitos denunciados u objetivos para obtener cifras de personas que han sido afectadas o transgredidas al derecho legal sobre sus bienes. En base a los aspectos geográficos de los delitos se realiza el análisis con la finalidad de obtener un mapa de densidad delictiva, así como identificar las tendencias o patrones de actividades delictivas entre esta ubicación y tiempo determinado. (Aguilera, 2019)

Establecidas las categorías de densidad “Baja”, “Media”, “Alta” y “Muy Alta”, se ha identificado a la Av. 12 de Octubre como una zona con una densidad de media a muy alta en el año 2014 y otras áreas que cubren las calle Francisco Galavis- Av. La Coruña, y Av. 12 de Octubre como la zona más grande con densidad delictiva media. El robo a domicilios no ocupó un área de densidad delictiva representativa. (Aguilera, 2019, pp.1-13)

Las denuncias se han dividido en tres categorías, que son: robo a personas, robo a domicilios, robo a unidades económicas, robo de carros y robos al interior de un automotor, en donde el tipo de robo a la propiedad comúnmente más denunciado es el robo de bienes al interior de un automotor con el 46% mientras que el robo a domicilios ocupa el 5% en el periodo 2014-2017. A pesar de que los delitos han ido decreciendo, cierto tipo de delitos no siguen esta tendencia, como es la denuncia de robo a domicilios, el mismo que en denuncias ocupó el 5% en 2014 en 2016 sube al 30,99 % de denuncias y en 2017 vuelve a bajar con un 23,94 %. El robo de bienes de vehículos es el tipo de delincuencia que presenta mayor incidencia, con 45,66% en 2014, sin embargo, ha bajado a 20,88 % en 2017. (Aguilera, 2019, pp.1-13)

En la ciudad de Riobamba se realizó una investigación de tesis para ayudar a los individuos que requieren de un sistema de georreferenciación para descubrir la ubicación de personas vulnerables, en la que se plantea un dispositivo de tamaño pequeño para que la persona lo pueda llevar puesto y se utiliza para su construcción módulos GPS y GSM.

Las coordenadas de la persona vulnerable pueden buscarse mediante una aplicación en el Smartphone la cual a su vez se enlaza con Google Maps.

Se determinó que el dispositivo funciona en un rango aceptable de precisión de 2,5 m, ayudándose de Google Maps para una mejor precisión y guía de ubicación, además mediante la comparación de los materiales de construcción determinaron los componentes de hardware más económicos y con buenas características de programación.(Chamba, 2017, pp.80–84)

1.1.2. Formulación del problema

¿Cómo diseñar e implementar un sistema de rastreo mediante GPS y la red móvil celular para aplicaciones de detección de ubicación de Smart TVs robados?

1.1.3. Sistematización del problema

¿Cuáles son las características que debe tener un sistema de rastreo mediante GPS para dispositivos tecnológicos?

¿Qué hardware y software se adapta al diseño de la aplicación propuesta?

¿Cómo implementar el prototipo GPS de rastreo con autonomía definida para SMART TVs?

¿Cómo diseñar la interfaz gráfica de la aplicación móvil para la visualización de los resultados de localización?

¿Cómo evaluar el dispositivo mediante la aplicación móvil para condiciones outdoor e indoor?

1.2. Justificación

1.2.1. Justificación teórica

La delincuencia ha existido desde siempre, siendo el robo uno de los delitos con tendencias fluctuantes por año, donde la inseguridad ciudadana se percibe en las ciudades evidenciándose tipos de robos a personas, a domicilios, robos de motos, carros, robo de bienes al interior de vehículos, accesorios, autopartes y robo a unidades económicas.

Según la fiscalía general del estado (FGE) las cifras de robo entre enero y noviembre 2021 con respecto al mismo periodo del año 2020 en Ecuador dejan ver un incremento en las noticias del

delito de todos los tipos de robo y en lo que a robos a domicilio se refiere se puede constatar un aumento del 12,1%.(FISCALÍA GENERAL DEL ESTADO, 2021, pp. 1-3)

La mayor concentración de robos delimitados por hora del día en la que ocurre, varía de acuerdo con el tipo de robo, las encuestas muestran que la tarde es el horario preferido para robo a personas con el 33,6 % de concentración siendo el mes más alto Julio 2021, mientras que el robo a domicilios se presenta en un 28,8% en la noche teniendo mayor incidencia en el mes de octubre 2021, el robo de carros y motos también tiene tendencia a ocurrir en la noche con un 31,6% y 34,5% presentando mayor concentración en los meses de octubre, noviembre respectivamente.(FISCALÍA GENERAL DEL ESTADO, 2021, pp. 1-3)

Entre las pertenencias que son sustraídas en el hogar se tiene preferencia por las cosas de mayor valor, fáciles de llevar como el dinero y las joyas que ocupan el primer y segundo lugar. En tercer lugar, los delincuentes roban la electrónica, dispositivos como celulares, televisores, portátiles, entre otros. (PROTEK, 2022, pp. 1-2)(Electrostore, 2022, pp. 1-3)

En este 2022 en la ciudad de Ambato se ha evidenciado el incremento de la demanda de instalaciones de sistemas de seguridad en viviendas para protegerse de la delincuencia.

Los robos a viviendas se han intensificado en los barrios, según la fiscalía de la provincia, en 2020 se denunciaron 726 robos y en 2021 esta cifra se incrementó a 1541, anteriormente este tipo de sistemas era muy usado para centros de comercio y entidades bancarias.

Se instalan cámaras y alarmas, sin embargo, algunos instaladores no vinculados al tema de la seguridad instalan solo cámaras, las cuales por sí solas no llegan a proteger del acceso de intrusos a una vivienda, más bien la supervisión y el monitoreo constante de las cámaras junto con la alarma brindan seguridad.(La Hora, 2022, pp. 1-4)

La seguridad ciudadana está explícitamente relacionada a cámaras de vigilancia del centro de atención ciudadana ECU-911, que necesitan ser controladas a diario, la misma posee una plataforma no inteligente que tiene limitaciones en los niveles de respuesta a eventos, lo que no favorece a la seguridad de la población.

Existen estudios para el ECU-911 de Machala, realizados acerca del monitoreo de datos captados por las cámaras de videovigilancia, en las que se realiza un contraste con una base de datos que permite identificar eventos.(Rodríguez, 2019, pp.19-40)

Entre las acciones en las que se pudieron mejorar al ECU-911 se tuvo el reconocimiento facial, identificación de placas de autos robados, y seguimiento de personas.(Rodríguez, 2019, pp.19–40)

Hay eventos que pasan desapercibidos o que son reportados mucho después de ocurrido el incidente, como son los robos a domicilio. El sistema propuesto para la detección de objetos robados al interior de un domicilio tiene una gran aplicabilidad en las medidas de seguridad que un ciudadano puede tomar para aportar con información relevante de rastreo de sus pertenencias.

El mismo que enviará un mensaje de notificación al encontrarse fuera del perímetro y a la vez la ubicación en un tiempo prudencial de hasta un día, lo que ayuda en las acciones que pueda tomarse juntamente con el ECU-911 para la recuperación de las pertenencias y aprensión de los delincuentes.

1.2.2. Justificación aplicativa

Una alternativa que es aplicada al rastreo de objetos móviles, generalmente al control anti-robo vehicular es el uso de la tecnología GPS/GSM, la cual, también puede ser aplicada a cualquier objeto, cosa, animal o persona para su localización.

La aplicación de estas tecnologías a los sistemas de seguridad genera información útil de la ubicación de objetos para la tranquilidad del usuario quién conoce que sus pertenencias se encuentran a salvo o a la vez pueden estar siendo sustraídas. En este sistema el usuario puede acceder a la ubicación del objeto televisor y a su vez recibir un mensaje de notificación del sistema cuando el televisor cambie su posición en un área geográfica determinada, teniendo así un control sobre el objeto televisor desde la aplicación.

La disponibilidad de los datos de ubicación es otra de las ventajas que tiene el dispositivo, al almacenar en su memoria dicha información para su posterior recuperación cuando pierda conectividad con la red móvil.

El rastrear dispositivos tecnológicos en una casa ante un robo, es algo que no ocurre a menudo por el costo que implica instalar un sistema de seguridad completo para cada área de la casa, además los dispositivos tecnológicos como las televisiones inteligentes no poseen este sistema de rastreo integrado.

El circuito de un televisor actual está diseñado para responder a otros servicios, pero a la vez posee varios tipos de conectores como son HDMI, USB, coaxial, entre otros, de los cuales se puede tomar como un recurso de carga rápida a los conectores tipo USB para dar energía a este sistema antirrobo.

En la actualidad se ha ido incrementando el uso de teléfonos celulares y con ello la arquitectura de las tecnologías 3G y superiores, en Ecuador el servicio de internet móvil en 2018 ha llegado a 9,2 millones de usuarios.(Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, 2019)

El uso de las redes móviles para acceder a Internet y la creación de una aplicación de rastreo complementan el sistema antirrobo, y proporcionan ayuda al usuario al momento de presentar información útil en la investigación que la policía realiza para recuperar un bien antes de que sea trasladado a otras ciudades para su venta ilegal.

En la ilustración 1-1 se presenta el diagrama de funcionamiento del sistema de rastreo de SMART TVs que inicia en la recolección de datos para enviarlos desde la tarjeta TTGO T-SIM7600G-H R2 hacia las aplicaciones en la nube mediante la red móvil celular y accionar switches en el dispositivo de rastreo que permitan obtener el mensaje de alerta en la aplicación Telegram de manera que el cliente observe los datos en el mapa y a su vez pueda generar un archivo con los datos recopilados cuando el mismo lo solicite. La medición de los datos posición, batería, kml y el estado online/offline (en línea o fuera de línea) son mostrados en el tablero de Ubidots, que forma parte de la aplicación de rastreo.

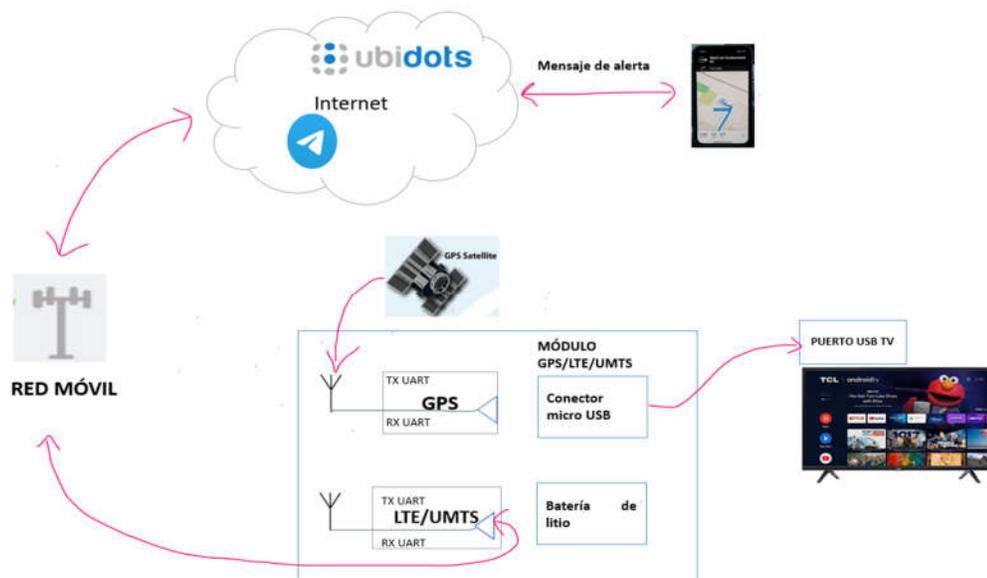


Ilustración 1-1:Diagrama del funcionamiento del sistema de rastreo de SMART TVs.

Realizado por: Tamayo K., 2023

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de rastreo mediante GPS y la red móvil celular para aplicaciones de detección de ubicación de SMART TVs robados.

1.3.2. Objetivos específicos

- Estudiar las características de los sistemas de rastreo mediante GPS para dispositivos tecnológicos.
- Definir los requerimientos de hardware y software que se adapten al diseño de la aplicación propuesta.
- Implementar el prototipo GPS de rastreo para SMART TVs con autonomía definida.
- Diseñar la interfaz gráfica de la aplicación móvil para la visualización de los resultados de localización.
- Evaluar el funcionamiento del dispositivo en condiciones indoor y outdoor usando la aplicación móvil.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

El contenido del presente capítulo nos proporciona información de los conceptos teóricos utilizados a lo largo del proceso de desarrollo del presente trabajo de titulación.

2.1. Referencias Teóricas

2.1.1. *Receptores GNSS/GPS*

Los receptores GNSS sintonizan la frecuencia a la que trabajan los satélites, que engloba a las constelaciones GPS, GLONASS, GALILEO Y BEIDOU y se basan en soluciones de navegación y posicionamiento. De esta manera, se entiende que los receptores GPS son la interfaz de usuario que reciben las señales que corresponden o están dentro de la banda L1 en la frecuencia central de 1,575 GHz, y L2 en la frecuencia central de 1,227 GHz. (Bern et al., 2014, pp. 130–155)

Se encargan de procesar las señales en el espacio, para determinar su posición, velocidad y tiempo.

Para evitar interferencias entre el satélite y el dispositivo receptor la señal GPS tiene un ancho de banda mayor al necesario. La fuente de frecuencia la genera el oscilador o reloj, y a partir de la frecuencia nominal de 10,23 MHz instalada en GPS se generan el conjunto de portadoras y códigos que conforman la señal GPS. (Bern et al., 2014, pp. 130–155)

La señal GPS transmitida por los satélites tiene una estructura de tres partes: Señal portadora, Código o Códigos de ruido pseudoaleatorio, y Mensaje de navegación.

La señal portadora es acondicionada modificando sus fases y es así como la información PNR y mensaje de navegación es codificada digitalmente mediante la modulación BPSK (Modulación por desplazamiento de fase binaria).

La modulación por desplazamiento de fase binaria es el cambio de la fase en 180° cada vez que existe una transición de 0 a 1, cada uno de estos cambios se presenta cuando la fase de la portadora está en el cruce por cero. En el momento en que el estado se encuentra en 0 la señal pasa sin cambiar de fase, y cuando pasa a 1 la fase de la señal se invierte 180° . (Dutton, 2020, pp. 1–3)

El procesamiento de la señal portadora es necesario para el envío y recepción de la señal GPS, con el fin de que esto suceda, la frecuencia del GPS de usuario debe estar sincronizada a la de la señal portadora emitida por el satélite.

Se dice que la modulación BPSK es un tipo de modulación de espectro ensanchado, en consecuencia, la señal GPS posee un ancho de banda aumentado, lo que le da características robustas en la transmisión que permite evitar las interferencias, mejora la relación señal a ruido, le da mayor seguridad impidiendo que ésta sea interceptada, y un alcance mucho más preciso. En otras palabras, el ancho de banda general de la señal GPS es mucho más amplio que el ancho de banda de la información que transporta. (Dutton, 2020, pp. 1-3)

Entre la información más importante que se superpone en la portadora, se tienen los códigos C/A (Clear/Adquisition) empleado para navegación de baja precisión (uso civil) y P (Precise) empleado para navegación de alta precisión (uso militar). (Bern et al., 2014, pp. 130-155)

Las señales GPS tienen tasas de transferencia de datos que se repiten un número de veces la frecuencia fundamental f_0 igual a 10,23 MHz. La tasa de datos del código P(Y), que es el código de uso militar es igual a la frecuencia fundamental 10 Mbps y se obtienen de multiplicar $f_0 * 10,23$ chips del código P(Y). La tasa de chips del código C/A (adquisición aproximada) de uso civil, es una décima parte de f_0 , y su transferencia de datos es 1,023 Mbps. Uno de los motivos por los que un pseudorange encontrado con la aplicación del código C/A es menos precisa que P(Y) se debe a que es 10 veces más lenta para crear un solo chip de código C/A.

Las distancias que pueden obtener los receptores GPS debido a errores de sincronismo de reloj se denominan pseudodistancias.

Debido a que existe un ruido natural en la tierra que afecta a la obtención del parámetro distancia se genera un código pseudoaleatorio en el receptor, como medida de desviación GPS.

Un transmisor GPS está transmitiendo constantemente en intervalos de unos pocos milisegundos un código pseudoaleatorio único que identifica al satélite en específico del cual proviene la transmisión. (González, 2021, pp.15-17)

El receptor trata de igualarse a la señal PNR, copia la misma y la compara realizando un desplazamiento temporal pseudoaleatorio con la señal que está receptando del satélite, a lo que se

llama tiempo de vuelo, que es el tiempo que tarda para que la señal se propague desde el satélite al receptor y mediante este dato calcular la distancia entre el satélite y el receptor. (Duarte Muñoz, 2022, pp. 1–5) (González, 2021, pp.15–17)

En la ilustración 2-1 se aprecia la medición del tiempo de vuelo, que realiza un receptor GNSS. La señal generada tanto en los satélites como en los receptores radica en conjuntos de códigos digitales especialmente complicados para poder compararse sin ambigüedad. (Garrido, 2020, p. 1)

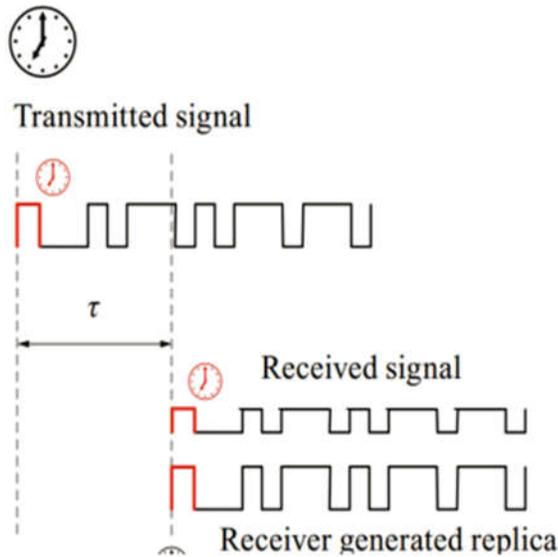


Ilustración 2-1: Principio básico del tiempo de vuelo para la mediación de la distancia en GNSS.

Fuente: (González, 2021)

El receptor GPS puede separar la señal de cada satélite porque conoce el código PRN de cada uno. Esta técnica se llama CDMA Code Division Multiple Access y la separación se realiza mediante correlación con un código equivalente generado internamente en el receptor.

La mayoría de los sistemas de navegación por satélite utilizan (CDMA) para multiplexar varias señales de satélite en la misma frecuencia. Esto permite que cada satélite tenga asignado un ruido PRN que modula la señal transmitida. Generalmente los receptores tienen asignado un canal para cada señal que está siendo rastreada, y esto permite que cada señal de cada satélite se pueda procesar de forma independiente. (Bern et al., 2014, pp. 130–155)

El satélite GPS transmite además una señal de 50 Hz (mensaje de navegación), en ambas portadoras L1 y L2, que proporciona información de las efemérides de órbita del satélite

transmisor y las correcciones por el desfase de sus relojes con referencia al del GNSS.(Bern et al., 2014, pp. 130–155)(González, 2021, p.15)

En la ilustración 2-2 se puede apreciar las señales que produce el satélite y la modulación de las portadoras que llevan la información para formar una sola señal L1.



Ilustración 2-2: Señal GPS.

Fuente:(Bern et al., 2014, pp. 130–155)

2.1.2. Servicios GPS

Los servicios de navegación y posicionamiento GPS se han ido convirtiendo en esenciales hasta llegar a un mercado mundial. En los dispositivos de uso diario como relojes, teléfonos inteligentes, seguridad del transporte, navegadores de vehículos, la precisión solía ser estándar, es decir, menos precisa, mediante una técnica conocida como disponibilidad selectiva (SA).

El gobierno de U.S. reconoció la importancia de GPS para usuarios civiles y comerciales por lo que decide eliminar la degradación intencional de precisión en las señales GPS, estableciendo una norma estándar, el 4 de octubre del 2001, en la que la SA se pone a cero.(GPS.GOV, 2021, pp. 1–2)

Mientras que, para los servicios de navegación aérea, terrestre, marítima, topográficos, geodesia entre otros cuyos requisitos de precisión son críticos, se designó un mayor rendimiento GPS a los usuarios que son aliados del gobierno de U.S., mediante receptores de alta precisión.(GPS.GOV, 2021, pp. 1–2)

SPS o servicio de posicionamiento estándar, brinda una precisión normal de posicionamiento civil para usuarios de la señal L1, obtenida por el uso del código PNR C/A transmitido en dicha frecuencia.

PPS o servicio de posicionamiento preciso, es transmitido por las dos bandas L1, L2 y brinda un posicionamiento dinámico de mayor precisión, basado en el código PNR P, accesible solo para usuarios autorizados. (García, 2008, pp.29–40)

2.1.3. Códigos GPS

La señal GPS está formada por códigos y portadoras. El receptor genera su secuencia pseudoaleatoria para obtener acceso a un canal del satélite GPS. Y este para sincronizarse con el receptor genera este mismo patrón pseudoaleatorio y lo envía.

El código pseudoaleatorio transmitido por el satélite se compone de tres tipos de cadenas:

- El código C/A (Código de Adquisición Aproximada), con frecuencia 1,023 MHz, utilizado por los usuarios civiles.
- El código P (Código de Cifrado de Precisión), de uso militar, con una frecuencia 10 veces superior al código C/A.
- El código Y, que se envía encriptado en lugar del código P cuando está activo el modo de operación anti-engaños. (Pozo et al., 2019, pp. 3–9)

La transmisión de dichos códigos se realiza en dos frecuencias:

Frecuencia portadora L1, a 1575,42 MHz., transmite los códigos C/A y P.

Frecuencia portadora L2, a 1227,60 MHz., transmite información militar modulada en código P. (Pozo et al., 2019, pp. 3–9)

2.1.3.1. Nuevas Señales Civiles

El gobierno de U.S. dentro del programa de modernización impulsa tres nuevas señales civiles de navegación a la constelación de satélites, las mismas son: L2C, L5, y L1C. (GPS.GOV, 2020, pp. 1–5)

La primera fue lanzada en el año 2005 con el nombre L2C haciendo referencia a la frecuencia de radio usada por la banda L2 que corresponde a 1227,6 MHz, sin embargo, las señales CNAV son transmitidas desde el año 2014 siendo su uso bajo la responsabilidad del usuario.

L2C puede combinarse con L1 C/A en los receptores de doble frecuencia, lo que es beneficioso ya que habilita la corrección ionosférica. En mayo de 2010 se lanzó el primer satélite GPS IIF, con un transmisor L5, es la tercera señal para uso civil la cual es transmitida en la frecuencia de 1176,45 MHz, está diseñada para cumplir con el transporte aéreo y seguridad sin embargo sigue siendo preoperativo.

En diciembre del año 2018 se lanzó un satélite L1C que es la cuarta señal para uso civil, la cual fue desarrollada para tener compatibilidad con GALILEO, se proyecta que este sistema será compatible con otros sistemas de navegación existentes.

L1C emite en la misma frecuencia que la señal L1 C/A original, es decir, es modulada a la frecuencia de 1575,46 MHz.(GPS.GOV, 2020, pp. 1-5)

En la Tabla 2-1 se observa detalladamente las especificaciones de las señales L2C, L5 y L1C.

Tabla 2-1: Especificaciones de las nuevas señales Civiles con sus satélites.

SATÉLITES			
Primer satélite / señal civil transmitida	GPS Block IIR-M L2C	GPS IIF L5	GPS III L1C
Frecuencia portadora	1227,60 MHz	1176 MHz	1575 MHz
Mensaje de navegación	CNAV moderno, incluye múltiples tipos de mensajes y corrección de errores de reenvío.	CNAV moderno, incluye múltiples tipos de mensajes y corrección de errores de reenvío.	CNAV-2 moderno, incluye la corrección de errores de reenvío.
Características de la Banda de radio.	Banda de radio de los servicios de radionavegación por satélite (RNSS)	Banda de radio altamente protegida de los servicios de radionavegación aeronáutica (ARNS) Mayor potencia transmitida que L1 C/A o L2C Mayor ancho de banda y resistencia a los atascos	Banda de radio de los servicios de radionavegación aeronáutica (ARNS) Diseñado para la interoperabilidad GNSS internacional.
Modulación	BPSK	BPSK	Modulación de portadora compensada binaria multiplexada, MBOC.
Satélites disponibles	24 satélites GPS transmiten a partir del 26 de junio de 2022.	17 satélites GPS transmiten desde el 26 de junio de 2022	5 satélites GPS desde el 26 de junio de 2022.

Fuente: (GPS.GOV, 2020, pp. 1–5)

Realizado por: Tamayo K., 2023

2.1.4. Posicionamiento usando GPS

La interfaz de GPS define dos enlaces RF, L1 y L2, por los que se transmiten las señales GPS. Dichos enlaces proveen de los códigos de posicionamiento y los datos necesarios, contenidos en el mensaje de navegación, para que el GPS lleve a cabo sus funciones.

El Sistema GPS, mide la fase en el momento de llegada de las señales de al menos cuatro satélites, lo que le permite corregir el error en tiempo del reloj (b), así como también estimar cuatro parámetros: posición en tres dimensiones (X, Y, Z) y hora de GPS (T) como se puede visualizar

en la ilustración 2-3.(García, 2008, pp.29–40)(Duarte Muñoz, 2022, pp. 1–5)

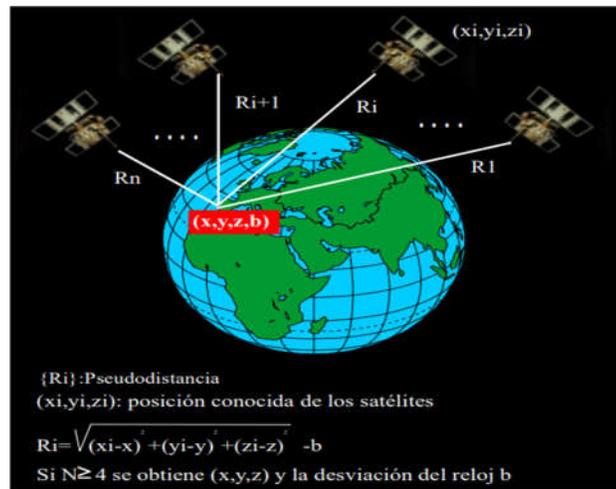


Ilustración 2-3:Cálculo de la posición en el receptor.

Fuente: (Pozo et al., 2019, pp. 3–9)

El cálculo de la posición GPS hace uso de la trilateración esencialmente y de un principio matemático básico que permite conocer la distancia desde el satélite hasta la ubicación del receptor en la tierra; donde se relaciona la distancia recorrida, velocidad de desplazamiento, y la cantidad de tiempo empleado en el viaje o tiempo de vuelo del satélite.(Bern et al., 2014, pp. 130–155) (GPS.GOV, 2020, pp. 1-4)

De forma que la distancia entre el receptor y el satélite se obtienen con la ecuación (2-1):

$$distancia = velocidad * t_{vuelo} \tag{2-1}$$

Ecuación 2-1:Distancia desde el satélite al receptor.

Fuente: (Bern et al., 2014, pp. 130–155)

El receptor toma del mensaje de la señal proveniente del satélite, los parámetros posición del satélite, y reloj de este para proceder con el cálculo:

- 1) La ubicación de los satélites es conocida por el receptor con base en las efemérides, parámetros que son transmitidos por los propios satélites.
- 2) El receptor GNSS mide su distancia de los satélites, y usa esa información para calcular su posición. (García, 2008, p.29) Esta distancia se mide calculando el tiempo que la señal tarda en llegar al receptor. Conocido ese tiempo y basándose en el hecho de que la señal viaja a la velocidad de la luz (salvo algunas correcciones que se aplican), se puede calcular la distancia entre el receptor y el satélite.

- 3) Cada satélite indica que el receptor se encuentra en un punto en la superficie de la esfera con centro en el propio satélite y de radio la distancia total hasta el receptor.
- 4) Se necesitan al menos cuatro satélites para obtener la posición. Con tres satélites, se es capaz de calcular la posición en tres dimensiones, mientras que el cuarto satélite permite eliminar los errores de sincronismo. (García, 2008, p.29)

2.1.5. Tecnología de comunicación GPRS

Se encuentra bajo el estándar del Instituto Europeo de Estándares en Telecomunicaciones ETSI, GPRS es solo una modificación de la forma de transmitir datos en una red GSM, en el que la interfaz aérea es de paquetes de datos, y el núcleo de la red es IP.

Esta red emplea conmutación por paquetes, para brindar el servicio de datos, mediante esta puede enrutar varios paquetes por diferentes caminos, sin establecer un canal dedicado a un destino. (Lamilla Ronquillo, 2022, pp. 22–77)(Rendón & Plazas, 2016, pp. 1–51)

Esto lo hace, añadiendo a la arquitectura las estructuras SGSN (Nodo de soporte del servicio GPRS) y GGSN (Nodo de soporte de la Puerta de Enlace GPRS). En la primera SGSN se realiza el enrutamiento de paquetes, la gestión de movilidad, autenticación y cifrado entre todos los abonados GPRS. (Lamilla Ronquillo, 2022, pp. 22–77)

En cambio, que la estructura GGSN es el punto de asociación o puerta de enlace entre dominios GPRS y para las redes de los proveedores de servicios de internet externa o redes corporativas, se gestiona la seguridad y las funciones de contabilidad, así como la asignación dinámica de direcciones IP.

Al ser una red que reutiliza parte de la infraestructura actual de GSM, GPRS posee la misma cobertura que GSM y presenta problemas en terrenos montañosos.

Las redes 2G y 2.5 G operan en las bandas de 850-1900 MHz en América, en la capa física tienen la técnica de acceso al medio TDMA/FDMA en donde al radio canal (trama TDMA) se le divide en 8 time slots, de estos, siempre que es asignada una frecuencia en Uplink esta viene asociada a una frecuencia en Downlink correspondiente para cada MS (Estación Móvil). (Rendón & Plazas, 2016, pp. 1–51)

El ancho de banda de un canal es 200 KHz, con bandas de guarda de 25 MHz se tienen 125 canales, y si se considera las 8 ranuras de tiempo, se obtiene 1000 canales. (ARCOTEL, 2020, pp.1-17)

En la ilustración 2-4 se observa las partes que constituyen la arquitectura GPRS.

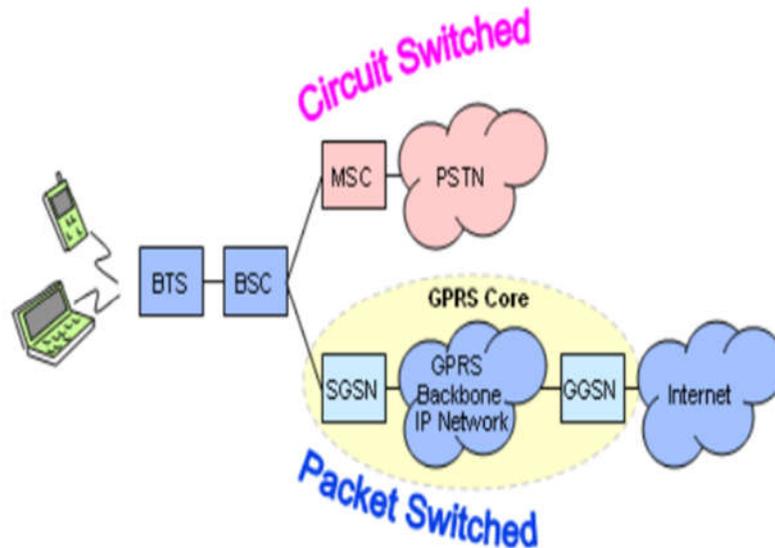


Ilustración 2-4:Arquitectura GPRS.

Fuente:(Lamilla Ronquillo, 2022, pp. 22-77)

Las características de GPRS más relevantes son:

- Conexión permanente percibida por el usuario. El tiempo de establecer la conexión es menor a un segundo.(Espín & Maldonado, 2008, pp.78-80)
- Eficiencia en el uso de los canales y recursos de la red. La conmutación por paquetes hace que varios usuarios compartan un mismo canal.
- Reserva flexible de canales de radio, de 1 a 8 time slots (ranuras de tiempo), UL y DL independientes, estos son asignados sólo cuando se transmite o se recibe información según la demanda.(SSR, 2022, pp. 2-40)
- La velocidad de datos por intervalo de tiempo en GPRS para la transmisión es de 20 kbps y en la recepción corresponde a 40 kbps. En GPRS existe hasta cuatro canales simultáneos

de recepción y dos de transmisión. Se puede combinar hasta 8 canales para mejorar la velocidad a 160 kbps.(Rendón & Plazas, 2016, pp. 1–51)

- La tarifa por parte del operador de telefonía móvil es producida por el volumen de datos transmitidos y no por el tiempo de conexión, lo que es conveniente en gastos para el usuario.
- GPRS da la posibilidad de realizar/recibir llamadas de voz mientras se está conectado a cualquiera de los servicios disponibles con esta tecnología.
- GPRS provee un buen ancho de banda para comunicaciones de datos y puede ser razonable en costos comparado con llamadas de voz móviles.
- El desarrollo de equipos eficientes y la tecnología GPRS permite crear aplicaciones que incluyan telemetría para ayudar en procesos dispersos en extensión geográfica, así como sistemas remotos que den solución a problemas de automatización y control.
- GPRS mejora servicios ya existentes como acceso a WAP, acceso a Internet e Intranets, descarga de aplicaciones Java, servicios basados en localización, posicionamiento GPS, así como, posibilita la aplicación de nuevos servicios como la Mensajería Multimedia MMS, Mensajería Instantánea IM, imode entre otros. También el desarrollo de aplicaciones específicas como pagos con tarjetas de crédito (TPV), domótica, apuestas y loterías, peajes, etc.(SSR, 2022, pp. 2–40)

2.1.6. Tecnología de comunicación UMTS

En su arquitectura aparece una interfaz de radio denominada UTRAN (Red de acceso Radio UMTS), que consta de un conjunto de nodos B, que se conectan a los controladores de red radio RNC, dentro de ésta se suministra y gestiona la interfaz de aire para la red UMTS, permite el intercambio de información entre el dispositivo y la red troncal a través de interfaces Uu e Iu. (Tébar, 2021, pp. 155–159)

La UTRAN posee interfaces de comunicación Iub y Iur que tienen las funciones:

- Iub controla la comunicación entre Nodos B y RNCs.
- Iur se encarga de la comunicación entre RNCs.

Por otra parte, se ubican en la arquitectura, la interfaz Iu que conecta la UTRAN con el núcleo de la red (CN) y la Uu que es aquella por la cual los equipos de usuario acceden a la red, utilizando WCDMA. Dichas interfaces pueden visualizarse en la ilustración 2-5.

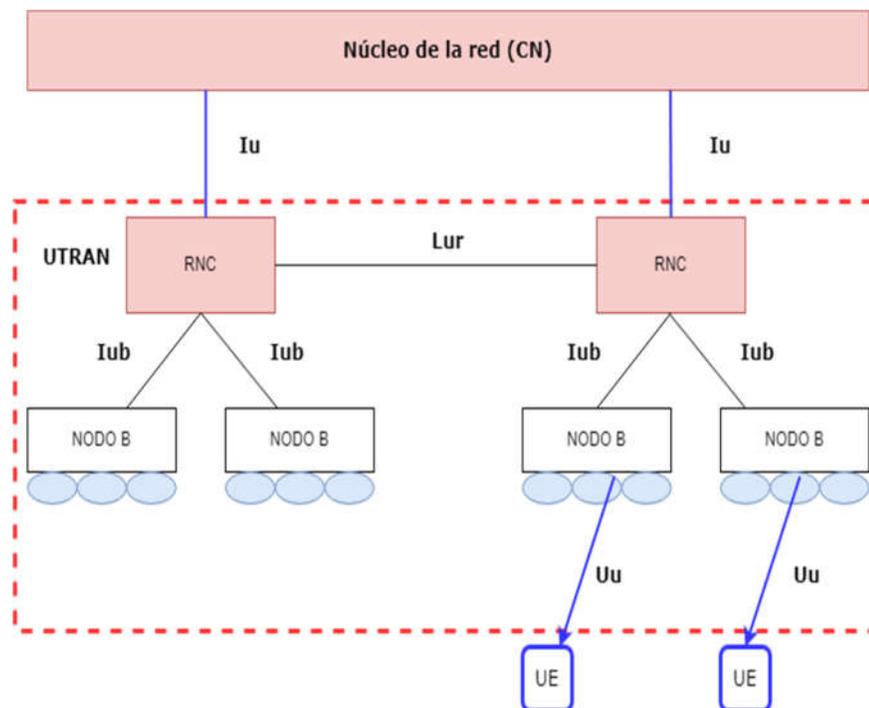


Ilustración 2-5: Interfaces de acceso radio de UMTS.

Fuente: (Lamilla Ronquillo, 2022, p.49)

Realizado por: Tamayo K., 2023.

La UTRAN, también es responsable de la movilidad o estimación de la posición geográfica, gestión de recursos de radio, sincronización de la base de referencia de la telefonía móvil y seguridad de la información intercambiada por la interfaz radio mediante algoritmos de cifrado. (Achraf, 2017, pp.5–16)

El cambio de GPRS a UMTS, implementa en la arquitectura la conexión del usuario a través de la denominada RNC o controladora de red radio, que reemplaza a la controladora de estación base BSC de GPRS.

El centro de conmutación móvil MSC para la conmutación de circuitos, y los nodos, soporte de servicio SGSN y soporte de la Puerta de Enlace GGSN no han cambiado y forman parte del núcleo de la red RC, estos dos últimos permiten la conmutación de paquetes. (Tébar, 2021, pp. 155–159)

En la ilustración 2-6 se aprecia la arquitectura UMTS y sus diferentes segmentos, como son, la estación móvil, la red de acceso y el núcleo de la red.

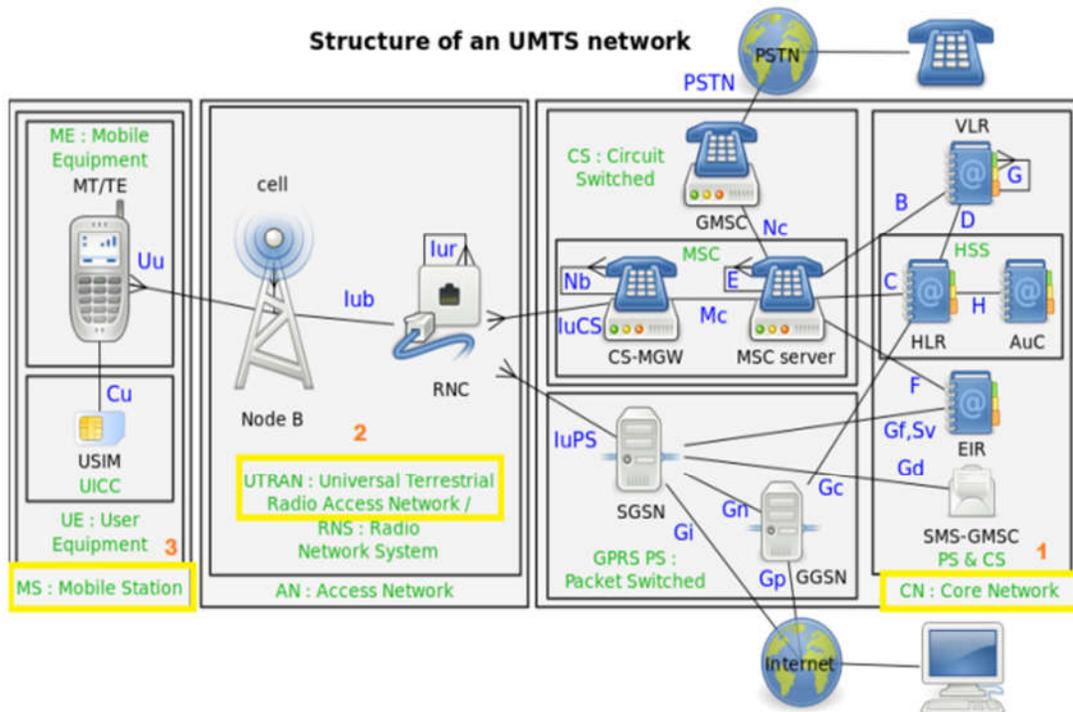


Ilustración 2-6: Arquitectura UMTS.

