



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**TEMA: “DISEÑO, ANÁLISIS Y DESARROLLO DE UN SISTEMA  
PROTOTIPO DE SEGUIMIENTO Y DISCRIMINACIÓN DE  
TERMINALES DE USUARIO, MEDIANTE EL USO DEL DISPOSITIVO  
IRIDIUM 9603”**

**AUTOR: CANDO BARROS, DANIELA ESTEFANÍA**

**DIRECTOR: ING. TINOCO SALAZAR, ALEXIS FABRICIO**

**SANGOLQUÍ**

**2020**



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO, ANÁLISIS Y DESARROLLO DE UN SISTEMA PROTOTIPO DE SEGUIMIENTO Y DISCRIMINACIÓN DE TERMINALES DE USUARIO, MEDIANTE EL USO DEL DISPOSITIVO IRIDIUM 9603**”, fue realizado por la señorita **Cando Barros, Daniela Estefanía**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 17 de enero de 2020



Ing. Alexis Fabricio Tinoco Salazar.



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Cando Barros, Daniela Estefanía**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Diseño, análisis y desarrollo de un sistema prototipo de seguimiento y discriminación de terminales de usuario, mediante el uso del dispositivo iridium 9603”**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 17 de enero de 2020

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Daniela Cando', is written over a horizontal dashed line.

Daniela Estefanía Cando Barros

C.C: 1720334968



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Cando Barros, Daniela Estefanía** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Diseño, análisis y desarrollo de un sistema prototipo de seguimiento y discriminación de terminales de usuario, mediante el uso del dispositivo IRIDIUM 9603.”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 17 de enero de 2020

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Daniela Estefanía Cando Barros', is written over a horizontal dashed line.

Daniela Estefanía Cando Barros

C.C: 1720334968

## DEDICATORIA

Principalmente a mi madre Verónica, por el esfuerzo, cariño y sacrificio dado para salir adelante juntas y cumplir muchas metas, por brindarme tu sabiduría en cada etapa de mi vida, por eso esta meta cumplida es dedicada para ti.

También a mi familia (Víctor, Rosario, Gaby, Washo), porque han sido un ejemplo a seguir en todo momento, demostrando que la vida no es fácil pero que los guerreros se levantan para ganar la batalla.

*Para ustedes con mucho cariño.*

## AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios, por concederme la sabiduría para poder llegar a alcanzar cada meta en mi vida, por darme su mano para levantarme en cada caída y llenarme de fuerzas nuevas en cada batalla, porque a pesar de que el camino no ha sido fácil siempre he tenido autoridades que han sabido guiar mi camino en todo momento.

Agradezco a mi mami Verónica, por ser una madre ejemplar, que me ha enseñado que en la vida se debe luchar hasta el final, y no rendirse ante las adversidades, te agradezco mami por ser esa persona que nunca me ha abandonado, has sabido ser mi madre demostrando fortaleza, ser mi amiga y demostrarme que puedo confiar en ti en todo momento, ser mi soporte para que en cada problema salir juntas adelante. También agradezco a mi familia que aunque pequeña me ha demostrado como se forma el puño aplastante, mi abuelito, papi Víctor mi mayor ejemplo de fortaleza y seguridad, gracias porque en cada paso de mi vida has sabido entregar una palabra de aliento y también de corrección cuando lo necesitaba, por ser esa cabeza de hogar que sabe guiar a su familia a lo más alto; agradezco a mi abuelita, mami Charo, mi compañera en todo momento, la que me ha cuidado desde chiquita, con la cual hemos pasado muchos momentos cuidándonos una a la otra, me has enseñado como ser valiente y trabajadora; agradezco a mi tía, mentora, amiga y de cariño feita, Gaby te agradezco por cada jalón de orejas, por cada palabra que me ha ayudado a levantarme, te agradezco porque has abierto brecha para toda la familia, y me has enseñado con hechos, como se guerrea y se sale adelante ante cualquier adversidad; agradezco a mi tío Washo, feito enserio te agradezco porque a pesar que vives lejos, cuando hemos compartido momentos me

has dado palabras sabias que me han ayudado a crecer como persona y saber entender que aunque la vida sea dura, hay que saber pararse y seguir adelante.

Agradezco a mi director de tesis Ing. Alexis Tinoco, quien supo guiarme en todo momento para poder realizar este trabajo, le agradezco por su paciencia y por sus conocimientos entregados para poder avanzar y terminar este proyecto de titulación.

A mi mejor amigo Jona quien, aunque matando de iras me ha demostrado su apoyo durante toda la carrera soportando mi buen y mal genio; haciéndome tranquilizar en los momentos que ya parecían imposibles y ayudándome a seguir adelante, Chamarro enserio te agradezco porque siempre has sabido como levantar mi ánimo o simplemente poner tu hombro para poder llorar. Agradezco a mis compañeros, amigos y se puede llamar familia, mis Guaifis (Erika, Naty, Chinty, Pao, Erick, Andrés, Jorge), porque hemos formado un gran grupo no solo de estudio, al ayudarnos unos a otros y reunirnos para estudiar, sino también un buen grupo de amigos, como nos llamaron la esquina del sabor, porque siempre veíamos la forma de disfrutar cada momento en la universidad hasta el final.

Agradezco al Centro de Investigación de Aplicaciones Militares – CICTE, de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, por abrirme las puertas en este último esfuerzo para culminar mi carrera; y ayudarme con el soporte técnico, acceso a sus instalaciones y equipos durante la ejecución de este trabajo de titulación.

*Gracias a todos de corazón*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS .....</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>xi</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xv</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>1</b>
<b>1. DESCRIPCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción. ....	1
1.2. Justificación e Importancia .....	3
1.3. Alcance del Proyecto.....	3
1.4. Objetivos .....	4
1.4.1. General .....	4
1.4.2. Específicos.....	4
1.5. Resumen de Contenidos.....	5
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>6</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
2.1. Red Satelital .....	6
2.1.1. Ventajas .....	8
2.1.2. Desventajas.....	8

2.2. Red Satelital Iridium .....	9
2.2.1. Ráfaga de datos cortos ( <i>Short Burst Data - SBD</i> ). .....	12
2.3. Transceiver Iridium 9603 .....	13
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>16</b>
<b>3. DISEÑO Y DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA.....</b>	<b>16</b>
3.1. Consideraciones de diseño .....	16
3.2. Diseño Estructural.....	17
3.2.1. Diseño de la Estructura.....	17
3.3. Diseño de hardware.....	17
3.4. Diseño del Software .....	18
3.4.1. Ventana de LOGIN.....	19
3.4.2. Ventana de Configuración.....	19
3.4.3. Ventana de Mensajería .....	21
3.4.1. Ventana de Registro de Datos .....	22
3.4.2. Ventana de Mapa.....	25
3.4.3. Ventana de Ayuda .....	27
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>29</b>
<b>4. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>29</b>
4.1. Pruebas realizadas con dispositivo GPS .....	29
4.1.1. Descripción de los puntos referenciales. ....	29
4.1.2. Análisis de posicionamiento GPS .....	30

4.2. Pruebas de transmisión con el sistema satelital Iridium.....	32
4.3. Pruebas de funcionamiento del prototipo.....	34
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>41</b>
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>41</b>
5.1. Conclusiones .....	41
5.2. Recomendaciones.....	42
5.3. Trabajos Futuros.....	43
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>44</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>45</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Resultados de mediciones de posicionamiento. ....	31
<b>Tabla 2.</b>	Datos de Localización, CIGMA e I-TRACK.....	40

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Elementos clave del sistema de Comunicación de Iridium .....	10
<b>Figura 2.</b> Red Satelital Iridium.....	11
<b>Figura 3.</b> Configuración de los Spots para cada región de cobertura de Iridium.....	12
<b>Figura 4.</b> Arquitectura SBD .....	13
<b>Figura 5.</b> Iridium 9603 .....	14
<b>Figura 6.</b> Kit para desarrollador Iridium 9603 .....	15
<b>Figura 7.</b> Diagrama de bloques del prototipo.....	16
<b>Figura 8.</b> Carcaza en MDF, para albergar el bloque GPS y pantalla LCD. ....	17
<b>Figura 9.</b> Circuito esquemático de GPS .....	18
<b>Figura 10.</b> Ventana de LOGIN para el acceso al programa desarrollado. ....	19
<b>Figura 11.</b> Ventana de configuración manual de la comunicación con la tarjeta IRIDIUM 9603. ....	20
<b>Figura 12.</b> Diagrama de flujo del funcionamiento de la ventana de configuración. ....	21
<b>Figura 13.</b> Ventana de mensajería y envío automático. ....	22
<b>Figura 14.</b> Diagrama de flujo de la ventana de mensajería automática.....	23
<b>Figura 15.</b> Ventana de recepción del registro de datos de la aplicación. ....	24
<b>Figura 16.</b> Diagrama de flujo correspondiente al registro de datos. ....	25
<b>Figura 17.</b> Ventana de comprobación por mapa. ....	26
<b>Figura 18.</b> Diagrama de flujo de la ventana del mapa dinámico.....	26
<b>Figura 19.</b> Ventana de ayuda implementada en el programa. ....	27
<b>Figura 20.</b> Diagrama de flujo de la ventana de ayuda.....	28
<b>Figura 21.</b> Puntos referenciales para pruebas del dispositivo GPS.....	29
<b>Figura 22.</b> Coordenadas CICTE: (a) Open Camera (b) GPS u-Block NEO-6M .....	30
<b>Figura 23.</b> Comandos AT con programa Putty. ....	32
<b>Figura 24.</b> Comando para verificar la calidad de señal .....	33
<b>Figura 25.</b> Preparación de envío, verificación del mensaje a enviar.....	33
<b>Figura 26.</b> Verificación de mensaje a enviar.....	34
<b>Figura 27.</b> Localización de Mojones escogidos. ....	35