Fuente:(Achraf, 2017, p.7)

UMTS asegura la compatibilidad con los sistemas 2G en términos de servicios prestados al usuario y también la itinerancia, es decir, roaming internacional, que consiste en superar las limitaciones de los diferentes sistemas y redes con la finalidad de tener cobertura de UMTS mundial.

La técnica de acceso al medio que utiliza la interfaz radio es WCDMA que es un sistema de acceso múltiple por división de código de secuencia directa de banda ancha, es decir, que usa espectro ensanchado, donde codifica los bits mediante la multiplicación con una cadena de código pseudoaleatorio (chips) que le permite transportar la información en una banda ancha y reduce la densidad espectral de potencia. Además, se mejora la tasa de bits (hasta 2 Mbps), se admite el uso de un factor de ensanchamiento variable y conexiones de núcleo múltiple.

La tecnología UMTS utiliza FDD, mejorando la capacidad máxima de referencia con tasas de hasta 14 Mbps. UMTS utiliza el protocolo IP en sus dos versiones IPv4 e IPv6 para la transmisión de datos y para encaminar el tráfico GPRS; este protocolo suministra la transferencia de datos y

voz eficientemente. Así como también, debido a que usa CDMA es posible compartir el espectro.(Iniguez, 2018)

Las redes 3G operan en las bandas de frecuencia de 1800-2500 MHz. Cada usuario en CDMA ocupa el mismo ancho de banda de 5 MHz tanto para el Uplink como el Downlink.(Sagarkumar et al., 2018, pp. 2-3)

Se prestan los servicios de multimedia de banda ancha con una velocidad de hasta 2Mbps, telefonía móvil de voz, acceso a internet de alta velocidad, acceso fijo inalámbrico a internet, videoconferencia, televisión, video streaming, servicios basados en la localización, servicios localizados para acceder a las actualizaciones de tráfico y clima, así como también servicios de oficina como la banca virtual como se muestra en la ilustración 2-7.(Sagarkumar et al., 2018, pp. 2-3)

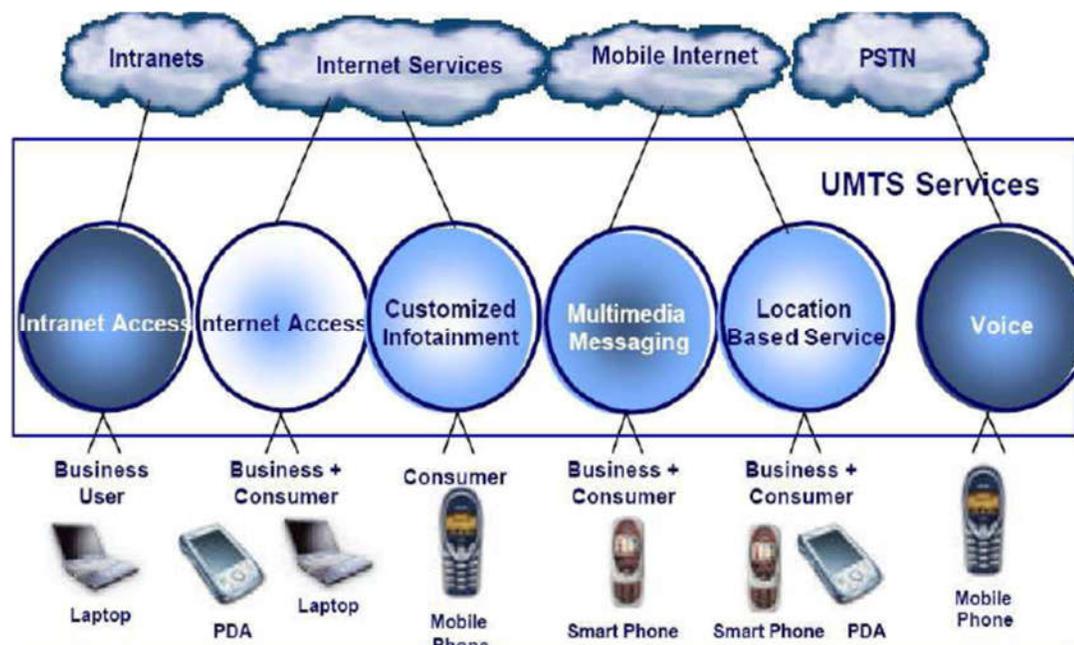


Ilustración 2-7: Servicios al usuario que proporciona UMTS.

Fuente:(Lamilla Ronquillo, 2022, pp. 22-77)

2.1.7. Tarjeta SIM

Las tecnologías GSM, UMTS, LTE utilizan un microchip SIM (Módulo de identidad del suscriptor) que es el que proporciona un número de identificación de usuario en la red y su respectiva clave asociada, independientemente del equipo móvil y es la que ayuda o permite que el usuario cambie de equipo móvil sin modificar su identidad de red.(Codon, 2019, p.19)

Mediante la SIM se puede identificar y autenticar un equipo móvil, que pueden ser teléfonos, ordenadores, cámaras u otro tipo de objeto inteligente.(Codon, 2019, p.19)

2.1.8. Tecnología de comunicación LTE

4G LTE surge como una solución a la saturación de las redes UMTS debido a la demanda de contenido multimedia y servicios de banda ancha. Se encuentra bajo el estándar 3GPP y es la evolución de las redes HSPA e I-HSPA, está orientada a datos, permite comunicaciones con tasas de transferencia más altas, baja latencia, su arquitectura es plana y totalmente IP.(Jaramillo, 2019, pp. 1-5) En su arquitectura LTE/SAE, se encuentran la capa de acceso radio conocida por E-UTRAN o Evolved-UTRAN, además posee un core de datos evolucionado EPC.

Los canales de la tecnología de radio acceso LTE tienen un ancho de banda que van en el rango de 1,4 MHz hasta 20 MHz. Las bandas de frecuencia designadas para la aplicación de la tecnología LTE comprenden las bandas 700 MHz, 850 MHz, 1700 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz, 2100 MHz, 2600 MHz.(Jaramillo, 2019, pp. 1-5)

LTE utiliza como técnica de acceso al medio OFDM, que es la transmisión en el dominio del tiempo y de la frecuencia, en ésta se utiliza múltiples frecuencias ortogonales entre sí para evitar la interferencia entre las señales. En la tecnología LTE el enlace ascendente, se basa en un esquema single-carrier FDMA o SC-OFDMA, y el enlace descendente, se produce de un esquema de transmisión OFDMA.(Peñaherrera, 2020)

El interfaz de aire comprende las técnicas de uso del espectro FDD (Duplexación por División de Frecuencia) y TDD (Duplexación por División de Tiempo) usadas en comunicaciones móviles de banda ancha. La tasa de transferencia de datos máxima de la portadora LTE es de 50Mbps en enlace Ascendente y 150 Mbps en enlace Descendente. (Peñaherrera, 2020)(Jaramillo, 2019, pp. 1-5)

2.1.8.1. Arquitectura LTE

La arquitectura LTE se establece en el Release 8 de la 3GPP en el año 2007, denominado también LTE/SAE contiene los siguientes segmentos: UE (Equipo de usuario), la red E-UTRAN (Red de acceso radio terrestre universal evolucionada) y la red EPC (Núcleo de paquetes evolucionado). (Jaramillo, 2019, pp. 1-5)(Buenestado, 2017, pp.11-14)

LTE presenta una arquitectura de red simplificada, en la que se eliminó la RNC (Controladora de Red Radio) dejando a los eNBs (Evolucionados-NodosB), que reemplazan a los NodosB de UMTS todas las funciones relacionadas con el acceso a la red, asignación dinámica de recursos, transmisión de los datos de usuario hacia y desde la UE, transmisión de los mensajes de señalización mediante la interfaz aire LTE-Uu, gestión de movilidad descentralizada y control de interferencias.(Buenestado, 2017, pp.11–14)

El envío de paquetes IP entre el eNodeB y un UE se lo realiza a través de la E-UTRAN que es la interfaz de radio LTE. Esta comunicación se sustenta en una pila de protocolos tanto de la capa física como de la capa de enlace de datos y de red, como se aprecia en la ilustración 2-8.

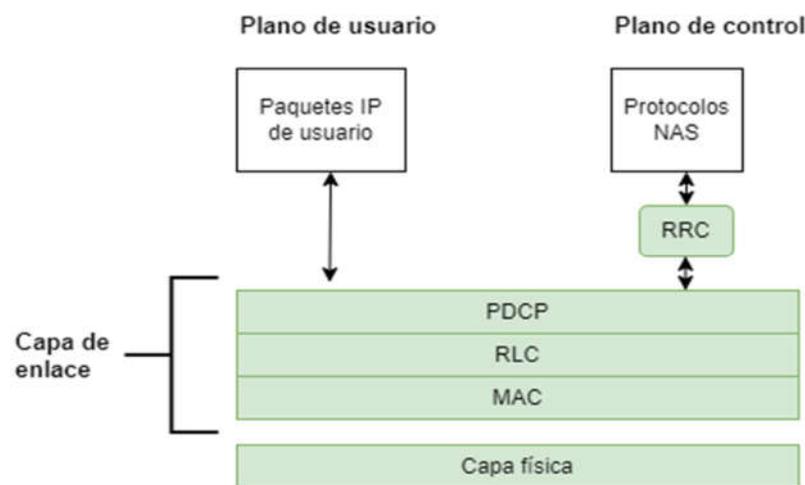


Ilustración 2-8:Protocolos de interfaz radio.

Fuente:(programmerclick.com, 2022, pp. 1–3)

Los eNBs de E-UTRAN, proveen del plano de usuario en la capa dos con sus protocolos PDCP (Protocolo de Convergencia de Paquete de Datos), RLC (Controlador de Enlace Radio), MAC (Control de Acceso al Medio), así como, del plano de control propio del mismo, con sus protocolos de capa tres RRC (Control de Recursos Radio), NAS (Estrato sin acceso) y de la interfaz S1 que comunica los eNBs con el S-GW (Puerta de Enlace de Servicio) para procesar los datos de usuario de la red local. El protocolo NAS se encuentra en la red EPC y en la E-UTRAN, y maneja la transmisión de datos entre el UE y el MME (Entidad de Gestión de la Movilidad).(Jaramillo, 2019, pp. 1–5)

Estos mensajes pueden ser de control o de información del usuario, entre sus principales funciones están: autenticación, autorización, gestión de movilidad de los terminales sin conexión RRC establecida y gestión de los servicios portadores EPS.(Buenestado, 2017, pp.11–14)

La comunicación entre la E-UTRAN y la EPC se realiza mediante la interfaz S1, de forma que los eNB se comunican con los planos de control hacia la MME a través de las interfaces S1-MME y con los planos de usuario hacia el S-GW mediante las interfaces S1-U.(Buenestado, 2017, pp.11–14)

El Núcleo de Paquetes Evolucionado (EPC) da soporte a sistemas de alta capacidad de transmisión y de latencia bajas, permite la movilidad entre sistemas heterogéneos, soporta 2G/3G y sistemas no 3GPP, también la movilidad entre LTE o handover que es la transición de una señal de usuario desde una estación base hacia otra geográficamente adyacente. Es parte fundamental de la arquitectura SAE, y se compone de tres subcomponentes:

La Entidad de Gestión de la Movilidad (MME), la Puerta de Enlace de Servicio (S-GW) y la Puerta de Enlace de la Red de Paquetes de Datos (P-GW).

El MME gestiona el plano de control, mientras que el S-GW y el P-GW trabajan con el plano de usuario.(Peñaherrera, 2020, pp.36–43)(Jaramillo, 2019, pp. 1–5)

En la ilustración 2-9 se aprecia la arquitectura de red LTE, con sus segmentos de red E-UTRAN y EPC, incluyendo las diferentes interfaces estándar para la comunicación entre ellos, elementos como las bases de datos o servidores, redes 2G/3G y redes de datos.

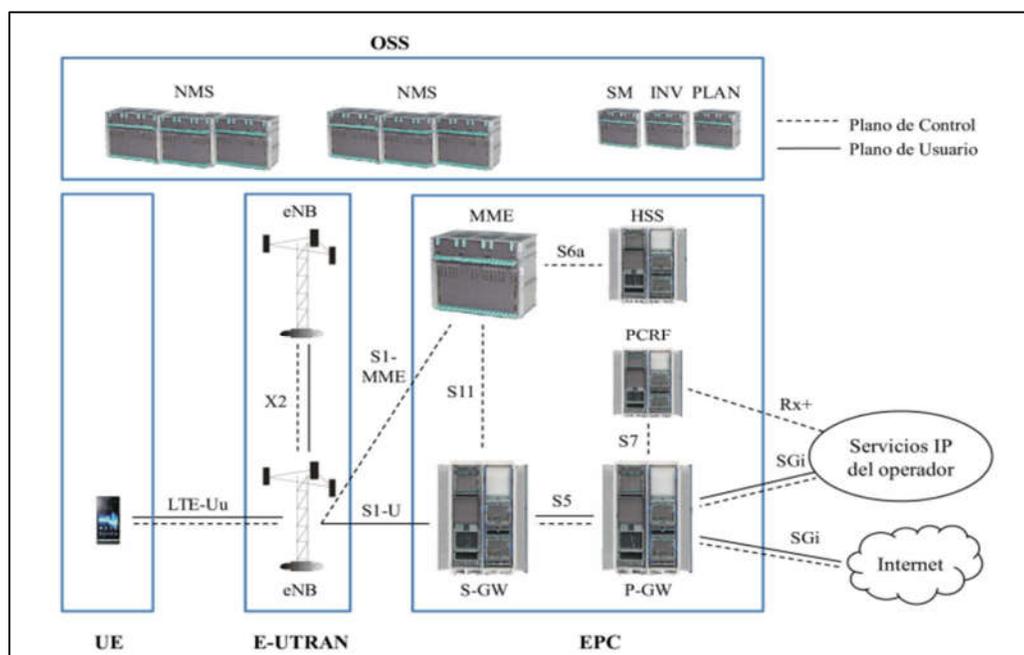


Ilustración 2-9: Arquitectura de red LTE.

Fuente:(Buenestado, 2017)

La comunicación entre los segmentos de LTE y sus componentes es realizada por interfaces dedicadas para cada uno de ellos. Las interfaces principales en una red LTE son:

- Interfaz de radio/ aire LTE-Uu para manejar datos tanto del plano de usuario como de control entre el eNB y el terminal móvil UE.
- Interfaz S1 comunica el E-UTRAN con el EPC. (Lleva información para el MME usando la interfaz S1-MME, también lleva información no relacionada con el E-UTRAN dentro de la parte de datos de los mensajes RRC que llegan del UE al MME, denominado como NAS.)
- Interfaz S1-U comunica al eNB con el S-GW en el plano de usuario.
- Interfaz X2 comunica a los eNBs. (Utilizada en el handover inter-eNB)
- Interfaz S5 la comunicación entre el S-GW y el P-GW es llevada a cabo por dicha interfaz.
- Interfaz S6a comunica la base de datos de suscriptores HSS con la MME.
- Interfaz S11 mediante esta se comunican en el plano de control, el S-GW y el MME para transferir los canales bearer de datos (que es el medio por el cual los paquetes IP son entregados a la red) cuando se realiza un inter-eNB handover.(Jaramillo, 2019, pp. 1-5)

2.1.9. Cobertura de 2G+3G y 4G en el Ecuador

Según el boletín estadístico trimestral mayo 2020 emitido por ARCOTEL, sobre la infraestructura y cobertura del servicio móvil, un área de cobertura es aquel espacio geográfico previamente autorizado mediante un contrato de concesión para la prestación del Servicio Móvil Avanzado.

En dicho documento, se dice que si una parroquia tiene al menos una radio base se considera un espacio cubierto. Un dato del área que cubre una celda 4G, sin tomar en consideración la intensidad de la señal es de 200 kilómetros cuadrados.

En marzo 2020 el número de radio bases instaladas llegaron a la cifra de 18.857 en total, lo que representa un crecimiento del 10,48% en comparación a 17.069 radio bases instaladas en total hasta marzo 2019.(ARCOTEL, 2020, pp.1-13)

En la tabla 2-2 se aprecia como están distribuidas las radio bases, por la cobertura en parroquias 2G/3G/4G que ofrecen. Dentro de las 676 parroquias, 221 son cabeceras cantonales y 455 pertenecen a parroquias rurales; para el análisis de cobertura 1.042 parroquias forman parte de la muestra.(ARCOTEL, 2020, pp.10–11)

Tabla 2-2: Cobertura por el número de radio bases por parroquias y a nivel nacional.

PARROQUIAS COBERTURA 2G	PARROQUIAS COBERTURA 3G	PARROQUIAS COBERTURA 4G	COBERTURA NACIONAL
620	625	388	676

Fuente:(ARCOTEL, 2020, p.11)

El informe de rendición de cuentas 2020 publicado por el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, muestra la cobertura de las tecnologías 3G y 4G, así como el número de personas privilegiadas con los servicios de telefonía móvil e internet de banda ancha principalmente a través de teléfonos inteligentes y tabletas.(Sector et al., 2021, pp. 15–20)

Según el mismo, se conoce que en diciembre de 2020 el porcentaje de cobertura poblacional con tecnología 2G+3G es del 97,11 %, destinado a brindar el servicio a 17.004.585 ciudadanos. Es decir, que de 97 personas de cada 100 tienen cobertura del servicio móvil avanzado 2G+3G a nivel nacional.(Sector et al., 2021, pp. 15–20)

La tecnología de banda ancha 4G con la evolución de la infraestructura, alcanzó al 60,74% que corresponde a 10.635.965 usuarios probables, lo cual indica que 60 de cada 100 personas acceden al servicio móvil avanzado 4G.(Sector et al., 2021, pp. 15–20)

2.1.9.1. Número de radio bases de las operadoras CONECEL, OTECEL, CNT.

La ilustración 2-10 muestra el número de radio bases por operadora, y como éstas han ido evolucionando desde el año 2008 hasta el 2020. CONECEL (CLARO) destaca por tener el mayor número de radio bases instaladas con 10.681 en total. La arquitectura de la empresa OTECEL (MOVISTAR) también ha incrementado el número de radio bases a 5.253 en 2020, mientras que en la empresa pública CNT se puede observar que el incremento de radio bases es bajo llegando a 2.923 en el mismo año.(ARCOTEL, 2020, pp.11–12)

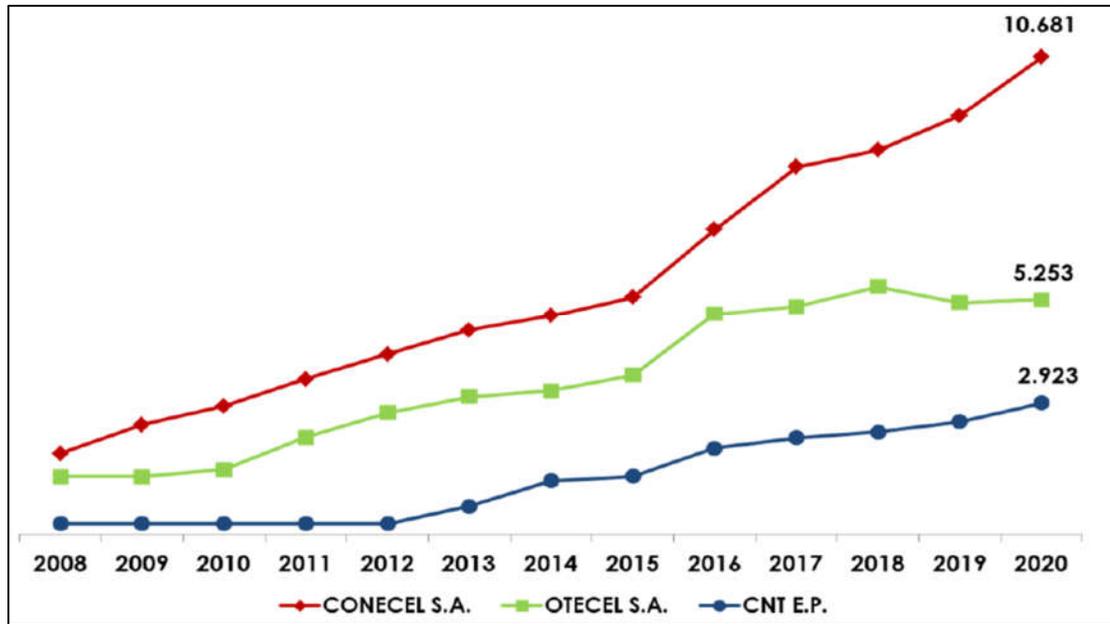


Ilustración 2-10: Evolución del número de radio bases, marzo 2008- marzo 2020 por operadora.

Fuente: (ARCOTEL, 2020, p.12)

2.1.10. Bandas de frecuencias de las operadoras del país.

En Ecuador tres empresas son las encargadas de brindar el servicio de internet móvil y son Claro, Movistar y CNT utilizando diferentes tecnologías que operan en distintas bandas de frecuencia. (Escobar & Bayardo, 2018, p.37)

En la tabla 2-3. Se observa que Claro Ecuador utiliza 1 banda GSM, 2 bandas UMTS y 1 banda LTE.

Tabla 2-3: Bandas de operación de Claro

Interfaz Banda de frecuencia

<i>GSM</i>	850
<i>UMTS</i>	B2 (1900 PCS)
<i>UMTS</i>	B5 (850)
<i>LTE</i>	B4 (1700/2100 AWS 1)

Fuente:(Sanga, 2018, pp.37-39)

En la tabla 2-4. Se observa que CNT utiliza 1 banda GSM, 1 banda UMTS y 1 LTE.

Tabla 2-4: Bandas de operación de CNT

Interfaz Banda de frecuencia

<i>GSM</i>	1900 (PCS)
<i>UMTS</i>	B2 (1900 PCS)
<i>LTE</i>	B4 (1700/2100 AWS 1)

Fuente:(Sanga, 2018, pp.37–39)

En la tabla 2-5 se observa que Movistar Ecuador utiliza 1 banda GSM, 2 bandas UMTS y 1 banda LTE.(Sanga, 2018, pp.37–39)

Tabla 2-5: Bandas de operación de Movistar

Interfaz Banda de frecuencia

<i>GSM</i>	850
<i>UMTS</i>	B2 (1900 PCS)
<i>UMTS</i>	B5 (850)
<i>LTE</i>	B2 (1900 PCS)

Fuente:(Sanga, 2018, pp.37–39)

2.1.11. Tarjetas de desarrollo GPS/LTE/UMTS

2.1.11.1. A9G GPS/GPRS módulo

Es una tarjeta de desarrollo que puede ser usada para validar las funciones básicas de comunicación y periféricas del módulo A9G.

Multifunción, con capacidades de teléfono básico, como llamadas, SMS, SPI, I2C, también comunicaciones de red GPRS mediante el módulo SIM800L, GPS/BDS (Sistema de

posicionamiento Global US/Sistema de Navegación por Satélite Beidou EU) y posicionamiento de modo dual.

Registra los datos de localización para ser almacenados en la unidad o transmitidos vía internet usando la unidad celular (GPRS o SMS).

De este modo la ubicación puede mostrarse en un mapa en tiempo real. La placa A9G tiene la posibilidad de administrar la carga de la batería de litio, micrófono, interfaz de voz, interfaz de comunicación USB, y múltiples teclas de usuario.(Naylamp Mechatronics SAC, 2021, pp. 1-6, pp.1-6)

En la ilustración 2-11 se observa la tarjeta de desarrollo GPS/GPRS A9G Módulo.



Ilustración 2-11:Tarje de desarrollo GPS/GPRS A9G MÓDULO.

Fuente:(Naylamp Mechatronics SAC, 2021, pp. 1-6)

CARACTERÍSTICAS:

- Módulo GSM / GPRS cuatribanda completo, 800/900/ 1800 / 1900MHz
- Soporta GPS, BD
- Soporta llamadas de voz y mensajes SMS
- Soporta audio digital y audio analógico, con codificación de voz: HR, FR, EFR, AMR
- Puede ser controlada por comandos AT o a su vez programada con Arduino o las herramientas Ai-Thinker SDK mediante lenguaje C
- Soporta el comando estándar GSM07.07,07.05AT y conjunto de comandos ampliables de Anxin
- Pila de protocolos de servicio de red integrada
- Soporta PBCCH (Canal de control de difusión de paquetes)

- Modo de bajo consumo, corriente media de 2mA o menos
- Voltaje funcional al que trabaja 3,5 a 4,2 V
- La placa puede ser alimentado por el puerto USB (5 V) o por los pines VBAT a una batería de Litio de 1 celda (3,5 a 4,2 V)
- Admite la actualización del firmware a través del puerto serie
- Datos por GPRS, velocidad máx: 85,6 Kbps (Descarga), 42,8 Kbps (subida)
- Dimensiones placa 41*22*5 mm(LILYGO, 2022, pp. 1-7)IH

Una descripción con las características técnicas del módulo A9G se puede observar en la tabla 2-6.

Tabla 2-6: Especificaciones módulo A9G.

Especificaciones del módulo principal A9G	Descripción
Modelo	A9G
Tamaño	19,2*18,8*2,5mm
Frecuencia	850/900/1800/1900 MHz
GPRS Multi ranura	Clase 12
Estación móvil GPRS	Clase B
Compatible con GSM Fase 2/2+	Clase 4 (2W@850/ 900MHz) Clase 1 (1W@1800/1900MHz)
Voltaje de alimentación	3.5~4.2V
Corriente	1,14mA@DRX=5 1,03mA@DRX=9
Comandos AT	3GPP TS 27.007, 27.005
GPRS Clase 12	Max 85,6kbps (subida/bajada)
Esquema de codificación	CS 1, 2, 3, 4
PBCCH	Soportado
Texto	Envío y recepción de SMS punto a punto, modo texto/PDU
Tarjeta SIM	1,8V/3V
UART	3 pcs (incluyendo el puerto serie de actualización de firmware), soporte de velocidad de transmisión 2.400~1.843.200 bps, por defecto 115.200 bps
Antena	Pad (incluye GSM, GPS)
Interfaz de comunicación	I2C, USB, UART, SDMMC, GPIO, ADC
Sensibilidad GPS	Arranque frío: -148 dBm Arranque caliente: -162 dBm Recaptura: -164 dBm Seguimiento: -166 dBm
Tiempo de inicio del GPS	Arranque frío < 27,5 s Arranque caliente < 1s Recaptura: < 1s
Exactitud del GPS	Precisión de posicionamiento horizontal: 2,5m Alta precisión de posicionamiento: 3,5m
Temperatura de trabajo	-20°C ~ +75 °C

Fuente:(Ai-Thinker, 2017, pp. 1-2)

2.1.11.2. TTGO T-SIM7600G-H R2

Es una placa de desarrollo de la marca LILYGO que puede ser usada para proyectos de tracking, contiene las tecnologías GPS, LTE/WCDMA/GSM, módulo inalámbrico ESP32, WiFi, Bluetooth, y con soporte de batería.(LILYGO, 2022, pp. 1-7)

La comunicación con la red celular lo hace mediante el módulo SIM7600G, que permite el uso de las bandas para 2G, 3G y 4G.

En la ilustración 2-12 se observa la placa de desarrollo TTGO T-SIM7600G-H R2.

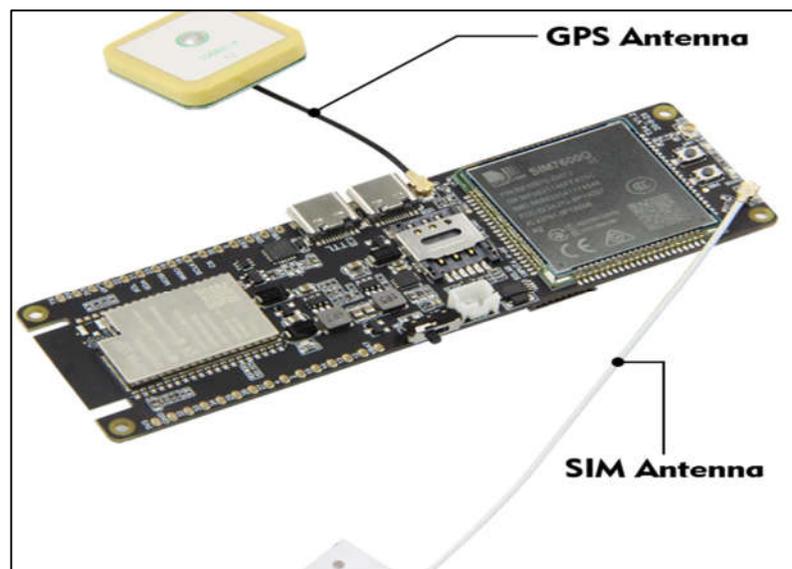


Ilustración 2-12: Tarjeta de desarrollo GPS/LTE/UMTS TTGO T-SIM7600G-H R2

Fuente: (LILYGO, 2022, pp. 1-7)

CARACTERÍSTICAS DEL MÓDULO GPS SIM7600G-H

- Sensibilidad de seguimiento: -159 dBm (GPS) /-158 dBm (GLONASS) /-159 dBm (BD)
- Sensibilidad arranque en frío: -148 dBm
- Rendimiento arranque GNSS en el receptor (TTFF): en caliente < 1s, en frío< 35s
- Tipo de receptor: 16 canales, código C/A
- Tasa de subida: 1 Hz por defecto
- Formato de datos GNSS: NMEA-0183
- Antena GNSS: activa/pasiva(SIMCom, 2022)

Una descripción con las características técnicas del módulo TTGO T-SIM7600G-H R2 se puede observar en la tabla 2-7.

Tabla 2-7: Especificaciones módulo TTGO T-SIM7600G-H R2

T-SIM7600G		
MCU	ESP32	
LTE&GSM	SIM7600G-H R2	
SIM Card	Si	
TF Card o MicroSD	Si	
ESP32		
Velocidad de reloj	240 MHz	
Memoria Flash	4 MB	
PSRAM	8 MB	
Conectividad inalámbrica	Wi-Fi: 802.11 b/g/n Bluetooth: v4.2 BR/EDR and BLE	
Interfaces Periféricas	I2C, SPI, UART, SDIO, I2S, CAN	
Región	Global	
Dimensiones	111mm*37mm*20mm	
Bandas de frecuencia	LTE-FDD	B1/B2/B3/B4/B5/B7/B8/B12/B13/B18/ /B19/B20/B25/B26/B28/B66
	LTE-TDD	B34/B38/B39/B40/B41
	WCDMA	B1/B2/B5/B8
	GSM	850/900/1800/1900 MHz
Transferencia de datos	LTE (Mbps)	150(DL)/50(UL)
	HSPA (Mbps)	42(DL)/5.76(UL)
	WCDMA (Kbps)	384(DL)/384(UL)
	GPRS/EDGE (Kbps)	236.8(DL)/236.8(UL)
GNSS	BeiDou, GPS, GLONASS	
Protocol	TCP/IP/IPV4/IPV6/DNS/Multi-PDP/FTP/FTPS/HTTP/HTTPS	
Android RIL	Android 5.0/6.0/7.0/8.0/9.0	
Controlador USB	Microsoft Windows 7/8/10, Linux, Android	
Voltaje de alimentación (V)	3,4~4,2V	
Tarjeta SIM	1,8 V/3,0V	

Fuente: (LILYGO, 2022, pp. 1-7)

2.1.12. Batería de ion litio 18650

Todas las baterías funcionan mediante la reacción redox que es el movimiento de electrones que va del ánodo al cátodo y viceversa, sin embargo, éstas cambian su capacidad y peso según el material del que están compuestas.(García, 2022)(Esteban, 2019)

El litio es un metal que cede fácilmente sus electrones y se dice que puede aportar un voltaje muy alto; su duración es mucho mayor que las baterías de níquel pues ofrece mayores capacidades (mAh) y son más ligeras. (RONTEK, 2023)

La mayoría de las baterías ion litio vienen con un voltaje de 3,7 V y pueden alcanzar una saturación de hasta 4,2 V. Estas baterías son ideales para aplicaciones donde no se requieren corrientes altas.(RONTEK, 2023)

Las especificaciones técnicas de la batería de litio 18650 fabricadas por la empresa Hunan Sounddon New Energy se muestran en la tabla 2-8.

Tabla 2-8: Especificaciones batería de litio 18650

Li-ion Battery	
Modelo	ICR18650 3,7V 2200mAh
Voltaje Nominal	3,7 V
Voltaje de carga completa	4,2 V
Voltaje de descarga final mínimo	2,75 V
Capacidad nominal	2200 mAh
Capacidad mínima	2180mAh
Capacidad de descarga baja a 25°C	0,2C ₅
Capacidad de descarga alta a 25°C	0,5C ₅

Fuente: (Liu et al., 2017, pp. 75–92)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En función de las especificaciones técnicas de los módulos descritos anteriormente, este capítulo tiene el objetivo de seleccionar el dispositivo de rastreo que sea compatible con las funcionalidades a implementar. Así como los requerimientos de autonomía tales como batería y una pequeña capacidad de memoria incluida en la propia arquitectura del módulo. Además, se evidencia el diseño de la interfaz de la aplicación y el tratamiento de los datos que se obtienen con la misma, optimizando la visualización de variables y el envío de mensajes de alarma.

3.1. Compatibilidad con las características de diseño.

Las características que se utilizaron para el análisis del módulo GPS fueron: satélites de los que recibe datos, frecuencia, tipo de datos a obtener y forma de activar la recepción GPS.

En la tabla 3-1 se aprecia que ambos módulos reciben señales del sistema GPS, sin embargo, el módulo de la marca LILYGO, TTGO T-SIM7600G-H R2 posee repositorios actualizados para la programación de la SIM7600G en GitHub. Esto mejora el rendimiento de GPS, y la forma de obtención de los datos NMEA a través de UART, lo cual es una ventaja sobre otros módulos.

Tabla 3-1: Compatibilidad de los módulos con los requerimientos GPS.

Requerimientos GPS Tarjetas de desarrollo	Sistemas Satelitales.	Frecuencia (MHz)	Activación	Pruebas posicionamiento
TTGO T- SIM7600G-H R2	GPS/GLONASS/BD	L1 GPS 1575,42	Comandos AT+CGPS o programación con librerías propias de la tarjeta usando el IDE Arduino.	Obtiene sentencias NMEA por UART o USB automáticamente.
GPS/GPRS A9G MÓDULO	GPS/BD	L1 GPS 1575,42	Comandos AT o con Ai- Thinker.	Obtiene sentencias NMEA por el pin UART2.

Realizado por: Tamayo K., 2023

Se analizaron las bandas de comunicación móvil con un mayor interés en la cobertura que provee LTE por estar en constante desarrollo, y, respecto a la batería, se consideró su capacidad máxima y mínima de voltaje funcional. Así como la corriente que consume el módulo.

En la tabla 2-3 se puede apreciar las bandas LTE/UMTS/GPRS que coinciden con las frecuencias de operación del país que maneja cada módulo respectivamente. La tecnología de comunicación móvil actual LTE, utiliza infraestructura propia y en ocasiones hace uso de infraestructura de tecnologías anteriores, por lo que usar LTE brinda compatibilidad con las anteriores redes de comunicación como son 3G, y 2G. El módulo A9G está limitado en este aspecto al solo poseer cobertura GPRS, por lo que se prefiere al módulo T-SIM7600G-H R2. Basándose en las especificaciones de la batería y módulo para un sistema autónomo se pensó en la utilidad de indicar el porcentaje de descarga en la aplicación. Para este proyecto se estableció el modo de consumo de corriente normal, sin embargo, el módulo T-SIM7600G-HR2 posee un modo sleeping (al dormir) que reduce el consumo de corriente hasta 300 μA .

Tabla 3-2: Compatibilidad de los módulos con los requerimientos de red móvil.

Requerimientos red móvil Tarjetas de desarrollo	Bandas LTE/UMTS/GPRS	Voltajes Batería de Litio	Consumo de corriente módulo
TTGO T-SIM7600G-H R2	1900 LTE 1700/2100 LTE/UMTS 850 UMTS	capacidad de voltaje máxima $V_{m\acute{a}x} = 4,195 V$ capacidad de voltaje mímimo $V_{mín} = 2,4 V$	consumo corriente LTE normal $I_{BAT} = 2 mA$ Al dormir $I_{VBAT} = 300 \mu A$
GPS/GPRS A9G MÓDULO	800/900/1800/1900 GPRS	voltaje máximo $V_{VBAT} = 3,8 V$	normal $I_{VBAT} = 2 mA$

Fuente: (Xinyuan-LilyGO/GitHub, 2020, pp. 3–6) (Ai-Thinker, 2017, pp. 1–2)

Realizado por: Tamayo K., 2023

Se analizó la capacidad de almacenamiento de memoria, indispensable a manera de respaldo de los datos de posicionamiento en caso de pérdida de conexión con la red móvil.

El módulo TTGO T-SIM7600G-H R2 cuenta con una ranura para memoria externa, compatible con SD card y TF card con capacidades de escritura de hasta 4GB como se aprecia en la tabla 3-3.

Se decide utilizar la SD card por la fácil escritura que permite, a diferencia de la memoria flash que requiere mayor procesamiento para realizar la misma función.

Tabla 3-3: Compatibilidad de los módulos con los requerimientos de memoria.

Requerimientos Memoria	FLASH	TF CARD o SD
Tarjetas de desarrollo		
TTGO T-SIM7600G-H R2	4 MB	4 GB
GPS/GPRS A9G MÓDULO	No	512 GB

Fuente:(LILYGO, 2022, pp. 1-7)

Realizado por: Tamayo K., 2023

3.2. Arduino IDE para controlar tarjetas ESP32

Arduino permite programar otro tipo de tarjetas mediante el uso del gestor de URLs de tarjetas adicionales. El módulo GPS/LTE de LILYGO cuenta con un chip ESP32 de espressif misma que hace uso de la librería del mismo nombre para manejar sus comandos desde el mismo IDE de Arduino. El lenguaje de programación que el editor de texto acepta se basa en C/C++, pero también acepta comandos AT para configurar módems. Tiene la gran ventaja de integrar módulos fácilmente y se ayuda de ejemplos propios de las librerías, las mismas que guían al programador en la implementación de nuevos proyectos.

3.3. Librería TinyGSM 0.11.5

Es una compacta biblioteca de Arduino para módulos GSM, la misma cuenta con ejemplos que le dejan ver al usuario una gran cantidad de opciones para ocupar al máximo las funcionalidades de la tarjeta de desarrollo con diferentes modelos de SIM. Dicha biblioteca al ser instalada carga los comandos AT, los cuales son mensajes enviados a través de Serial para controlar módems, realizando todo tipo de conexiones de datos TCP (HTTP, MQTT, entre otras), envío de mensajes SMS, llamadas de voz, servicio de localización GPS/GNSS, y servicio de localización GSM.(GitHub, 2022)TinyGSM tiene funciones que bloquea código por un lapso, haciendo que permanezca en espera. Para el flujo de datos GPRS esta biblioteca proporciona la interfaz client, perteneciente a la clase TinyGSMClient.(GitHub, 2022)

Para comenzar primero se debe tomar los datos del serial en la instancia modem, perteneciente a la misma librería, así como también definir las credenciales GPRS; después de esto se crea la instancia cliente.

En la ilustración 3-1 se puede apreciar la instancia creada para inicializar la comunicación GPRS del módulo.

```
TinyGsm modem (SerialAT) ;
//#endif
//colocar los pines e interfaces periféricas seriales SPI a utilizar
#include "utilities.h"
//funcione gsm
#define GSM_PIN ""
// Your GPRS credentials, if any
const char apn[] = "internet.tuenti.ec";
const char gprsUser[] = "";
const char gprsPass[] = "";

TinyGsmClient client(modem);
```

Ilustración 3-1: Creación de la instancia client.

Fuente: (Tamayo K., 2023)

En el setup se inicializa la comunicación serial, se define la tasa de baudios, los parámetros de la comunicación GPRS/LTE, misma que debe coincidir con los valores de los pines declarados globalmente. En la ilustración 3-2, se muestra la serie de pines activos con los que trabaja la tarjeta de desarrollo.

```
#define UART_BAUD 115200
#define MODEM_DTR 25
#define MODEM_TX 27
#define MODEM_RX 26
#define MODEM_PWRKEY 4
#define MODEM_DTR 32
#define MODEM_RI 33
#define MODEM_FLIGHT 25
#define MODEM_STATUS 34

#define BAT_ADC 35
#define SD_MISO 2
#define SD_MOSI 15
#define SD_SCLK 14
#define SD_CS 13
#define LED_PIN 12
```

Ilustración 3-2: Declaración de los pines activos.

Fuente: (Tamayo K., 2022)

La biblioteca es un medio para comprobar el registro en la red, y permitir el flujo de datos mediante el comando `modem.gprsConnect(apn, gprsUser, gprsPass)` como se muestra en la ilustración 3-3 donde se llama a la función y verifica la conexión mediante la impresión de la cadena “ success ” en el monitor serial.

```
#if TINY_GSM_USE_GPRS
// GPRS connection parameters are usually set after network registration
SerialMon.print(F("Connecting to "));
SerialMon.print(apn);
if (!modem.gprsConnect(apn, gprsUser, gprsPass)) {
    SerialMon.println(" fail");
    delay(10000);
    return;
}
SerialMon.println(" success");
```

Ilustración 3-3: Registro de conexión a la red GPRS.

Fuente: (Tamayo K., 2023)

Para llamar a la función GPS se debe inicializar con 0 las variables que reciben los datos, y estas son: `lat2`, `lon2`, `speed2`, `alt2`, `accuracy2`, `year2`, `month2`, `day2`, `hour2`, `min2`, `sec2`. En la tabla 3-4 se detalla cada una de las variables.

Tabla 3-4: Variables GPS.

Variable	Significado
lat2	latitud
lon2	longitud
speed2	velocidad
alt2	altitud
accuracy2	exactitud
year2	año
month2	mes
day2	día
hour2	hora
min2	minuto
sec2	segundo

Realizado por: Tamayo K., 2023

El comando que llama a la función es `modem.getGPS ()` en el que deben ir las variables que reciben los datos. Estos a su vez se escriben en una cadena “raw” que muestra la información de seguido tal y como llegan los datos sin ninguna interpretación, mediante el comando `modem.getGPSraw`.

En la ilustración 3-4 se muestra la activación del flujo de datos GPS y en la ilustración 3-5 la recepción de estos.

```
#if TINY_GSM_USE_GPS
  DBG("Enabling GPS/GNSS/GLONASS");
  modem.enableGPS();
```

Ilustración 3-4: Llamado a la función `modem.enableGPS()`

Fuente: Tamayo K., 2023

```
for (;;) {
  light_sleep(2);
  digitalWrite(LED_PIN, !digitalRead(LED_PIN));
  if (modem.getGPS(&lat2, &lon2, &speed2, &alt2, &vsat2, &usat2, &accuracy2,
                  &year2, &month2, &day2, &hour2, &min2, &sec2)) {
    DBG("Latitude:", String(lat2, 8), "\tLongitude:", String(lon2, 8));
    DBG("Speed:", speed2, "\tAltitude:", alt2);
    DBG("Visible Satellites:", vsat2, "\tUsed Satellites:", usat2);
    DBG("Accuracy:", accuracy2);
    DBG("Year:", year2, "\tMonth:", month2, "\tDay:", day2);
    DBG("Hour:", hour2, "\tMinute:", min2, "\tSecond:", sec2);
    break;
  } else {
    light_sleep(2);
  }
}
```

Ilustración 3-5: Obtención de los datos GPS.

Fuente: Tamayo K., 2023

3.4. Librería PubSubClient

La librería PubSubClient es compatible con la librería TinyGSM, lo que hace posible usar el cliente para proveer de mensajería publicación/suscripción mediante el protocolo MQTT.

La conexión al servidor broker MQTT sobre TCP usa el puerto por defecto 1883.

Se definen ciertos parámetros para la conexión hacia el servidor Ubidots antes de llamar a la función que permite la comunicación con el mismo.

Mediante la programación que se observa en la ilustración 3-6 se ubican los datos obtenidos de la cuenta de Ubidots que son token, topic, Device_id, el puerto y la URL del servidor. Luego se

crea el cliente mqtt perteneciente a la clase PubSubClient que envía/recibe los datos por las interfaces establecidas: MQTT_SERVER, MQTT_PORT, client.

```
#define TOKEN "BBFF-ciWk6oZxFlsDELPDfcWpmsyQqSUVgD"
#define TOPIC "/V2.0/devices/rastro_k"
#define DEVICE_ID "638e28be4e02c8000d4b45dd"
const char * DEVICE_LABEL= "rastro_k";
//URL de MQTT Server
const char *MQTT_SERVER= "things.ubidots.com";

//Puertos de MQTT
#define MQTT_PORT 1883
```

Ilustración 3-6: Creación del cliente MQTT.

Fuente: Tamayo K., 2023

Se realizó la conexión hacia el servidor Ubidots llamando a la función connectMQTTServer() dentro del loop, la misma se observa en la ilustración 3-7.

```
void connectMQTTServer() {
    while (!mqtt.connected() && offline<=4) {
SerialMon.println("Conectando al servidor MQTT...");
        //Se conecta al dispositivo que definimos
        if (mqtt.connect(DEVICE_ID, TOKEN, "")) {
            SerialMon.println("Conectado al servidor MQTT");
        }
        else {
            //En caso de errores
            SerialMon.print("error no se pudo conectar al MQTT server = ");
            offline=offline+1;
            SerialMon.println(mqtt.state());
            delay(500);
        }
    }
}
```

Ilustración 3-7: Conexión hacia el servidor Ubidots.

Fuente: Tamayo K., 2023

3.5. Ubidots

Es una plataforma utilizada para el envío de datos a la nube desde cualquier dispositivo con acceso a internet, posee una interfaz gráfica en la que se puede configurar desde las variables, elegir el tipo de tablero para organizar y visualizar los datos mediante widgets, crear eventos que envíen notificaciones, las mismas que se disparan cuando sobrepasan ciertos valores establecidos

previamente, entre otras acciones. Los clientes de Ubidots deben registrarse en su página web: <https://ubidots.com>

Una vez obtenida la cuenta, permite crear un dispositivo con sus credenciales API asignadas, que son API LABEL, ID, TOKEN. En la ilustración 3-8 se aprecia el nombre del dispositivo denominado RASTRO_K que contiene las variables: position, batería, alarma, estado y kml.

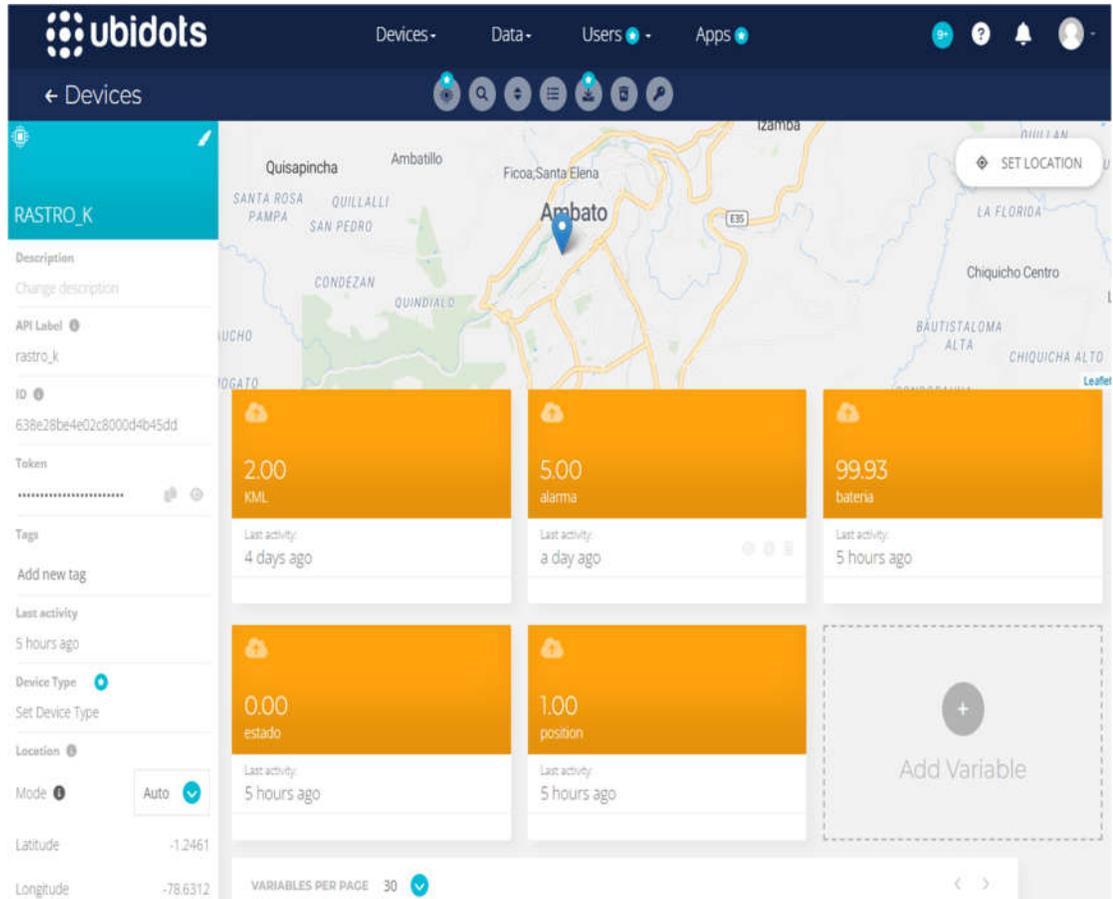


Ilustración 3-8: Tablero del dispositivo RASTRO_K.

Fuente: Tamayo K., 2023

3.6. Envío y recepción de datos.

Ubidots ofrece una API REST con la que el usuario puede leer y escribir datos en los recursos disponibles: fuentes de datos, variables, valores, eventos e información.

La notación de los datos que acepta la API de UBIDOTS es JavaScript Object Notation, (JSON), el cuál es un lenguaje basado en texto para representar datos estructurados, que contiene un nombre y valor. Son utilizados al momento de transmitir datos a través de la red, las cadenas JSON son convertidas a objetos nativos de JavaScript para que el usuario pueda acceder a los datos. Mientras que cuando se requiere que el objeto sea transferido por la red, el objeto nativo se transforma a cadena.

Usando la librería PubSubClient se escribió la cadena JSON para el envío de datos a través de la red celular. Se creó una cadena JSON para los datos GPS, en la que se envían la latitud, longitud con siete dígitos, cada 30 segundos aproximadamente.

En la ilustración 3-9 se observa el código para el envío de los datos GPS.

```
void publishMQTT()
{
    //Crea el JSON que se envía al servidor MQTT.
    String msg = createJsonString();
    SerialMon.print("Publish message: ");
    SerialMon.println(msg);
    //Publicamos en el tema
    int status = mqtt.publish(TOPIC, msg.c_str());
    SerialMon.println("Status: " + String(status)); //Estado 1 éxito u 0 error
}

String createJsonString()
{
    String data = "{";
    if(!isnan(lat2) && !isnan(lon2))
    {
        data+="\"position\":{\"";
        data+="\"latitude\":";
        data+=String(lat2, 7);
        data+=",";
        data+="\"longitude\":";
        data+=String(lon2, 7);
    }
    data+="}";
    return data;
}
```

Ilustración 3-9: Cadena JSON para publicar los datos GPS.

Fuente: Tamayo K., 2023

La aplicación de Ubidots recibe los datos GPS del módulo y los muestra en el widget de la variable position, estos se almacenan en orden de llegada junto con la fecha y hora en la que el dato es publicado en el servidor.

En la ilustración 3-10 se puede apreciar la interfaz de la aplicación que contiene la fila de los datos latitud, longitud dentro de la plataforma Ubidots.

DATE	VALUE	CONTEXT	ACTIONS
2022-12-29 17:59:...	1.00	{"lng":-78.6311798,"lat":-7	
2022-12-29 17:31:...	1.00	{"lng":-78.631134,"lat":-1.	
2022-12-29 17:28:...	1.00	{"lat":-1.2460725,"lng":-7	
2022-12-29 14:51:...	1.00	{"lat":-1.2460933,"lng":-7	

Ilustración 3-10:Raw widget position.

Fuente: Tamayo K., 2023

La obtención del porcentaje de carga de la batería o también llamado estado de carga (SOC) se realizó a partir de la razón del voltaje medido entre el voltaje total o capacidad de batería multiplicado por el 100%. (Abreu, 2015, pp.28–29)(Machina, 2021) El cálculo del voltaje medido es obtenido al leer un pin analógico de entrada pin/ADC, el cuál según la documentación del manual de ESP32 explica que la resolución del ADC de este, es de 12 bits con un valor de referencia de 3,3 V que puede utilizarse para aplicaciones de conversión de voltajes analógicos a voltajes digitales.(Espressif, 2022)(RANDOM NERD TUTORIALS, 2023)

El valor total de la batería es conocido y corresponde a 4,195 V como se mostró en la tabla 3-2.

La fórmula general de cálculo del estado de carga de la batería se muestra en la ecuación 3-1.

$$SOC(\text{Estado de carga}) = \left(\frac{\text{voltaje medido}}{4095} \right) * 3,3 * \text{divisor voltaje} / \text{voltaje total} * 100 \quad (3-1)$$

Ecuación 3-1: SOC (Estado de carga).

Fuente:(Abreu, 2015, pp.28–29)

Debido a que el valor de la batería es mayor al valor que puede medir el ADC del módulo, que es 3,3 V se realizó un divisor de voltaje con dos resistencias en serie con la batería; de manera que a la salida se reduzca el voltaje al valor aproximado del ADC, para lo cual se hizo el cálculo del divisor de voltaje colocando una resistencia de un valor conocido de R1=27kΩ y otra R2= 100kΩ obteniendo así una proporción de reducción de 0,7874.

La comprobación final fue la simulación realizada en Multisim donde el voltaje medido está dentro del rango como se aprecia en la ilustración 3-11.

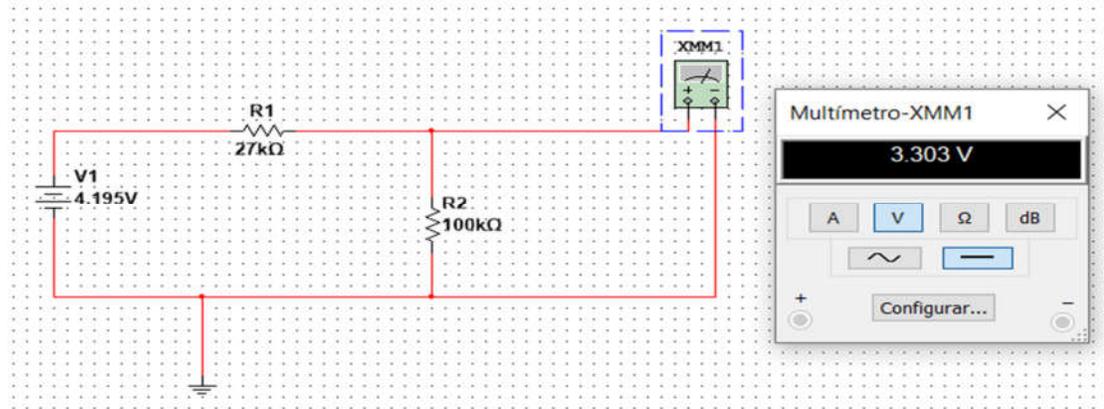


Ilustración 3-11: Simulación del divisor de voltaje en multisim.

Fuente: Tamayo K., 2023

Se soldaron dichas resistencias al positivo y negativo de la batería tal y como se observa en el diagrama de Multisim, y su salida se conecta al PIN/ADC 39 de donde se obtiene el voltaje medido.

El módulo con el circuito divisor de voltaje es apreciado en la ilustración 3-12.

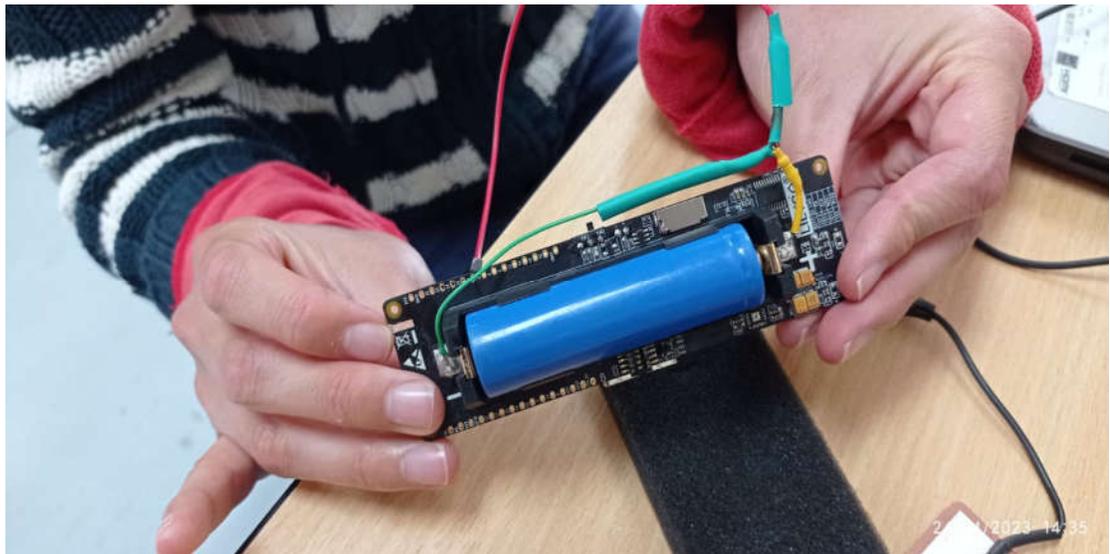


Ilustración 3-12: Circuito divisor de voltaje añadido a la batería del módulo.

Fuente: Tamayo K., 2023

La exactitud de la medición del estado de carga SOC, está condicionada al divisor de voltaje puesto que éste baja la resolución del ADC. Existe otro factor adicional que reduce la eficacia de la medición, y es debido al integrado de protección de batería que contiene el módulo, éste añade un consumo de voltaje no específico en la ficha del fabricante, lo que produce una ligera variación al momento de obtener el porcentaje exacto.

El valor mínimo de voltaje que soporta la tarjeta cuando hay una sobre descarga es 2,4 V según las especificaciones de LILYGO, como se observó en la tabla 3-2. Debido a esto se realizó una corrección en la fórmula del ADC. En la que a partir de la misma; para calcular el voltaje en binario correspondiente a una posición determinada se le resta el valor umbral de 1.861,36 correspondiente a 1,5 V; luego se multiplicó por el valor de transformación a decimal y por 100 como se observa en la ecuación 3-2.

$$SOC \text{ (Estado de carga)} = \left(\left(\frac{PINADC - 1.861,36}{4095} \right) * \frac{3,3}{1,8} \right) * 100 \quad (3-2)$$

Ecuación 3-2: SOC (Estado de carga)

Fuente: Tamayo K., 2023

Mediante esta ecuación se logra obtener el 100% a su valor máximo de 4,195 V y 0% cuando se encuentre en su valor mínimo de 2,4 V. En la ilustración 3-13 se observa el código para el envío o publicación del estado de carga SOC hacia la aplicación.

```
void publishMQTT()
{
  //Crea el JSON que se envía al servidor MQTT.
  String msg = createJsonString();
  SerialMon.print("Publish message: ");
  SerialMon.println(msg);
  //Publicamos en el tema
  int status = mqtt.publish(TOPIC, msg.c_str());
  SerialMon.println("Status: " + String(status)); //Estado 1 éxito u 0 error
}
```

Ilustración 3-13: Código para publicar el estado de carga SOC.

Fuente: Tamayo K., 2023

En la ilustración 3-14 se aprecian las funciones readBattery y bateríaJsonString, la primera se encarga de tomar la lectura del voltaje y almacenarla en Battery_voltage obteniendo el estado de carga SOC corregido que se obtuvo en la ecuación (3-2) y la segunda transforma los datos decimales en una cadena JSON.

```

float readBattery(uint8_t pin)
{
    uint16_t volt = analogRead(pin);

    float battery_voltage = (((float)volt-1861.36)/ 4095.0) * (3.3/(3.3-1.5)) *100;
    return battery_voltage;
}

String bateriaJsonString()
{
    float mv = readBattery(BAT_ADC);
    String data = "{";
    if(!isnan(mv))
    {
        data+="\"Bateria\":";
        data+=String(mv, 2);
    }
    data+="}";
    return data;
}

```

Ilustración 3-14: Código lectura de voltaje corregido y cadena JSON de los datos de la batería.

Fuente: Tamayo K., 2023

3.6.1. Prueba de descarga de la batería mediante el SOC.

Se realizó un análisis de la descarga de la batería, llevándola desde un estado de carga en un valor alto hacia un estado de carga en su nivel más bajo, sin suplementar corriente en todo el proceso.

Las mediciones del SOC (Estado de carga) que se llevaron a cabo permiten apreciar, en porcentaje, el voltaje disponible respecto a la capacidad nominal en ese instante de tiempo.

Existe además otro término que sirve para obtener la cantidad de energía extraída de la batería en porcentaje, y se denomina DOD (Profundidad de descarga), que es complementario al SOC (Estado de carga) de manera que se tiene la ecuación (3-3):

$$DOD (\text{Profundidad de descarga}) = 100\% - SOC(\text{Estado de carga}) \quad (3-3)$$

Ecuación 3-3: Profundidad de descarga.

Fuente: (Ojeda & Ortiz, 2017)

Una batería de litio totalmente cargada está hecha para funcionar al voltaje máximo para el cuál fue fabricada por lo que su curva característica de descarga es demasiado lenta con fluctuaciones que mantienen el voltaje en un valor nominal por un largo tiempo de duración, y una vez que su capacidad o potencia baja el voltaje decae desmesuradamente. (Esteban, 2019)

La facilidad de utilizar el pin 39 del ADC de la placa para medir el voltaje de la batería de litio en este proyecto permitió representar el porcentaje de la caída de tensión respecto al tiempo, para

lo cual se registró en Ubidots, la reducción del estado de carga SOC durante 5 horas continuas hasta cuando dicho voltaje le permitió enviar los datos a la aplicación.

En la ilustración 15-3 se aprecia que, en una hora con veinte minutos el estado de carga se mantuvo a 99,93% correspondiente a su voltaje máximo; con una fluctuación en la profundidad de descarga del 7,55 % considerando un promedio del 92,38 %.

Desde este punto se estabiliza a un estado de carga SOC entre 60% y 80% durante dos horas con cuarenta y siete minutos.

Dado el funcionamiento de la batería por último se observa una caída abrupta del estado de carga SOC debajo del 60%, valor que debe tenerse en cuenta para conectar a la corriente el dispositivo.

Además, se observa el estado de carga final correspondiente al 5,65% con el cual cesa el funcionamiento del módulo.

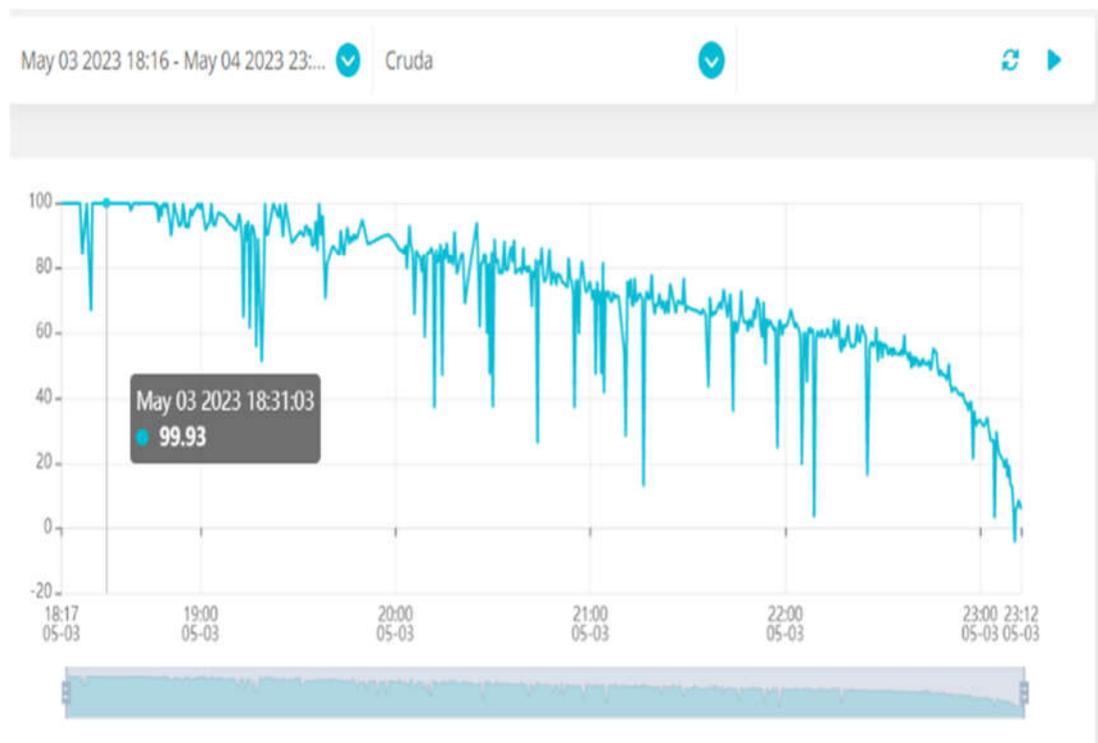


Ilustración 3-15: Curva de descarga de la batería de litio registrada en Ubidots.

Realizado por: Tamayo K., 2023

La aplicación de Ubidots también muestra el estado de carga SOC recibido en el widget de la variable batería en una fila de datos en orden con la fecha y hora de publicación. En la ilustración 3-16 se puede apreciar la interfaz de la aplicación que contiene la fila de los datos del estado de carga de la batería SOC.

DATE	VALUE	CONTEXT	ACTIONS
2023-05-03 21:56:35 -05:00	60.72	{}	
2023-05-03 21:56:03 -05:00	61.97	{}	
2023-05-03 21:55:45 -05:00	62.95	{}	
2023-05-03 21:55:13 -05:00	63.76	{}	
2023-05-03 21:54:51 -05:00	61.79	{}	

Ilustración 3-16: Fila de datos de la variable batería con el estado de carga SOC.

Realizado por: Tamayo K., 2023

3.7. Geocerca en la aplicación Ubidots.

La Geocerca de Ubidots puede crearse de manera rápida luego de que la variable position esté funcional, como se realizó en este proyecto; donde dicha variable se creó automáticamente al habilitar el envío de datos GPS por MQTT.

La herramienta geocerca fue utilizada para crear el evento:

- ALARMA ACTIVA

Con el propósito de distinguir los estados asociados a este evento, se establece la condición de la geocerca cuando se encuentra fuera del área, si esto sucede se le asigna el valor de 5. En caso de que la Smart TV regrese al área, la variable toma el valor de 4 automáticamente, de manera que el evento pueda volver a ocurrir.

El usuario puede mover la geocerca, editar su tamaño, y figura en forma de círculo o polígono; e incluso añadir dos o más, sin embargo, para realizar las pruebas de funcionamiento del sistema de rastreo de SMART TVs se ha seleccionado un área.

En la ilustración 3-17 se muestra el evento alarma activa, la cual contiene la condición de geocerca que acciona la variable con el mismo nombre.

2 Events

<input type="checkbox"/>	Name	Created at ↓	Triggers	Actions	Organization
<input type="checkbox"/>	ESTADO DE CONEXION	2023-03-28 19:14:16			
<input type="checkbox"/>	ACTIVA ALARMA	2023-02-14 23:53:25			

Ilustración 3-17: Evento alarma activa generado con la geocerca.

Realizado por: Tamayo K., 2023

La geocerca está ubicada en la ciudadela Juan Montalvo de Riobamba con un diámetro de 100 metros, haciendo referencia a la intersección de las calles José Antonio de Rocha y José de Peralta, ubicación que representa el domicilio del usuario dentro de la cual la alarma permanece inactiva. La ilustración 3-18 muestra la geocerca del evento alarma activa.



Ilustración 3-18: Geocerca ubicada en la ciudadela Juan Montalvo perteneciente a Riobamba.

Realizado por: Tamayo K., 2023

Las notificaciones de la alarma funcionan con la programación del módulo al momento de recibir el valor 5 mediante suscripción, es entonces cuando un mensaje con el enlace de ubicación es enviado al chat bot de Telegram, mientras que en el caso del valor 4 no envía ningún mensaje de

alarma. Las notificaciones continúan enviándose repetidamente dos veces por minuto hasta que la SMART TV ingrese a la geocerca.

3.7.1. Configuración alarma en el módulo TTGO T-SIM7600G-H R2

La variable alarma envía sus datos desde la aplicación al módulo; para ello en la programación se creó un menú switch case que toma dichos valores y decide si accionar el envío de mensajes al chat bot de Telegram.

La función callback que permite la utilización del comando `mqtt.subscribe()` de la librería `PubSubClient.h` fue utilizada para la recepción de dichos datos. El case 4 “ALARMA INACTIVA” no realiza ninguna acción en la aplicación. Mientras que, el case 5 “ALARMA ACTIVA” envía las coordenadas decimales latitud, y longitud actual en el mensaje:

"El televisor está fuera del área se encuentra en: | <https://www.google.com/maps/place/-1.2461245,-78.631218>

Las opciones del switch case son mostradas en la ilustración 3-19.

```
case 4:
  mqtt.disconnect();
  SerialMon.println("ALARMA INACTIVA");
  delay(100);
  break;

case 5:
  bot.sendMessage(CHAT_ID, "El televisor esta fuera del area se encuentra en : | https://www.google.com/maps/place/"+ String(lat2,7) + "," + String(lon2,7) );
  mqtt.disconnect();
  Serial.println("ALARMA ACTIVA");
  String smsMessage = ("La television se encuentra fuera del area se encuentra en : | https://www.google.com/maps/place/"+ String(lat2,7) + "," + String(lon2,7) );

  if(modem.sendSMS(SMS_TARGET, smsMessage)){
    SerialMon.println(smsMessage);
  }
  else{
    SerialMon.println("SMS failed to send");
  }
  break;
```

Ilustración 3-19: Switch case para envío de notificación al chat bot de Telegram.

Realizado por: Tamayo K., 2023

3.7.2. Pantalla de notificaciones Telegram chat bot Rastreo TV

Las notificaciones de Telegram que indican cuando la Smart TV se encuentra fuera del área de la geocerca muestran la URL que puede ser visualizada desde cualquier navegador o aplicación de Google maps.

En la ilustración 3-20 se observa el mensaje en el chat bot Rastreo TV y la ubicación del lugar en la aplicación de Google maps señalada con un globo rojo.

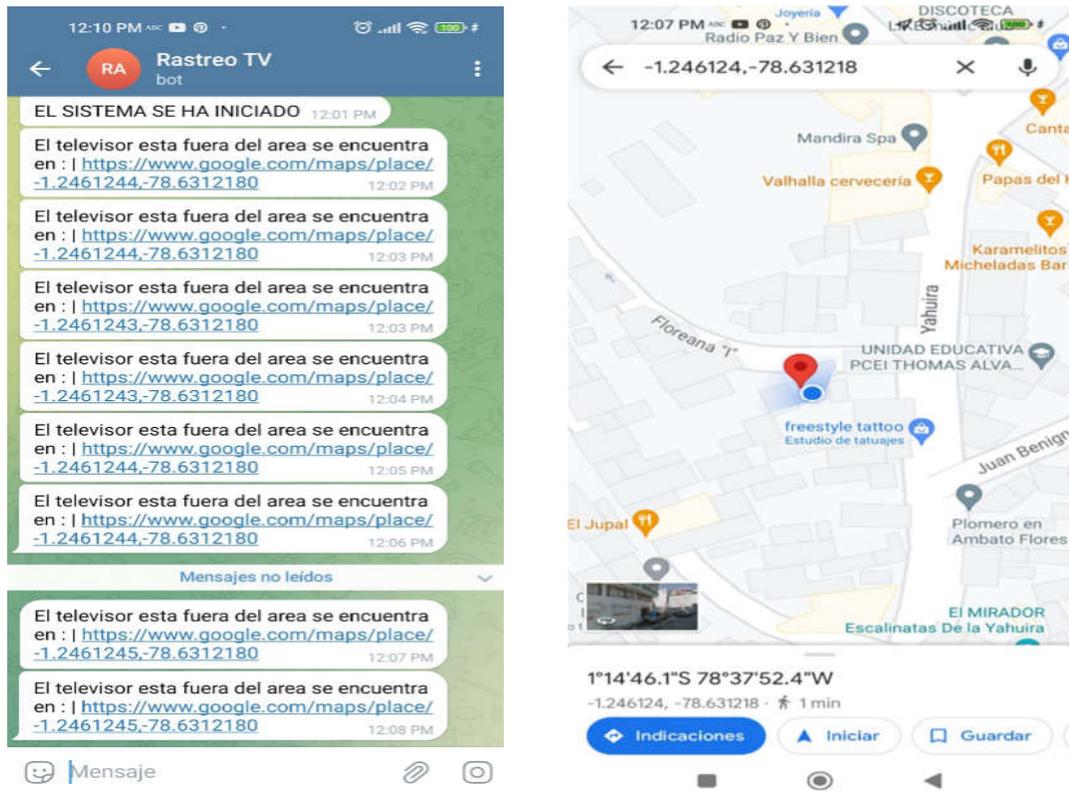


Ilustración 3-20: Enlace de notificación de Telegram y mapa con la ubicación.

Realizado por: Tamayo K., 2023

3.8. Evento estado de conexión.

Para mostrar en el tablero de la aplicación cuando está activo el envío de datos desde el módulo hacia Ubidots, es decir, existe conexión tanto con la red GPRS y MQTT se creó el evento estado de conexión. El evento actúa mediante la variable estado, la cual se creó previamente en la aplicación de Ubidots y contiene el valor de 1 cuando está activa y 0 desactiva.

El evento recibe el valor de 0 offline (fuera de línea) luego de que el módulo haya comprobado que no hay conexión GPRS en más de 4 intentos, y es enviado a 1 online (en línea) si el número de intentos de conexión a la red GPRS es menor a 4 y se encuentra activa la conexión MQTT.

En la ilustración 3-21 se observan detalladamente las condiciones para activar el evento estado de conexión.

```
if (offline>4)
{
  enlaced ();
  SerialMon.println("Modo Offline activo");
  offline=0;
}
if (!modem.isNetworkConnected())
{
  RECONGPRS ();
  offline=offline+1;
}
if(modem.isNetworkConnected() && offline<=4)
{
  if(!mqtt.connected())
  {
    //Mandamos conectar
    connectMQTTServer();
    light_sleep(3);
  }
  if(now - lastTime > INTERVAL)
  {
    //Publicamos para o server mqtt
    sprintf(payload, "%s", ""); // Cleans the payload
    sprintf(payload, "{\"%s\": %s}", VARIABLE_LABEL_ON, "1");
    SerialMon.println("Sistema en linea");
    mqtt.publish(topic, payload);
    light_sleep(3);
    publicacion();
    //Mostramos os dados no display
    //Atualizamos o tempo em que foi feito o último envio
    lastTime = now;
  }
}
```

Ilustración 3-21: Condiciones para el evento estado de conexión.

Realizado por: Tamayo K., 2023

3.9. Creación de la variable KML

Es un accionador creado en la plataforma Ubidots para el envío de datos GPS recopilados en la SD del dispositivo con formato kml, el mismo está configurado con 2 en su valor mínimo y 3 en su valor máximo. Para enviar el archivo con nombre, ruta.kml a la aplicación de Telegram debe

colocarse a la variable en el valor 3, mediante la acción de pulsar el switch kml en el tablero de la aplicación. Una vez que se envíe el archivo el botón vuelve automáticamente a su estado de apagado colocando el valor de 2 en dicha variable.

La configuración en el switch case del módulo TTGO T-SIM7600G-H R2 que hace que se envíe el archivo kml mediante Telegram lo hace mediante una condición $reg = 3$, que permite que los datos que se siguen guardando constantemente finalmente se archiven y sean enviados.

En la ilustración 3-22 se muestra la opción del switch case que activa el envío del archivo kml.

```
switch (value) {
  case 3:
    reg=3;
    SerialMon.println("ENVIANDO KML");
    mqtt.disconnect();
    break;
```

Ilustración 3-22: Switch case para envío del archivo kml al chat bot de Telegram.

Realizado por: Tamayo K., 2023

En la ilustración 3-23 se aprecia la condición que llama a la función textokmlfin y abajo en 3-24 se observa detalladamente dicha función que es en donde se pone los comandos de encabezado, fin antes de que el archivo se envíe y vuelva el switch a su estado normal $reg = 2$ y $kml = 2$ en Ubidots.

```
if (reg == 3 )
{
  if (millis() - bot_lasttime > BOT_MTBS)
  {textokmlfin ();
  bot_lasttime = millis();
  }
}
```

Ilustración 3-23: Código que activa la función textokmlfin.

Realizado por: Tamayo K., 2023

```

void textokmlfin ()
{
  if (sd==true)
  {
    File file = SD.open("/ruta.kml");
    if(!file) {
      SerialMon.println("El archivo no existe");
      SerialMon.println("Creando Archivo...");
    }
    else {
      dataMessage = "</coordinates> \r\n </LineString> \r\n </Placemark> \r\n </Folder> \r\n </kml> \r\n";
      SerialMon.print("Guardado encabezado kml: ");
      SerialMon.println(dataMessage);
      appendFile(SD, "/ruta.kml", dataMessage.c_str());
      file.close();
    }
  }
  reg=2;
  sprintf(payload, "%s", ""); // Cleans the payload
  sprintf(payload, "{\\"%s\": %s}", VARIABLE_LABEL_LOG, "2"); //Sistema en linea variable encendido
  SerialMon.println("Registro enviado");
  mqtt.publish(topic, payload);
  String file_name = "/ruta.kml";
  myFile = SD.open(file_name);
  if (myFile)
  {
    Serial.print(file_name);
    Serial.print("....");

    //Content type for PNG image/png
    String sent = bot.sendMultipartFormDataToTelegram("sendDocument", "document", file_name, "image/jpeg", CHAT_ID, myFile.size(),
      isMoreDataAvailable,
      getNextByte, nullptr, nullptr);
  }
}

```

Ilustración 3-24: Creación del archivo ruta.kml.

Realizado por: Tamayo K., 2023

3.9.1. Recepción del archivo ruta.kml y visualización de la ruta.

Se pulsó desde la aplicación de Ubidots el botón KML, luego de completar una ruta dentro de la ESPOCH, y se abrió dicho archivo desde el chat bot de Telegram con Google Earth tal como se muestra en la ilustración 3-25 en la cual se traza la ruta seguida por la persona que llevó la SMART TV.

Una vez enviado el archivo, el botón se desactiva, lo que permite borrar los datos para empezar una nueva medición de coordenadas GPS.

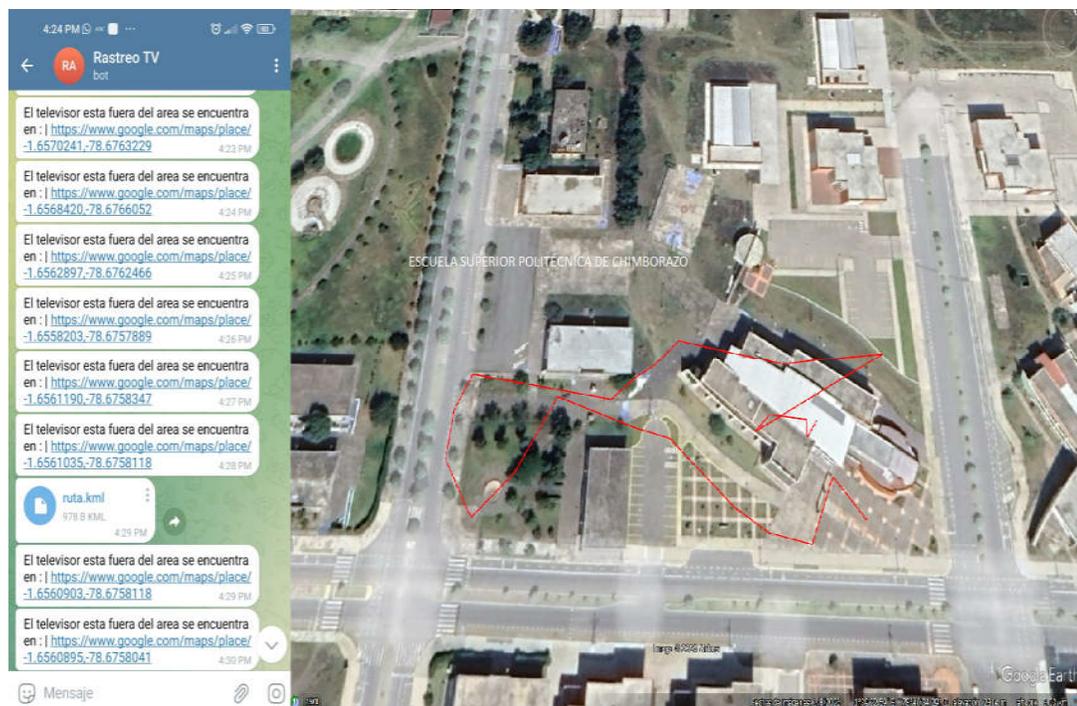


Ilustración 3-25: Archivo ruta.kml.