<b>Figura 28.</b> Ingreso por usuario a la aplicación. ....	35
<b>Figura 29.</b> Ventana principal para selección de submenús. ....	36
<b>Figura 30.</b> Ventana de registro de cada una de las fuentes de señal GPS. ....	36
<b>Figura 31.</b> Comprobación de conexión con la tarjeta.....	37
<b>Figura 32.</b> Sub – ventana Mensajería, Botones de configuración previa para envío. ....	38
<b>Figura 33.</b> Ejemplo de conexión con una de las fuentes de señal GPS. ....	38
<b>Figura 34.</b> Ventana de Recepción .....	39
<b>Figura 35.</b> Ubicación en el mapa del mojón 5, CIGMA e I-Track .....	40

## RESUMEN

El seguimiento y rastreo es una necesidad actualmente, por esto se presenta un prototipo que permita conocer y transmitir la localización de un usuario u objetivo en tiempo real. Para conocer su ubicación, realizar el seguimiento o recolectar datos del trayecto. Existen propuestas similares en la actualidad que utilizan la red celular para realizar la transmisión de datos. Por lo cual se plantea como objetivo desarrollar un prototipo de un sistema de seguimiento y discriminación de terminales de usuario de telemetría con la ayuda de la integración de los sistemas satelitales Iridium™ y GPS (Global Positioning System), a través de la combinación de dispositivos del tipo Original Equipment Manufacturer (OEM). La orientación del proyecto fue incrementar la capacidad de respuesta de los sistemas de seguridad y vigilancia públicos. Se realizó un estudio y análisis de la red satelital Iridium para conocer sus principales características y el funcionamiento de sus dispositivos para la transmisión de datos. Ese estudio fue reforzado con la placa de desarrollo Development kit denominada Iridium 9603N que es el conjunto de software y hardware orientado al desarrollo de aplicaciones para el transceiver 9603 de Iridium. Adicionalmente, para determinar la posición geo-referenciada y poder realizar el seguimiento (tracking) de uno o varios objetivos se eligió un dispositivo con capacidad de acceder y procesar la posición global (latitud, longitud). También, se diseñó un software que permita elegir el objetivo, tomar los datos de su posición, almacenarlos, realizar el envío de la información valiéndose de la red satelital de Iridium.

### **PALABRAS CLAVES:**

- **IRIDIUM**
- **GPS**

- **TRACKING**
- **ARDUINO**

## **ABSTRACT**

Tracking and tracing is a necessity nowadays, that is why a prototype is presented that allows knowing and transmitting the location of a user or target in real time. To know its location, track it or collect data from the journey. There are similar proposals at present that use the cellular network to carry out data transmission. Therefore, the objective is to develop a prototype of a tracking and discrimination system for telemetry user terminals with the help of the integration of Iridium™ and GPS (Global Positioning System) satellite systems, through the combination of Original Equipment Manufacturer (OEM) type devices. The focus of the project was to increase the responsiveness of public safety and surveillance systems. A study and analysis of the Iridium satellite network was carried out to find out its main characteristics and the operation of its data transmission devices. This study was reinforced with the development kit called Iridium 9603N, which is a set of software and hardware aimed at developing applications for the Iridium 9603 transceiver. Additionally, to determine the geo-referenced position and to be able to track one or several targets, a device with the capacity to access and process the global position (latitude, longitude) was chosen. Also, a software was designed that allows to choose the target, take the data of its position, store it, and send the information using the Iridium satellite network.

### **KEY WORDS:**

- **IRIDIUM**
- **GPS**
- **TRACKING**
- **ARDUINO**

## CAPÍTULO I

### 1. DESCRIPCIÓN

#### 1.1. Introducción.

En la actualidad es de gran importancia mantenerse comunicados, y existen diferentes redes de comunicación, en las cuales sus funciones principales están en permitir comunicación entre personas, compartir recursos, envío y recepción de datos, acceso a información, entre otros. Lo antes mencionado se lo realiza a través de medios técnicos que permiten la comunicación a distancia, utilizando diversos medios como: aire, cable de cobre, fibra óptica, red celular, red satelital; por los cuales la información es enviada de forma analógica, digital o mixta, siendo estos relevantes ante el usuario (Universidad de Cauca, 2009).

Las tecnologías inalámbricas son de gran importancia en la actualidad especialmente en lugares donde no pueden ser instaladas redes cableadas, es por estos que las redes celulares y satelitales han tenido gran acogida, por todo tipo de usuarios, pues se tiene la ventaja de tener una gran cobertura para la comunicación y adicional cubren la necesidad de movilidad (Neto Mullo, 2006). Teniendo en cuenta que las redes celulares si bien es cierto tienen un área de cobertura grande, estas son limitadas de acuerdo con la cobertura de la red del proveedor que puede limitarse a un área nacional, mientras que las redes satelitales abarcan la totalidad del área terrestre, dado que los satélites se encuentran distribuidos de manera uniforme alrededor de la tierra.

Las redes satelitales cuentan con una estación en tierra que controla el funcionamiento de estas, y la red del usuario (EcuRed, 2014), estas redes son de alto costo dado que permiten comunicación a nivel mundial por lo cual su uso se ha visto limitado a empresas grandes y también a uso militar,

dado que no tiene limitaciones en distancias, los usuarios que cuenten con este tipo de servicio pueden tener comunicación en cualquier lugar sin pensar en costos adicionales por no estar en el territorio en el que se contrató el servicio, dado que estos son a nivel global, entre las empresas que ofrecen estos servicios se encuentran: Globalstar e Iridium.

La empresa Globalstar cuenta con una red de 48 satélites de primera generación y 24 satélites fueron enviados desde el año 2010 al año 2013, correspondiente a la segunda generación de satélites de esta empresa distribuidos en órbita baja, los cuales no ofrece una cobertura total del área terrestre, esta empresa ofrece cobertura primaria cubriendo el área de los continentes.

La empresa Iridium cuenta con 66 satélites en órbita baja, y también ha comenzado a lanzar satélites que corresponden a la generación de Iridium Next, con los cuales cubre la totalidad del área terrestre, ofreciendo a sus usuarios conexión total en cualquier lugar de la tierra, es por eso por lo que para el presente proyecto se ha utilizado el dispositivo Iridium 9603 conectado a la red satelital de esta empresa, para poder realizar el envío y recepción de datos para la localización de un usuario.

El rastreo de aviones, vehículos, entre otros; ha tenido un incremento en los últimos años tanto para empresas como en el área militar, dado la inseguridad que existe en la actualidad muchos de estos rastreos se los realiza utilizando para el envío de datos las redes celulares, teniendo en cuenta que estas son limitadas a ciertas áreas, se ha propuesto utilizar el dispositivo Iridium 9603, para realizar la transmisión de datos obtenidos por un dispositivo GPS y que estos puedan ser recibidos en un correo y procesados por un personal de control que pueda monitorear la ubicación del terminal en todo momento.

## **1.2. Justificación e Importancia**

El presente proyecto busca desarrollar un prototipo de un sistema que permita detectar, identificar, hacer el seguimiento y ubicar terminales de usuario de telemetría del sistema IRIDIUM para sistemas públicos de seguridad y vigilancia, con tecnología desarrollada en laboratorio.

Los principales problemas que se presentan a la hora de usar sistemas ya existentes en el mercado son: los altos costos de los existentes y de alta reserva (en este caso propietario de IRIDIUM), muchas veces la falta de soporte, así como también la deficiencia en la transferencia de tecnología por ser sistemas cerrados de producción. Contrariamente los sistemas que se desarrollan en base a la investigación aplicada e ingeniería inversa pueden subsanar estos inconvenientes con costos muy reducidos y con garantía de una transferencia de tecnología real dentro de todos los procesos de implementación. Por lo tanto, el seguimiento basado en la detección e identificación debe superar estas dificultades mediante el uso de diferentes estrategias de tracking, lo que a través de la investigación y desarrollo pueden ser solventados dando como resultado mejores herramientas de detección y seguimiento.

## **1.3. Alcance del Proyecto**

El presente proyecto de investigación tiene como finalidad desarrollar un prototipo eficaz y eficiente para la discriminación de objetivos, de manera que el sistema posea la capacidad automática o semi automática de identificar, reconocer y elegir un objetivo, el cual permita recolectar los datos de localización a través de algoritmos, procesos y métodos, para finalmente ser implementados en sistemas de vigilancia y seguridad de tipo público.

Inicialmente se analizó el funcionamiento de la red Iridium y el dispositivo 9603, para este último es de gran importancia tener en cuenta que este debe ser implementado en un prototipo que cuente con hardware y software integrados para poder realizar el rastreo de un usuario de telemetría, lo cual consiste en la obtención del dato de localización que en este caso se lo realizó con un dispositivo GPS, posteriormente la transmisión del dato se la realizó con la conexión del dispositivo 9603 a la red de Iridium, lo siguiente es la visualización de los datos con la ayuda de software que recoge la información enviada por la red Iridium al correo asociado y finalmente este procesa el dato y permite visualizar el dato recogido por el GPS.

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. General**

Desarrollar un prototipo de un sistema de seguimiento y discriminación de terminales de usuario de telemetría del sistema satelital Iridium utilizando el terminal 9603.

##### **1.4.2. Específicos**

- Realizar el diagnóstico de cómo operan los terminales de usuario de telemetría del sistema Iridium.
- Desarrollar el prototipo de un sistema, basado en la detección de terminales de usuario de telemetría del sistema satelital Iridium 9603.
- Prover a las instituciones vinculadas con la prestación de servicios de emergencias, información relevante que permita coordinar la respuesta ante un incidente o emergencia.
- Disponer de tecnología basada en la investigación orientada a aplicaciones reales.

### **1.5. Resumen de Contenidos**

El proyecto de investigación realizado consta de 5 capítulos organizados de la siguiente manera.

El Capítulo I consta de la introducción, justificación e importancia, el alcance y los objetivos planteados para el desarrollo del presente proyecto.

El Capítulo II contiene el fundamento teórico correspondiente a redes satelitales tomando en cuenta las ventajas y desventajas de estas, y enfocándose en la red satelital de Iridium y el dispositivo Iridium 9603 con sus características.

El Capítulo III, tiene las consideraciones que se tomó en el diseño, también explica el diseño del dispositivo físico que incluye el diseño de la carcasa, el diseño de la placa electrónica también explica el diseño de software, el cual es un programa que permite la fácil comunicación con el dispositivo físico, y la recepción de los datos a través de la red satelital Iridium.

El Capítulo IV detalla diferentes pruebas realizadas al prototipo final, como prueba de ubicación, prueba de conexión y prueba de funcionamiento completo.

El Capítulo V es el cierre del proyecto, donde se enlistan diferentes conclusiones y recomendaciones, así como también los trabajos que se planean a futuro.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Red Satelital

Las primeras exploraciones de la atmósfera terrestre, como preámbulo a la carrera de exploración espacial, fue realizada con globos aerostáticos. Su rango de operación solo alcanzaba los 30 km de altitud y entregaban informaciones geográficas básicas del relieve terrestre y algunas características de la ionosfera. Posteriormente, con la evolución de la tecnología de los cohetes de combustible sólido fue posible llevar esa curiosidad a alturas que bordeaban los 200 km, recogiendo información de presión, densidad y temperatura. Con base a todo el desarrollo alemán de la Segunda Guerra Mundial relativa a motores de cohetes de estado sólido, plataformas inerciales y cálculos balísticos de precisión la humanidad vio cada vez más cercana de sus manos la frontera del espacio.

La Unión Soviética fue la primera en colocar, con éxito, un satélite en órbita (*Sputnik 1*) el 4 de octubre de 1957, lo cual desencadenó la carrera espacial por parte de las grandes Superpotencias – Estados Unidos de Norte América (USA) y la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS). Casi de forma inmediata, los avances tecnológicos que se prosiguieron permitieron enviar satélites destinados a las Telecomunicaciones. En 1960 se lanzó el Proyecto Echo, el cual puso en órbita al Echo I, destinado a posicionar el primer repetidor pasivo orbital para las comunicaciones satelitales. En 1962 se lanzó el Telstar I, el cual implementó el primer enlace televisivo internacional. En sus orígenes el área que se benefició fuertemente de ese tipo de satélites fue las Telecomunicaciones, donde las órbitas geoestacionarias fueron primordialmente utilizadas. La

implementación de sistemas satelitales de comunicación en orbitas bajas terrestres (LEO) son relativamente recientes (Andreula). Se debe resaltar que inicialmente se consideraba que los satélites no eran necesarios en el área militar, sino que iban a ser utilizados como herramienta científica y de propaganda política.

Las redes satelitales consisten en un conjunto definido de satélites individuales. Cada uno de los cuales está constituido por bloques funcionales denominados de: a) transponder o bloque de recepción / transmisión, b) conjunto de redes de antenas, c) varias etapas electrónicas, telecomando, telecontrol y posicionamiento, y d) bloque de interconexión satelital. Todas las redes están vinculadas a los segmentos de control, usuarios y espacial. El segmento de control es constituido por estaciones base que se encuentra en la tierra, las cuales implementan y monitorean sus funciones (salud del satélite). El segundo segmento está relacionado con el control/supervisión del tráfico de información transmitidas y recibidas por los usuarios y el último está constituido por los propios satélites y su red de interconexión (EcuRed, 2014).

La IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) ha definido las bandas de frecuencias más utilizadas para las redes satelitales como siendo (Calero, 2007):

- Banda L (de 1 GHz a 2 GHz).
- Banda C (de 4 GHz a 8 GHz).
- Banda Ku (de 12 GHz a 14 GHz).
- Banda Ka (de 26,5 GHz a 40 GHz).

### **2.1.1. Ventajas**

Las redes satelitales tienen las siguientes ventajas (Coronado Alejos, 2013):

- El cliente posee control garantizado sobre sus telecomunicaciones.
- Rápida respuesta, con respecto a enlaces terrestres.
- Incremento de flexibilidad.
- Fácil control de la red.
- Servicio mundial, incluso en áreas donde no hay comunicación terrestre.

### **2.1.2. Desventajas**

Las redes satelitales tienen las siguientes desventajas (Coronado Alejos, 2013):

- Plan económico de emplazamiento: Inicialmente se tiene gastos de inversión elevados y pueden no llegar a ser competitivos frente a redes basados en recursos terrestres.
- Problemas radioeléctricos:
  - En aplicaciones como telefonía y videoconferencia el retardo de propagación típico de 0,5 s puede traer problemas, aunque en otras aplicaciones como: actualización de software, e-mail, transferencia de ficheros; este retardo no es perceptible.
  - Si un satélite no está activo, la red puede estar indisponible; este problema se puede solucionar con un cambio de frecuencia, polarización o, de ser el caso, redireccionar las antenas de interconexión hacia otro satélite. Además, la comunicación se encuentra susceptible a interferencias provenientes tanto de la tierra, del espacio o de las capas de la atmósfera donde se produce la propagación.

- Problemas de privacidad: Si se utiliza un satélite geoestacionario o de baja órbita (LEO) como repetidor, un usuario no autorizado podría recibir una portadora y de modular la información; por lo cual se debe encriptar la información.

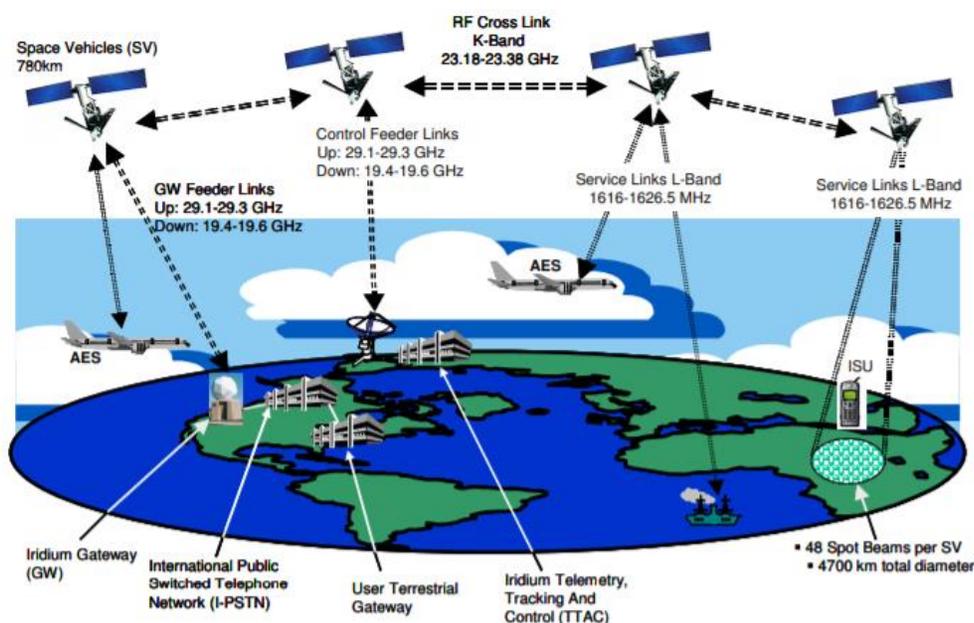
Teniendo en mente todo lo expuesto anteriormente se justifica la creación de redes que permitan la comunicación entre diferentes puntos que no son alcanzados por enlaces terrestres. Una de las redes creadas con el objetivo de facilitar la comunicación global es la Red Satelital de Iridium que será descrita a continuación.