Realizado por: Tamayo K., 2023

3.10. Tablero de la aplicación RASTRO_K.

El tablero de Ubidots posee imágenes pequeñas que muestran gráficamente la información obtenida de las variables al cliente y es una forma rápida de visualización de lo que ocurre con el módulo TTGO T-SIM7600G-H R2.

Se vio la necesidad de controlar desde la misma aplicación algunos otros parámetros por lo que se adiciona las variables estado, alarma y kml.

La descripción de las herramientas widget utilizadas para crear el tablero es mostrada en la tabla 3-5.

Tabla 3-5: Descripción de las herramientas del tablero RASTRO K.

Nombre del ícono	Información que muestran	Tipo de widget
estado	Muestra si el servidor está conectado y recibiendo los datos.	Indicador
alarma	Se activa cuando esté fuera de la geocerca creada.	Botón o switch con estados: encendido y apagado
KML	Activa el envío del archivo kml al chat bot de Telegram.	Botón o switch con estados: encendido y apagado
Battery widget	Indica el nivel de la batería gráficamente y su porcentaje.	Widget batería
Map	Muestra la ubicación actual tomada de la variable position.	Widget mapa

Realizado por: Tamayo K., 2023

El indicador llamado estado, se encuentra a la izquierda de la pantalla y posee los valores de online (en línea) y offline (fuera de línea), en la mitad se encuentra el botón alarma que se activa automáticamente pues está vinculado al evento geocerca.

El botón alarma es una variable tipo actuador que utiliza la aplicación Ubidots para obtener el estado cuando el dispositivo esté fuera del área de la geocerca y a su vez es utilizada por la misma tarjeta para recibir los datos provenientes de la aplicación mediante suscripción al tema denominado con el mismo nombre alarma.

El botón KML fue ubicado bajo el mapa por ser un widget que no muestra ningún dato por sí solo, dicho botón activa el envío del archivo ruta.kml con los datos GPS recopilados, cuya ruta puede mostrarse en Google Earth como una línea de puntos.

El widget batería ubicado en la esquina izquierda permite observar la profundidad de descarga en porcentaje y también gráficamente, debajo de estos widgets se aprecia el mapa que muestra con el globo celeste el punto geográfico actual.

En la ilustración 3-26 se muestra el tablero de la aplicación RASTRO_K.

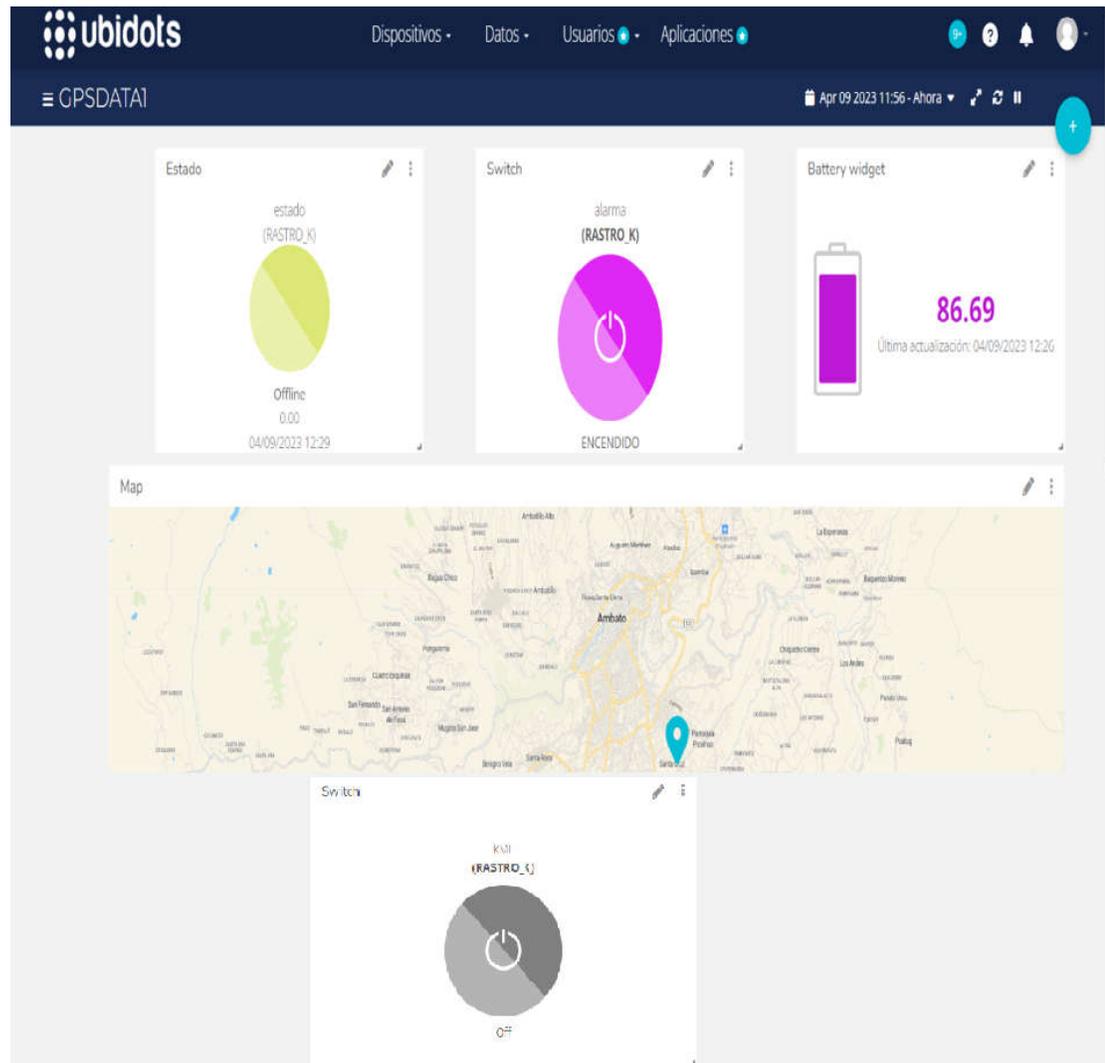


Ilustración 3-26: Tablero de la aplicación RASTRO_K con sus widgets etiquetados respectivamente.

Fuente: Tamayo K., 2023

3.11. Capacidad de la batería de Litio 18650

La capacidad de una batería es la cantidad de energía que es capaz de suministrar durante un ciclo completo de descarga y viene dada en mAh. Las baterías con una tasa de descarga mayor a un amperio reducen su capacidad de manera no lineal, presentando una curva característica que se rige por la Ley de Peukert cuyo coeficiente puede ser obtenido matemáticamente. (Victron Energy, 2023)(tritec-intervento, 2019)(tritec intervento, 2023)

La vida útil de las baterías de litio depende del número de ciclos de carga, siendo un ciclo de carga completo cuando se ha usado o descargado el 100% de la capacidad de la batería. La capacidad de este tipo de baterías disminuye ligeramente después de completarse un ciclo de recarga. Estas baterías han sido creadas con el objetivo de mantener el 80% de su capacidad original durante numerosos ciclos de descarga.(Pérez Díaz et al., 2018)(Ojeda Pereira & Ortiz Pineda, 2016, pp. 2018–2019)

3.11.1. Obtención de la capacidad requerida para la batería y su duración.

Para calcular el coeficiente de Peukert se introdujo en una calculadora en línea dos capacidades nominales, la más alta C_5 y la más baja C_1 con su correspondiente tiempo de duración expuesto en la hoja de especificaciones del fabricante.(Liu et al., 2017, pp. 75–92)(Esteban, 2019)

El resultado obtenido fue un coeficiente de 1,34 como se aprecia en la ilustración 3-27.

Calculate Peukert's Exponent

With 'C-ratings'

Type the battery capacity for the 1hr discharge rate :

t1 : 1 hrs C1 rating : 2 Ah

t2 : 5 hrs C5 rating : 3 Ah

Calculate

Equation :

$$\text{Peukert's exponent } n = \frac{\log 5 - \log 1}{\log 2 - \log 0.6} = 1.34$$

Calculation results :

C20 rating : Ah

Peukert's exponent : 1.34

Close

Ilustración 3-27:Coeficiente de Peukert de la batería 18650

Fuente: Tamayo K., 2023

Se midió el consumo de corriente en una hora, haciendo uso de un osciloscopio digital y una sonda amperimétrica de la marca keysight en el rango de medida de 100 mA y mediante estas muestras se obtuvo como dato la corriente promedio para posteriormente calcular la capacidad Ah.

Las mediciones fueron realizadas durante el funcionamiento normal del módulo, en los modos WCDMA y LTE, restringiendo la conexión GPRS mediante el modo red que permite configurar el módulo. En la ilustración 3-28 se aprecia la medición de corriente del circuito utilizando los instrumentos del laboratorio.

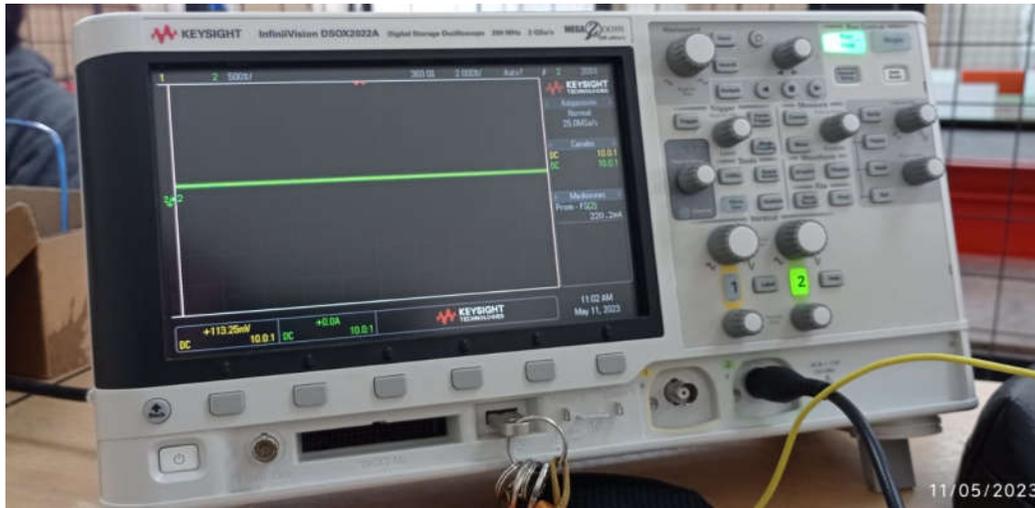


Ilustración 3-28: Consumo de corriente en una hora.

Fuente: Tamayo K., 2023

La corriente promedio obtenida para WCDMA equivale a 0,2884 A mientras que para LTE a 0,1798 A, mismas que fueron tomadas mediante la función mean de Matlab previo a importar el archivo de corriente tomada del osciloscopio.

Utilizando la fórmula de Peukert mostrada en la ecuación 3-4 se obtuvo la capacidad requerida para la batería en función del tiempo.

$$C = I_{prom} * T * \left\{ \frac{t}{T} \right\}^{\frac{1}{k}} \quad (3-4)$$

Ecuación 3-4: Fórmula de Peukert para determinar la capacidad de la batería respecto a una corriente promedio.

Fuente:(Esteban, 2019)

En donde:

- **C:** Capacidad que requiere el sistema.
- **I_{prom} :** Corriente promedio medida en una hora.
- **T:** Tiempo de descarga del fabricante.
- **t:** tiempo de duración real medido.
- **k:** constante de Peukert.

Se puede apreciar en la ilustración 3-29 la gráfica capacidad requerida versus tiempo de WCDMA la cual fue realizada con los datos conocidos de corriente promedio 0,2884 A, tiempo de descarga especificada por el fabricante 11 *horas* y tiempo de duración real 5 *horas*, tomado de la ilustración 3-15 que mostró el estado de carga SOC de la batería.

La gráfica expresa que la batería tiene una duración de cinco horas a la corriente promedio, necesitando una capacidad de 1,76 *Ah* y que su máxima duración es 6,7 *horas* considerando la capacidad total de la batería de 2,19 *Ah*.

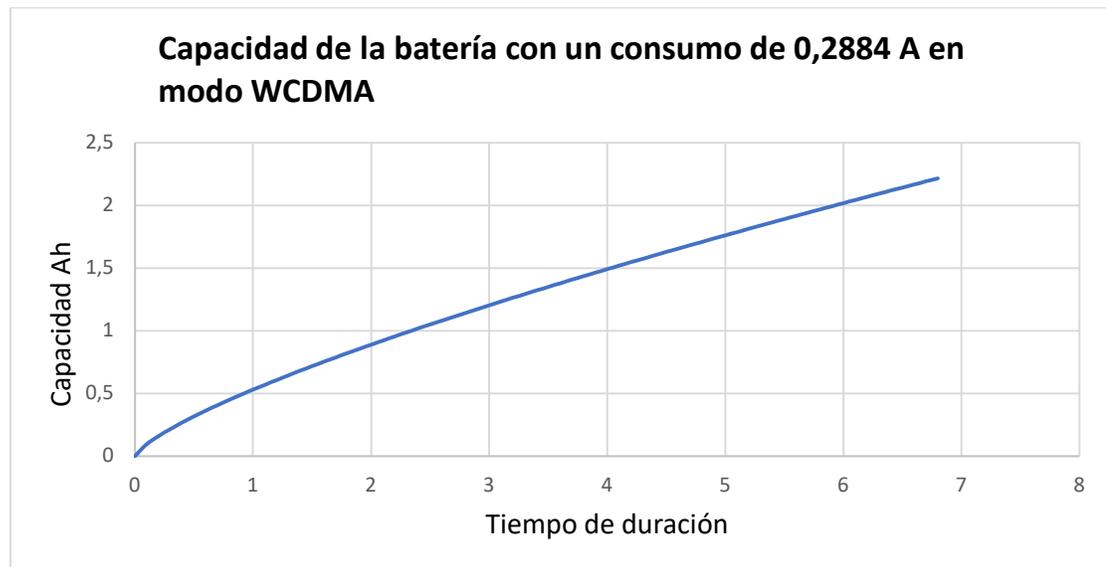


Ilustración 3-29: Capacidad vs tiempo de duración de la batería para el modo de conexión WCDMA.

Fuente: Tamayo K., 2023

De la misma forma que en WCDMA, aplicando la ecuación de Peukert para LTE, con corriente promedio de 0,1798 A se obtuvo la capacidad requerida en función del tiempo de duración como se aprecia en la ilustración 3-30.

Dicha gráfica expresa que la batería tiene una duración de cinco horas a la corriente promedio, necesitando una capacidad de 1,1 *Ah* y que su máxima duración es 11 *horas* considerando la capacidad total de la batería de 1,98 *Ah*.

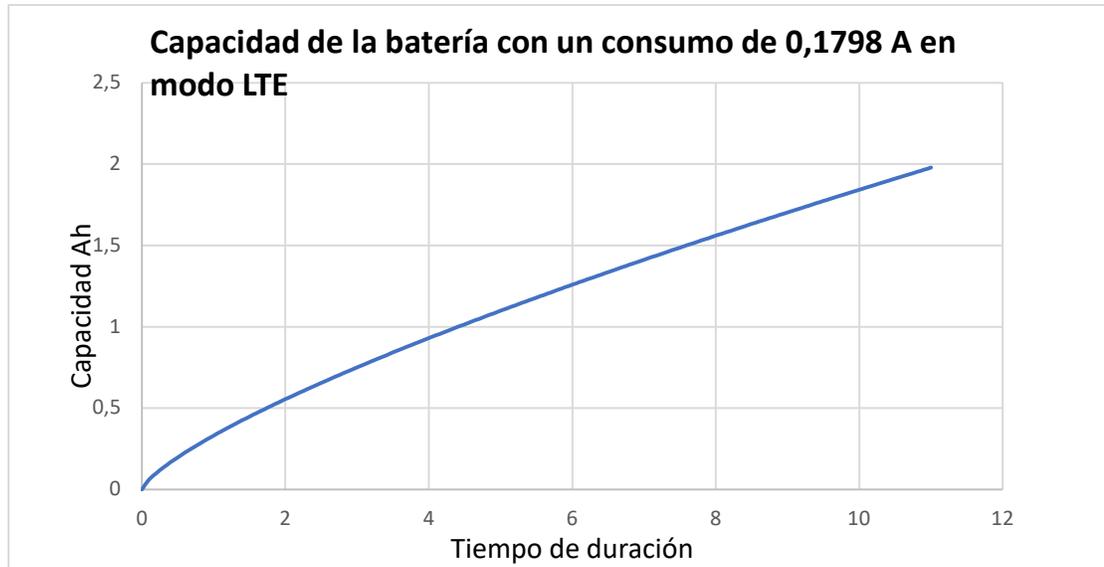


Ilustración 3-30: Capacidad vs tiempo de duración de la batería para el modo de conexión LTE

Fuente: Tamayo K., 2023

Realizando una comparación entre las capacidades requeridas para la batería, WCDMA requiere una mayor capacidad que LTE mientras está en funcionamiento. Sin embargo, para un rendimiento óptimo una batería no debe consumir más del 80% de su capacidad nominal, por lo que la capacidad óptima requerida es:

$$C_{\text{óptima}} = 0,8 * 2,2 \text{ Ah} = 1,76 \text{ Ah}$$

Debido a esto, en modo WCDMA el tiempo de duración recomendado es 5 horas, y en LTE de 9 horas 24 minutos, para evitar la cantidad de ciclos de recargas completa que degrada la misma y mantiene su capacidad de carga durante más tiempo.

Se conoce también que la vida útil de una batería de litio 18650 en promedio puede alcanzar 500 ciclos de descarga y carga. (Dongguan gran Electronics Co., 2022)

El ciclo de vida depende de la profundidad de descarga, la corriente y la temperatura; sin embargo, se puede calcular la autonomía mediante la ecuación 3-5 a partir del número de ciclos de carga. (Ojeda & Ortiz, 2017)

Conociendo que, en el uso del sistema de rastreo obligadamente se producen descargas del 100% como máximo la vida útil del dispositivo es:

$$T_{\text{años}} = \frac{\text{número ciclos de carga}}{365} \quad (3-5)$$

$$T_{\text{años}} = \frac{500}{365} = 1,4 \text{ años} \approx 17 \text{ meses}$$

Ecuación 3-5: Tiempo de duración de la batería.

Fuente:(Ojeda & Ortiz, 2017)(Dongguan gran Electronics Co., 2022)

3.12. Prueba de rastreo de la SMART TV: Visualización y comparación de las coordenadas geográficas.

Para poner a prueba el sistema de rastreo de SMART TVs se inició el sistema en las afueras de la vivienda del usuario, continuando hasta la Panamericana sur donde se tomó el bus, dicha ruta corresponde al recorrido de la línea 16 Calpi -La Paz, con algunas pequeñas variaciones como se observa en la ilustración 3-31.

La ruta recorrida pasa las siguientes calles: Antonio José de Rocha - José Peralta - Panamericana sur- Av. Pedro Vicente Maldonado – Av. Saint Amand Montread- Av. Canónigo Ramos – Av. La prensa- Manuel Elicio Flor - Los Sauces – Veloz - Cristóbal Colón - Barón de Carondelet- Velasco – 12 de Octubre – Alvarado – 24 de Mayo – C. Loja – Boyacá - C. Diego de Almagro – José de Orozco – Av. Miguel Ángel León – Veloz - Av. La prensa - Av. Canónigo Ramos - Av. Saint Amand Montread – Av. Milton Reyes – Av. 11 de noviembre - Av. Pedro Vicente Maldonado - Panamericana sur - José Peralta - Antonio José de Rocha.

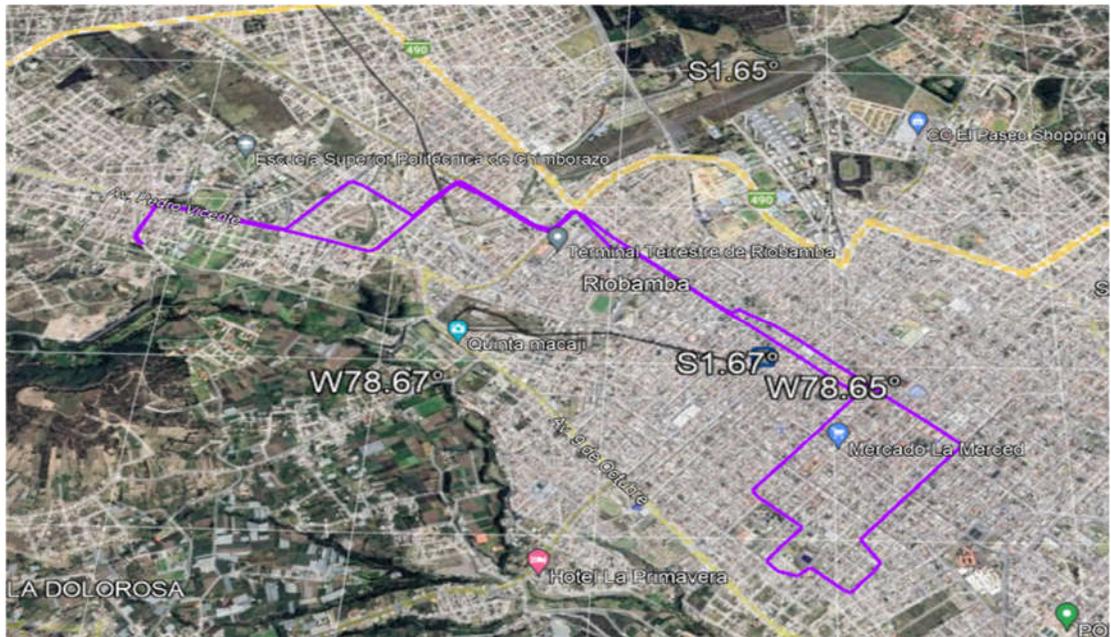


Ilustración 3-31: Mapa de la ruta establecida.

Fuente: Tamayo K., 2023

3.12.1. Comparación de la ruta real con la medida por el sistema de rastreo de SMART TVs.

Se obtuvo las coordenadas de latitud y longitud desde el chat bot de Telegram, descargando su archivo kml, generado desde el dashboard de la aplicación de Ubidots al accionar el evento una vez completada la ruta. Se decidió definir a esta ruta como ruta medida.

Así como también se generó mediante Google Earth el archivo kml correspondiente a la ruta establecida, con el mismo número de marcas de posición latitud y longitud con una cantidad de 344 muestras en total. Dicha ruta es referida más adelante como real.

Al archivo de la ruta medida se le asignó marcas de color rojo para diferenciar sus coordenadas de la ruta real, cuyo archivo contiene marcas color amarillo. La visualización de la ruta real y la medida por el sistema de rastreo que corresponde al carril derecho de la Av. Pedro Vicente Maldonado es mostrada en la ilustración 3-32.



Ilustración 3-32: Marcas de latitud y longitud pertenecientes a la Av. Pedro Vicente Maldonado.

Fuente: Tamayo K., 2023

Otra de las avenidas principales de la ciudad que se atravesó tanto de ida a la parte céntrica de la ciudad como de vuelta es la Av. Veloz.

La ilustración 3-33 permite apreciar las marcas de la ruta real y medida al momento de regresar por dicha ruta.



Ilustración 3-33: Marcas de latitud y longitud pertenecientes a la Av. Veloz.

Fuente: Tamayo K., 2023

Con el objetivo de mostrar la fiabilidad de las coordenadas geográficas se calculó el error de precisión del sistema en metros, para lo cual se obtuvo la distancia geográfica entre las coordenadas medidas y las reales mediante la fórmula de Haversine apreciada en las ecuaciones (3-6), las mismas que fueron aplicadas en el software Matlab para obtener los resultados finales.

$$a = \sin^2\left(\frac{lat2 - lat1}{2}\right) + \cos(lat1) * \cos(lat2) * \sin^2\left(\frac{lon2 - lon1}{2}\right)$$

$$c = 2 * \text{atan2}(\sqrt{a}, \sqrt{1 - a})$$

$$d [\text{metros}] = R * c \tag{3-6}$$

Ecuación 3-6: Fórmula de Haversine.

Fuente: (Genbeta, 2020)

Donde:

- **d:** es la distancia entre los dos puntos en la superficie de la Tierra.
- **R:** radio de la Tierra; asumiendo que es una esfera completa equivale 6.371.000 metros.

- **lat2**: latitudes de la ruta medida en radianes.
- **lat1** : latitudes de la ruta real en radianes.
- **lon2** : longitudes de la ruta medida en radianes.
- **lon1**: longitudes de la ruta real en radianes.
- **sin y cos**: representan las funciones trigonométricas del seno y el coseno, respectivamente.
- **atan2**: es la función inversa de la tangente que devuelve un resultado en radianes entre $[-\pi, \pi]$.

La precisión de un dispositivo GNSS que usa sólo satélites para su posicionamiento puede variar entre 10 a 100 metros, este es menos preciso debido al efecto multitrayecto cuando hay calles estrechas rodeadas de edificios altos como sucede en las zonas urbanas.(Merry & Bettinger, 2019, pp. 1–19)

Otro factor que degrada el rendimiento de GNSS es la reducida cantidad de satélites a los que se conecta el dispositivo por múltiples obstáculos perdiendo la línea de vista.

En Ecuador los edificios considerados más altos poseen 35 niveles, con una altura de 113,4 metros y otros con 37 niveles, que llegan a medir 137 metros, ubicados en Quito y Guayaquil.(Alvarado, 2020, p. 5A)(Aguilar, 2015)

La fiabilidad del receptor GNSS en entornos urbanos con edificios medianos y zonas boscosas no muy densas para un sistema de rastreo de Smart TVs es aceptable ya que permite la recopilación de los datos y su representación en el mapa como se apreció en las ilustraciones 3-32 y 3-33.

La recopilación de las coordenadas geográficas que se utilizan para encontrar la distancia entre las coordenadas medidas y las reales fue dividida en dos partes que son; ruta de ida y ruta de vuelta para una mejor visualización de los resultados.

En el anexo B se aprecia la tabla con las coordenadas geográficas reales, medidas y la distancia entre dichas coordenadas para la ruta de vuelta.

Después de obtener las distancias geográficas, se aplicó la desviación estándar, que es una medida de dispersión que permite ver que tan alejados están los datos a partir de la media, obteniendo así un rango de precisión de 8 metros.

La visualización de esta precisión se realizó mediante la gráfica de una máscara de círculos del mismo radio que la desviación estándar (RMSE) y se colocó las marcas de posición latitud y longitud, en las que se observó que la gran mayoría se encuentra dentro del rango de precisión.

En la ilustración 3-36 se puede distinguir las marcas de color naranja medidas, que se encuentran dentro de la máscara de círculos, éstos corresponden a la calle Colón que forma parte de la ruta.



Ilustración 3-36: Máscara de precisión sobre la calle Colón.

Fuente: Tamayo K., 2023

En la ilustración 3-37 se muestra la máscara de círculos y las marcas de posición latitud y longitud de color celeste tomadas en las calles Milton Reyes y 11 de noviembre principalmente y parte de las Av. Saint Amand Montread y Pedro Vicente Maldonado.

Se puede ver que la ubicación de las marcas se mantiene en la máscara sobrepuesta por el carril izquierdo que corresponde a la ruta de vuelta; con pequeñas desviaciones al momento de los giros del autobús.



Ilustración 3-37: Máscara de precisión calles Milton Reyes y 11 de Noviembre.

Fuente: Tamayo K., 2023

Al pasar cerca al Consejo Provincial Riobamba ubicado en la Veloz, una de las avenidas principales del centro de la ciudad se puede apreciar visualmente que existe un error de distancia debido a la estreches de las calles y edificios que lo rodean.

En la ilustración 3-38 se puede apreciar la máscara de círculos y las marcas de posición latitud, longitud de color rojo que corresponden a la calle Veloz.



Ilustración 3-38: Máscara de precisión en la Av. Veloz.

Fuente: Tamayo K., 2023

3.13. Prueba de rastreo de Smart TVs: Comparación y visualización de las coordenadas tomadas en espacios indoor.

Los centros comerciales públicos localizados en de la ciudad de Riobamba tienen una amplia construcción bajo techo, en donde se puede recrear una ruta.

El Paseo Shopping ubicado en las calles Av. Antonio José de Sucre, entre Begonias y Girasoles cuenta con un área de construcción de $25.576,21 m^2$.

El edificio en su interior contiene 64 tiendas, 25 islas y 13 locales en el patio de comidas. Además del espacio ocupado para sus seis salas de cine con 3000 m^2 de construcción.(Arias & Orozco, 2017)

A diferencia de otros centros comerciales con un solo corredor, cuenta con dos. Se llevó a cabo la recolección de datos indoor en este centro comercial, el recorrido de los corredores inició por la puerta cercana al patio de comidas, para luego caminar por sus alrededores, dar la vuelta a los corredores; y finalmente, salir por la puerta colocada a la esquina contraria, donde se encuentra la farmacia Pharmacy's.

El Multiplaza de Riobamba ubicado en la Av. Lizarzaburu y la calle Agustín Torres, con 25.000 m^2 de área de construcción, es un centro comercial de dos pisos, en el cuál, la planta baja cuenta con un parqueadero. En el segundo piso se encuentran los locales y el patio de comidas.(El Telégrafo, 2013)

Está formado por dos entradas ubicadas a lo largo de la Av. Lizarzaburu, la principal se encuentra ubicada en el centro del edificio, y la segunda, es la entrada al parqueadero, y se puede ingresar a los locales por medio de las gradas eléctricas o el ascensor.

Dicho centro comercial también es escenario para la recolección de datos, el recorrido a seguir empieza en el parqueadero, para luego subir a los locales por las gradas eléctricas, dar una vuelta alrededor del patio de comidas y regresar por la misma puerta hasta salir del edificio.

Además, se recorrió las avenidas Antonio José de Sucre, y Lizarzaburu que conectan el Paseo Shopping con el Multiplaza. Sin embargo, se separó las rutas indoor solamente por contener las coordenadas geográficas a analizar.

En la ilustración 3-39 se aprecia las entradas y corredores del Paseo Shopping Riobamba, y de color azul la ruta establecida para dicho escenario.

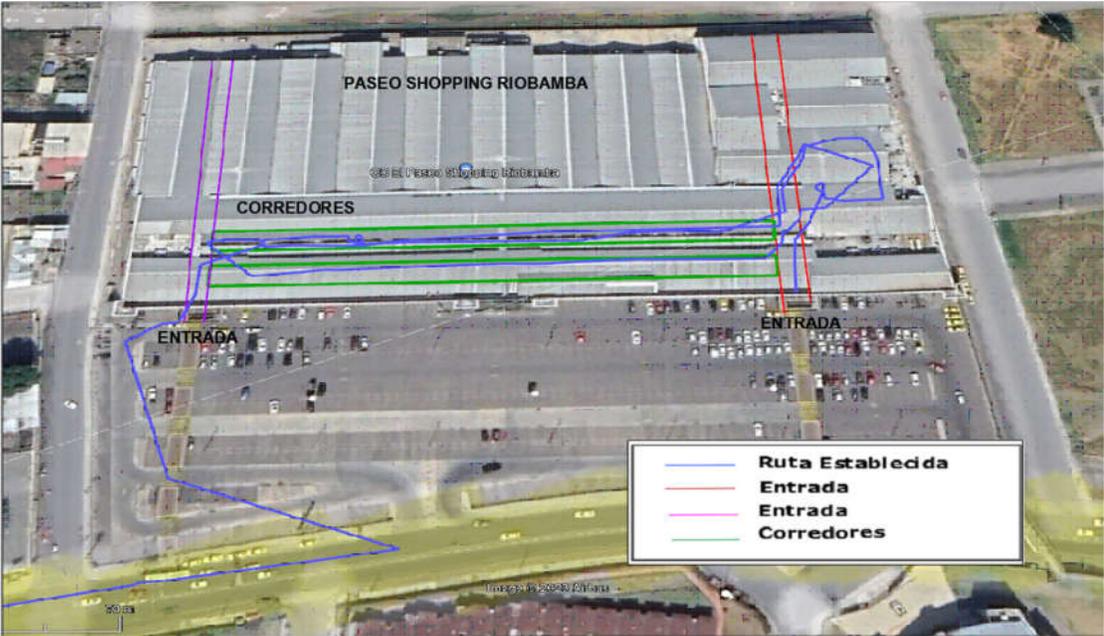


Ilustración 3-39: Ruta establecida Paseo Shopping.

Fuente: Tamayo K., 2023

En la ilustración 3-40 se aprecia las entradas, el corredor del Multiplaza Riobamba, y de color azul la ruta establecida para dicho escenario.



Ilustración 3-40: Ruta establecida Multiplaza.

Fuente: Tamayo K., 2023

En la ilustración 3-41 se muestra la ruta Paseo Shopping Multiplaza, en la que se aprecia además el camino outdoor entre estos dos centros comerciales.



Ilustración 3-41: Ruta Paseo Shopping-Multiplaza completa.

Fuente: Tamayo K., 2023

3.13.1. Comparación de la ruta real con la medida por el sistema de rastreo de SMART TVs.

Terminada la ruta Paseo Shopping-Multiplaza, se obtuvo el archivo kml desde el chat bot de Telegram con los datos tomados del sistema de rastreo de SMART TVs, al conjunto de dichos datos se los definió como ruta indoor medida.

Así como también se generó mediante Google Earth el archivo kml correspondiente a las rutas establecidas, con 137 muestras para la ruta Paseo Shopping y 55 muestras para la ruta Multiplaza; a este conjunto de datos se los menciona en adelante como ruta indoor real.

Se diferencia las marcas de la ruta indoor medida por el color rosa asignado, y a las marcas de la ruta indoor real por el color verde. La visualización de las marcas reales y medidas por el sistema de rastreo en el Paseo Shopping se muestra por partes:

La ruta seguida en el patio de comidas y parte de los corredores es mostrada en la ilustración 3-42.



Ilustración 3-42: Ruta Paseo Shopping.

Fuente: Tamayo K., 2023

Las marcas de la ruta continúan por los corredores del Paseo Shopping hasta la salida tomada, como se muestra en la ilustración 3-43.

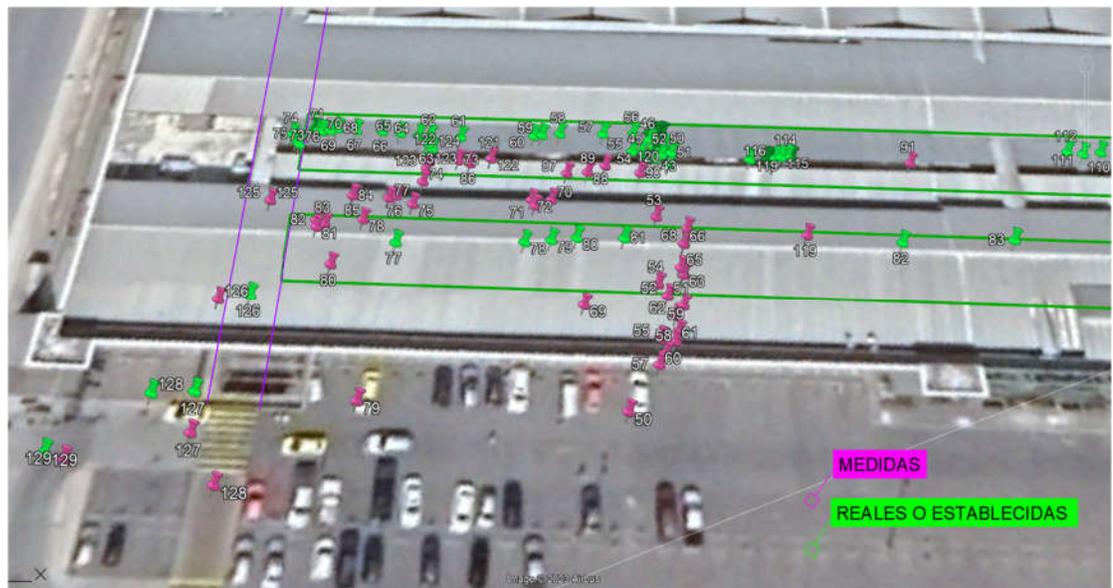


Ilustración 3-43: Ruta Paseo Shopping.

Fuente: Tamayo K., 2023

Las marcas reales y medidas que se ubican en el Multiplaza se aprecian en la ilustración 3-44.

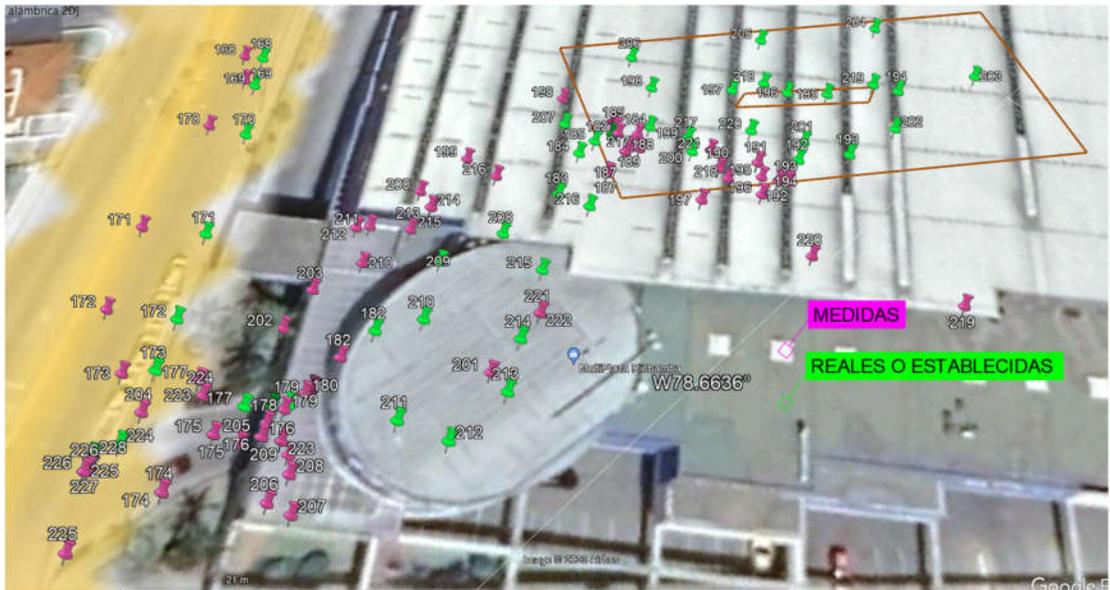


Ilustración 3-44: Ruta Multiplaza.

Fuente: Tamayo K., 2023

Para verificar la precisión de las coordenadas obtenidas, se calculó la distancia geográfica entre las coordenadas medidas y reales de la ruta indoor mediante el software Matlab, aplicando la fórmula de Haversine mostrada en las ecuaciones (3-6).

A pesar de que los sistemas GNSS no son adecuados para posicionamiento indoor, debido a su baja precisión, se realizó el procesamiento y se obtuvo la distancia geográfica entre las coordenadas medidas y reales.

La tabla que se muestra en el ANEXO C permite apreciar la distancia geográfica calculada a partir de las coordenadas geográficas de la ruta indoor Paseo Shopping.

Y en el anexo D se aprecia la tabla de la distancia geográfica calculada a partir de las coordenadas geográficas de la ruta indoor Multiplaza.

Después de obtener las distancias geográficas de las rutas indoor, se aplicó la desviación estándar, que es una medida de dispersión que permite ver que tan alejados están los datos a partir de la media, obteniendo así un error mínimo de 30 metros al que se denomina rango de precisión (RMSE).

Se realizó un croquis con las medidas reales de los edificios que muestran el perímetro de construcción, además se graficó varios rectángulos que indican el área por donde pueden caminar los peatones.

En el Paseo Shopping Riobamba, se aprecia que algunas marcas de la ruta indoor incluso sobresalen del edificio, considerando así que el error de distancia se incrementó, y que, en el camino de los peatones, delimitado por los rectángulos alargados las marcas se desvían, mostrándose aglomeradas unas sobre otras. Además, se señaló con círculos azules las ubicaciones de las marcas de latitud y longitud que han sufrido un error de precisión más notorio, como se observa en la ilustración 3-45.