## **2.2. Red Satelital Iridium**

Esta red fue diseñada por Motorola, con el fin de proveer servicios de comunicación satelitales con una cobertura a nivel global. Inicialmente su diseño se componía de 77 satélites, número que está relacionado al número atómico del elemento Iridio. Su objetivo es proveer servicios de voz y datos en cualquier lugar, incluyendo lugares en los que la cobertura fija y celular no tiene acceso o presenta limitaciones (Fuentes, 2008). El elevado costo de estos servicios como, por ejemplo, 7 dólares por minuto, llevo a la compañía a la quiebra pues la telefonía con la tecnología GSM ofrecía una menor relación costo/beneficios. Además, no se tenía una red que pueda abarcar la comunicación de datos con una alta velocidad pues su diseño inicial fue direccionado solo para comunicación de voz.

Iridium cuenta con satélites completamente operacionales en órbita y repuestos que se consideran respaldo (*backup*) de la red. Adicionalmente, cuenta con una infraestructura relacionada que incluye estaciones de control principal y respaldo, Gateway de Iridium e instalaciones de seguimiento, telemetría y control de abonados.

Cada satélite tiene comunicación con las unidades de abonado, incluyendo las estaciones terrenas de Aeronaves (AES). Cada satélite utiliza tres redes de antenas *phased-array* en banda L para los enlaces de usuario. Cada una de estas contiene una serie de módulos *transponders* para el intercambio de información tierra/satélite y viceversa. La red proporciona servicio de enlace de usuario comunicándose en la banda L (entre 1616MHz a 1626,5 MHz) (IRIDIUM SATELLITE SYSTEM, 2002). En la Figura 1, se muestra los elementos clave del sistema de Comunicación de Iridium,



**Figura 1.** Elementos clave del sistema de Comunicación de Iridium

Fuente: (IRIDIUM SATELLITE SYSTEM, 2002)

Históricamente, en el diseño original de la red Iridium fueron considerados 77 satélites. Posteriormente solo se utilizaron 66 satélites equidistribuidos y equiespaciados en seis planos de baja órbita (LEO). El servicio inicialmente ofrecido fue direccionado a llamadas de voz, siendo su mayor impacto en los usuarios exploradores y corresponsables de medios. Los sectores militares

mostraron su interés en el sistema al ser ofrecido operaciones globales, en lugares que no se encontraban cubiertos por los satélites geo sincrónicos INMARSAT (*International Maritime Satellite Organization*) (Millard, 2016). En la Figura 2, se ilustra la Red Satelital de Iridium.



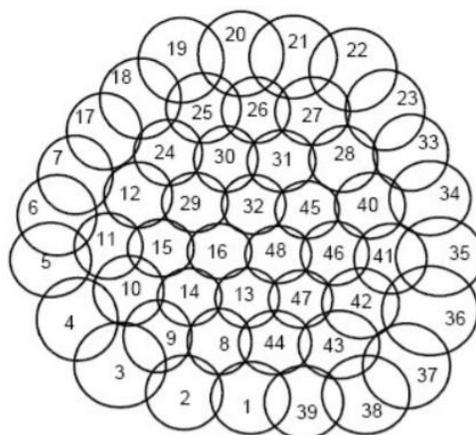
**Figura 2.** Red Satelital Iridium.

Fuente: (*Communications, 2019*)

Los satélites se encuentran a 780 km de la superficie de la Tierra y viajan aproximadamente a 17000 millas por hora alrededor de esta. Cada satélite completa una órbita en aproximadamente 100 minutos y proyecta un *foot-print* de 48 *spots* sobre la superficie de la tierra. La región cubierta por cada *spot* es de 250 millas de diámetro aproximadamente. De esta forma cada satélite cubra alrededor de 2800 millas de diámetro, considerando, que existe una superposición entre los 48 *spots*. En la Figura 3, se muestra la configuración de la cobertura del *foot-print* de un satélite de Iridium.

Esta red puede interpretarse como una gran malla de satélites interconectados entre sí, puesto que un satélite puede conectarse con los satélites vecinos - 2 en el mismo plano orbital y 2 más en los planos adyacentes. Al momento de ser utilizada para llamadas y datos, esta red se comporta

como la red de telefonía celular, pues al igual que en esta última el usuario no percibe el cambio que existe entre las torres celular al movilizar.



**Figura 3.** Configuración de los Spots para cada región de cobertura de Iridium

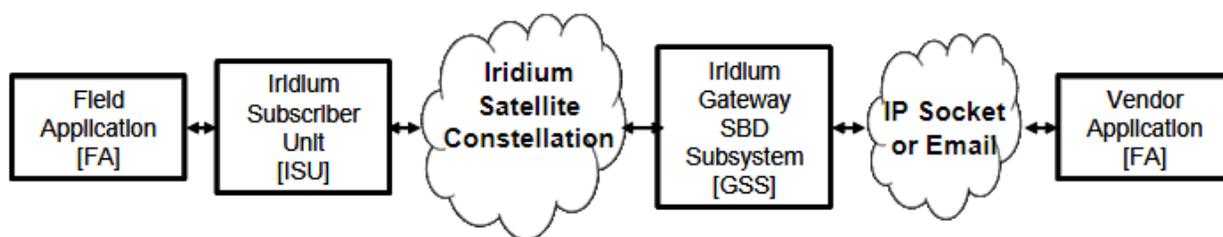
Fuente: (*IRIDIUM SATELLITE SYSTEM, 2002*)

### **2.2.1. Ráfaga de datos cortos (*Short Burst Data - SBD*).**

Servicio de baja latencia proporcionado por Iridium que permite monitorear y actualizar el estado de usuarios como: contenedores, camiones, aviones, barcos, entre otros. Como se indicaba la red satelital Iridium tiene acceso a nivel global por lo cual se puede mantener el monitoreo de usuarios en todo momento y en cualquier lugar del planeta sin la necesidad de realizar múltiples acuerdos de servicio fijos. Es decir, se proporciona identificación y seguimiento de largo alcance (Iridium Satellite LLC, 2013).

La arquitectura SBD, mostrada en la Figura 4, contiene la aplicación de campo (FA) realizada por el desarrollador (hardware y software implementada para una aplicación específica como por ejemplo, rastreo de terminales de usuario), la unidad Iridium de abonado (*Iridium Subscriber Unit - ISU*) (es el modem que permite la transferencia de información generada por la aplicación

específica a la red satelital Iridium), constelación de satélites de la red, subsistema de Gateway SBD, socket de comunicación con la internet (sea una IP o un email, donde llega la información enviada desde la aplicación de campo), aplicación del proveedor (de acuerdo al diseño de la aplicación final, donde se puede visualizar la información enviada) (Iridium Satellite LLC, 2012).



**Figura 4.** Arquitectura SBD

Fuente: (Iridium Satellite LLC, 2012)

Iridium ha diseñado varios dispositivos satelitales entre ellos aparatos de telefonía móvil, equipos de campo para expediciones, módems, entre otros. Uno de los dispositivos actualmente comercializados es el transceiver Iridium 9603. Por ejemplo, algunas de las áreas de aplicación que se han beneficiado de esos equipos son el seguimiento de embarcaciones marítimas o localización de vehículos.

### 2.3. Transceiver Iridium 9603

El transceiver Iridium 9603 es un dispositivo que solo permite el envío de ráfagas de datos cortos (SBD). No permite transmisión de voz, datos de conmutación de circuitos, tampoco ofrece servicio de mensajes cortos (*Short Message Service* - SMS). Este dispositivo no requiere que se utilice un módulo de identidad de abonado (*subscriber identity module* - SIM) que el Iridium 9603 utiliza la red satelital para realizar el envío de datos (Iridium Communications Inc., 2014). En la Figura 5, se puede observar el dispositivo Iridium 9603.



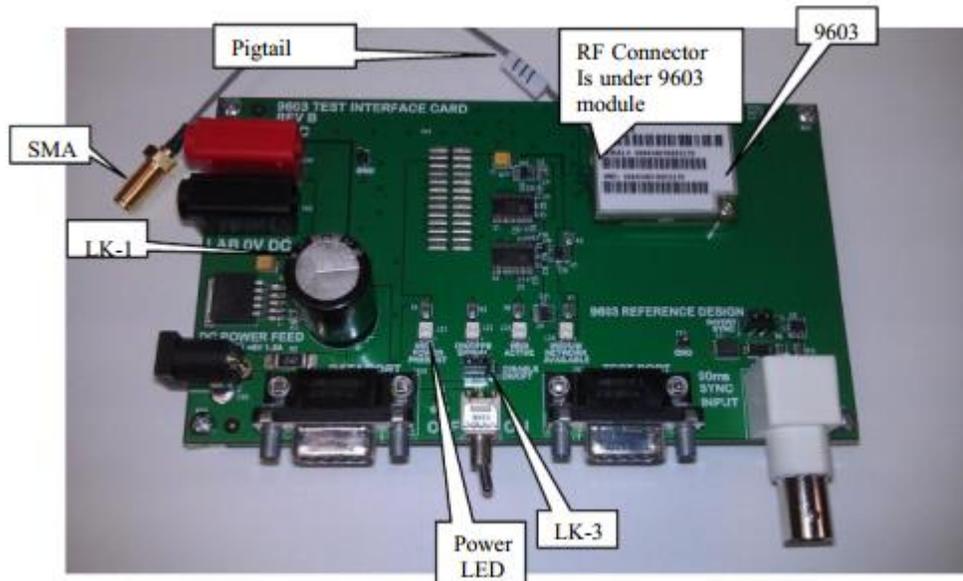
**Figura 5.** Iridium 9603

Fuente: (Iridium Communications Inc., 2014)