Ilustración 3-45: Croquis del Paseo Shopping y descripción de las marcas de latitud y longitud medidas.

Fuente: Tamayo K., 2023

En el Multiplaza no existen marcas de latitud y longitud que sobresalgan del perímetro, sin embargo, existe una marca ubicada muy lejos de donde se estableció la ruta, y se encuentra encerrada en un círculo azul. También se observa que, las marcas están aglomeradas a la derecha, con lo que no se aprecia la vuelta al corredor único que dicha construcción posee.

La ilustración 3-46 muestra las marcas de latitud y longitud medidas en el Multiplaza con el sistema de rastreo de SMART TVs.

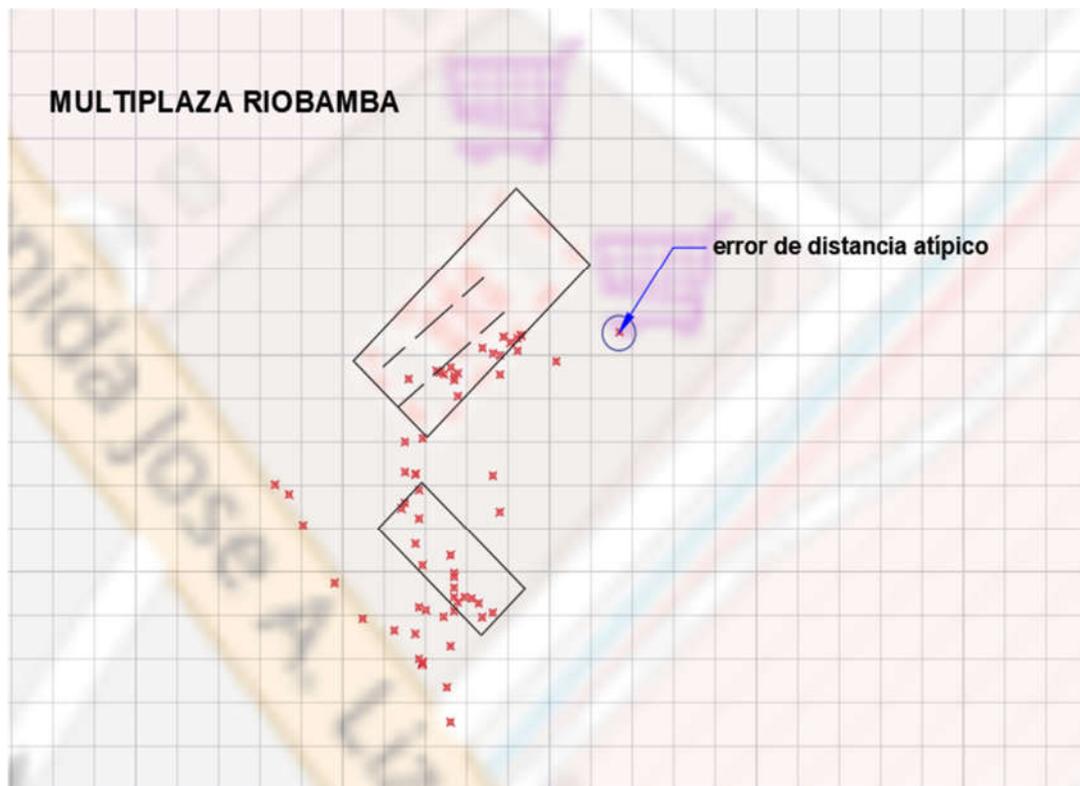


Ilustración 3-46: Croquis del Multiplaza y descripción de las marcas de latitud y longitud medidas.

Fuente: Tamayo K., 2023

3.14. Prueba de retardo entre los eventos para la transmisión de la alarma.

El sistema se encarga de verificar el estado de conexión antes de suscribirse a la variable alarma, esto lo realiza cada 10 segundos. Dicho procesamiento es importante ya que ayuda a mantener la conexión a la red GPRS, y permite enviar los datos a la plataforma Ubidots.

Una vez que la alarma esté activa se produce la transmisión del mensaje de alarma, desde el módulo TTGO T-SIM7600G-H R2 hacia el Chat Bot de Telegram.

Con el objetivo de obtener la latencia entre estos dos eventos se realizó una tabla con el tiempo de envío y recepción de los datos en una hora.

Se relacionó la hora de recepción del mensaje en Telegram con la hora de transmisión registrada en la variable estado en Ubidots; obteniendo los datos que se muestran en la tabla 3-10.

Tabla 3-6: Tiempo entre eventos para la transmisión de la alarma.

Tiempo comunicación		
Recepción	Transmisión	Retardo
14:17:06	14:17:06	0:00:00
14:19:00	14:18:36	0:00:24
14:19:30	14:18:47	0:00:43
14:20:00	14:19:34	0:00:26
14:22:00	14:21:57	0:00:03
14:23:00	14:22:35	0:00:25
14:23:30	14:22:47	0:00:43
14:24:00	14:23:45	0:00:15
14:25:00	14:24:52	0:00:08
14:26:00	14:25:57	0:00:03
14:27:00	14:26:41	0:00:19
14:27:30	14:26:52	0:00:38
14:28:00	14:27:44	0:00:16
14:29:00	14:28:42	0:00:18
14:31:00	14:29:22	0:01:38
14:33:00	14:31:02	0:01:58
14:36:00	14:33:39	0:02:21
14:36:30	14:35:44	0:00:46
14:37:00	14:36:43	0:00:17
14:38:00	14:37:58	0:00:02
14:39:00	14:38:41	0:00:19
14:39:30	14:38:52	0:00:38
14:40:00	14:39:50	0:00:10
14:41:00	14:40:53	0:00:07
14:42:00	14:41:36	0:00:24
14:42:30	14:41:48	0:00:42
14:43:00	14:42:31	0:00:29
14:44:00	14:43:45	0:00:15
14:44:30	14:43:56	0:00:34
14:45:00	14:44:39	0:00:21
14:46:00	14:45:54	0:00:06
14:47:00	14:46:37	0:00:23
14:47:30	14:46:48	0:00:42
14:49:00	14:48:31	0:00:29
14:49:30	14:48:46	0:00:44
14:50:00	14:49:44	0:00:16
14:51:00	14:50:48	0:00:12
14:51:30	14:50:59	0:00:31
14:52:00	14:51:42	0:00:18
14:53:00	14:52:57	0:00:03
14:54:00	14:53:40	0:00:20
14:54:30	14:53:51	0:00:39
14:55:00	14:54:35	0:00:25
14:56:00	14:55:44	0:00:16
14:56:30	14:55:49	0:00:41
14:57:00	14:56:43	0:00:17
14:58:00	14:57:58	0:00:02
14:59:00	14:58:42	0:00:18
14:59:30	14:58:53	0:00:37
15:00:00	14:59:36	0:00:24

15:01:00	15:00:51	0:00:09
15:02:00	15:01:34	0:00:26
15:02:30	15:01:45	0:00:45
15:03:00	15:02:28	0:00:32
15:04:00	15:03:43	0:00:17
15:04:30	15:03:55	0:00:35
15:05:00	15:04:38	0:00:22
15:06:00	15:05:56	0:00:04
15:07:00	15:06:56	0:00:04
15:08:00	15:07:43	0:00:17
15:08:30	15:07:54	0:00:36
15:09:00	15:08:58	0:00:02
15:10:00	15:09:52	0:00:08
15:11:00	15:10:35	0:00:25
15:11:30	15:10:47	0:00:43
15:12:00	15:11:31	0:00:29
15:13:00	15:12:46	0:00:14
15:13:30	15:12:57	0:00:33
15:14:00	15:13:40	0:00:20
15:15:00	15:14:55	0:00:05
15:16:00	15:15:39	0:00:21
15:16:30	15:15:50	0:00:40
15:17:00	15:16:48	0:00:12
15:18:00	15:17:56	0:00:04

Realizado por: Tamayo K., 2023

El retardo total entre los eventos se ve afectado principalmente por el procesamiento de los datos de posicionamiento, sin embargo, también interfieren la disponibilidad y el tráfico en la red en ese momento.

Considerando las funcionalidades del sistema de rastreo de SMART TVs y que la alarma no se considera en tiempo real, un retardo medio de 25 segundos desde la conexión con la red hasta el evento de enviar los mensajes de alarma al chat bot de Telegram es aceptable, ya que mantiene informado al usuario de la ubicación de su SMART TV.

Conocido el número total de mensajes y el tiempo total que se envía los datos se puede calcular la tasa de transferencia por minuto mediante la ecuación (3-7).

El resultado de la tasa de transferencia es:

$$\text{Tasa de Transferencia} = \frac{\text{número de mensajes}}{\text{tiempo total transmisión}} \quad (3-7)$$

$$\text{Tasa de transferencia} = \frac{74}{60} = 1,23 \frac{\text{mensajes}}{\text{minuto}}$$

Ecuación 3-7: Fórmula de la tasa de transferencia.

Fuente:(Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 2018, pp.2-3)

3.15. Prueba de rastreo de la SMART TV en un punto fijo del domicilio.

Se dejó encendido por media hora el sistema de rastreo de SMART TVs en un punto fijo del domicilio, que se usó de referencia para el cálculo de las distancias geográficas entre esta ubicación y las medidas registradas en el archivo kml durante este tiempo. El anexo E muestra una tabla con las distancias geográficas calculadas entre el punto fijo del domicilio y las coordenadas geográficas medidas.

Se aplicó la desviación estándar obteniendo un rango de precisión RMSE de 5 metros, sin embargo, se analizó también la distancia máxima cuyo valor es de 21,64 metros; para de esta manera poder tener el error de precisión más alejado y establecer si existen falsos positivos en la geocerca propuesta con radio de 50 metros.

Según el INEC a nivel nacional el promedio de metros cuadrados de construcción es $135 m^2$, y tomando en cuenta que la geocerca tiene un área de $7854 m^2$ se puede decir que cubre en su totalidad a una casa. (Quisnancela & Saraguro, 2019)

Y si se toma el área a la redonda con la distancia máxima obtenida, se tiene un área de $1471,18 m^2$ la cuál todavía se encuentra cubierta por el área total de la geocerca.

3.16. Implementación del sistema de rastreo de SMART TVs

Se diseñó una caja de 12,5 x 12,5 cm con una estructura interna en la que se sujeta con tornillos el módulo TTGO T-SIM7600G-H R2 con sus antenas LTE y GPS. En el lado lateral de ésta posee dos orificios para los conectores USB.

El material para la caja es filamento FLA negro y la tapa está hecha de acrílico transparente. La estructura es relativamente pequeña, y puede confundirse con los TV Box o Smart Box, por poseer un tamaño similar a un dispositivo comercial. La caja fue colocada con cinta doble faz en la parte trasera de la SMART TV, y además se conectó mediante un cable USB-TIPO C al televisor para empezar la carga de la batería como se observa en la ilustración 3-47.

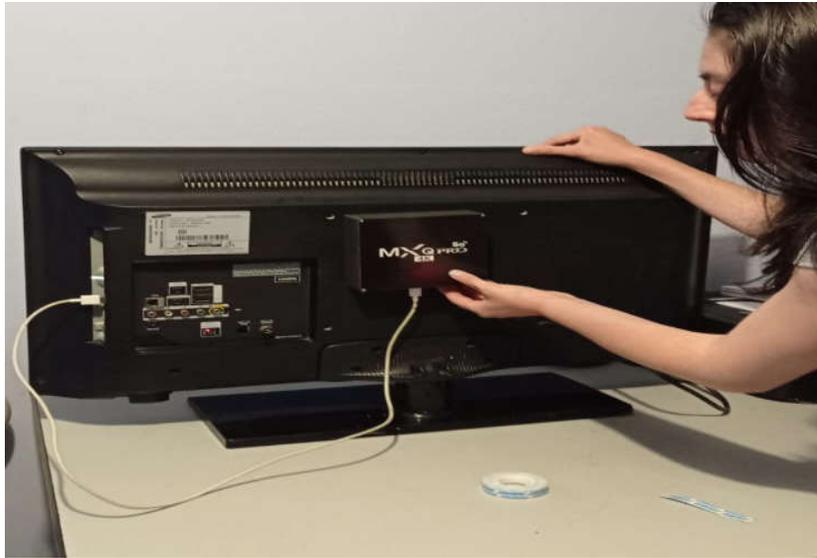


Ilustración 3-47: Implementación del sistema de rastreo de SMART TVs

Fuente: Tamayo K., 2023

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se expone el análisis de las mediciones y datos obtenidos de cada una de las pruebas realizadas para evaluar el funcionamiento del sistema de rastreo de SMART TVs. Además, se detalla los procedimientos utilizados para el análisis de datos, y se describe estadísticamente los resultados.

4.1. Evaluación de la capacidad requerida con LTE y 4G.

Los datos de consumo de corriente del sistema de rastreo de SMART TVs se utilizaron para obtener la capacidad de batería requerida para diferentes tiempos de duración; y fueron analizados en las redes 3G y LTE.

Se toma el número de horas que intersecan con las capacidades; hasta la capacidad máxima de 2,2 Ah. Es de interés identificar la red móvil que requiere una mayor capacidad por hora para llegar al mismo tiempo de duración. Se varió el tiempo utilizando la fórmula de Peukert presentada en la ecuación (3-4), y se obtuvo los resultados que se muestran en la tabla 4-1.

Tabla 4-1: Capacidad de la batería utilizada por el sistema de rastreo de SMART TVs.

	Capacidad (Ah)	Tiempo de duración (horas)	Porcentaje
3G (0,2884 A)	1,76	5	80%
	2,02	6	91,91%
	2,19	6,7	99,55%
LTE (0,1798 A)	1,10	5	50%
	1,26	6	57,27%
	1,37	6,7	62,27%
	1,76	9,2	80%
	1,84	10	83,64%
	1,98	11	90%

Realizado por: Tamayo K., 2023

Con base en la tabla 4-1, se puede apreciar que, la red LTE requiere capacidades Ah menores que 3G para mantener un mismo tiempo de duración.

Sin embargo, los resultados cercanos a la capacidad máxima no poseen un comportamiento ideal, debido a que disminuyen el número de ciclos de recarga original y por lo tanto no permiten un

buen rendimiento de la batería; por lo que se prefiere la duración al 80% de la capacidad nominal (1,76 Ah).

Se define así, que la capacidad óptima requerida es de 1,76 Ah, con lo cual el tiempo de duración recomendado para LTE es 9 horas 24 minutos, y para la red 3G de 5 horas.

4.2. Porcentaje de descarga, vida útil y autonomía del sistema de rastreo de SMART TVs.

Mediante la fórmula del estado de carga (SOC) para los valores medidos de voltajes máximo y mínimo que se aplicó en la ecuación (2-3) se obtuvo el voltaje disponible en porcentaje; graficada en la curva de descarga de la ilustración 15-3, y la duración de funcionamiento del sistema de rastreo en horas mediante la observación de las horas de medición realizadas el día 04-05-23 desde las 18h:16 hasta las 23h:12 con un total de 4h:56 minutos.

De igual forma con las especificaciones conocidas del número de ciclos de carga de la batería de litio, se pudo calcular la vida útil del dispositivo de rastreo correspondiente a 17 meses.

En la tabla 4-2 se muestra el porcentaje de los estados de carga en referencia a los puntos SOC: inicio, medio y final de la curva de descarga, la vida útil de la batería de litio 18650 utilizada, así como también la duración del funcionamiento del sistema en horas.

Tabla 4-2: Obtención del estado de carga, vida útil de la batería y autonomía del sistema de rastreo de SMART TVs.

Puntos Curva de descarga	Estados de carga (SOC)	Vida útil de la batería.	Autonomía del sistema de rastreo
Inicio	99,93%	17 meses	4h:56
Medio	80% - 60%		
Final	5,65%		

Realizado por: Tamayo K., 2023

Cabe recalcar que esta prueba se realizó con la configuración del dispositivo en modo red automático (red móvil de mayor potencia), y cumple con todas las funcionalidades del sistema de rastreo.

El comportamiento de descarga es un factor importante para que la batería mantenga el voltaje funcional especificado por el fabricante, el cual es aconsejable que no esté por debajo del menor SOC en el punto medio equivalente al 60% para este sistema en específico.

La vida útil depende del uso que le dé el usuario al sistema de rastreo, sin embargo, para este resultado se consideró el peor caso suponiendo que siempre se den descargas completas (100%).

4.3. Evaluación de la fiabilidad del sistema de rastreo de SMART TVs en un ambiente outdoor.

4.3.1. Precisión del sistema.

Una vez que se obtuvieron las coordenadas geográficas medidas y reales de la ruta establecida mostrada en la ilustración 3-31, con la finalidad de obtener la precisión del sistema se calculó en Matlab la distancia geográfica entre los pares de coordenadas que se observaron en las tablas 3-6 y 3-7.

Para obtener el valor de precisión (RMSE) de las distancias geográficas se aplicó estadística descriptiva, de la cual se obtuvo información como la desviación estándar (RMSE), los valores de distancia máximo y mínimo, y la mediana mostrados en la tabla 4-3.

Tabla 4-3:Parámetros estadísticos de las medidas de precisión del sistema.

Descripción estadística de la precisión del sistema. (m)	
Mediana	2,09
Desviación estándar	8,46
Mínimo	0
Máximo	94,84

Realizado por: Tamayo K., 2023

El resultado de la desviación estándar (RMSE) igual a 8,46 metros, corresponde a la precisión que se obtienen en ambientes outdoor con el sistema de rastreo de SMART TVs.

El valor RMSE obtenido es utilizado para analizar la cantidad de datos que se mantienen dentro del rango de precisión, y observar valores atípicos. Las diferencias entre distancias fueron comparadas y analizadas con el número de marca y posicionamiento sobre la ruta para determinar la causa de distancias demasiado grandes.

En ilustración 4-1 se muestra el histograma y polígono de frecuencias de la precisión del sistema de rastreo de SMART TVs en un ambiente outdoor.

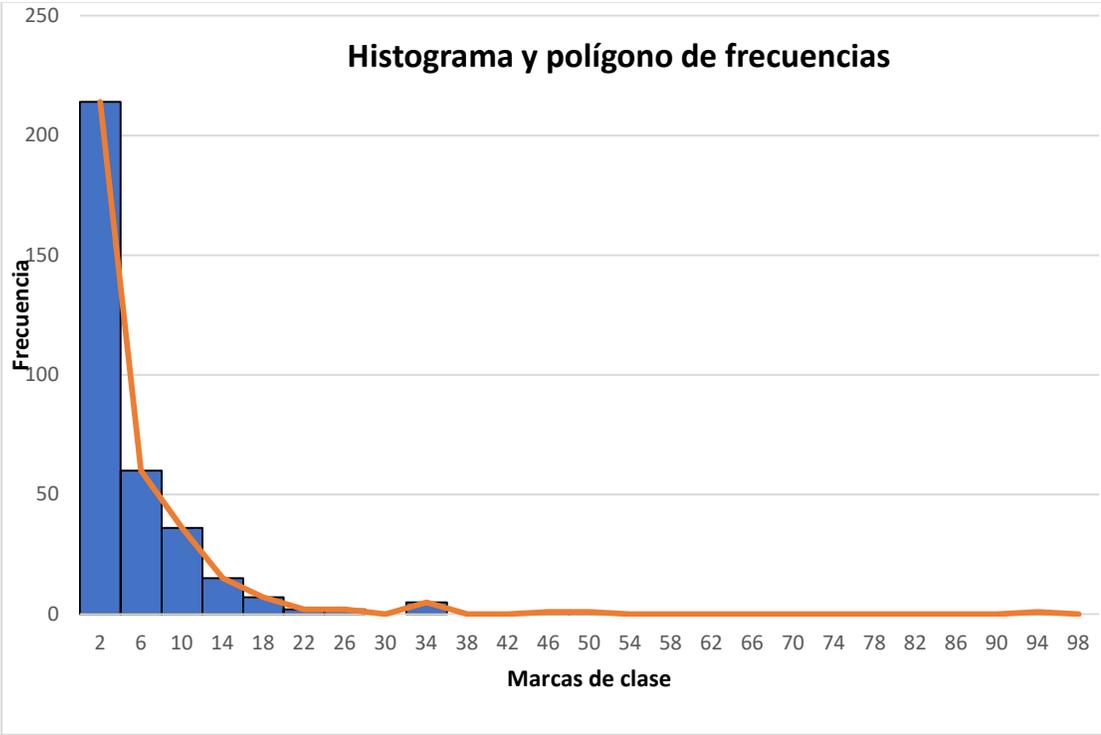


Ilustración 4-1: Histograma y polígono de frecuencias de la precisión del sistema de rastreo de SMART TVs en un ambiente outdoor.

Fuente: Tamayo K., 2023

En el histograma de frecuencias se observa que, de 344 datos de precisión de distancia, 214 se encuentran en el rango de precisión de 0 a 4 metros que representa el 62,21 % y 60 en el rango de 4 a 8 metros que corresponde al 17,44 %, lo que quiere decir que 79,65% de las coordenadas de latitud y longitud se encuentran dentro de la máscara de precisión tomada de la desviación estándar equivalente a 8 metros.

También se puede apreciar que 69 de las muestras, que representa el 20,06% se encuentran fuera de la máscara de precisión, sin ser distancias que sobrepasen los 52 metros. Además, existe una distancia máxima de 94,84 metros que se produjo una sola vez que representa el 0,29 %, y se considera que es debido a la cercanía a los edificios altos que existen en la ciudad, lo que provocó una marca de posición generada por las sumas del efecto multitrayecto.

4.4. Prueba U de Mann-Whitney para comparar muestras independientes entre las coordenadas medidas y reales outdoor.

Previo a la aplicación de la prueba estadística que compara las coordenadas registradas por el sistema de rastreo de SMART TVs, a las que se denominó coordenadas medidas y las registradas en Google Earth, a las que se denominó coordenadas reales; es necesario verificar los supuestos exigidos para la prueba.

Normalidad de los datos: a través del software SPSS se obtuvo los resultados que se muestran en la tabla 4-4.

Tabla 4-4:Prueba de normalidad.

Kolmogorov-Smirnov				
Medidas		Estadístico	gl	Sig.
longitud	Real	0,194	344	0,000
	Medida	0,195	344	0,000
latitud	Real	0,271	344	0,000
	Medida	0,270	344	0,000

Realizado por: Tamayo K.,2023

Con base en los resultados de la prueba de normalidad, y teniendo en cuenta que las probabilidades obtenidas son menores que el valor de significancia se concluye que los datos no siguen una distribución normal.

Debido a que los datos no siguen una distribución normal, no se puede aplicar una prueba paramétrica, por lo que se eligió una prueba no paramétrica.

La prueba no paramétrica que se aplicó es U de Mann-Whitney, la cuál es utilizada para comparar la mediana de las coordenadas medidas en comparación con las coordenadas reales; se trabajó con un nivel de significancia del 5%.

En la tabla 4-5 se aprecia los resultados de la prueba U de Mann-Whitney realizada en el software SPSS.

Tabla 4-5: Prueba U de Mann-Whitney.

Grupo	Hipótesis nula	Sig. Asintótica Bilateral.	Decisión.
1	La distribución de longitud real es la misma entre las categorías de medidas.	0,966	Retener la hipótesis nula.
2	La distribución de latitud real es la misma entre las categorías de medidas.	0,883	Retener la hipótesis nula.

Realizado por: Tamayo K., 2023

Con base en la tabla 4-5, se concluye que las medianas en los dos conjuntos de datos son iguales, debido a que las probabilidades obtenidas son mayores al nivel de significancia.

Por lo tanto, los datos registrados en un ambiente outdoor por el sistema de rastreo de SMART TVs, y Google Earth son iguales.

4.5. Evaluación de la fiabilidad del sistema de rastreo de SMART TVs en ambientes indoor.

4.5.1. Precisión del sistema

Se trabajó con las coordenadas geográficas medidas y reales pertenecientes a la ruta indoor, mostrada en las ilustraciones 3-39 y 3-40.

Las distancias geográficas calculadas mediante Matlab, que se observan en tablas 3-8 y 3-9, fueron indispensables para obtener el valor de precisión (RMSE) para lo cual se aplicó estadística descriptiva.

En los resultados se determinó la desviación estándar (RMSE), los valores de distancia máximo y mínimo, y la mediana como se observa en la tabla 4-6.

Tabla 4-6: Parámetros estadísticos de las medidas de precisión del sistema.

Descripción estadística de la precisión del sistema. (m)	
Mediana	21,67
Desviación estándar	30,97
Mínimo	0
Máximo	139,46

Realizado por: Tamayo K., 2023

La desviación estándar (RMSE) para el sistema de rastreo de SMART TVs en ambientes indoor no requiere una precisión excesivamente alta. La función principal es mantener el seguimiento del objeto y asegurar la conexión del dispositivo con las plataformas, de manera que el usuario siempre tenga acceso a la ubicación del televisor.

Considerando lo anterior, el resultado RMSE con un valor de 30 metros, permite una precisión adecuada para el sistema de rastreo de SMART TVs en ambientes indoor.

Se utilizó dicho valor RMSE para analizar la cantidad de datos que se mantienen dentro del rango de precisión, y observar valores atípicos.

Las diferencias entre distancias fueron comparadas y analizadas con el número de marca y posicionamiento sobre la ruta para determinar la causa de distancias demasiado grandes.

En ilustración 4-2 se muestra el histograma y polígono de frecuencias de la precisión del sistema de rastreo de SMART TVs en ambientes indoor.

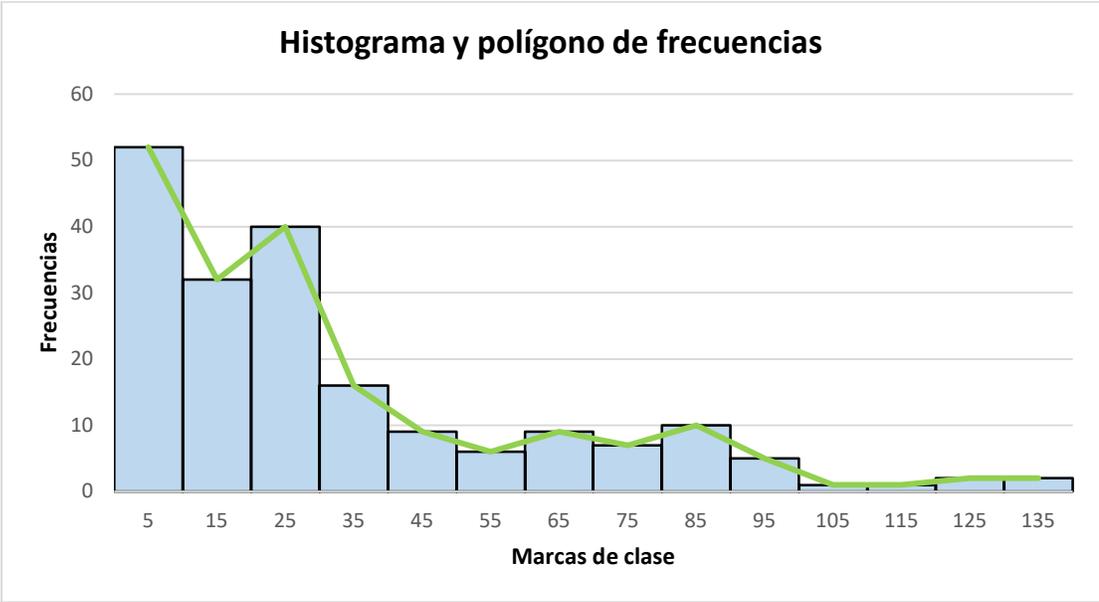


Ilustración 4-2: Histograma y polígono de frecuencias de la precisión del sistema de rastreo de SMART TVs en ambientes indoor.

Fuente: Tamayo K.,2023

En el histograma de frecuencias se observa que, de 192 datos de precisión, 124 datos se encuentran dentro del rango de precisión de 30 metros, lo que quiere decir que 64,58% de las coordenadas de latitud y longitud se encuentran dentro del valor de precisión RMSE del sistema de rastreo de SMART TVs.

Además, se aprecia que 62 de las muestras, que representan el 32,29% están fuera del valor de precisión RMSE de 30 metros y no sobrepasan los 100 metros.

En el rango de 100 a 140 metros se observa que, 6 marcas sobrepasan por mucho la precisión RMSE y representan el 3,13%, dichas distancias tienen una medición errónea debido al efecto multitrayecto causado por el material de los techos con el que se construye las edificaciones.

4.6. Prueba U de Mann-Whitney para comparar muestras independientes entre las coordenadas medidas y reales en ambientes indoor.

Previo a la aplicación de la prueba estadística en ambientes indoor, que compara las coordenadas registradas por el sistema de rastreo de SMART TVs, a las que se denominó coordenadas medidas y las registradas en Google Earth, a las que se denominó coordenadas reales; es necesario verificar los supuestos exigidos para la prueba.

Normalidad de los datos: a través del software SPSS se obtuvo los resultados que se muestran en la tabla 4-7.

Tabla 4-7: Prueba de normalidad.

Kolmogorov-Smirnov				
Medidas		Estadístico	gl	Sig.
longitud	Real	0,128	192	0,000
	Medida	0,159	192	0,000
latitud	Real	0,436	192	0,000
	Medida	0,439	192	0,000

Realizado por: Tamayo K.,2023

Con base en los resultados de la prueba de normalidad, y teniendo en cuenta que las probabilidades obtenidas son menores que el valor de significancia se concluye que los datos no siguen una distribución normal.

Debido a que los datos no siguen una distribución normal, no se puede aplicar una prueba paramétrica, por lo que se eligió una prueba no paramétrica.

La prueba no paramétrica que se aplicó es U de Mann-Whitney, la cuál es utilizada para comparar la mediana de las coordenadas medidas en comparación con las coordenadas reales; se trabajó con un nivel de significancia del 5%. En la tabla 4-8 se aprecia los resultados de la prueba U de Mann-Whitney realizada en el software SPSS.

Tabla 4-8: Prueba U de Mann-Whitney.

Grupo	Hipótesis nula	Sig. Asintótica Bilateral.	Decisión.
1	La distribución de longitud real es la misma entre las categorías de medidas.	0,913	Retener la hipótesis nula.
2	La distribución de latitud real es la misma entre las categorías de medidas.	0,748	Retener la hipótesis nula.

Realizado por: Tamayo K.,2023

Con base en la tabla 4-8, se concluye que las medianas en los dos conjuntos de datos son iguales, debido a que las probabilidades obtenidas son mayores al nivel de significancia.

Por lo tanto, los datos registrados en un ambiente indoor por el sistema de rastreo de SMART TVs, y Google Earth son iguales.

4.7. Evaluación del retardo entre los eventos para la transmisión de la alarma.

El sistema de rastreo de SMART TVs registra para cada evento una serie de datos incluida la hora de publicación. Se tomaron los datos correspondientes al evento estado de conexión, de forma que se pueda obtener el retardo entre dicho evento, que representa el envío del estado de la alarma hasta el evento de recepción de los mensajes de alerta en el chat bot de Telegram. El retardo entre estos eventos fue mostrado en la tabla 3-10.

Se aplicó estadística descriptiva utilizando el software SPSS para obtener el retardo medio, como se aprecia en la tabla 4-9.

Tabla 4-9: Estadísticos del retardo entre los eventos para la transmisión de la alarma.

	Número de muestras	Media retardo (s)
Retardo	74	0:00:25

Realizado por: Tamayo K., 2023

El retardo promedio de 25 segundos es óptimo para los requerimientos del sistema, considerando que los mensajes de alerta no se transmiten en tiempo real debido al procesamiento de los datos; y cumple con la función de dar información constante sobre la ubicación de la SMART TV.

Además, con la información total del número de mensajes y tiempo de retardo se obtuvo la tasa de transferencia de mensajes, equivalente a 1,23 mensajes por minuto, lo cual es un buen indicador del rendimiento de la comunicación.

4.7.1. Consumo de datos TELEGRAM

Se capturó el consumo de datos mediante la aplicación de la operadora Tuenti. En el día uno se obtuvo los datos que se han consumido sólo con Ubidots, y en el segundo día, el total con Ubidots y Telegram. Estos registros se muestran en los anexos F, G, H, I.

Es necesario conocer el consumo de datos asociado a las alertas de Telegram, que sugiera un plan de datos a adquirir para su envío. Para lograrlo, se determinó la cantidad de mensajes diarios, equivalente a 1771,2 *mensajes por día*, tomando en cuenta la tasa de transferencia de mensajes. Luego se tomó los 16,16 MB registrados por la aplicación, y se dividió para los mensajes por día para obtener el consumo individual por mensaje.

En la tabla 4-10 se observan el consumo de datos por mensaje y mensual, que utiliza la aplicación de Telegram para el envío de los mensajes de alarma.

Tabla 4-10: Consumo de datos por envío de mensajes de alerta en Telegram.

Consumo de datos por mensaje	Consumo de datos mensual
9,130 bytes/mensaje	485131,68 bytes al mes \approx 485,1 MB

Realizado por: Tamayo K., 2023

El consumo de datos que resulta del uso de la aplicación Telegram requiere mensualmente 485,1 MB para enviar de forma continua las alarmas cuando la smart tv se encuentre fuera de la geocerca. Sin embargo, el funcionamiento de Ubidots registró un consumo de 194,7 MB mensualmente. En conclusión 1 GB abastece para el consumo de datos de la aplicación con un margen adicional.

4.8. Precisión del sistema de rastreo de SMART TVs en condiciones estáticas indoor.

El rango de la geocerca establecida previamente en la aplicación de Ubidots es puesta a prueba mediante análisis estadístico de las distancias geográfica calculadas entre el punto fijo y los datos de latitud y longitud medidos que se observan en el ANEXO E. La tabla 4-11 muestra los resultados de precisión del sistema obtenidos en condición estática.

Tabla 4-11: Parámetros estadísticos de las medidas de precisión estáticas indoor.

Descripción estadística de la precisión del sistema en condición estática. (m)	
Desviación estándar	5,30
Máximo	21,64
Mínimo	2,76

Realizado por: Tamayo K., 2023

4.9. Cálculo de la función de densidad de probabilidad de Rayleigh

La distribución de Rayleigh es una elección común para modelar datos que representan magnitudes positivas con tendencia a acumularse cerca de cero y luego decaer. Esta característica se utilizó para modelar la curva de densidad de probabilidad en función de los errores de distancia en condiciones estáticas.

Se aplicó la función de densidad de probabilidad de Rayleigh con un $\sigma = 8,66$, luego se graficaron las probabilidades calculadas con respecto a cada una de las muestras. La ecuación 4-1 muestra la fórmula PDF utilizada para calcular la probabilidad.

$$f(x; \sigma) = \int_0^{\infty} \frac{x}{\sigma^2} * e^{\frac{-x^2}{2\sigma^2}} \quad (4-1)$$

Ecuación 4-1: Función de densidad de probabilidad de Rayleigh.

Fuente:(statologos, 2023)

La curva de densidad de probabilidad Rayleigh, modelada para las variables de distancia de la prueba estática se observan en la ilustración 4-3.

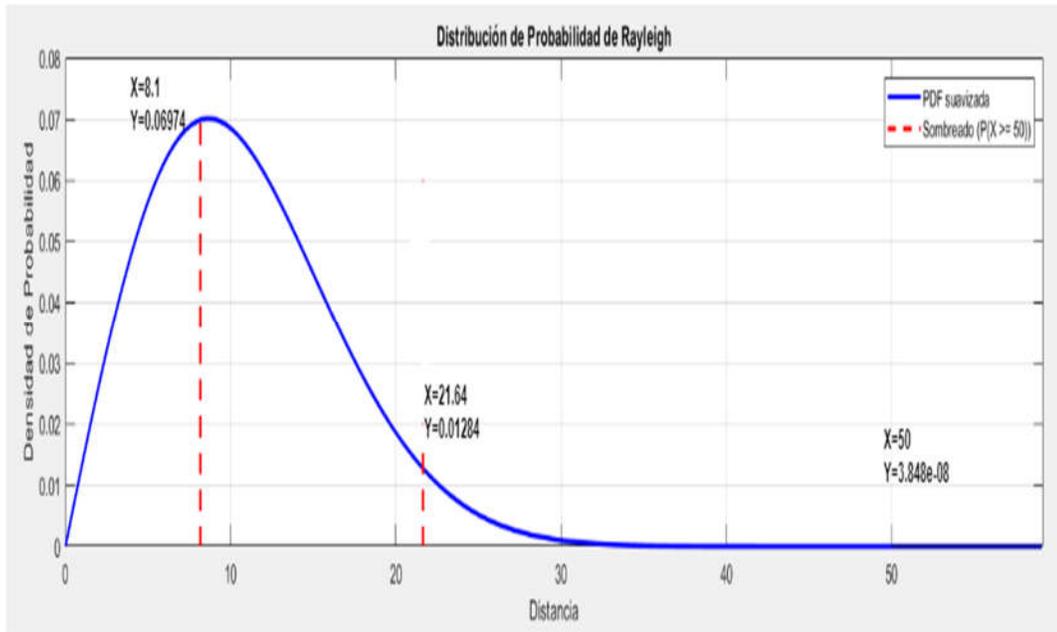


Ilustración 4-3: Modelo de Rayleigh de las distancias medidas.

Fuente: Tamayo K., 2023

La probabilidad acumulada de que los errores de distancia sean mayores a 50 metros es de:

$$P(X > 50) = 0,1\%$$

Para encontrar la probabilidad de que las distancias medidas no rebasen los 50 metros se aplicó la función de confiabilidad mostrada en la ecuación 4-2.

$$\begin{aligned} \text{Confiabilidad} &= 1 - P(X \leq 50) && (4-2) \\ \text{Confiabilidad} &= 100 - 0,1\% \\ \text{Confiabilidad} &= 99,90\% \end{aligned}$$

Ecuación 4-2: Confiabilidad.

Fuente: (Devore, 2008)

Lo que indica que, el sistema de rastreo en condiciones estáticas tiene una alta confiabilidad de que los errores de distancias tienden a concentrarse alrededor de cero.

4.10. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se realizó la investigación del funcionamiento de los receptores GNSS/GPS y el servicio de navegación y posicionamiento terrestre, con ello se determinó que el servicio que brinda las señales GPS actualmente es estándar, sin disponibilidad selectiva, utiliza las bandas L1 y L2, y que el cálculo de la posición se lleva a cabo mediante el método de trilateración con al menos cuatro satélites, y la distancia desde el satélite al receptor.

Por medio de la investigación se conoce que, la cobertura de las redes móviles en el Ecuador para las redes 4G permite el acceso al 60,74 % de la población y que el número de radio bases va en aumento, por lo que se seleccionó el módulo TTGO T-SIM7600G-H R2 debido a que permite la conexión LTE y su SIM trabaja en las bandas de operación del país.

Este módulo posee los requerimientos indispensables para el rastreo antirrobo como: Comunicación GNSS/GPS, batería y memoria externa SD. Y con respecto al software, la ventaja de una fácil configuración a través de librerías propias.

La implementación para medir el SOC de la batería de litio 18650 de manera exacta se realizó mediante el uso del pin ADC del módulo, estableciendo un nuevo rango de medición de 1,5 a 3,3 voltios y, un valor de transformación a decimal de 1,83 para obtener un SOC entre 0% y 100% que corresponda a dichos valores de voltaje. El experimento de descarga de la batería constató 4h:56 minutos de funcionamiento, con un SOC mínimo de 60% para mantener el rendimiento del fabricante. Y mediante las especificaciones técnicas del fabricante acerca de la vida útil en años, se obtuvo un resultado de 1,4 años o 17 meses. Determinando de esta manera que la implementación de la medición de la batería muestra resultados de SOC comprobada en la aplicación de Ubidots y que bajo condiciones de descarga del 100% la autonomía es de 1,4 años.

En base a las mediciones de amperaje que consume el sistema de rastreo de SMART TVs y mediante la aplicación de la ecuación de Peukert, se obtuvo la capacidad que requiere la red LTE y 3G mostrando que a 1,76 Ah el tiempo de duración óptimo de LTE es 9h:24 minutos y para 3G de 5h:00.

En base a los requerimientos del sistema como son: Registrar la ubicación de la SMART TV en todo momento, enviar alertas al usuario en caso de salir de la geocerca establecida e informar al cliente sobre el estado del sistema. Se diseñó un tablero en la aplicación de Ubidots con widgets que muestran gráficamente información de las variables del sistema, entre ellas el estado de carga

de la batería en porcentaje, el estado de conexión (en línea/fuera de línea), el estado de la alarma (encendido/apagado), el mapa, y el botón kml que envía el archivo final con la ruta seguida.

El evento geocerca programado en Ubidots no permitió el envío de mensajes de alerta en la misma aplicación; por lo que se da solución mediante la creación del Chat Bot de Telegram, en el que se recibe finalmente el enlace con la ubicación de la SMART TV y el archivo KML al momento de accionar el botón kml en el tablero de Ubidots.

La evaluación del funcionamiento del sistema de rastreo de SMART TVs mediante el análisis de los errores de distancia geográfica en ambientes outdoor evidenció un valor de desviación estándar (RMSE) de 8,46 metros. Se determinó que el 79,95% de las coordenadas están dentro del rango de precisión de 8 metros. Y mediante la prueba U de Mann-Whitney se demostró que las medianas de los datos medidos y reales son iguales, lo que respalda la fiabilidad del sistema de rastreo en este contexto.

La evaluación del funcionamiento del sistema de rastreo de SMART TVs mediante el análisis de los errores de distancia geográfica en ambientes indoor arrojó un valor de desviación estándar (RMSE) de 30,97 metros. Se determinó que el 64,58% de las coordenadas están dentro del rango de precisión de 30 metros. Y mediante la prueba U de Mann-Whitney se demostró que no existe diferencia entre las medianas de las muestras medidas y reales. En base a los requisitos del sistema de mantener el registro de la ubicación y la conectividad GPS/ LTE/UMTS en todo momento un error de precisión de 30 metros en ambientes indoor es aceptable, ya que cumple con los requisitos del sistema aun considerando que se ve afectado por el efecto multitrayecto en mayor medida que en un ambiente outdoor.

El modelamiento de la función de densidad de probabilidad Rayleigh aplicado a la prueba de rastreo estático indoor, demostró una probabilidad de 0,1% de que exceda 50 metros de radio, confirmando en un 99,90% que las ubicaciones están dentro del área prevista para la geocerca.

El retardo promedio entre eventos estado de conexión-recepción alarma chat bot de Telegram es de 25 segundos. El tamaño de los mensajes de alerta es de 9,130 bytes con una tasa de 1,23 mensajes por minuto. Con relación al consumo mensual, Telegram ocupó 485,13 MB y Ubidots 194,7 MB. La cantidad de datos necesaria que cubre el consumo mensual es 1 GB.

4.11. PROPUESTA

Título de la propuesta

Diseño e implementación de un sistema de rastreo mediante GPS y la red móvil celular para aplicaciones de detección de ubicación de SMART TVs robados.

Descripción de la propuesta

La propuesta de este trabajo de integración curricular plantea diseñar e implementar un sistema para dar seguimiento a las SMART TVs en caso de robo mediante GPS y la red móvil celular.

El sistema de rastreo de SMART TVs está diseñado para informar al propietario sobre la ubicación de su televisor en todo momento, se encarga de enviar alertas con el enlace de ubicación cuando se encuentre fuera de la geocerca preestablecida. En caso de robo le permite utilizar el archivo de ruta kml con las coordenadas en tiempo real para que la policía proceda a la recuperación de su televisor.

El sistema posee su propia aplicación en Ubidots, llamada RASTRO_K en donde se procesan los datos para la activación de la alarma, y mediante el tablero muestra de manera gráfica las funcionalidades que son: el estado de la batería, conexión (en línea/fuera de línea), ubicación del televisor en el mapa, estado de la alarma (encendida/apagada), y botón KML.

El chat bot de Telegram forma parte de la funcionalidad de la alarma, permitiendo la recepción de los mensajes de alerta y el archivo KML.

El módulo TTGO T-SIM7600G-H R2 con memoria externa de almacenamiento y batería permite al sistema cierta autonomía para registrar la ubicación del televisor sin pérdida de datos.

Es importante señalar que se seleccionaron cuidadosamente las variables a publicar en el diseño de la aplicación, con el objetivo de que el propietario pueda utilizar el sistema de rastreo de SMART TVs de manera efectiva.

Análisis estratégico

Segmento de mercado: El mercado potencial para este accesorio tecnológico depende de la demanda de SMART TVs la cuál con el aumento de personas con acceso al internet y disponibilidad de contenido en línea se ha incrementado.

La empresa china TCL experimentó un aumento en las ventas, con 11,1 millones de dispositivos vendidos en la primera mitad de 2021. Samsung lideró el mercado con un envío de 20,8 millones de unidades, con un aumento anual del 11,9%.(MordorIntelligence, 2023)

En el país una encuesta realizada en el Mall del Sol de Guayaquil a 384 personas muestra que los interesados realmente en comprar una SMART TV están en un rango de edad de 25 a 34 años, siendo el segmento de mercado a poner atención para las ventas.(Baldeón Guerrero, 2019)

Dentro de las preguntas de la encuesta, también se sabe que 350 encuestados están dispuestos a adquirir un Smart TV nuevo, lo que representa una gran aceptación por este electrodoméstico.(Baldeón Guerrero, 2019)

Considerando que Guayaquil es una de las ciudades más grandes del Ecuador con una población económicamente activa de 1'207.706,23 habitantes, se toma como referencia el número de encuestados que en verdad tienen la intención de comprar un SMART TV como el número de unidades a producir del dispositivo de rastreo como se observa en la tabla 4-10.(Baldeón Guerrero, 2019)

Tabla 4-12:Mercado potencial

CONCEPTO	CANTIDAD
Establecer la cantidad que compran por cada mes.	350
Rango de edad	25 a 34 años

Realizado por: Tamayo K., 2023

COSTOS DE PRODUCCIÓN

El costo de producción implica costos de materiales, de programación y diseño de la aplicación incluyendo además los gastos realizados para su desarrollo y el coto de instalación propuesto.

Tabla 4-13:Presupuesto del sistema de rastreo de SMART TVs

PRESUPUESTO (Se describe los materiales utilizados para el desarrollo del proyecto, cantidad y costo)			
COSTOS MATERIALES	Costo Unitario	Cantidad	Total
TTGO T-SIM7600G-H R2	\$ 62	350	\$21700
Antena GPS de carro	\$ 5	350	\$1750
Batería 18650	\$3,50	350	\$1225
Cable tipo C	\$2	350	\$700
Cables, resistencias, pinzas, cautín, estaño.	\$ 14,70	350	\$5145
Caja	\$ 15	350	\$5250
Envíos de importación			\$10 por libra
Impuestos importación			\$7,60
TOTAL			\$35070
COSTOS Y GASTOS MENSUALES			
Administrativos			
Subcontratación del Programador y desarrollo del Front-end.		\$500	
Subcontratación diseño de la caja		\$5	
Servicios básicos		\$32.00	
Transporte		\$12	
Operacionales			
Instalación o asistencia personalizada.		\$10	
TOTAL		\$549	
Total costos materiales		\$35070	
Costos y Gastos semestrales		\$549	
Total requerimiento de Capital		\$35619	

Realizado por: Tamayo K., 2023

Estrategia de precio

Tabla 4-14: Precio del sistema de rastreo de SMART TVs

¿Cuál será el precio del producto?	$\text{precio venta} = \frac{101,77}{(1 - 0.2)} = \$127,21$
¿Cómo se ha determinado el precio?	El costo de los materiales de producción es \$127,21 más una ganancia aproximada del 20%.
¿Es un precio de introducción al mercado o es un precio definido?	Precio de introducción

Realizado por: Tamayo K., 2023

Limitación de la propuesta

En el desarrollo del sistema de rastreo de SMART TVs se evidenció que, la comunicación para la obtención de los datos se ralentiza con cada funcionalidad que se incluye, debido a que la cuenta STEM de Ubidots utilizada no permite el envío de mensajes libre de pago dejando que esta función la cumpla el mismo módulo, sin embargo, se realizaron pruebas con los propios datos extraídos de la aplicación, lo que le da una mayor fiabilidad. Una debilidad del dispositivo es la autonomía que depende mucho de la capacidad de la batería, por lo que requiere una batería con una capacidad amperios hora alta o a su vez alimentar al dispositivo con la fuente interna del televisor.

Ventajas competitivas.

Una ventaja competitiva es la información que proporciona el tablero de Ubidots, el cual, junto con el manual de usuario que se puede observar en los anexos, permite un adecuado manejo del sistema de rastreo de SMART TVs. El propietario entiende las funcionalidades de posicionamiento y geocerca de su televisor, así como también del estado de conexión, alarmas y SOC de la batería, de forma que el rendimiento del sistema sea óptimo y por ende promueve la acción rápida del propietario en caso de robo.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. Conclusiones

El estudio de los receptores GNSS/GPS reveló un servicio estándar sin disponibilidad selectiva, utilizando las bandas L1, L2 y la trilateración con cuatro satélites para la obtención de la posición.

En función del análisis de requerimientos del sistema de rastreo de SMART TVs se seleccionó el módulo TTGO T-SIM7600G-H R2.

Sustentado en las especificaciones técnicas y las observaciones del comportamiento de descarga de la batería de litio 18650 mediante la medición del SOC se determinó un tiempo de duración del sistema de rastreo de SMART TVs de 4h:56 minutos y una vida útil de la batería de 1,4 años. Así como también, las gráficas de la capacidad requerida para LTE y 3G concluyeron que a 1,76 Ah el tiempo de duración óptimo para LTE es 9h:24 minutos y para 3G de 5h:00.

El diseño de la aplicación hace uso de Ubidots para visualizar información propia del funcionamiento del sistema de rastreo en el tablero creado, y del chat bot de Telegram para la recepción de las notificaciones de alarma y el archivo kml.

La evaluación del sistema de rastreo de SMART TVs en ambientes outdoor mostró un valor de desviación estándar (RMSE) de 8,46 metros, con el 79,95% de las coordenadas dentro del rango de precisión de 8 metros. En ambientes indoor, el RMSE fue de 30,97 metros, con el 64,58% de las coordenadas dentro del rango de precisión de 30 metros. La prueba U de Mann-Whitney confirmó la igualdad de las medianas en ambos casos. Y el modelamiento de la función de densidad de probabilidad Rayleigh aplicado en la prueba de rastreo estático indoor, indicó un 99,90 % de certeza de que las ubicaciones permanecen en la geocerca, con una probabilidad de 0,1% de exceder 50 metros de radio.

5.2. Recomendaciones

Contratar el plan de datos de la operadora que ofrezca mínimo 1G al mes a bajo costo y con cobertura 4G para evitar gastos innecesarios.

Adaptar un cargador USB para conectar al módulo, de manera que se evite la programación de encendido de la TV a ciertas horas para cargarlo constantemente.

En caso de producción en masa utilizar planes corporativos contratando datos únicamente.

BIBLIOGRAFÍA

Abreu, María del Carmen *Diseño de un Cargador de Baterías de Litio*. [Online]. España-Sevilla: Sevilla, Universidad de , 2015,. Available from: https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/34906/TFG_MariAbreuCustodio_GITT.pdf?sequence=4&isAllowed=y.

Achraf, ELKAMCH *Planificación y Optimización de Red 3G*. [Online]. Available from: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/12392/fichero/Planificacion+y+optimizacion+de+3g+-+Final.pdf>.

Aguilar, Karla *ESTUDIO COMPARATIVO DE EDIFICIOS DE ACERO DE GRAN ALTURA CON DIAGONALES EXCÉNTRICAS, CONCÉNTRICAS Y DIAGONALES CON AMORTIGUADORES EN LA CIUDAD DE QUITO*. [Online]. Available from: [http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/8473/ESTUDIO COMPARATIVO DE EDIFICIOS DE ACERO DE GRAN ALTURA CON DIAGONALES EXCÉNTRICAS%2C CONCÉNTRICAS Y DIAGONALES CON AMORTI~1.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/8473/ESTUDIO%20COMPARATIVO%20DE%20EDIFICIOS%20DE%20ACERO%20DE%20GRAN%20ALTURA%20CON%20DIAGONALES%20EXCÉNTRICAS%20Y%20DIAGONALES%20CON%20AMORTIGUADORES%20EN%20LA%20CIUDAD%20DE%20QUITO.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Aguilera, Ana *DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE DELITOS CONTRA LA PROPIEDAD Y PERCEPCIÓN DE ESPACIOS URBANOS INSEGUROS EN EL BARRIO LA FLORESTA*. [Online]. Available from: [http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/16180/DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE DELITOS CONTRA LA PROPIEDAD Y PERCEPCIÓN DE ESPACIOS URBANOS INSEGUROS E.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/16180/DISTRIBUCIÓN%20ESPACIAL%20DE%20DELITOS%20CONTRA%20LA%20PROPIEDAD%20Y%20PERCEPCIÓN%20DE%20ESPACIOS%20URBANOS%20INSEGUROS%20E.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Ai-Thinker *A9G GPRS/GSM+GPS/BDS Module*. In: *A9G GPRS/GSM+GPS/BDS MODULE V1.2*. [Online]. China: Shenzhen Ai-Thinker Co., Ltd, pp. 1–2. Available from: https://www.makefab.com/desfile/files/a9g_product_specification.pdf.

Alvarado, Mateo *Construcciones con arquitectura vertical. EL MERCURIO*. [Online]. 30 August Ecuador-Cuenca , 2020, p.p. 5A. Available from: <https://www.pressreader.com/ecuador/el-mercurio-ecuador/20200830/282016149715449>.

ARCOTEL INFRAESTRUCTURA Y COBERTURA Servicio Móvil Avanzado. [Online]. Ecuador-Quito: ARCOTEL , 2020,. Available from: <https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/01/BoletinEstadistico-May2020-SMA-CoberturaInfraestructura.pdf>.

Arias, José & Orozco, Cristhian *EL PASEO SHOPPING RIOBAMBA COMO ESPACIO PÚBLICO DE CONSTRUCCIÓN SOCIAL Y SU INCIDENCIA EN LOS HABITANTES DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA EN EL PERÍODO JULIO A DICIEMBRE DE 2014*. [Online]. Available from: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/3785/1/UNACH-EC-FCP-COM-SOC-217-0015.pdf>.

Baldeón Guerrero, Javier Eduardo “*Análisis de comportamiento de compra de televisores Smart TV del segmento B-C+ en la ciudad de Guayaquil.*” [Online]. Available from: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/12283/1/T-UCSG-POS-MGM-119.pdf>.

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla *Rendimiento de una Red.* [Online]. , 2018,. Available from: https://www.cs.buap.mx/~iolmos/redes/3_Rendimiento.pdf.

Bern, Luis et al. *GNSS . GPS : fundamentos y aplicaciones en Geomática.* España-Valencia: Universidad Politécnica de Valencia , 2014, p.pp. 130–155.

Buenestado, Víctor *Optimización de la cobertura y la capacidad en redes LTE mediante procesamiento de eventos complejos.* [Online]. Available from: <http://www.ic.uma.es/repository/fileDownloader?rfname=5cb89737-dc2d-4c10-8b56-82e2c40cfb90.pdf>.

Chamba, Carlos *IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE GEORREFERENCIACIÓN MEDIANTE LA TECNOLOGÍA GPS/GSM PARA PERSONAS VULNERABLES.* [Online]. Available from: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6367/3/98T00136.pdf>.

Codon, Maryana Noely *Implementación de red LTE con Software-Defined Radio.* 1a Ed. [Online]. Available from: <https://ri.unsam.edu.ar/bitstream/123456789/1128/1/TING ESCYT 2019 CMN.pdf>.

Cordero, Cintya & Salgado, Andrea *SISTEMA DE MONITOREO EN TIEMPO REAL PARA BICICLETAS.* 1a Ed. [Online]. Available from: <https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/10895/1/UDLA-EC-TIERI-2019-05.pdf>.

Devore, Jay L. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias.* [Online]. EE.UU-California , 2008,. Available from: <https://intranetua.uantof.cl/facultades/csbasicas/matematicas/academicos/jreyes/DOCENCIA/APUNTES/APUNTES PDF/Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias - Jay Devore - Séptima Edición.pdf>.

Dongguan gran Electronics Co. *Calculadora y hora de carga de una batería de 2200 mah.* [Online]. 2022. Available from: <https://es.large.net/news/98u43nr.html>.

Duarte Muñoz, Carlos *Estructura de las Señales del GPS.* [Online]. México: EVISTA HACIA EL ESPACIO DE DIVULGACIÓN DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA ESPACIAL DE LA AGENCIA ESPACIAL MEXICANA. , 2022, p.pp. 1–5. Available from: <https://haciaelespacio.aem.gob.mx/revistadigital/articul.php?interior=350#:~:text=En general%2C cada señal GPS,conocida como modulación de fase.>

Dutton, John A. *Modulación de espectro ensanchado y código de la portadora GPS LI.* e-Education Institute. [Online]. Estados Unidos-Pensilvania: Universidad Estatal de Pensilvania , 2020, p.pp. 1–

3. Available from: <https://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1753#:~:text=In any case%2C the most,and the C%2FA code.>

Electrostore *¿Cómo roba un ladrón?* [Online]. 2022. Available from: <https://www.electrostore.com.ec/como-roba-un-ladron/>.

Escobar, Bohórquez & Bayardo, Celso *Estudio y Análisis comparativo de las tecnologías LTE y WiMAX para el servicio de internet.* [Online]. Available from: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/10226/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-276.pdf>.

Espín, Diego & Maldonado, Edison *Diseño de un sistema de telemetría basado en transmisores de corriente y tecnología celular GSM, para el monitoreo y prevención de fugas en una sección del poliducto transecutoriano.* [Online]. Available from: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/842/1/CD-1269.pdf>.

Espressif ADC. [Online]. ESPRESSIF/ARDUINO-ESP32 , 2022,. Available from: <https://espressif-docs.readthedocs-hosted.com/projects/arduino-esp32/en/latest/api/adc.html>.

Esteban, Guillermo Olmo *CARACTERIZACIÓN DE BATERÍAS DE LITIO PARA EL ESTUDIO DEL ENVEJECIMIENTO.* [Online]. España-Madrid: ETSII-UPM , 2019,. Available from: https://oa.upm.es/57278/1/TFG_GUILLERMO_OLMO_ESTEBAN.pdf.

FISCALÍA GENERAL DEL ESTADO *ESTADÍSTICAS FGE ROBOS.* 2a Ed. [Online]. 2021. Available from: <https://www.fiscalia.gob.ec/estadisticas-de-robos/>.

García, David *Sistema GNSS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM).* [Online]. Available from: <http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20080125DavidGarcia.pdf>.

García, Herme *Así funcionan las baterías de litio.* [Online]. , 2022,. Available from: <https://culturacientifica.com/2020/02/20/asi-funcionan-las-baterias-de-litio/#:~:text=El litio es el metal,y lo llamamos ion litio.>

Garrido, Natalia *Señal GPS – GNSS: portadora, código y mensaje.* [Online]. 2020. Available from: <https://nagarvil.webs.upv.es/senal-gps/>.

Genbeta *¿Cómo calcular la distancia entre dos puntos geográficos en C#? (Fórmula de Haversine).* [Online]. 2020. Available from: <https://www.genbeta.com/desarrollo/como-calcular-la-distancia-entre-dos-puntos-geograficos-en-c-formula-de-haversine>.

GitHub *vshymansky/TinyGSM.* [Online]. 2022. GitHub. Available from: <https://github.com/vshymansky/TinyGSM#features>.

González, Francisco *IMPLEMENTACIÓN DE UN RECEPTOR GPS USANDO SDR.* [Online]. Available from: https://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/14743/1/Memoria_TFG_Gonzalez_Martinez_Francisco_David.pdf.

GPS.GOV *Activity: How to find a position using GPS*. [Online]. Estados Unidos , 2020, p.pp. 1--4. Available from: <https://www.gps.gov/multimedia/tutorials/trilateration/instructions.pdf>.

GPS.GOV *Disponibilidad selectiva*. [Online]. 2021. Available from: <https://www.gps.gov/systems/gps/modernization/sa/>.

GPS.GOV *New Civil Signals*. [Online]. Estados Unidos: National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing. , 2020, p.pp. 1–5. Available from: <https://www.gps.gov/systems/gps/modernization/civilsignals/>.

La Hora *Ambato: se incrementa la demanda de instalaciones de sistemas de seguridad*. [Online]. 2022. 30 de octubre del 2022. Available from: <https://www.lahora.com.ec/tungurahua/ambato-incrementa-demanda-instalaciones-sistemas-seguridad/>.

Iñiguez, César *ANÁLISIS COMPARATIVO DEL SERVICIO DE STREAMING DE VIDEO DE YOUTUBE ENTRE LAS OPERADORAS DE DATOS MÓVILES 4G EN EL ECUADOR, PARA PROPONER PARÁMETROS MÍNIMOS DE CALIDAD*. [Online]. Available from: <http://dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/9328/1/20T01123.pdf>.

Jaramillo, Miguel *Implementación de Red Móvil con Tecnología 4G LTE*. [Online]. Ecuador-Guayaquil: ESPOL , 2019, p.pp. 1–5. Available from: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/30349/1/Implementación de Red Móvil con Tecnología 4G LTE.pdf>.

Khutar, Dawood Zahi et al. *Design and Implementation of a Smart System for School Children Tracking*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 1090 1 ed. Irak-AL-Mutahanna: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering , 2021, p.pp. 1–7.

Lamilla Ronquillo, Tonny *MIGRACIÓN DE GSM A UMTS*. 2022.

LILYGO *LILYGO® TTGO T-SIM7600E-H T-SIM7600G-H R2 ESP32 soporte de batería, placa de desarrollo de carga Solar, WiFi BLE 18560*. [Online]. 2022. Available from: https://es.aliexpress.com/item/1005001705250713.html?spm=a2g0o.detail.0.0.3b897de3PyzTQB&gps-id=pcDetailBottomMoreThisSeller&scm=1007.13339.291025.0&scm_id=1007.13339.291025.0&scm-url=1007.13339.291025.0&pvid=78b5ac6f-f58d-475a-b074-e9d3444e5ca2&_t=gps-id.

Liu, Li et al. *Product Specification*. In: *Cylindrical Li — ion Battery Pack Sounddon new energy*. [Online]. China-Xiangtan, pp. 75–92. Available from: https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/1781Battery_2200mAh.pdf.

Liu, Zhigang et al. *Vehicle anti-theft tracking system based on Internet of Things*. *Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety, ICVES 2013*. [Online]. , 2013, p.pp. 48–52. Available from: <https://jusst.org/wp-content/uploads/2021/05/Vehicle-Anti->

Theft-Tracking-System-Based-on-Internet-of-Thing-IoT-1.pdf.

Machina *ESP32 room thermometer: with 18650 battery level indicator*. [Online]. 2021. Available from: <https://mansfield-devine.com/speculatrix/>.

Merry, Krista & Bettinger, Pete *Smartphone GPS accuracy study in an urban environment*. *PLoS ONE*. [Online]. 14 7 ed. , 2019, p.pp. 1–19. Available from: <https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0219890&type=printable>.

Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información *LIBRO BLANCO DE TERRITORIOS DIGITALES EN ECUADOR*. [Online]. Ecuador-Quito: MINTEL , 2019,. Available from: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2020/01/LBTD-actualizado-14-01-2020.pdf>.

MordorIntelligence *MERCADO DE SMART TV: CRECIMIENTO, TENDENCIAS, IMPACTO DE COVID-19 Y PRONÓSTICOS (2023 - 2028)*. [Online]. 2023. Available from: <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/smart-tv-market>.

Naylamp Mechatronics SAC *MÓDULO A9G GSM/GPRS/GPS*. [Online]. 2021. Available from: <https://naylampmechatronics.com/iot-internet-de-las-cosas/701-modulo-a9g-gsm-gprs-gps.html>.

Ojeda, Dalton & Ortiz, Lenin *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE BATERÍA RECARGABLE PARA UNA BATERÍA ELÉCTRICA TIPO TRIKE MEDIANTE EL USO DE BATERÍAS RECICLADAS DE ION DE LITIO 18650*. Ecuador-Cuenca: Universidad Salesiana de Cuenca , 2017,.

Ojeda Pereira, Dalton Rodrigo & Ortiz Pineda, Lenin Fernando *Diseño y construcción de un prototipo de baterías recargables para una bicicleta eléctrica tipo Trike mediante el uso de baterías recicladas de ion de litio18650*. [Online]. , 2016, p.pp. 2018–2019. Available from: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13383>.

Peñaherrera, Juan *ESTUDIO DE LA RED DE CONMUTACIÓN POR PAQUETES CON ARQUITECTURA IMS PARA LA SOLUCIÓN DEL TRÁFICO DE VOZ DE COMUNICACIONES MÓVILES*. [Online]. Available from: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/15595/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-388.pdf>.

Pérez Díaz, Aldo Alexis et al. *Implementación de un sistema de baterías de Li-Ion. Primavera 2018*. [Online]. México-Puebla: IBEROPUEBLA , 2018,. Available from: <https://repositorio.iberopuebla.mx/handle/20.500.11777/3837>.

Pozo, A. et al. *SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS): DESCRIPCIÓN, ANÁLISIS DE ERRORES, APLICACIONES Y FUTURO*. [Online]. España-Málaga: Universidad de Málaga , 2019, p.pp. 3–9. Available from: <https://www.peoplesmatters.com/Archivos/Descargas/GPS.pdf>.

programmerclick.com *Arquitectura de red LTE y pila de protocolos*. [Online]. 2022. Available

from: <https://programmerclick.com/article/98971999370/>.

PROTEK *¿Cuáles son los objetos más robados en una casa?* [Online]. 2022. Available from: <https://www.protek.com.py/novedades/objetos-mas-robados-en-una-casa/>.

Quisnancela, Joselyn & Saraguro, Dayra *Encuesta Anual de Edificaciones*. [Online]. Ecuador-Quito. Available from: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Encuesta_Edificaciones/2018/2018_ENED_BOLETIN.pdf.

RANDOM NERD TUTORIALS *ESP32 ADC – Read Analog Values with Arduino IDE*. [Online]. 2023. Available from: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-adc-analog-read-arduino-ide/>.

Rendón, Álvaro & Plazas, Julián *Sistemas de Conmutación Telefonía Móvil*. [Online]. 2016. Available from: [http://dtm.unicauca.edu.co/pregrado/conmutacion/transp/5.3A_-TelefoniaMovil_\(Generaciones\).pdf](http://dtm.unicauca.edu.co/pregrado/conmutacion/transp/5.3A_-TelefoniaMovil_(Generaciones).pdf).

Rodríguez, Kerench *“Propuesta de plataforma crítica de monitoreo para la migración hacia una ciudad inteligente, orientada al aumento de la seguridad y optimización de recursos en el Ecu-911 Ecuador”*. [Online]. Available from: <http://201.159.223.180/bitstream/3317/13363/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-348.pdf>.

RONTEK *CÓMO DESCARGAR BATERÍAS DE IONES DE LITIO*. [Online]. 2023. Available from: <https://www.sta-eletronica.com.br/artigos/baterias-recarregaveis/baterias-de-litio/como-descarregar-as-baterias-de-litio-ion>.

Sagarkumar, Patel et al. *Comparative Study of 2G, 3G and 4G. IJSRCSEIT*. [Online]. , 2018, p.pp. 2–3. Available from: https://www.researchgate.net/publication/327763959_Comparative_Study_of_2G_3G_and_4G.

Sanga, Bryan *Estudio y Análisis comparativo de las tecnologías LTE y WiMAX para el servicio de internet*. [Online]. Available from: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/10226/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-276.pdf>.

Sector, Estructura D.E.L. et al. *INFORME DE RENDICIÓN DE CUENTAS 2020*. In: [Online]. Ecuador-Quito: MINTEL, pp. 15–20. Available from: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/05/Informe-IRC-MINTEL-2020.pdf>.

SIMCom *SIM7600G-H, SIM7600G-H mini PCIE User manual*. [Online]. China-Shanghai: Jinzhong Road , 2022,. Available from: <https://fcc.report/FCC-ID/2AJYU-8PYA007/4857209.pdf>.

SSR *CAPÍTULO 5-2 GPRS*. [Online]. 2022. Available from: https://www.iesdonbosco.com/data/electronica/Tr_52_GPRS.pdf.

statologos *Introducción a la distribución de Rayleigh*. [Online]. 2023. Available from: <https://statologos.com/distribucion-de-rayleigh/>.

Tébar, Enrique *TECNOLOGÍA DE LAS COMUNICACIONES MÓVILES*. [Online]. España-

València: Centro Studi e Laboratori Telecomunicazioni S.p.A. , 2021, p.pp. 155–159. Available from: <https://core.ac.uk/download/pdf/323102919.pdf>.

El Telégrafo *Riobamba estrenó el MultiPlaza*. [Online]. 2013. Available from: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/regional/1/riobamba-estrena-esta-semana-el-multiplaza>.

tritec intervento *¿CÓMO CALCULAR EL TIEMPO DE USO DE LA BATERÍA?* [Online]. , 2023,. Available from: <https://tritec-intervento.cl/como-calcular-el-tiempo-de-uso-de-la-bateria/>.

tritec-intervento *¿QUÉ ES EL RITMO DE DESCARGA DE UNA BATERÍA?* [Online]. 2019. Available from: <https://tritec-intervento.cl/que-es-el-ritmo-de-descarga-de-una-bateria/#:~:text=En cuanto al ritmo de,una descarga de 5 horas>.

Victron Energy *Capacidad de la batería y exponente de Peukert*. [Online]. 2023. Available from: <https://www.victronenergy.com/media/pg/SmartShunt/es/battery-capacity-and-peukert-exponent.html>.

Xinyuan-LilyGO/GitHub *Battery Interface*. [Online]. , 2020, p.pp. 3–6. Available from: <https://github.com/Xinyuan-LilyGO/T-SIM7600X>.

ANEXOS

ANEXO A: Distancia geográfica para la ruta de ida.

MEDIDA		REAL		DISTANCIA
Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	metros
-1,6631421	-78,681778	-1,6630212	-78,6816296	21,278
-1,6627576	-78,6820221	-1,6626840	-78,6819125	14,676
-1,6626999	-78,6819992	-1,6626248	-78,6819547	9,702
-1,6623871	-78,6820526	-1,6623824	-78,6820496	0,616
-1,662281	-78,6820755	-1,6622829	-78,6820519	2,630
-1,6621633	-78,6820908	-1,6621866	-78,6820360	6,620
-1,6621048	-78,6820755	-1,6621265	-78,6820212	6,501
-1,6620018	-78,6820221	-1,6620245	-78,6819928	4,117
-1,6619256	-78,6820221	-1,6619419	-78,6819716	5,904
-1,6618545	-78,6819687	-1,6618608	-78,6819431	2,927
-1,6617503	-78,6819229	-1,6617494	-78,6819121	1,204
-1,6616691	-78,6818924	-1,6616691	-78,6818924	0
-1,6616027	-78,6818695	-1,6616027	-78,6818695	0
-1,6614802	-78,6818008	-1,6614637	-78,6818307	3,795
-1,6613904	-78,6817932	-1,6613856	-78,6818092	1,852
-1,6612905	-78,6817856	-1,6612900	-78,6817868	0,141
-1,661052	-78,6815643	-1,6609952	-78,6817005	16,400
-1,6608045	-78,6813965	-1,6607419	-78,6816379	27,717
-1,6607819	-78,6815643	-1,6607650	-78,6816452	9,185
-1,6608251	-78,6815643	-1,6607980	-78,6816544	10,456
-1,6605568	-78,6817551	-1,6606052	-78,6816114	16,851
-1,6604668	-78,6816177	-1,6604668	-78,6816177	0
-1,6602168	-78,681633	-1,6602562	-78,6815625	8,979
-1,6600997	-78,6815948	-1,6601740	-78,6816196	8,707
-1,6600584	-78,6816864	-1,6601287	-78,6817036	8,049
-1,6599942	-78,6818085	-1,6601143	-78,6817100	17,269
-1,6601356	-78,6817093	-1,6601356	-78,6817093	0
-1,6601675	-78,6816864	-1,6601675	-78,6816864	0
-1,6601661	-78,681694	-1,6601661	-78,6816940	0
-1,6602112	-78,6816788	-1,6602112	-78,6816788	0
-1,6602415	-78,6816483	-1,6602415	-78,6816483	0
-1,6602339	-78,6816864	-1,6602339	-78,6816864	0
-1,6602415	-78,6816864	-1,6602415	-78,6816864	0
-1,6602391	-78,6816864	-1,6602391	-78,6816864	0
-1,6602015	-78,6817093	-1,6602015	-78,6817093	0
-1,6602676	-78,681694	-1,6602676	-78,6816940	0

-1,6602857	-78,681694	-1,6602857	-78,6816940	0
-1,6602862	-78,681694	-1,6602862	-78,6816940	0
-1,6602956	-78,681694	-1,6602956	-78,6816940	0
-1,6602631	-78,6817322	-1,6602631	-78,6817322	0
-1,6602778	-78,6817398	-1,6602778	-78,6817398	0
-1,6602505	-78,6817932	-1,6602505	-78,6817932	0
-1,6602198	-78,6818008	-1,6602198	-78,6818008	0
-1,6602269	-78,681778	-1,6602269	-78,6817780	0
-1,6602234	-78,6817169	-1,6602234	-78,6817169	0
-1,6602101	-78,6817245	-1,6602101	-78,6817245	0
-1,6602058	-78,6817245	-1,6602058	-78,6817245	0
-1,6601255	-78,6817245	-1,6601255	-78,6817245	0
-1,6600169	-78,6818008	-1,6601045	-78,6817301	12,522
-1,6600528	-78,6816788	-1,6601216	-78,6816968	7,908
-1,6601208	-78,6816711	-1,6601428	-78,6816717	2,452
-1,6601382	-78,681572	-1,6601382	-78,6815720	0
-1,6606117	-78,6800385	-1,6606117	-78,6800385	0
-1,6608891	-78,6790237	-1,6608891	-78,6790237	0
-1,6611056	-78,678093	-1,6611670	-78,6781135	7,199
-1,6612136	-78,6778717	-1,6612136	-78,6778717	0
-1,6612246	-78,6778641	-1,6612246	-78,6778641	0
-1,6612239	-78,6778641	-1,6612239	-78,6778641	0
-1,661232	-78,6778564	-1,6612320	-78,6778564	0
-1,6612448	-78,6778488	-1,6612448	-78,6778488	0
-1,6612993	-78,6776123	-1,6612993	-78,6776123	0
-1,6617398	-78,675705	-1,6618256	-78,6757312	9,975
-1,6618439	-78,6754913	-1,6618439	-78,6754913	0
-1,661876	-78,6754837	-1,6618766	-78,6754840	0,079
-1,6618668	-78,6754303	-1,6618668	-78,6754303	0
-1,661823	-78,6754532	-1,6618426	-78,6754440	2,409
-1,6618217	-78,6754456	-1,6618477	-78,6754235	3,799
-1,6621594	-78,6742935	-1,6621878	-78,6743087	3,581
-1,6621841	-78,6742172	-1,6622197	-78,6742183	3,956
-1,6622647	-78,6739349	-1,6622988	-78,6739481	4,068
-1,6623337	-78,6736832	-1,6623678	-78,6737002	4,237
-1,6627291	-78,6726837	-1,6626998	-78,6726705	3,570
-1,6628757	-78,6719742	-1,6629479	-78,6720040	8,681
-1,6630718	-78,671402	-1,6631298	-78,6714007	6,447
-1,6631005	-78,6712418	-1,6631750	-78,6712575	8,468
-1,6631045	-78,6712112	-1,6631763	-78,6712266	8,165
-1,6630318	-78,6709137	-1,6630318	-78,6709137	0
-1,6614214	-78,6697693	-1,6614214	-78,6697693	0
-1,6610639	-78,6695404	-1,6610639	-78,6695404	0

-1,6605664	-78,66922	-1,6605798	-78,6692060	2,154
-1,6588137	-78,6678696	-1,6588243	-78,6678571	1,822
-1,6585724	-78,6675949	-1,6585724	-78,6675949	0
-1,6585833	-78,6675949	-1,6585833	-78,6675949	0
-1,6590818	-78,6664886	-1,6592044	-78,6665490	15,200
-1,6596388	-78,6657867	-1,6597258	-78,6658688	13,302
-1,6599034	-78,6656189	-1,6599118	-78,6656295	1,504
-1,6610723	-78,6641464	-1,6610822	-78,6641529	1,314
-1,6615764	-78,6633835	-1,6615655	-78,6633769	1,417
-1,6615664	-78,6633224	-1,6615664	-78,6633224	0
-1,6615895	-78,6632843	-1,6615895	-78,6632843	0
-1,6615463	-78,6632233	-1,6615921	-78,6632408	5,456
-1,6616956	-78,662941	-1,6617326	-78,6629641	4,849
-1,6609279	-78,6624374	-1,6609571	-78,6624082	4,586
-1,660899	-78,6623764	-1,6608990	-78,6623764	0
-1,6609006	-78,6623764	-1,6609089	-78,6623633	1,729
-1,660435	-78,6621246	-1,6604619	-78,6620888	4,973
-1,6603869	-78,6620789	-1,6604154	-78,6620547	4,158
-1,6603856	-78,6620712	-1,6604079	-78,6620595	2,801
-1,6603808	-78,6620636	-1,6603928	-78,6620468	2,292
-1,6603363	-78,6620255	-1,6603436	-78,6620170	1,248
-1,6602606	-78,6617279	-1,6603375	-78,6618029	11,942
-1,6618246	-78,6607361	-1,6618339	-78,6607478	1,660
-1,6623017	-78,6603851	-1,6623088	-78,6603982	1,661
-1,6627266	-78,6600342	-1,6627452	-78,6600536	2,992
-1,6627134	-78,6595383	-1,6627753	-78,6595507	7,017
-1,662722	-78,6595383	-1,6628041	-78,6595474	9,185
-1,6627009	-78,6594696	-1,6627093	-78,6594598	1,436
-1,662608	-78,6592484	-1,6627135	-78,6593144	13,837
-1,662987	-78,6589279	-1,6630120	-78,6589618	4,683
-1,6630009	-78,6588898	-1,6630543	-78,6589204	6,838
-1,6630173	-78,6588287	-1,6630950	-78,6588761	10,116
-1,6632302	-78,6584778	-1,6633457	-78,6585690	16,364
-1,6634371	-78,6582336	-1,6634894	-78,6584189	21,399
-1,663443	-78,6583023	-1,6635235	-78,6583685	11,588
-1,663457	-78,6583099	-1,6635379	-78,6583634	10,789
-1,663646	-78,6580811	-1,6637151	-78,6581389	10,015
-1,6641668	-78,6575699	-1,6641995	-78,6575935	4,481
-1,6646174	-78,6569901	-1,6646746	-78,6570553	9,646
-1,6653366	-78,6562195	-1,6653724	-78,6562623	6,209
-1,6661474	-78,6552887	-1,6661959	-78,6553382	7,703
-1,6666226	-78,6547089	-1,6667064	-78,6547659	11,266
-1,6671079	-78,6542511	-1,6671079	-78,6542511	0

-1,6684629	-78,6524353	-1,6685624	-78,6525732	18,900
-1,6685396	-78,6523972	-1,6686428	-78,6524888	15,340
-1,6686352	-78,6522903	-1,6687355	-78,6523877	15,545
-1,6695431	-78,651329	-1,6695881	-78,6513642	6,353
-1,6696892	-78,6511612	-1,6697223	-78,6511991	5,588
-1,6699631	-78,6508636	-1,6700062	-78,6508974	6,090
-1,6705325	-78,6501846	-1,6705911	-78,6502525	9,971
-1,6707191	-78,6499786	-1,6707732	-78,6500560	10,496
-1,6710083	-78,6497269	-1,6710354	-78,6497421	3,455
-1,6714737	-78,6492157	-1,6714737	-78,6492157	0
-1,6716174	-78,649086	-1,6716048	-78,6490721	2,087
-1,671802	-78,6489639	-1,6717927	-78,6489845	2,516
-1,6721247	-78,6493225	-1,6721455	-78,6492925	4,061
-1,6722356	-78,6493149	-1,6722169	-78,6493408	3,546
-1,6724541	-78,6495285	-1,6724541	-78,6495285	0
-1,6726054	-78,6498108	-1,6726852	-78,6497183	13,586
-1,6727344	-78,6497574	-1,6727344	-78,6497574	0
-1,6727773	-78,6498032	-1,6727892	-78,6497987	1,419
-1,673376	-78,6501236	-1,6732936	-78,6501860	11,486
-1,6734576	-78,6501694	-1,6733051	-78,6501940	17,172
-1,673332	-78,6501999	-1,6733217	-78,6502084	1,480
-1,6733605	-78,6502457	-1,6733339	-78,6502410	3,002
-1,673351	-78,6502609	-1,6733510	-78,6502609	0
-1,6733607	-78,6502686	-1,6733607	-78,6502686	0
-1,6738406	-78,6506195	-1,6738406	-78,6506195	0
-1,6737999	-78,6506424	-1,6738645	-78,6506384	7,196
-1,67398	-78,6507339	-1,6739800	-78,6507339	0
-1,6744537	-78,6511688	-1,6744670	-78,6511508	2,483
-1,6745163	-78,6511383	-1,6744796	-78,6511578	4,618
-1,6744874	-78,6511612	-1,6744920	-78,6511680	0,915
-1,6746498	-78,6513443	-1,6746738	-78,6513209	3,726
-1,6750524	-78,6516266	-1,6750524	-78,6516266	0
-1,6750435	-78,651619	-1,6750435	-78,6516190	0
-1,6754842	-78,6519699	-1,6754842	-78,6519699	0
-1,6758006	-78,6523209	-1,6758486	-78,6522753	7,360
-1,6762207	-78,6526718	-1,6762549	-78,6526251	6,432
-1,6772273	-78,6533737	-1,6772007	-78,6533943	3,736
-1,6772912	-78,6535263	-1,6773210	-78,6534905	5,178
-1,6777148	-78,6532211	-1,6777019	-78,6532084	2,020
-1,6791102	-78,6514969	-1,6791553	-78,6515352	6,582
-1,679166	-78,6514206	-1,6792106	-78,6514704	7,433
-1,6792969	-78,6513824	-1,6792969	-78,6513824	0
-1,680395	-78,6523666	-1,6804362	-78,6523338	5,858

-1,6811364	-78,6528702	-1,6811376	-78,6528702	0,135
------------	-------------	------------	-------------	-------

Realizado por: Tamayo K., 2023

ANEXO B: Distancia geográfica para la ruta de vuelta.