Ese dispositivo puede ser complementa con la adición de unidades del tipo OEM dentro de una aplicación de usuario. Los bloques que pueden ser incorporados para el desarrollador de la solución específica son receptores GPS, microprocesador, controladores lógicos, unidades de entradas digitales y análogas, boques de salidas digitales y análogas, alimentación y antenas (Guerrero Rodríguez, 2017). Con el objetivo de facilitar de desarrollo y verificación de aplicaciones de usuario Iridium ofrece el Kit de desarrollo Iridium 9603, presentado en la Figura 6. El hardware disponible en la placa de desarrollo permite que el desarrollador tenga mayores facilidades. El kit está constituido de:

- Transceiver Iridium 9603
- Switch para encendido y apagado
- Puerto de datos RS232, el cual permite que se controle por comando AT al módulo. Se debe tener en cuenta que la configuración predeterminada del puerto es 8 bits, 1 bit de parada, sin paridad, sin handshake y velocidad transmisión de 19200 bps.
- La alimentación puede ser: por una fuente de laboratorio de 5VDC conectada en los terminales rojo y negro, o con un bloque de alimentación CC (6VCC 1.5 A).

- El conector de configuración LK-1 permite elegir la forma de alimentación que tendrá el Kit. Si el jumper se coloca entre las clavijas 1 y 2 se soporta la alimentación de una fuente de laboratorio, mientras que si el jumper esta entre las clavijas 2 y 3 la alimentación externa está habilitada.



**Figura 6.** Kit para desarrollador Iridium 9603

Fuente: (*Iridium Communications Inc., 2017*)

Como se explicó anteriormente la aplicación final, no solo se implementada con el dispositivo Iridium 9603, sino también con componentes adicionales. De esta forma y para cumplir con el objetivo propuesto se utilizará un dispositivo GPS y se escribirá una interfaz de usuario en lenguaje C#.

## CAPÍTULO III

### 3. DISEÑO Y DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA

Con lo expuesto en el capítulo II, se desarrollará un prototipo de localización con base a la red satelital de Iridium. Para eso se utilizará el dispositivo Iridium 9603, una tarjeta Arduino nano con placa GPS u-Block NEO-6M y el software Visual Studio; como se muestra en la Figura 7.



*Figura 7.* Diagrama de bloques del prototipo

#### 3.1. Consideraciones de diseño

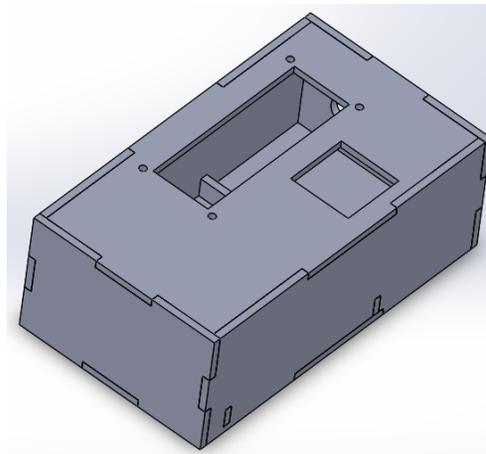
Para el diseño de la aplicación se tomaron en cuenta las siguientes necesidades del usuario:

- Programa debe ser intuitivo y de fácil utilización.
- Debe ser seguro (contar con usuario y clave).
- Debe permitir el ingreso de varios objetivos de seguimiento
- Debe dar la posición del objetivo en tiempo real.
- Debe expresar la posición del objetivo en un mapa.
- No debe cansar la vista del usuario.

## 3.2. Diseño Estructural

### 3.2.1. Diseño de la Estructura

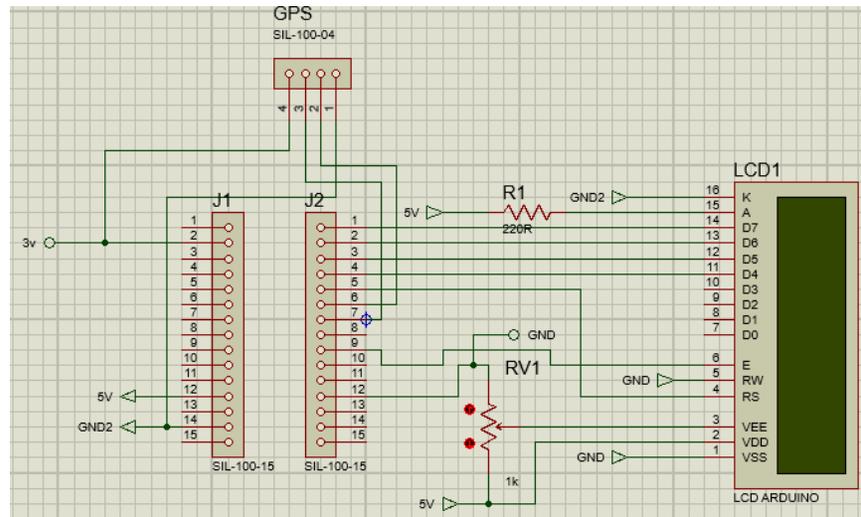
El GPS, junto con la pantalla LCD son alojados en una pequeña carcasa de MDF de 3mm de espesor, la cual se muestra en la Figura 8. La carcasa fue diseñada específicamente para alojar los componentes y permitir la conexión con la tarjeta Iridium vía cables.



*Figura 8.* Carcasa en MDF, para albergar el bloque GPS y pantalla LCD.

## 3.3. Diseño de hardware

Para obtener los datos de localización en tiempo real del dispositivo se utilizó un microcontrolador Arduino nano juntamente con la placa GPS u-Block NEO-6M. Adicionalmente, fue adicionada una pantalla LCD para visualizar los datos de latitud y longitud procesados por el Arduino. El funcionamiento del módulo GPS exige una antena circularmente polarizada a mano derecha para poder decodificar la información enviada por los satélites de geostacionarios de la red GPS. Los elementos antes mencionados se encuentran montados en una placa de acuerdo, al diseño de la Figura 9.



**Figura 9.** Circuito esquemático de GPS

### 3.4. Diseño del Software

Para el diseño del programa se escogió el entorno de desarrollo Microsoft Visual Estudio, el mismo que es compatible con varios lenguajes de programación como: C++, Java, Python, etc. También se diseñó una interfaz de usuario (UI) amigable con el usuario de modo de no sobrecargar en una sola ventana con toda la información. Se optó por hacer un diseño minimalista y separar la información en varias sub-ventanas en forma de pestañas, esto es:

- Ventana de registro o LOGIN.
- Ventana de configuración
- Mensajería
- Registro de datos
- Mapa
- Ventana de Ayuda

### 3.4.1. Ventana de LOGIN

En la Figura 10 se muestra la ventana de ingreso de usuario, donde se debe poner el usuario y la clave, e ingresar además un correo donde llegaran los mensajes generados por el programa. Se utilizó una base de datos implementada en el código general del programa, donde se compara el usuario y la clave ingresada.



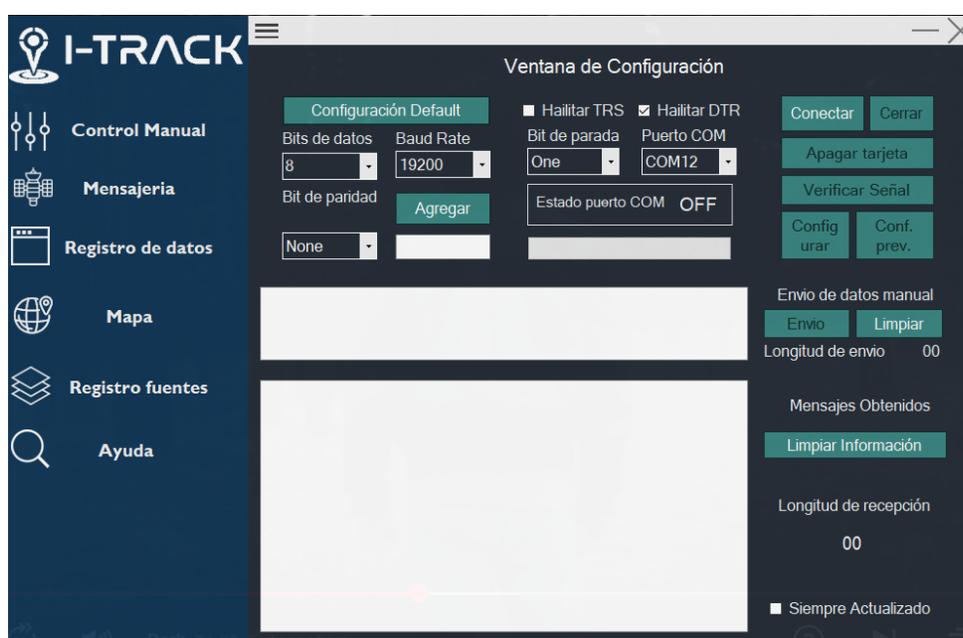
*Figura 10.* Ventana de LOGIN para el acceso al programa desarrollado.