MEDIDA		REAL		DISTANCIA
Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	metros
-1,6811364	-78,6528702	-1,6811364	-78,6528702	0
-1,6816543	-78,6524277	-1,6816543	-78,6524277	0
-1,6819097	-78,6515961	-1,6819097	-78,6515961	0
-1,68144	-78,6510925	-1,6814400	-78,6510925	0
-1,6819214	-78,6505051	-1,6819214	-78,6505051	0
-1,6825589	-78,6496735	-1,6826143	-78,6497065	7,165
-1,6827347	-78,6494064	-1,6827347	-78,6494064	0
-1,6825088	-78,6492462	-1,6825088	-78,6492462	0
-1,6822555	-78,6490479	-1,6822555	-78,6490479	0
-1,6816496	-78,6485138	-1,6816496	-78,6485138	0
-1,6811559	-78,6481934	-1,6811429	-78,6481800	2,074
-1,6798996	-78,6490097	-1,6799134	-78,6489874	2,913
-1,6795621	-78,6487045	-1,6795621	-78,6487045	0
-1,6791471	-78,6483612	-1,6791513	-78,6483523	1,097
-1,6785382	-78,6478806	-1,6785676	-78,6478654	3,684
-1,6780818	-78,6474533	-1,6780818	-78,6474533	0
-1,6777349	-78,647171	-1,6777349	-78,6471710	0
-1,6774765	-78,646965	-1,6774888	-78,6469532	1,888
-1,6770874	-78,646637	-1,6770942	-78,6466167	2,377
-1,6767603	-78,6463699	-1,6767840	-78,6463603	2,845
-1,6760191	-78,6457977	-1,6760676	-78,6457517	7,431
-1,6757568	-78,6454926	-1,6757568	-78,6454926	0
-1,6752124	-78,6450424	-1,6752124	-78,6450424	0
-1,6748431	-78,6446991	-1,6748431	-78,6446991	0
-1,6747152	-78,6446457	-1,6747351	-78,6446206	3,561
-1,6746196	-78,6446152	-1,6745462	-78,6445554	10,527
-1,6740882	-78,645195	-1,6740256	-78,6451342	9,701
-1,673422	-78,6459656	-1,6733446	-78,6458992	11,337
-1,6729182	-78,6464844	-1,6728851	-78,6464504	5,280
-1,6719121	-78,6475067	-1,6719546	-78,6475478	6,574
-1,671742	-78,6476288	-1,6718338	-78,6476907	12,309
-1,6717715	-78,6476059	-1,6718383	-78,6476609	9,621
-1,6717695	-78,6477585	-1,6717695	-78,6477585	0
-1,6718132	-78,6477814	-1,6717838	-78,6477636	3,827
-1,6718129	-78,6477814	-1,6717737	-78,6477522	5,431

-1,6718129	-78,6477737	-1,6717786	-78,6477475	4,799
-1,6717834	-78,647728	-1,6717834	-78,6477280	0
-1,6717821	-78,6476974	-1,6717821	-78,6476974	0
-1,6717774	-78,6477127	-1,6717774	-78,6477127	0
-1,6717644	-78,6477814	-1,6717644	-78,6477814	0
-1,6713234	-78,6482315	-1,6713234	-78,6482315	0
-1,6707824	-78,6486664	-1,6708871	-78,6487337	13,841
-1,6707636	-78,6486664	-1,6708772	-78,6487486	15,594
-1,6707789	-78,6486969	-1,6708644	-78,6487587	11,733
-1,6702625	-78,6492996	-1,6703386	-78,6493521	10,282
-1,6699387	-78,6497955	-1,6699539	-78,6498049	1,988
-1,669706	-78,6499557	-1,6697716	-78,6500120	9,611
-1,6697818	-78,6500931	-1,6697356	-78,6500523	6,855
-1,6697606	-78,6501465	-1,6696898	-78,6501040	9,187
-1,6692988	-78,6505966	-1,6692708	-78,6505692	4,355
-1,6688756	-78,6509933	-1,6688822	-78,6510021	1,225
-1,668663	-78,6511917	-1,6686863	-78,6512141	3,598
-1,6682914	-78,6516266	-1,6683225	-78,6516542	4,627
-1,6683072	-78,651741	-1,6682763	-78,6517031	5,436
-1,668105	-78,6519699	-1,6680926	-78,6519643	1,516
-1,6677289	-78,6524353	-1,6677038	-78,6524122	3,787
-1,6665199	-78,6542511	-1,6665344	-78,6542434	1,824
-1,6666036	-78,654274	-1,6666036	-78,6542740	0
-1,6667221	-78,6543427	-1,6667221	-78,6543427	0
-1,6667427	-78,6545868	-1,6667536	-78,6545964	1,615
-1,6665293	-78,6548309	-1,6665441	-78,6548423	2,079
-1,6662028	-78,6552658	-1,6662005	-78,6552689	0,424
-1,6659154	-78,6556778	-1,6658784	-78,6556364	6,168
-1,6655803	-78,655983	-1,6655812	-78,6559873	0,487
-1,665524	-78,6560211	-1,6655371	-78,6560301	1,760
-1,6647171	-78,6570511	-1,6646593	-78,6570012	8,486
-1,6643773	-78,657486	-1,6643128	-78,6573963	12,279
-1,6643001	-78,6575394	-1,6642405	-78,6574852	8,957
-1,6637685	-78,6581268	-1,6637234	-78,6580832	6,976
-1,6634082	-78,6585999	-1,6633339	-78,6585176	12,328
-1,6629664	-78,6590805	-1,6629036	-78,6590340	8,694
-1,6625745	-78,6594315	-1,6625581	-78,6594153	2,562
-1,6621625	-78,6598969	-1,6621461	-78,6598839	2,333
-1,6618457	-78,6603012	-1,6618120	-78,6602755	4,708
-1,6605265	-78,6615295	-1,6605265	-78,6615295	0
-1,6601778	-78,6620255	-1,6601778	-78,6620255	0
-1,660726	-78,6623764	-1,6607260	-78,6623764	0
-1,6612618	-78,6627884	-1,6612877	-78,6627565	4,564

-1,6612941	-78,6628036	-1,6613254	-78,6627880	3,892
-1,6614499	-78,663002	-1,6614815	-78,6630019	3,519
-1,6612834	-78,6637726	-1,6612357	-78,6637573	5,572
-1,660647	-78,6646042	-1,6605921	-78,6645679	7,311
-1,6601118	-78,6653061	-1,6600664	-78,6652618	7,051
-1,6588494	-78,6669464	-1,6587999	-78,6669158	6,469
-1,658519	-78,6673355	-1,6584877	-78,6673113	4,399
-1,6583595	-78,6675568	-1,6583595	-78,6675568	0
-1,6595118	-78,6686096	-1,6595118	-78,6686096	0
-1,6602397	-78,6690979	-1,6602397	-78,6690979	0
-1,6605642	-78,6692886	-1,6605642	-78,6692886	0
-1,6606814	-78,6694107	-1,6606883	-78,6693961	1,792
-1,6606605	-78,6694107	-1,6606826	-78,6694156	2,513
-1,6607527	-78,6694489	-1,6607723	-78,6694590	2,452
-1,659777	-78,6706696	-1,6597876	-78,6706810	1,727
-1,6587708	-78,6719131	-1,6587870	-78,6719250	2,235
-1,6584419	-78,6726227	-1,6584419	-78,6726227	0
-1,6595057	-78,6735077	-1,6595057	-78,6735077	0
-1,6604561	-78,6741943	-1,6604474	-78,6742051	1,542
-1,6612216	-78,6747742	-1,6612148	-78,6747837	1,292
-1,6616828	-78,6751862	-1,6616930	-78,6751595	3,182
-1,6618015	-78,675209	-1,6618015	-78,6752090	0
-1,6618922	-78,6754074	-1,6618025	-78,6753788	10,464
-1,6612771	-78,6773682	-1,6612594	-78,6773680	1,970
-1,6612136	-78,6776657	-1,6611754	-78,6776539	4,444
-1,6612618	-78,6777267	-1,6611632	-78,6776928	11,597
-1,6611356	-78,6777344	-1,6611528	-78,6777401	2,015
-1,6611887	-78,6777725	-1,6611495	-78,6777537	4,829
-1,6611696	-78,6777725	-1,6611446	-78,6777691	2,806
-1,6610965	-78,6779785	-1,6610921	-78,6779764	0,544
-1,6607544	-78,6787643	-1,6608334	-78,6787736	8,847
-1,660478	-78,6796799	-1,6605624	-78,6797076	9,880
-1,6604004	-78,6808243	-1,6604004	-78,6808243	0
-1,6602834	-78,6807632	-1,6604032	-78,6808748	18,204
-1,6602857	-78,6808624	-1,6604015	-78,6809058	13,754
-1,6603256	-78,6809464	-1,6603819	-78,6809256	6,668
-1,6603696	-78,6809464	-1,6603734	-78,6809424	0,617
-1,6604065	-78,6809845	-1,6604065	-78,6809845	0
-1,6603324	-78,6810684	-1,6603296	-78,6810647	0,514
-1,6603892	-78,6812592	-1,6603892	-78,6812592	0
-1,6603317	-78,6812668	-1,6603317	-78,6812668	0
-1,6594528	-78,6810608	-1,6602678	-78,6813127	94,850
-1,6598345	-78,6812668	-1,6602511	-78,6813362	46,958

-1,6599554	-78,6813278	-1,6602470	-78,6813610	32,631
-1,6599373	-78,6812897	-1,6602355	-78,6813725	34,415
-1,6599457	-78,6812897	-1,6602404	-78,6813873	34,516
-1,6599503	-78,6812897	-1,6602394	-78,6813998	34,394
-1,6599617	-78,6812973	-1,6602367	-78,6814103	33,062
-1,6600202	-78,681366	-1,6602324	-78,6814189	24,322
-1,6600993	-78,6813889	-1,6602230	-78,6814396	14,862
-1,6605451	-78,681572	-1,6605545	-78,6815647	1,323
-1,6607493	-78,6816483	-1,6607543	-78,6816296	2,151
-1,6608061	-78,6816483	-1,6608061	-78,6816483	0
-1,6609632	-78,6817169	-1,6609772	-78,6816803	4,353
-1,6610558	-78,6817093	-1,6610558	-78,6817093	0
-1,6611369	-78,6817474	-1,6611369	-78,6817474	0
-1,661292	-78,6818161	-1,6612920	-78,6818161	0
-1,6614507	-78,6818924	-1,6614507	-78,6818924	0
-1,6615226	-78,6819077	-1,6615226	-78,6819077	0
-1,6616956	-78,6820145	-1,6617182	-78,6819552	7,050
-1,6617903	-78,6820221	-1,6617947	-78,6819787	4,845
-1,661852	-78,6820145	-1,6618563	-78,6819968	2,027
-1,6620181	-78,682106	-1,6620358	-78,6820587	5,615
-1,662087	-78,6820755	-1,6620870	-78,6820755	0
-1,6621857	-78,6820984	-1,6621857	-78,6820984	0
-1,6623248	-78,6821442	-1,6623318	-78,6821344	1,336
-1,6624049	-78,6821594	-1,6624049	-78,6821594	0
-1,6624812	-78,6821976	-1,6624322	-78,6821500	7,594
-1,6625074	-78,6821747	-1,6625074	-78,6821747	0
-1,6625104	-78,6821747	-1,6625104	-78,6821747	0
-1,662511	-78,6821747	-1,6625110	-78,6821747	0
-1,662511	-78,6821747	-1,6625110	-78,6821747	0
-1,6625135	-78,6821747	-1,6625135	-78,6821747	0
-1,6625135	-78,6821747	-1,6625135	-78,6821747	0
-1,6625135	-78,6821747	-1,6625135	-78,6821747	0
-1,6625137	-78,6821747	-1,6625137	-78,6821747	0
-1,6625137	-78,6821747	-1,6625137	-78,6821747	0
-1,6625135	-78,6821747	-1,6625135	-78,6821747	0
-1,6625175	-78,6821747	-1,6625175	-78,6821747	0
-1,6625175	-78,6821747	-1,6625175	-78,6821747	0
-1,6625175	-78,6821747	-1,6625175	-78,6821747	0
-1,6625191	-78,6821747	-1,6625191	-78,6821747	0
-1,6625206	-78,6821747	-1,6625206	-78,6821747	0
-1,6625203	-78,6821747	-1,6625203	-78,6821747	0
-1,6625168	-78,6821671	-1,6625168	-78,6821671	0
-1,6625236	-78,6821442	-1,6625236	-78,6821442	0

-1,6628596	-78,6824112	-1,6625259	-78,6821287	48,606
-1,6625274	-78,682106	-1,6625235	-78,6820811	2,804
-1,6625443	-78,6820984	-1,6625535	-78,6820775	2,544
-1,6626261	-78,6819916	-1,6626593	-78,6820138	4,439
-1,6626818	-78,6819687	-1,6626974	-78,6819791	2,085
-1,6627187	-78,6819305	-1,6627372	-78,6819452	2,628
-1,6628283	-78,6818924	-1,6628283	-78,6818924	0
-1,6629148	-78,6818466	-1,6629047	-78,6818367	1,571
-1,6629244	-78,6817856	-1,6629244	-78,6817856	0
-1,6628878	-78,6816711	-1,6628878	-78,6816711	0
-1,6629649	-78,6817322	-1,6629649	-78,6817322	0
-1,6629708	-78,6817322	-1,6629708	-78,6817322	0
-1,6629715	-78,6817322	-1,6629715	-78,6817322	0
-1,6629531	-78,6817856	-1,6629531	-78,6817856	0

Realizado por: Tamayo K., 2023

ANEXO C: Distancia geográfica de la ruta indoor Paseo Shopping.

MEDIDA		REAL		DISTANCIA
Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	metros
-1,6534994	-78,6455154	-1,6536108	-78,6453516	22,023
-1,6532801	-78,6457367	-1,6535580	-78,6454531	44,143
-1,6533015	-78,6457062	-1,6535199	-78,6455200	31,909
-1,6533040	-78,6457138	-1,6534540	-78,6455627	23,666
-1,6532990	-78,6457901	-1,6534259	-78,6455895	26,384
-1,6532761	-78,6458435	-1,6534028	-78,6456129	29,249
-1,6533152	-78,6458206	-1,6533830	-78,6456321	22,269
-1,6533160	-78,6458206	-1,6533509	-78,6456662	17,598
-1,6533040	-78,6458511	-1,6533461	-78,6456743	20,201
-1,6532887	-78,6458511	-1,6533440	-78,6456824	19,738
-1,6532891	-78,6458435	-1,6533612	-78,6456849	19,368
-1,6532893	-78,6458435	-1,6533730	-78,6456728	21,129
-1,6532956	-78,6458359	-1,6533712	-78,6456645	20,821
-1,6532972	-78,6458435	-1,6533711	-78,6456618	21,805
-1,6532999	-78,6458282	-1,6533690	-78,6456594	20,272
-1,6533055	-78,6458359	-1,6533676	-78,6456562	21,128
-1,6533185	-78,6458359	-1,6533596	-78,6456466	21,529
-1,6533252	-78,6458206	-1,6533710	-78,6456277	22,034
-1,6533333	-78,6458054	-1,6533540	-78,6456171	21,054
-1,6533396	-78,6457901	-1,6533466	-78,6456098	20,052
-1,6533396	-78,6457901	-1,6533292	-78,6455982	21,356
-1,6533381	-78,6457825	-1,6532311	-78,6455613	27,313

-1,6533369	-78,6457825	-1,6531623	-78,6457120	20,937
-1,6533295	-78,6457825	-1,6531540	-78,6457599	19,679
-1,6533254	-78,6457901	-1,6531593	-78,6457967	18,482
-1,6533252	-78,6457901	-1,6531968	-78,6458131	14,506
-1,6533252	-78,6457901	-1,6532065	-78,6458180	13,560
-1,6533248	-78,6457901	-1,6532208	-78,6458229	12,122
-1,6533254	-78,6457901	-1,6533141	-78,6458303	4,638
-1,6533262	-78,6457901	-1,6533181	-78,6458304	4,572
-1,6533234	-78,6458054	-1,6533208	-78,6458274	2,465
-1,6533228	-78,6458054	-1,6533223	-78,6458251	2,186
-1,6533228	-78,6458054	-1,6533244	-78,6458222	1,871
-1,6533219	-78,6458054	-1,6533479	-78,6457881	3,477
-1,6533208	-78,6458054	-1,6534572	-78,6457062	18,751
-1,6533206	-78,6458054	-1,6534924	-78,6456248	27,717
-1,6533190	-78,6458206	-1,6536881	-78,6456223	46,586
-1,6533183	-78,6458206	-1,6537581	-78,6456548	52,266
-1,6533183	-78,6458206	-1,6537963	-78,6456732	55,615
-1,6533180	-78,6458206	-1,6539105	-78,6457143	66,928
-1,6533180	-78,6458206	-1,6540360	-78,6457341	80,413
-1,6533201	-78,6458282	-1,6544498	-78,6459080	125,933
-1,6533208	-78,6458206	-1,6545681	-78,6459523	139,461
-1,6533806	-78,6457977	-1,6545764	-78,6459562	134,125
-1,6534572	-78,6457062	-1,6545648	-78,6459691	126,581
-1,6535637	-78,6456528	-1,6545647	-78,6459772	117,004
-1,6536881	-78,6456223	-1,6545620	-78,6459853	105,217
-1,6537404	-78,6456985	-1,6545542	-78,6459822	95,827
-1,6537738	-78,6457138	-1,6545488	-78,6459807	91,145
-1,6546963	-78,6457138	-1,6545533	-78,6459651	32,135
-1,6546077	-78,6457901	-1,6545496	-78,6459543	19,363
-1,6546178	-78,6458054	-1,6545605	-78,6459558	17,889
-1,6545947	-78,6458893	-1,6545677	-78,6459589	8,297
-1,6546216	-78,6458206	-1,6545793	-78,6459658	16,812
-1,6546415	-78,6457672	-1,6545880	-78,6459701	23,324
-1,6546407	-78,6457672	-1,6545780	-78,6459908	25,816
-1,6546524	-78,6457443	-1,6546086	-78,6460024	29,100
-1,6546425	-78,6457520	-1,6546510	-78,6460215	29,973
-1,6546232	-78,6457672	-1,6546692	-78,6460281	29,446
-1,6546295	-78,6457596	-1,6546777	-78,6460306	30,597
-1,6546292	-78,6457596	-1,6547529	-78,6460543	35,525
-1,6546186	-78,6457825	-1,6547836	-78,6460651	36,376
-1,6545951	-78,6458206	-1,6547887	-78,6460558	33,866
-1,6545942	-78,6458206	-1,6547955	-78,6460688	35,526
-1,6545942	-78,6458282	-1,6548135	-78,6460771	36,876

-1,6545807	-78,6458511	-1,6548314	-78,6460854	38,145
-1,6545802	-78,6458511	-1,6548573	-78,6460959	41,106
-1,6545702	-78,6458664	-1,6548755	-78,6461046	43,049
-1,6546969	-78,6458282	-1,6548835	-78,6461046	37,069
-1,6546867	-78,6459503	-1,6548924	-78,6461066	28,724
-1,6547053	-78,6459503	-1,6548949	-78,6461090	27,490
-1,6547064	-78,6459579	-1,6548982	-78,6461104	27,238
-1,6547645	-78,6460266	-1,6548993	-78,6461126	17,783
-1,6548078	-78,6460114	-1,6549224	-78,6461133	17,046
-1,6548253	-78,6459885	-1,6549203	-78,6461028	16,527
-1,6548383	-78,6460037	-1,6549186	-78,6460984	13,802
-1,6548464	-78,6460037	-1,6548533	-78,6459518	5,818
-1,6548778	-78,6459885	-1,6547292	-78,6459136	18,506
-1,6549312	-78,6458054	-1,6547027	-78,6459070	27,807
-1,6549209	-78,6459503	-1,6546776	-78,6458991	27,642
-1,6549245	-78,6459961	-1,6546334	-78,6458797	34,863
-1,6549230	-78,6460037	-1,6543655	-78,6457804	66,771
-1,6549159	-78,6459961	-1,6542629	-78,6457403	77,977
-1,6548810	-78,6460190	-1,6541595	-78,6456954	87,925
-1,6548792	-78,6460190	-1,6540939	-78,6456729	95,413
-1,6547539	-78,6460190	-1,6540183	-78,6456467	91,667
-1,6546611	-78,6459732	-1,6539646	-78,6456274	86,462
-1,6546404	-78,6459656	-1,6539552	-78,6456238	85,136
-1,6546206	-78,6459656	-1,6539438	-78,6456199	84,496
-1,6545904	-78,6459427	-1,6539351	-78,6456167	81,377
-1,6543126	-78,6458588	-1,6537329	-78,6455317	74,013
-1,6540467	-78,6458359	-1,6536254	-78,6454888	60,688
-1,6541387	-78,6457214	-1,6535562	-78,6455233	68,412
-1,6540583	-78,6457291	-1,6535329	-78,6455612	61,330
-1,6539670	-78,6458664	-1,6535258	-78,6455536	60,130
-1,6539103	-78,6457443	-1,6534727	-78,6455841	51,815
-1,6538770	-78,6457138	-1,6534640	-78,6455917	47,887
-1,6538811	-78,6457062	-1,6534574	-78,6456067	48,395
-1,6537101	-78,6455612	-1,6534532	-78,6456109	29,098
-1,6535907	-78,6455536	-1,6534487	-78,6456146	17,184
-1,6535820	-78,6455460	-1,6533869	-78,6455945	22,356
-1,6535329	-78,6455612	-1,6531877	-78,6456869	40,847
-1,6535258	-78,6455536	-1,6533160	-78,6458403	39,493
-1,6534727	-78,6455841	-1,6533337	-78,6458197	30,409
-1,6534640	-78,6455917	-1,6534664	-78,6457154	13,757
-1,6534569	-78,6456070	-1,6535033	-78,6456328	5,901
-1,6534487	-78,6456146	-1,6535313	-78,6455809	9,917
-1,6534266	-78,6456451	-1,6539750	-78,6457489	62,065

-1,6534264	-78,6456451	-1,6539993	-78,6457575	64,919
-1,6533374	-78,6457291	-1,6541114	-78,6458014	86,441
-1,6535065	-78,6460495	-1,6541289	-78,6458072	74,259
-1,6534482	-78,6459656	-1,6541478	-78,6458126	79,630
-1,6538066	-78,6455612	-1,6544277	-78,6459103	79,213
-1,6537063	-78,6456070	-1,6544316	-78,6459126	87,510
-1,6537430	-78,6456146	-1,6544389	-78,6459137	84,217
-1,6540092	-78,6456833	-1,6544449	-78,6459140	54,820
-1,6540247	-78,6456985	-1,6544517	-78,6459161	53,284
-1,6541737	-78,6456604	-1,6544541	-78,6459167	42,233
-1,6544555	-78,6458206	-1,6544724	-78,6459209	11,302
-1,6544362	-78,6459122	-1,6545573	-78,6459427	13,886
-1,6545573	-78,6459427	-1,6547304	-78,6460190	21,033
-1,6547304	-78,6460190	-1,6547946	-78,6460421	7,586
-1,6547993	-78,6460266	-1,6547911	-78,6460454	2,286
-1,6547939	-78,6460342	-1,6547865	-78,6460484	1,778
-1,6549627	-78,6460419	-1,6549627	-78,6460419	0,000
-1,6550333	-78,6459503	-1,6550030	-78,6459440	3,440
-1,6550809	-78,6458282	-1,6550705	-78,6458654	4,290
-1,6550697	-78,6457748	-1,6551085	-78,6458774	12,197
-1,6551915	-78,6458435	-1,6552067	-78,6458551	2,126
-1,6552373	-78,6453629	-1,6552281	-78,6453995	4,196
-1,6548126	-78,6449966	-1,6548126	-78,6449966	0,000
-1,6553208	-78,6451263	-1,6553208	-78,6451263	0,000
-1,6553650	-78,6451416	-1,6553650	-78,6451416	0,000
-1,6553614	-78,6451416	-1,6553614	-78,6451416	0,000
-1,6553686	-78,6451416	-1,6553686	-78,6451416	0,000
-1,6553731	-78,6451416	-1,6553731	-78,6451416	0,000
-1,6553760	-78,6451400	-1,6553760	-78,6451400	0,000

Realizado por: Tamayo K., 2023

ANEXO D: Distancia geográfica de la ruta indoor Multiplaza.

MEDIDA		REAL		DISTANCIA
Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	metros
-1,6569198	-78,6638412	-1,6569198	-78,6638412	0,000
-1,6568588	-78,6638565	-1,6568588	-78,6638565	0,000
-1,6568291	-78,6638260	-1,6568291	-78,6638260	0,000
-1,6568393	-78,6639099	-1,6568238	-78,6638607	5,734
-1,6568186	-78,6638336	-1,6568060	-78,6638438	1,805
-1,6567988	-78,6638336	-1,6567936	-78,6638348	0,592
-1,6567760	-78,6638336	-1,6567760	-78,6638336	0,000

-1,6567686	-78,6638336	-1,6567686	-78,6638336	0,000
-1,6567311	-78,6638412	-1,6566903	-78,6638418	4,542
-1,6563530	-78,6638565	-1,6564547	-78,6638411	11,436
-1,6563388	-78,6638412	-1,6564022	-78,6638652	7,541
-1,6563492	-78,6638641	-1,6563786	-78,6638658	3,275
-1,6563461	-78,6638718	-1,6563583	-78,6638600	1,888
-1,6563988	-78,6638260	-1,6563988	-78,6638260	0,000
-1,6563649	-78,6638336	-1,6563649	-78,6638336	0,000
-1,6563566	-78,6638336	-1,6563566	-78,6638336	0,000
-1,6563097	-78,6637497	-1,6563097	-78,6637497	0,000
-1,6562749	-78,6637268	-1,6562749	-78,6637268	0,000
-1,6562780	-78,6636963	-1,6562413	-78,6636994	4,100
-1,6562718	-78,6636887	-1,6561961	-78,6636662	8,775
-1,6562718	-78,6636887	-1,6560862	-78,6636849	20,644
-1,6562868	-78,6637115	-1,6561464	-78,6637370	15,869
-1,6563041	-78,6636963	-1,6561763	-78,6637691	16,353
-1,6563537	-78,6637344	-1,6562171	-78,6638139	17,570
-1,6563631	-78,6639328	-1,6562797	-78,6638775	11,128
-1,6564939	-78,6639404	-1,6563215	-78,6638393	22,216
-1,6565567	-78,6639404	-1,6563137	-78,6637848	32,086
-1,6566398	-78,6637344	-1,6562179	-78,6637112	46,984
-1,6567522	-78,6639023	-1,6561326	-78,6636548	74,184
-1,6567073	-78,6639175	-1,6560072	-78,6636392	83,764
-1,6568942	-78,6639175	-1,6560256	-78,6637624	98,111
-1,6568471	-78,6638336	-1,6561356	-78,6638424	79,123
-1,6568599	-78,6637726	-1,6562632	-78,6639250	68,474
-1,6568505	-78,6637497	-1,6563861	-78,6639049	54,446
-1,6568309	-78,6637802	-1,6565289	-78,6638432	34,302
-1,6568209	-78,6637955	-1,6565963	-78,6638598	25,978
-1,6566539	-78,6639099	-1,6566492	-78,6638203	9,975
-1,6566213	-78,6639404	-1,6567315	-78,6637557	23,915
-1,6566325	-78,6639481	-1,6567104	-78,6637092	27,935
-1,6565938	-78,6639099	-1,6566410	-78,6637092	22,915
-1,6565615	-78,6639175	-1,6565961	-78,6637416	19,923
-1,6565605	-78,6639175	-1,6565297	-78,6637841	15,219
-1,6564865	-78,6639023	-1,6564421	-78,6638080	11,591
-1,6563510	-78,6638260	-1,6563028	-78,6638005	6,060
-1,6563135	-78,6637344	-1,6561840	-78,6637962	15,958
-1,6562648	-78,6634750	-1,6560979	-78,6637102	32,061
-1,6563261	-78,6636124	-1,6562464	-78,6637606	18,704
-1,6562983	-78,6637726	-1,6565641	-78,6637497	29,665
-1,6565641	-78,6637497	-1,6568182	-78,6638107	29,057
-1,6568182	-78,6638107	-1,6568451	-78,6638947	9,804

-1,6568451	-78,6638947	-1,6569233	-78,6639039	8,760
-1,6570051	-78,6638489	-1,6569588	-78,6639023	7,857
-1,6569588	-78,6639023	-1,6569555	-78,6639023	0,367
-1,6569555	-78,6639023	-1,6569530	-78,6639023	0,278
-1,6569530	-78,6639023	-1,6569465	-78,6639099	1,112

Realizado por: Tamayo K., 2023

ANEXO E: Distancia geográfica obtenida de la prueba estática indoor.

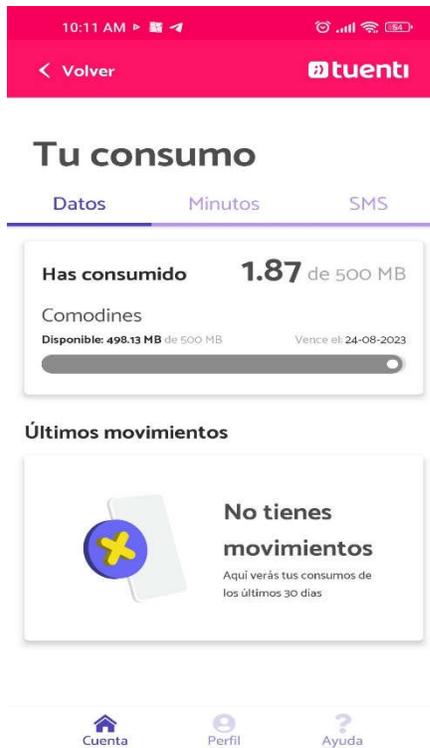
MEDIDA		REAL		DISTANCIA
Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	metros
-1,6629558	-78,681694	-1,662891	-78,681606	12,149
-1,6629558	-78,681694	-1,662891	-78,681606	12,149
-1,6629455	-78,6816864	-1,662891	-78,681606	10,797
-1,6629666	-78,6817093	-1,662891	-78,681606	14,230
-1,6629735	-78,6817169	-1,662891	-78,681606	15,365
-1,6629955	-78,6817398	-1,662891	-78,681606	18,873
-1,6629692	-78,6817703	-1,662891	-78,681606	20,226
-1,6628954	-78,6817322	-1,662891	-78,681606	14,035
-1,6628469	-78,6815643	-1,662891	-78,681606	6,747
-1,6629132	-78,6815948	-1,662891	-78,681606	2,765
-1,6628871	-78,6816406	-1,662891	-78,681606	3,870
-1,6628687	-78,681633	-1,662891	-78,681606	3,893
-1,6628519	-78,6816254	-1,662891	-78,681606	4,853
-1,6628214	-78,6815872	-1,662891	-78,681606	8,016
-1,662829	-78,6815948	-1,662891	-78,681606	7,006
-1,6628296	-78,6815948	-1,662891	-78,681606	6,940
-1,6628296	-78,6815948	-1,662891	-78,681606	6,940
-1,6628405	-78,6816025	-1,662891	-78,681606	5,629
-1,6628311	-78,6816025	-1,662891	-78,681606	6,672
-1,6628311	-78,6816025	-1,662891	-78,681606	6,672
-1,6628317	-78,6816025	-1,662891	-78,681606	6,605
-1,6628317	-78,6816025	-1,662891	-78,681606	6,605
-1,6628319	-78,6816025	-1,662891	-78,681606	6,583
-1,6628349	-78,6816025	-1,662891	-78,681606	6,250
-1,6628782	-78,6816406	-1,662891	-78,681606	4,101
-1,6628921	-78,6816483	-1,662891	-78,681606	4,703
-1,6628965	-78,6816559	-1,662891	-78,681606	5,580
-1,6628959	-78,6816559	-1,662891	-78,681606	5,573
-1,6628939	-78,6816559	-1,662891	-78,681606	5,556
-1,6629051	-78,6816559	-1,662891	-78,681606	5,764
-1,6629051	-78,6816559	-1,662891	-78,681606	5,764
-1,6629051	-78,6816559	-1,662891	-78,681606	5,764
-1,6629092	-78,6816559	-1,662891	-78,681606	5,904
-1,6629105	-78,6816483	-1,662891	-78,681606	5,177
-1,6629044	-78,6816483	-1,662891	-78,681606	4,932
-1,6629062	-78,6816483	-1,662891	-78,681606	4,996
-1,6629064	-78,6816483	-1,662891	-78,681606	5,004
-1,6629064	-78,6816483	-1,662891	-78,681606	5,004
-1,6629109	-78,6816559	-1,662891	-78,681606	5,971

-1,6629136	-78,6816559	-1,662891	-78,681606	6,089
-1,662925	-78,6816711	-1,662891	-78,681606	8,164
-1,6629649	-78,6817245	-1,662891	-78,681606	15,524
-1,6629657	-78,6817245	-1,662891	-78,681606	15,571
-1,6629679	-78,6817245	-1,662891	-78,681606	15,703
-1,662972	-78,6817245	-1,662891	-78,681606	15,956
-1,6629722	-78,6817245	-1,662891	-78,681606	15,969
-1,6629654	-78,6817169	-1,662891	-78,681606	14,845
-1,6629773	-78,6817398	-1,662891	-78,681606	17,699
-1,6629776	-78,6817398	-1,662891	-78,681606	17,717
-1,6629695	-78,6817398	-1,662891	-78,681606	17,244
-1,6629632	-78,6817322	-1,662891	-78,681606	16,162
-1,6629632	-78,6817398	-1,662891	-78,681606	16,900
-1,6629632	-78,6817398	-1,662891	-78,681606	16,900
-1,6629493	-78,6817322	-1,662891	-78,681606	15,452
-1,6629491	-78,6817322	-1,662891	-78,681606	15,443
-1,6629486	-78,6817322	-1,662891	-78,681606	15,420
-1,6629407	-78,6817245	-1,662891	-78,681606	14,283
-1,6629407	-78,6817245	-1,662891	-78,681606	14,283
-1,6629403	-78,6817245	-1,662891	-78,681606	14,266
-1,662941	-78,6817245	-1,662891	-78,681606	14,296
-1,6629405	-78,6817245	-1,662891	-78,681606	14,275
-1,6629428	-78,6817245	-1,662891	-78,681606	14,375
-1,6629441	-78,6817169	-1,662891	-78,681606	13,668
-1,6629443	-78,6817169	-1,662891	-78,681606	13,677
-1,6629448	-78,6817169	-1,662891	-78,681606	13,701
-1,6629428	-78,6817169	-1,662891	-78,681606	13,606
-1,6629428	-78,6817169	-1,662891	-78,681606	13,606
-1,6629432	-78,6817169	-1,662891	-78,681606	13,625
-1,6629435	-78,6817169	-1,662891	-78,681606	13,639
-1,662943	-78,6817169	-1,662891	-78,681606	13,615
-1,662932	-78,6817169	-1,662891	-78,681606	13,142
-1,6630117	-78,6817551	-1,662891	-78,681606	21,325
-1,6630132	-78,6817551	-1,662891	-78,681606	21,431
-1,6630013	-78,6817474	-1,662891	-78,681606	19,936
-1,6630018	-78,6817474	-1,662891	-78,681606	19,970
-1,6630015	-78,6817474	-1,662891	-78,681606	19,949
-1,6630054	-78,6817474	-1,662891	-78,681606	20,219
-1,6630152	-78,6817322	-1,662891	-78,681606	19,685
-1,663013	-78,6817322	-1,662891	-78,681606	19,514
-1,6629547	-78,6816864	-1,662891	-78,681606	11,403
-1,6629264	-78,6816635	-1,662891	-78,681606	7,506
-1,662926	-78,6816635	-1,662891	-78,681606	7,483
-1,6629257	-78,6816635	-1,662891	-78,681606	7,465
-1,662932	-78,6816711	-1,662891	-78,681606	8,552
-1,6629558	-78,6817093	-1,662891	-78,681606	13,555
-1,6629748	-78,6817322	-1,662891	-78,681606	16,840
-1,6630056	-78,6817551	-1,662891	-78,681606	20,905
-1,6630065	-78,6817627	-1,662891	-78,681606	21,640
-1,6630061	-78,6817551	-1,662891	-78,681606	20,939
-1,6629726	-78,6817398	-1,662891	-78,681606	17,421
-1,6629448	-78,6817169	-1,662891	-78,681606	13,701
-1,662932	-78,6817093	-1,662891	-78,681606	12,354

-1,6628968	-78,6816788	-1,662891	-78,681606	8,117
-1,6628968	-78,6816788	-1,662891	-78,681606	8,117
-1,6628983	-78,6816788	-1,662891	-78,681606	8,132
-1,6628734	-78,6816635	-1,662891	-78,681606	6,684
-1,6628723	-78,6816635	-1,662891	-78,681606	6,721
-1,6628792	-78,6816711	-1,662891	-78,681606	7,354
-1,662871	-78,6816635	-1,662891	-78,681606	6,767
-1,6628703	-78,6816635	-1,662891	-78,681606	6,793
-1,6628759	-78,6816635	-1,662891	-78,681606	6,608
-1,6628901	-78,6816711	-1,662891	-78,681606	7,236
-1,6628896	-78,6816711	-1,662891	-78,681606	7,237
-1,6628777	-78,6816635	-1,662891	-78,681606	6,560
-1,6628636	-78,6816559	-1,662891	-78,681606	6,328
-1,6628634	-78,6816559	-1,662891	-78,681606	6,339
-1,6628631	-78,6816559	-1,662891	-78,681606	6,355
-1,6628654	-78,6816635	-1,662891	-78,681606	6,996
-1,6628609	-78,6816635	-1,662891	-78,681606	7,214
-1,6628593	-78,6816635	-1,662891	-78,681606	7,299
-1,6628672	-78,6816711	-1,662891	-78,681606	7,705
-1,6628665	-78,6816635	-1,662891	-78,681606	6,947
-1,6628555	-78,6816559	-1,662891	-78,681606	6,808

Realizado por: Tamayo K., 2023

ANEXO F: Consumo de datos inicial en la aplicación de Tuenti.



ANEXO G: Consumo diario de datos de Ubidots



ANEXO H: Consumo diario de datos Ubidots y Telegram



ANEXO I: Uso de datos por las aplicaciones Ubidots y Telegram detallado por día.