### 3.4.2. Ventana de Configuración

La Figura 11 muestra la ventana de configuración manual, la cual se implementó con el fin de establecer una comunicación serial con la tarjeta de desarrollo 9603. A partir de esa ventada se pueden configurar diferentes parámetros para la comunicación. Los valores preestablecidos de esos parámetros son:

- Bits de datos: 8.
- Comunicación sin bit de paridad.
- Parámetro de baud rate: 19200.

- Bits de parada para la comunicación: 1.
- Selección del puerto de comunicación.
- Habilitar DTR (Terminal de datos listo), para la verificación que la tarjeta se encuentra lista para el envío de datos y mantener deshabilitado TRS (petición de envío), envío de datos desde la red satelital hacia la aplicación de usuario.

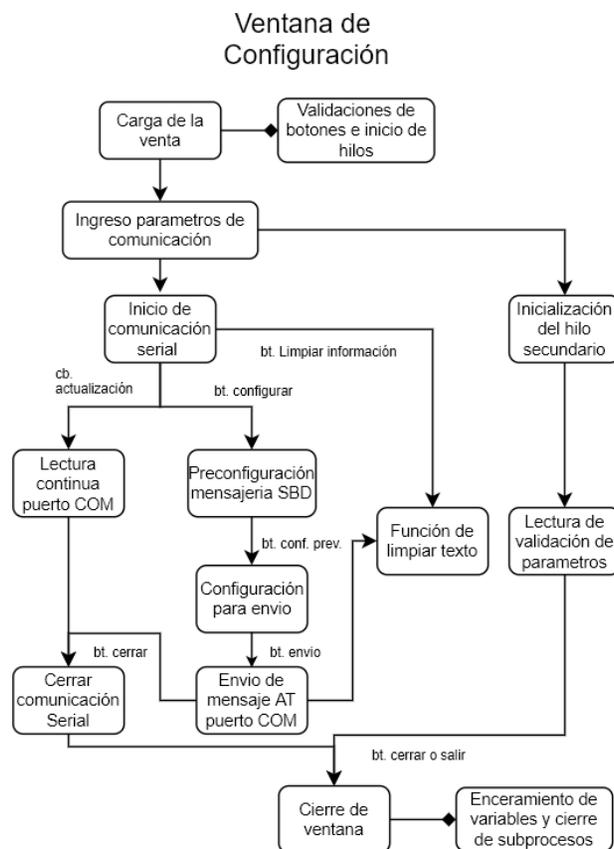


**Figura 11.** Ventana de configuración manual de la comunicación con la tarjeta IRIDIUM 9603.

Dentro de la ventana se tienen dos cuadros de textos:

- El cuadro superior es para que el usuario ingrese de forma manual la configuración con el uso de comandos AT.
- El segundo cuadro es para mostrar la información de respuesta de la tarjeta.

La Figura 12 muestra el diagrama de flujo de la ventana de configuración manual, el cual fue implementado en C#.

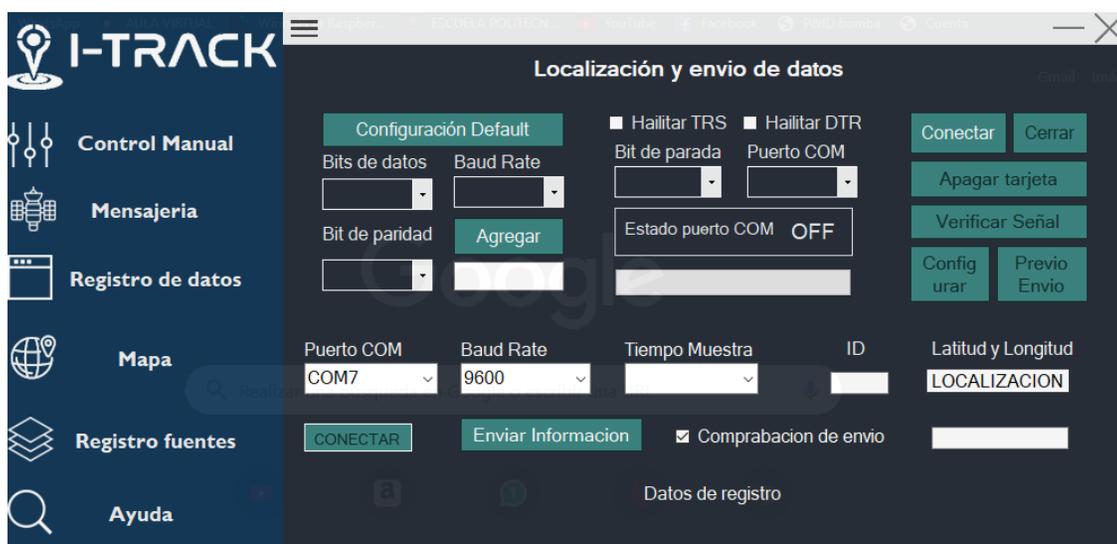


**Figura 12.** Diagrama de flujo del funcionamiento de la ventana de configuración.

### 3.4.3. Ventana de Mensajería

La ventana de mensajería puede verse en la Figura 13, su funcionamiento es similar al de la ventana de configuración manual, pero en este caso se establecen dos comunicaciones seriales al mismo tiempo:

- La primera comunicación es con la tarjeta Iridium 9603.
- La segunda comunicación es con el objetivo de rastreo, y así obtener la señal de longitud y latitud de cada registro.



**Figura 13.** Ventana de mensajería y envío automático.

Dentro de esta ventana se establecen los parámetros de comunicación serial como se hizo en la ventana de control manual. Además, se creó el segundo enlace de comunicación serial con un baud rate de 9600 para la conexión con el módulo GPS externo encargado de originar los datos de latitud y longitud.

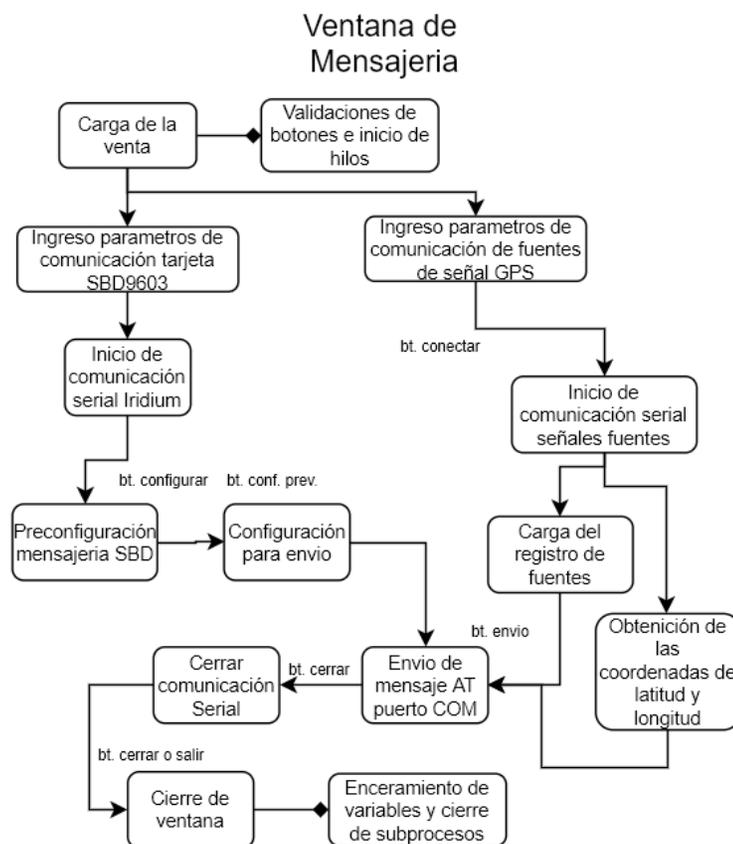
Una vez obtenido los valores de longitud y latitud se utiliza los botones de configuración, para el envío de datos. El diagrama de flujo de las funciones que se implementa en esta ventana se muestra en la Figura 14.

### 3.4.1. Ventana de Registro de Datos

Dentro de esta ventana se tiene una comunicación con el host de Gmail para obtener la información que haya llegado al correo asociado como receptor en la comunicación de la red Iridium.

El usuario debe colocar la información de conexión del host, el puerto, el correo de Gmail y la contraseña de la cuenta. En la lista de mensajes se mostrará los correos recibidos en la cuenta.

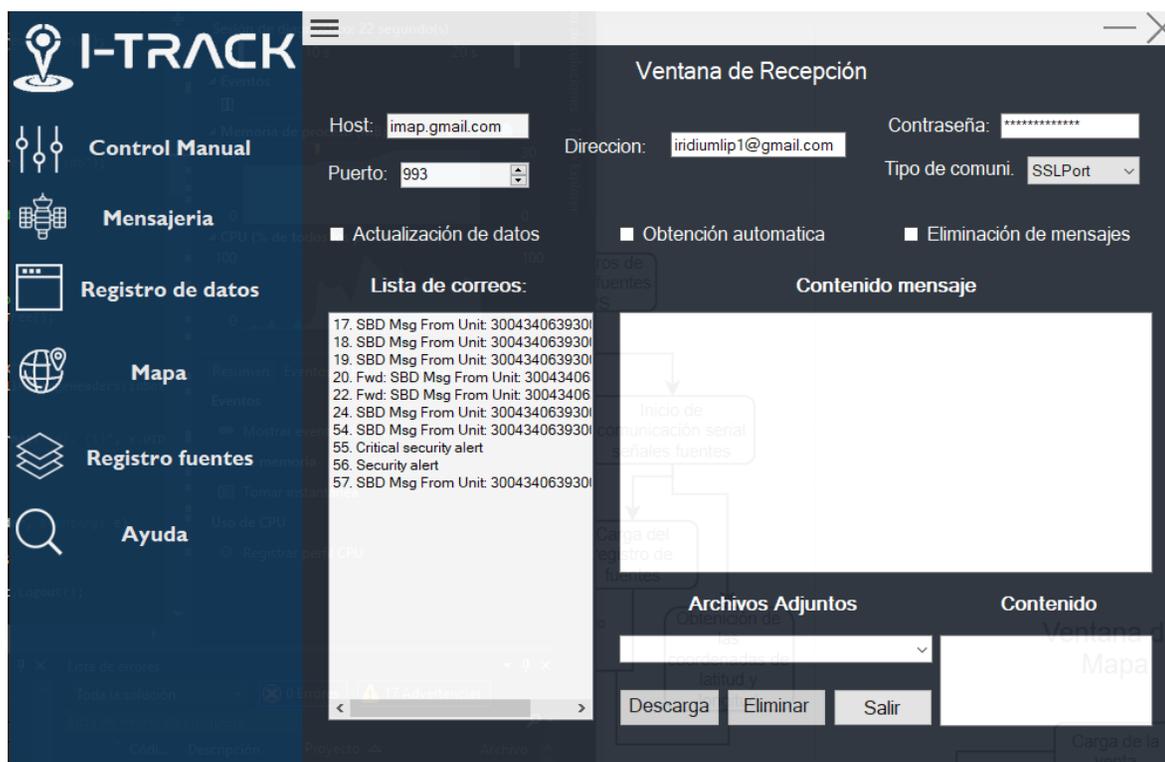
Este subprograma cuenta con dos hilos alternos al proceso general, los cuales tienen la función de actualizar continuamente los mensajes recibidos al correo; y ayudar con la selección del último correo para la obtención del archivo adjunto, la ventana puede verse en la Figura 15.



**Figura 14.** Diagrama de flujo de la ventana de mensajería automática.

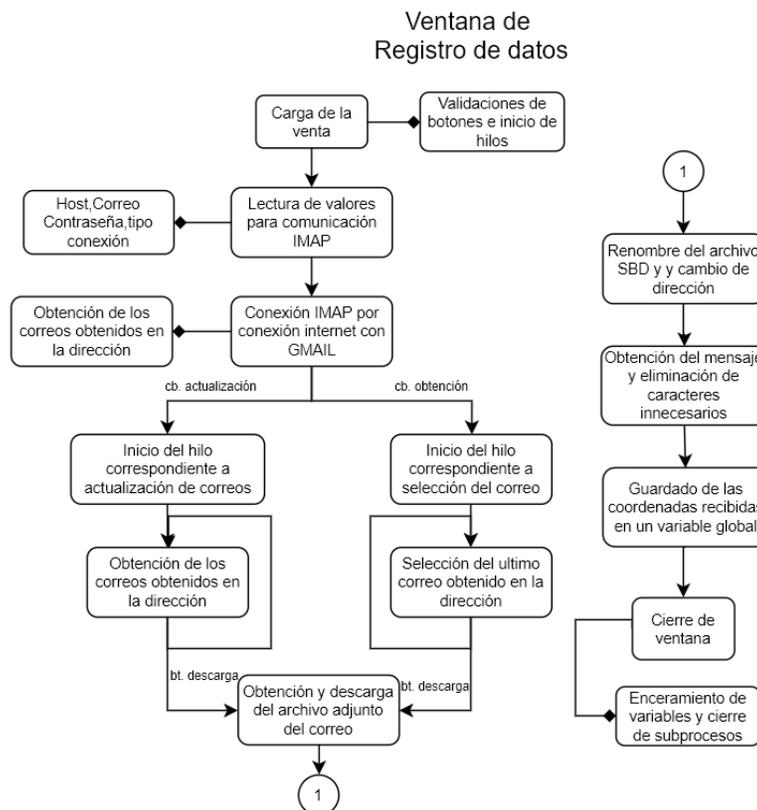
Una vez seleccionado el último correo recibido, se procede a descargar el archivo adjunto que este contiene. Debido a que el documento es recibido bajo un formato \*.sbd es necesario transformar el archivo a un documento \*.txt que pueda ser leído fácilmente y así obtener los datos de latitud y longitud.

También se tiene un botón que nos permite eliminar un mensaje seleccionado previamente y borrarlo desde la propia aplicación y a su vez se elimina del correo también.



**Figura 15.** Ventana de recepción del registro de datos de la aplicación.

Una vez obtenida los datos de localización se guardan dentro de la base de datos creada en Visual Studio. Adicionalmente son compartidos con la ventana mapa y mostrar de forma dinámica la localización del punto. En la Figura 16 se muestra el diagrama de flujo correspondiente al código implementado.

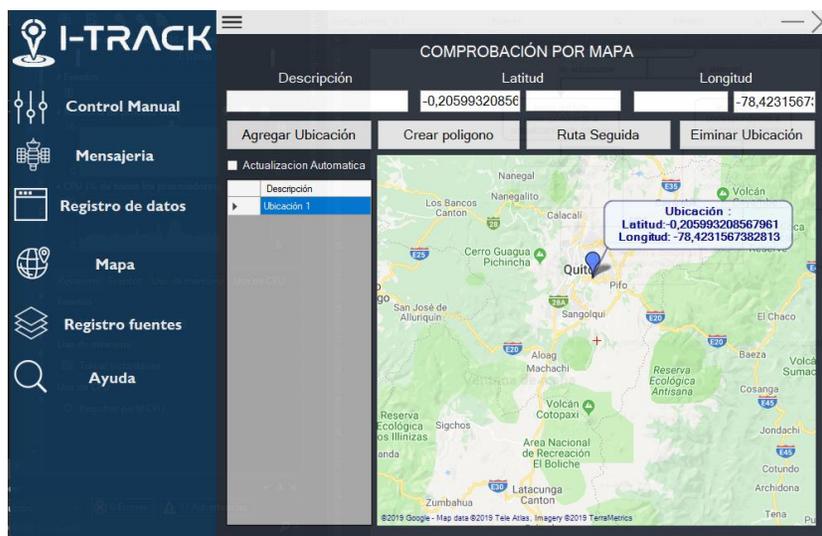


**Figura 16.** Diagrama de flujo correspondiente al registro de datos.

### 3.4.2. Ventana de Mapa

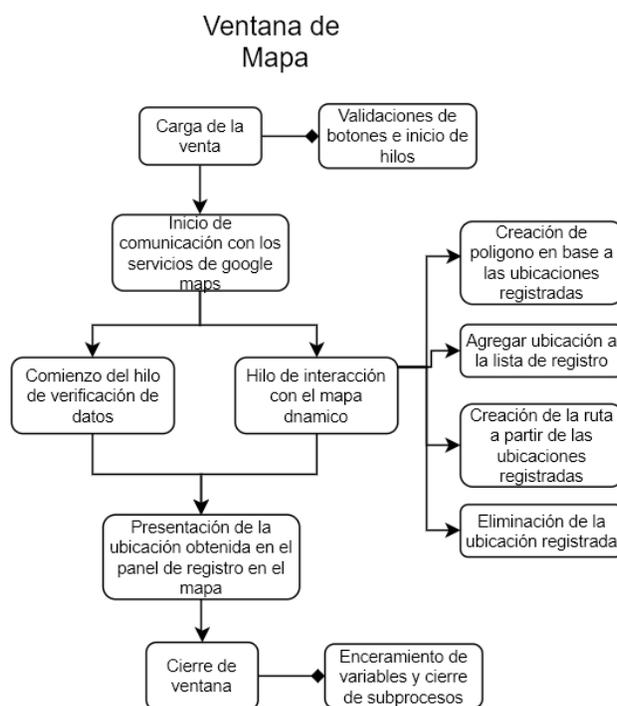
La ventana de mapa se muestra en la Figura 17, en la cual se implementó un mapa dinámico, el cual permite interactuar con el servicio de Google Maps para facilitar que el usuario pueda identificar correctamente los datos de latitud y longitud obtenidos en la ventana de recepción de datos. En esta interfaz se implementó una tabla en la que se guardan automáticamente las ubicaciones que se presentan en el mapa.

Además, se añadió una serie de botones para generar una ruta entre las ubicaciones guardadas, así como un posible polígono o incluso eliminar la ubicación seleccionada.