Manual de Usuario del Sistema de Rastreo de Smart TVs Robados

Introducción al Manual de Usuario - Dispositivo LILYGO T-SIM7600G para Rastreo de Televisores

¡Bienvenido al manual de usuario del dispositivo LILYGO T-SIM7600G! Este dispositivo ha sido diseñado para proporcionar una solución eficiente y sencilla para el rastreo de televisores mediante tecnología GPS y conectividad a la red móvil. Con el T-SIM7600G, podrás localizar tu televisor en tiempo real y recibir alertas cuando salga de una ubicación predeterminada gracias a la función de geocerca.

Descripción General del Dispositivo

El LILYGO T-SIM7600G es un rastreador de televisores inteligente que utiliza la tecnología GPS para obtener la ubicación fiable del televisor en cualquier momento. Además, se conecta a la red móvil para acceder a internet y enviar los datos de ubicación a la plataforma de seguimiento en línea, Ubidots. Además, el tablero de Ubidots informa mediante widgets el estado de funcionamiento del sistema. El chat bot de Telegram forma parte de la funcionalidad de la alarma, permitiendo la recepción de los mensajes de alerta y el archivo KML.

Objetivo del Manual

El presente manual tiene como objetivo proporcionar información detallada sobre el manejo y funcionamiento del dispositivo LILYGO T-SIM7600G para usuarios no técnicos. Encontrarás instrucciones paso a paso, consejos útiles y especificaciones técnicas para que puedas sacar el máximo provecho de tu dispositivo.

Audiencia

Este manual está diseñado para usuarios no técnicos que deseen rastrear y proteger sus televisores de manera sencilla y efectiva. No se requieren conocimientos especializados para seguir las instrucciones y utilizar todas las funcionalidades que ofrece el dispositivo.

Contenido del Manual

A continuación, se detalla el contenido del manual:

1. Descripción del Producto: Conoce más sobre el LILYGO T-SIM7600G, sus características y funcionalidades principales.
2. Requerimientos: Te da los componentes electrónicos, y aplicaciones necesarias para el funcionamiento del dispositivo.
3. Configuración Inicial: Instrucciones para preparar y activar el dispositivo para su uso.
4. Uso Básico del Rastreador: Cómo obtener la ubicación actual del televisor y utilizar las funciones principales de rastreo.
5. Funciones Avanzadas: Descubre cómo configurar y utilizar la geocerca, Alertas y notificaciones.
6. Solución de Problemas: Lista de problemas comunes y sus posibles soluciones.
7. Consejos de Seguridad: Recomendaciones para mantener tus televisor seguro y protegido.

8. Especificaciones Técnicas: Detalles técnicos sobre el dispositivo para aquellos interesados en conocer más a fondo su funcionamiento.

Estamos seguros de que el dispositivo LILYGO T-SIM7600G será de gran utilidad para proteger tu televisor de cualquier eventualidad. ¡Comencemos a explorar todas sus funcionalidades!

Descripción del Producto - Dispositivo LILYGO modelo T-SIM7600G

El dispositivo LILYGO modelo T-SIM7600G es un avanzado rastreador de televisores diseñado para proporcionar una solución de rastreo eficiente a nivel global. Este dispositivo combina un potente procesador ESP32 y un módulo SIM7600, lo que permite su conexión a redes 2G, 3G y 4G, asegurando una amplia cobertura y un seguimiento en tiempo real de tus televisores en cualquier lugar.

Especificaciones Técnicas

- **Procesador ESP32:** Ofrece un rendimiento excepcional y una eficiente gestión de energía.
- **Módulo SIM7600:** Permite la conexión a redes móviles 2G, 3G y 4G para una comunicación fluida.
- **Ranura para TF Card (microSD):** Soporta tarjetas de hasta 32GB para el almacenamiento de datos.
- **Puerto para batería de litio:** Permite conectar una batería de hasta 4.2V y 2 amperios para una alimentación sostenible.
- **Sistemas de navegación GPS:** Utiliza GPS, GLONASS, BeiDou y Galileo para obtener una posición precisa.
- **Puertos Tipo C:** Uno para programar el ESP32 y otro para la interfaz USB del SIM7600, funcionando como un modem con comandos AT.

Funcionamiento del Dispositivo

El funcionamiento del LILYGO T-SIM7600G es sencillo y completo. El dispositivo adquiere la posición geográfica a través de los sistemas de navegación GPS y envía esta información a la plataforma de seguimiento en línea, Ubidots. Si el dispositivo sale de la geocerca previamente definida, se modifica una variable llamada "alerta", lo que activa una notificación. El ESP32 lee esta variable y envía un mensaje a través de Telegram, notificando la ubicación del dispositivo.

El LILYGO T-SIM7600G también ofrece la función de almacenamiento offline, lo que significa que, incluso en áreas sin cobertura móvil, el dispositivo seguirá funcionando y almacenando datos de coordenadas. Cuando el dispositivo vuelve a estar en línea, estos datos son enviados a Ubidots, lo que permite visualizar la ruta recorrida a través del dashboard de la plataforma. Además, mediante un botón en el dashboard, se puede solicitar al dispositivo que envíe un archivo KML a Telegram con los datos de los puntos recopilados, facilitando la verificación de la ruta con Google Earth.

Beneficios del Producto

El LILYGO T-SIM7600G ofrece una solución de rastreo completa y eficiente para proteger tus televisores en caso de robo. Al camuflarse en una caja de TV box e incrustarse en la televisión,

pasa desapercibido y dificulta su detección. Su capacidad de trabajar offline garantiza que la información de ubicación se almacene incluso en áreas sin cobertura, proporcionando datos valiosos para su posterior seguimiento.

Uso Previsto

El propósito principal del dispositivo LILYGO modelo T-SIM7600G es el rastreo y la recuperación de televisores en caso de robo. Al utilizar su función de geocerca y alertas, permite actuar rápidamente junto con las autoridades para localizar y recuperar el dispositivo robado. Su uso global y las opciones de almacenamiento de rutas hacen que esta solución de rastreo sea una herramienta valiosa para mantener la seguridad de tus televisores en todo momento.

Con el LILYGO T-SIM7600G, la seguridad de tus televisores está en buenas manos. ¡Confía en este dispositivo de última generación para mantener tus bienes protegidos!

Si necesitas más información o asistencia adicional, no dudes en consultar el resto del manual o contactar a nuestro equipo de soporte técnico.

¡Gracias por elegir el Dispositivo LILYGO T-SIM7600G para tus necesidades de rastreo y seguridad!

Requisitos previos

Antes de utilizar el dispositivo LILYGO T-SIM7600G, asegúrate de contar con los siguientes elementos y configuraciones:

1. **Tarjeta SIM con línea activa:** Se requiere una tarjeta SIM con línea activa proporcionada por la operadora Tuenti. La tarjeta SIM permitirá la conectividad a la red móvil y la transmisión de datos para el rastreo del dispositivo.
2. **Batería de litio 18650:** Asegúrate de disponer de una batería de litio tipo 18650, con una capacidad adecuada para un rendimiento óptimo del dispositivo. La batería es esencial para alimentar el dispositivo cuando no esté conectado a una fuente de energía externa.
3. **Cable Tipo C:** Necesitarás un cable Tipo C para cargar la batería del dispositivo y para programar el ESP32.
4. **Antenas incluidas:** El dispositivo viene con dos antenas incluidas: una antena GPS y una antena de red móvil. Asegúrate de tener ambas antenas correctamente conectadas al dispositivo para un rastreo óptimo.
5. **Tarjeta microSD de 32GB:** Es necesario contar con una tarjeta microSD de 32GB para almacenar los datos de ubicación y rutas recopiladas por el dispositivo.
6. **Cuenta de Telegram:** Para recibir notificaciones y mensajes del dispositivo, es necesario tener una cuenta activa de Telegram y configurar un bot para recibir las alertas.
7. **Cuenta de Ubidots:** Puedes utilizar una cuenta de Ubidots, ya sea gratuita o de pago, para configurar la geocerca y visualizar el seguimiento en línea del dispositivo.
8. **Google Earth:** Para verificar la ruta recorrida por el dispositivo, puedes utilizar Google Earth en tu teléfono o computadora.

Con estos requisitos previos, estarás listo para configurar y utilizar el dispositivo LILYGO T-SIM7600G para rastrear tu televisor. Asegúrate de reunir todos los elementos y realizar las configuraciones necesarias antes de proceder con la utilización del dispositivo.

¡Ahora podrás disfrutar de todas las funcionalidades que ofrece el LILYGO T-SIM7600G para proteger tus bienes de manera efectiva! Si tienes alguna duda o necesitas asistencia, no dudes en consultar el resto del manual o contactar con nuestro equipo de soporte técnico.

Configuración inicial

Antes de comenzar a utilizar el dispositivo LILYGO T-SIM7600G, es importante realizar una configuración inicial para asegurarse de que el dispositivo funcione de manera óptima y esté listo para el rastreo de televisores. Sigue los siguientes pasos para configurar el dispositivo:

1. Colocación de la tarjeta SIM y la microSD:

- Inserta la tarjeta SIM proporcionada por la operadora Tuenti en la ranura correspondiente del dispositivo.
- Coloca la tarjeta microSD de 32GB en la ranura destinada para almacenar los datos de ubicación.

2. Encendido del dispositivo:

- Verifica que el switch del dispositivo esté en posición de encendido (ON).

3. Activación de la tarjeta SIM:

- Si la tarjeta SIM no está activada, actívala a través de la aplicación de Tuenti siguiendo los pasos proporcionados por la operadora.
- También puedes activar la tarjeta SIM marcando *777 y siguiendo las instrucciones para ingresar el número de cédula y fecha de expedición.

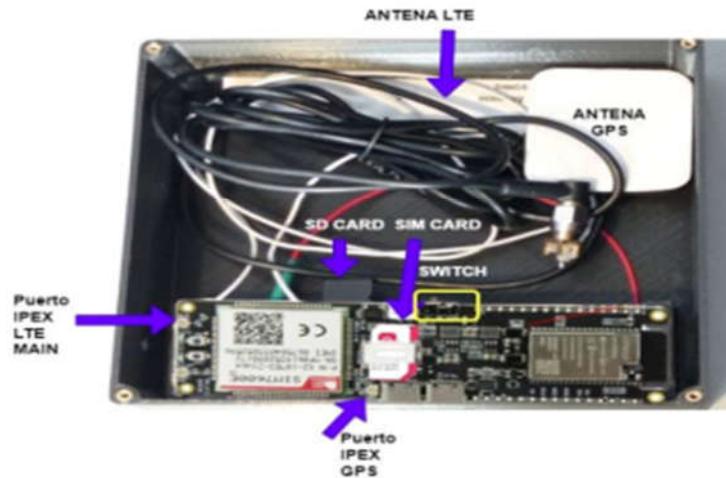
4. Carga de la batería:

- Conecta el dispositivo a través del cable Tipo C a una fuente de alimentación compatible.
- La luz indicadora del dispositivo mostrará una luz verde cuando la carga esté completa.
- El tiempo de carga para una batería completamente descargada es de aproximadamente 2 horas.

5. Conexión de las antenas:

- Ensambla las antenas suministradas con el dispositivo en sus respectivos puertos IPEX señalizados.
- Asegúrate de conectar tanto la antena GPS como la antena de red móvil de manera adecuada.

Ubicación de los componentes del dispositivo.



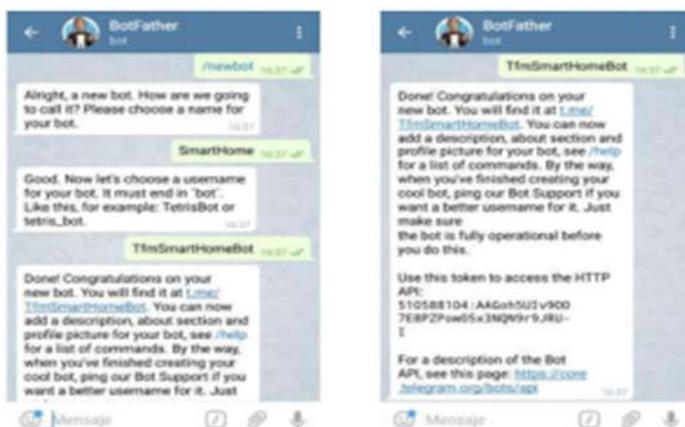
Conexión del cable USB tipo C al puerto TTL para la energía.



6. Instalación de Telegram y configuración del bot:

- Descarga e instala la aplicación Telegram desde la tienda de aplicaciones correspondiente a tu sistema operativo (iOS o Android).
- Crea una cuenta en Telegram siguiendo las instrucciones proporcionadas por la aplicación.
- Busca el usuario "BotFather" en Telegram y crea un bot con el comando /new bot y sigue las instrucciones. Guarda el token del bot para usarlo más adelante.
- En el panel de configuración del dispositivo, busca la opción de "Configuración de Telegram" e ingresa el token del bot en el campo correspondiente.
- Guarda la configuración para que el dispositivo esté listo para enviar notificaciones a Telegram.

Pasos: Asignación de nombre y obtención de token.



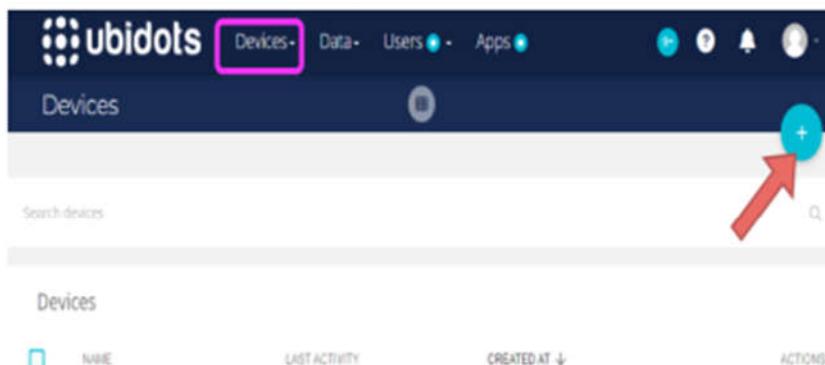
7. Creación de cuenta en Ubidots y configuración de la geocerca:

- Accede al sitio web de Ubidots (www.ubidots.com/stem) y crea una cuenta si aún no tienes una.
- Ingresa al Dashboard o Tablero de Control de Ubidots.
- Agrega un nuevo dispositivo proporcionando el nombre y etiquetas descriptivas.
- Configura el dispositivo para que esté vinculado a tu cuenta de Ubidots.
- Define la geocerca o área de seguridad en la configuración del dispositivo para proteger tus televisores.
- Guarda la configuración para activar la geocerca y asegurar el rastreo adecuado.

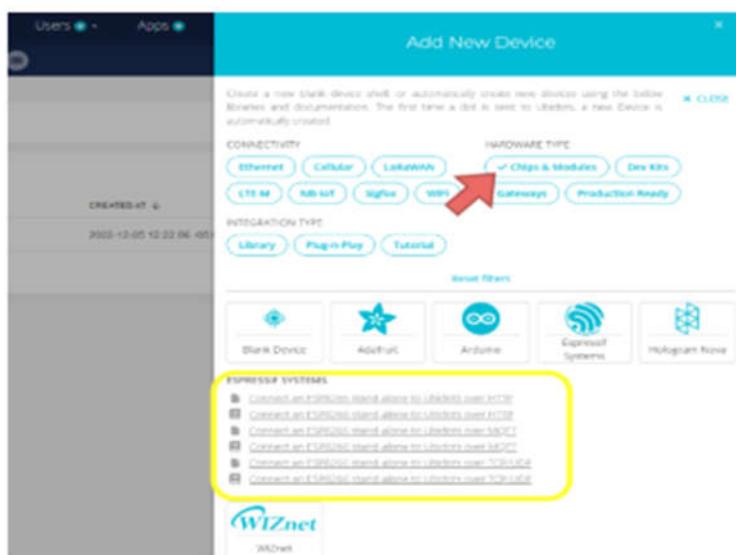
Paso 1: Clic en crear cuenta STEM y regístrate con tus datos personales.



Paso 2: En la pestaña Device crea un nuevo dispositivo dándole clic en el más.

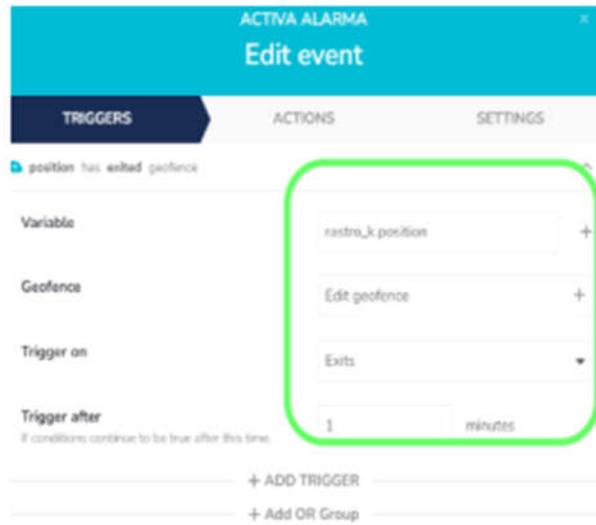


Paso 3: En add a device selecciona chips and module y vincula tu dispositivo.



Paso 4: En la pestaña data menú events crea el evento **ACTIVA ALARMA** y dentro de este configura en la pestaña triggers:

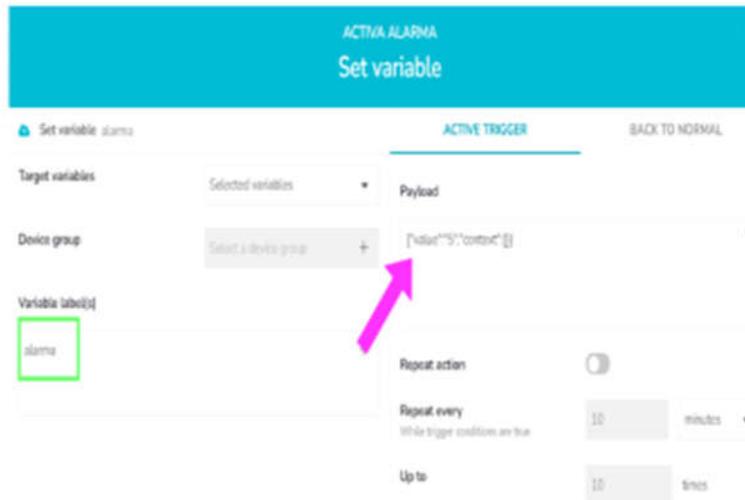
La geocerca, para que se active cuando el dispositivo esté fuera de, con un radio de 50 metros.



Paso 5: Sigue a actions selecciona la variable ALARMA y en send a message edita el valor de activación y desactivación escribiendo en el recuadro:

ACTIVE TRIGGER {"value":"5","context": {}}

BACK TO NORMAL {"value":"4","context": {}}



Paso 6: Sigue a settings y guarda la configuración en save.

The screenshot shows the 'Edit event' interface in the Ubidots application. The page title is 'ACTIVA ALARMA' and the subtitle is 'Edit event'. There are three tabs: 'TRIGGERS', 'ACTIONS', and 'SETTINGS', with 'SETTINGS' selected. The form contains the following fields:

- Event name:** ACTIVA ALARMA
- Description:** (empty text area)
- Type:** Tag: TAG_1234
- Active windows:** Every day from 00:00 to 23:59

At the bottom of the form, there are two buttons: 'CANCEL' and 'SAVE'. A pink arrow points to the 'SAVE' button.

Con esta configuración inicial, el dispositivo LILYGO T-SIM7600G estará listo para rastrear tus televisores y protegerlos de manera efectiva. Asegúrate de haber completado todos los pasos antes de proceder con la utilización del dispositivo.

¡Ahora podrás disfrutar de todas las funcionalidades que ofrece el LILYGO T-SIM7600G para mantener tus televisores seguros en todo momento!

Si tienes alguna duda o necesitas asistencia adicional, no dudes en consultar el resto del manual o contactar con nuestro equipo de soporte técnico.

Uso básico del sistema de rastreo de SMART TVs

En esta sección, te explicaremos cómo utilizar el sistema de rastreo del dispositivo LILYGO T-SIM7600G. Asegúrate de contar con acceso a Internet y tener las credenciales para iniciar sesión en Ubidots, donde podrás ver la ubicación de tu dispositivo y configurar la geocerca.

1. Inicio de Sesión en Ubidots:

- Abre la aplicación o sitio web de Ubidots en tu dispositivo móvil o computadora.
- Ingresa tus credenciales de inicio de sesión (nombre de usuario y contraseña) para acceder a tu cuenta.

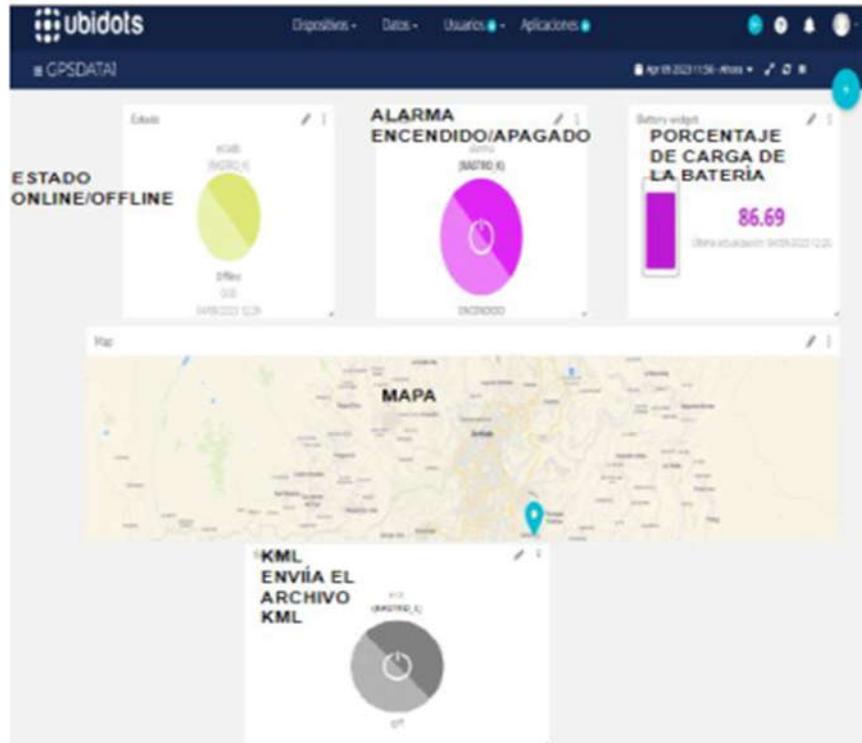
2. Configuración de la Geocerca:

- Ve a la pestaña "Eventos" en Ubidots y selecciona la variable "Posición".
- En el mapa, coloca el área de la geocerca, que será la zona segura para el dispositivo.
- Fuera de esta área, se activará la variable "Alarma" para que el ESP32 envíe una notificación con el aviso y la posición de la televisión.

3. Dashboard de Ubidots:

- En el dashboard de Ubidots, encontrarás un mapa que muestra la última posición enviada por el dispositivo.
- Verás el botón "Alarma" que se activa cuando el sistema ha salido de la geocerca y se desactiva automáticamente cuando regresa a esta.
- Un indicador que señala si el dispositivo está online u offline.
- Un widget que muestra el porcentaje de carga de la batería.
- También, encontrarás un botón que genera un documento KML con las rutas almacenadas en el dispositivo. Este archivo será enviado por Telegram.

Panel de control o dashboard de la aplicación de rastreo de SMART TVs



4. Envío Automático de Datos:

- Al encender el dispositivo y contar con las antenas y acceso a Internet, enviará automáticamente los datos de longitud y latitud a Ubidots con comandos predeterminados.

- Podrás visualizar la ubicación actual en el mapa de Ubidots y recibirás un registro con esta información.

5. Exploración del Mapa:

- En el mapa, puedes hacer zoom o alejar para revisar las calles, ciudades, países, etc., donde se encuentra el dispositivo.

6. Actualización Automática:

- Cada vez que el dispositivo envía nueva información a la plataforma de Ubidots, esta se actualizará automáticamente en el mapa.

7. Registro de Ubicación:

- Puedes visualizar el registro de ubicaciones de dos formas:
 - En la pestaña "Dispositivos" de Ubidots, selecciona el dispositivo y la variable "Posición".
 - En el dashboard, selecciona la opción KML, y el ESP32 generará un archivo KML con la ruta del dispositivo, enviado por Telegram.

Con esta guía, podrás utilizar el sistema de rastreo del dispositivo LILYGO T-SIM7600G de manera efectiva para proteger tus televisores y mantenerlos siempre localizados. ¡Aprovecha todas las funcionalidades que ofrece este dispositivo para garantizar la seguridad de tus bienes!

Si tienes alguna duda o necesitas asistencia adicional, no dudes en consultar el resto del manual o contactar con nuestro equipo de soporte técnico.

Funciones avanzadas

El dispositivo LILYGO T-SIM7600G ofrece algunas funciones avanzadas para mejorar su funcionalidad y adaptarse a tus necesidades específicas. A continuación, detallamos estas funciones:

1. Modo de Ahorro de Energía:

- Actualmente, el dispositivo no cuenta con un modo de ahorro de energía incorporado. Sin embargo, puedes prolongar la duración de la batería del dispositivo configurando el televisor para que se encienda automáticamente y se apague después de un tiempo determinado.

2. Configuración de Alertas Personalizadas:

- En el dashboard de Ubidots, encontrarás un widget que muestra el porcentaje de la batería restante. Esto te permitirá monitorear la carga de la batería y tomar las medidas necesarias para recargarla a tiempo.
- El sistema de rastreo se basa en GPS. Si hay una pérdida de señal GPS, el dispositivo se detendrá temporalmente hasta que reciba nuevamente la señal.
- Si el dispositivo no tiene acceso a la red móvil, entrará en modo offline hasta que recupere la conexión.

- Si deseas configurar alertas personalizadas, comunícate con nuestro equipo de soporte técnico al siguiente número: +593983305874.

3. Seguimiento y Exportación de Rutas:

- En el dashboard de Ubidots, encontrarás un botón que indica al dispositivo que genere un archivo KML y lo envíe a través de Telegram.
- Al abrir este archivo KML con la aplicación Google Earth, podrás revisar la ruta que siguió el dispositivo hasta la generación del archivo.

4. Integración con Otros Servicios:

- Si deseas integrar el dispositivo con otras plataformas o servicios, comunícate con nuestro equipo de soporte técnico al siguiente número: +593983305874.

5. Actualización de Firmware:

- Si se realizan actualizaciones o mejoras en el firmware del dispositivo, comunícate con nuestro equipo de soporte técnico para obtener la información y el proceso adecuados.

6. Resolución de Problemas Comunes:

- El dispositivo cuenta con un botón de reset para restablecer su funcionamiento en caso de problemas comunes.
- Puedes utilizar la consola para visualizar los comandos y verificar su correcto funcionamiento. Utiliza un baudrate de 115200 para esta visualización.
- Para otros problemas o inquietudes, comunícate con nuestro equipo de soporte técnico al siguiente número: +593983305874.

Con estas funciones avanzadas, el dispositivo LILYGO T-SIM7600G ofrece un rendimiento mejorado y una mayor flexibilidad para adaptarse a tus necesidades de rastreo y seguridad. Si tienes alguna pregunta o necesitas asistencia adicional, no dudes en comunicarte con nuestro equipo de soporte técnico.

¡Gracias por elegir el Dispositivo LILYGO T-SIM7600G para tus necesidades de rastreo y seguridad!

Solución de problemas

Si experimentas algún problema con el dispositivo LILYGO T-SIM7600G, consulta las siguientes soluciones para resolver situaciones comunes:

1. Problema: El dispositivo no se enciende.

- Verifica que la batería esté correctamente instalada y completamente cargada.
- Asegúrate de que el interruptor del dispositivo esté en posición de encendido (ON).
- Si el problema persiste, intenta reiniciar el dispositivo presionando el botón de reset.

2. **Problema: Pérdida de señal GPS o conexión móvil.**

- Verifica que las antenas GPS y de red móvil estén correctamente conectadas.
- Asegúrate de estar en un área con cobertura adecuada de GPS y red móvil.
- Si estás en un área con mala cobertura, intenta cambiar de ubicación o desplazarte a un lugar con mejor señal.

3. **Problema: El dispositivo no envía datos a Ubidots.**

- Confirma que el dispositivo esté correctamente configurado con las credenciales de Ubidots.
- Verifica que el dispositivo tenga acceso a Internet y que la tarjeta SIM esté activa y con saldo.
- Si el problema persiste, comunícate con nuestro equipo de soporte técnico.

4. **Problema: El dispositivo no responde o muestra errores en la consola.**

- Intenta reiniciar el dispositivo presionando el botón de reset.
- Verifica que los cables y conexiones estén bien conectados y en buen estado.
- Si el problema continúa, comunícate con nuestro equipo de soporte técnico para obtener asistencia.

Consejos de seguridad

Para garantizar un uso seguro y efectivo del dispositivo LILYGO T-SIM7600G, te ofrecemos los siguientes consejos:

1. **Mantén la Información Confidencial:** No compartas la ubicación del dispositivo ni las credenciales de acceso a la plataforma con personas no autorizadas.
2. **Actualizaciones de Seguridad:** Mantén el firmware del dispositivo actualizado para beneficiarte de mejoras de seguridad y rendimiento.
3. **Monitoreo Regular:** Verifica periódicamente la ubicación y estado del dispositivo para asegurarte de su correcto funcionamiento.
4. **Protección del Dispositivo:** Evita exponer el dispositivo a condiciones extremas, humedad o impactos que puedan afectar su rendimiento.
5. **Uso Responsable:** Utiliza el dispositivo de manera ética y legal, respetando la privacidad y las regulaciones locales

Términos y glosario

Aquí se incluyen algunos términos y definiciones clave relacionados con el dispositivo LILYGO T-SIM7600G:

1. **Geocerca:** Una zona delimitada en el mapa donde el dispositivo debe permanecer para estar dentro de la zona segura.

2. **Widget:** Un componente visual en el dashboard de Ubidots que muestra información específica, como el porcentaje de batería.
3. **KML:** Un formato de archivo que contiene datos de ubicación geoespaciales, utilizado para visualizar rutas en aplicaciones como Google Earth.
4. **Firmware:** El software integrado en el dispositivo que controla su funcionamiento y rendimiento.

Actualizaciones y versiones

Para consultar las últimas actualizaciones y versiones del firmware del dispositivo LILYGO T-SIM7600G, comunícate con nuestro equipo de soporte técnico.

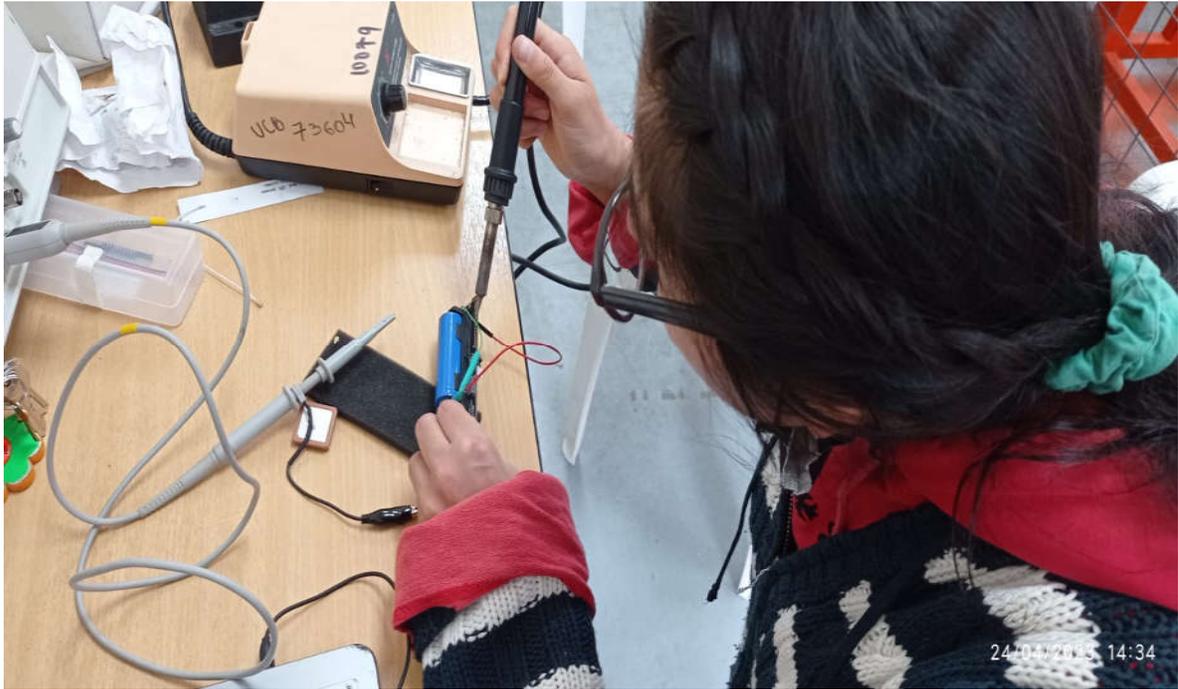
ANEXO K: Recolección de datos ruta outdoor.



ANEXO L: Medición del voltaje de saturación la batería.



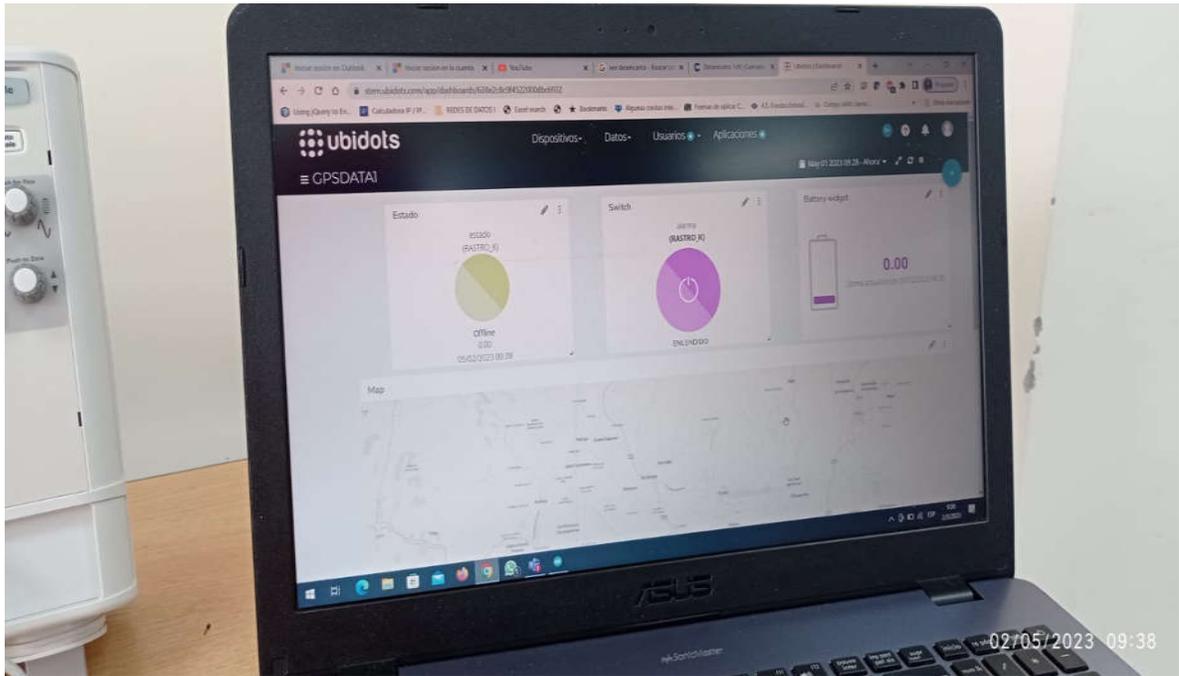
ANEXO M: Suelda del divisor de voltaje.



ANEXO N: Medición de la corriente con osciloscopio y punta amperimétrica.



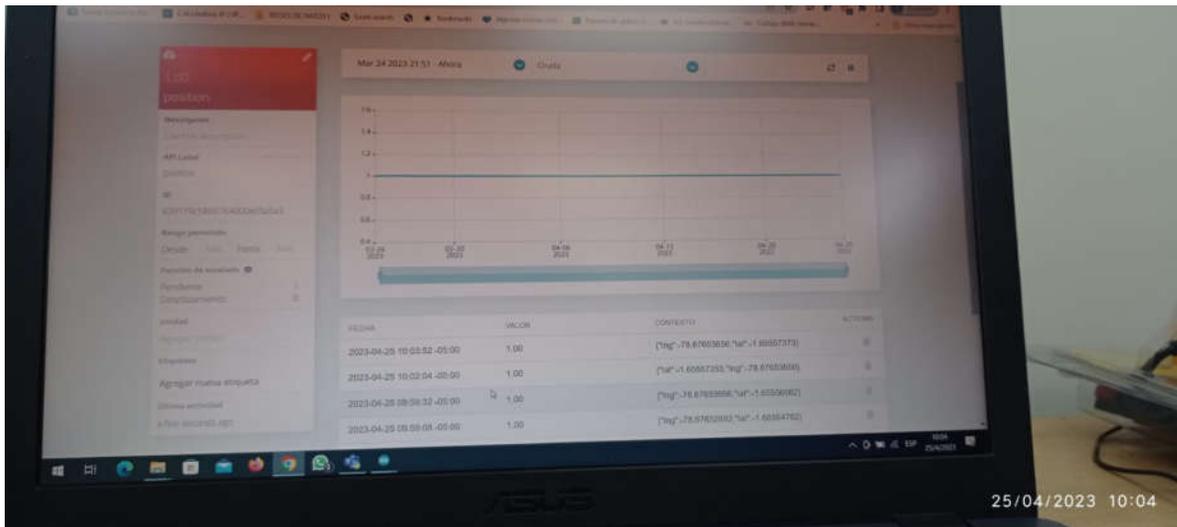
ANEXO O: Tablero de Ubidots.



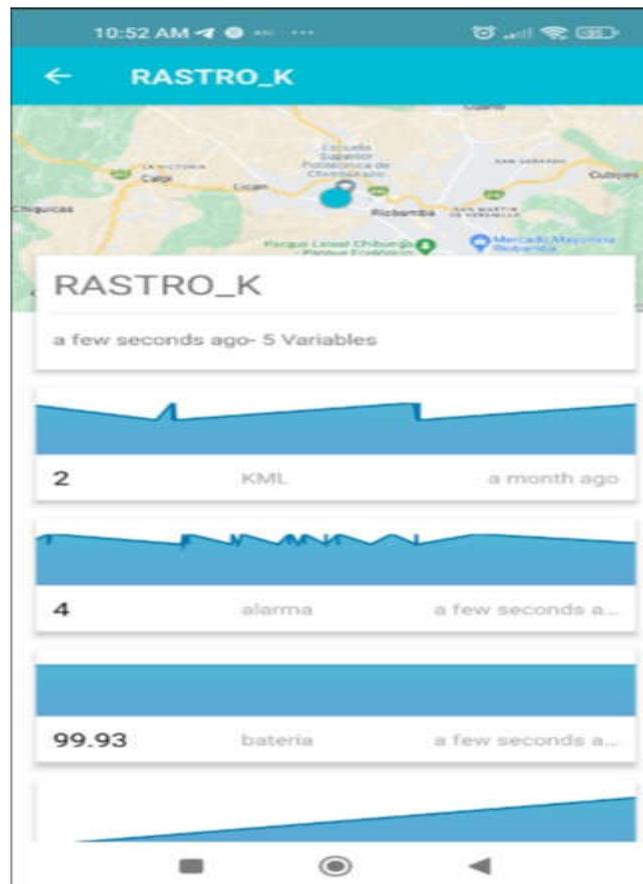
ANEXO P: Ubicación del módulo TTGO T-SIM7600G-H R2 en la caja.



ANEXO Q: Registro de las coordenadas en la variable position.



ANEXO R: Tablero de Ubidots aplicación celular.





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO



DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 09/ 11 / 2023

INFORMACIÓN DE LA AUTORA
Nombres – Apellidos: Karina Monserrate Tamayo Ortiz
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: informática y Electrónica
Carrera: Telecomunicaciones
Título a optar: Ingeniera en Electrónica Telecomunicaciones y Redes
f. Analista de Biblioteca responsable: <p style="text-align: right;">Ing. Fernanda Arévalo M.</p>