**Figura 17.** Ventana de comprobación por mapa.

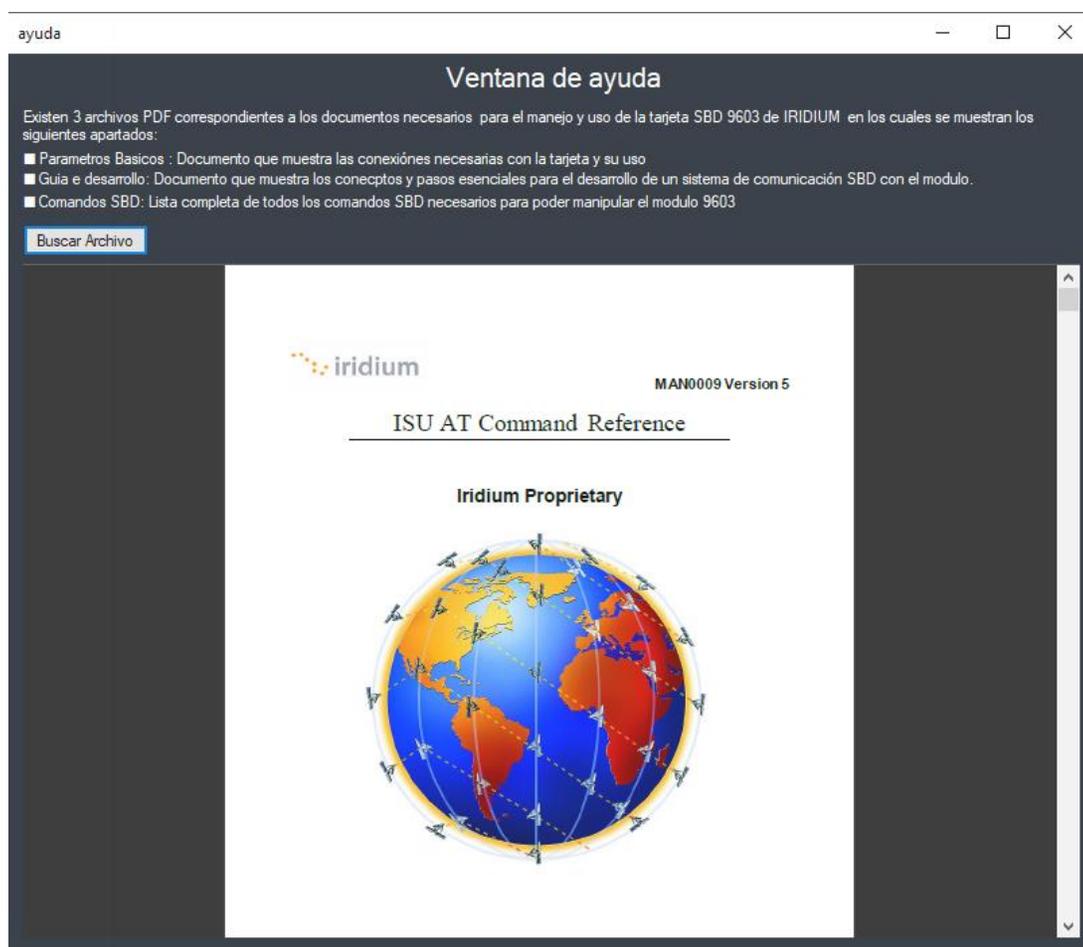
En la Figura 18 se muestra el diagrama de flujo implementado en la ventana del mapa dinámico.



**Figura 18.** Diagrama de flujo de la ventana del mapa dinámico.

### 3.4.3. Ventana de Ayuda

La ventana de ayuda puede verse en la Figura 19. En esta se implementó un visor de PDF dinámico con la ayuda de la extensión de Adobe Reader PDF. Con este se puede explorar los archivos PDF de ayuda disponibles por Iridium. Dentro de esta ventana hay un botón que permite escoger entre 3 archivos PDF en los cuales se puede observar los siguientes:

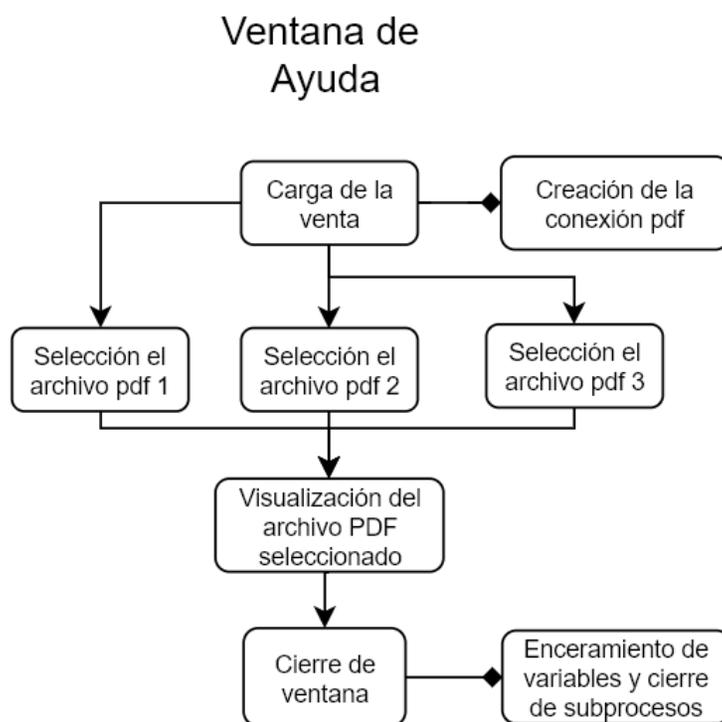


*Figura 19.* Ventana de ayuda implementada en el programa.

- **PDF1:** Manual de usuario de la aplicación. En este documento el usuario puede ver el funcionamiento de la aplicación para futuras referencias.

- **PDF2:** Libro de comandos AT para dispositivos IRIDIUM. En este documento se detalla cada uno de los comandos disponibles para el manejo del módulo SBD 9603 tanto para parámetros de configuración como para transmisión y recepción de mensajes.
- **PDF3:** Dentro de este PDF se muestra el desarrollo de aplicaciones usando tarjetas SBD 9603 de Iridium, así como sus configuraciones básicas para transmisión y recepción de datos.

El diagrama de flujo que ejemplifica el funcionamiento de esta ventana puede verse en la Figura 20.



**Figura 20.** Diagrama de flujo de la ventana de ayuda.

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1. Pruebas realizadas con dispositivo GPS

El dispositivo utilizado para la localización es el GPS u-Block NEO-6M conjuntamente, con la tarjeta Arduino nano. Este conjunto proporciona coordenadas de latitud y longitud de la ubicación en tiempo real del dispositivo. Se realizaron pruebas en diferentes puntos de referencia y se hizo la comparación de la ubicación obtenida por el dispositivo GPS de Arduino y la ubicación GPS proporcionada por un teléfono móvil.

##### 4.1.1. Descripción de los puntos referenciales.

Se tomaron como puntos referenciales los siguientes lugares dentro de la Universidad de las fuerzas Armadas – ESPE: 1) Entrada principal, 2) Biblioteca Alejandro Segovia, 3) Laboratorios de Electrónica, 4) Laboratorios de Automatización y Mecatrónica, 5) Centro de Investigación de Aplicaciones Militares – CICTE, y 6) Coliseo Miguel Iturralde.



**Figura 21.** Puntos referenciales para pruebas del dispositivo GPS.

Fuente: Google Earth Pro.

#### 4.1.2. Análisis de posicionamiento GPS

Se tomó los datos desde los puntos de referencia con la ayuda del GPS del dispositivo móvil con la aplicación Open Camera como se muestra en la Figura 22 (a) y adicionalmente con el GPS de Arduino Figura 22 (b). Para poder realizar la comparación entre las posiciones obtenidas por estos dos métodos, los resultados se muestran a continuación en la **Tabla 1**.



**Figura 22.** Coordenadas CICTE: (a) Open Camera (b) GPS u-Block NEO-6M

Fuente: Open Camera.

Los datos de la **Tabla 1** reflejan las coordenadas obtenidas por la aplicación Open Camera, el GPS de Arduino, además se muestra el error porcentual que existe entre estos y finalmente se tiene el error en  $m$ , este último se obtuvo de la siguiente forma:

- Error de latitud en metros

Este error se obtuvo teniendo de referencia la longitud de la circunferencia según los meridianos la cual es de 40.008 km (Muñoz Navarro, s.f.), y tomando como referencia una circunferencia de 360°. Aplicando la ecuación ( 1 ), en cada punto referencial, el error en metros obtenido teniendo como referencia que 1° es equivalente a 111.133 m.

$$Error\ Lat\ (m) = (Lat\ (Open\ Camera) - Lat(GPS\ Arduino))^{\circ} * \frac{40008000\ m}{360^{\circ}} \quad (1)$$

- Error de longitud en metros

Este error se obtuvo teniendo de referencia la longitud de la circunferencia ecuatorial, la cual es de 40.075 km (Muñoz Navarro, s.f.). Tomando como referencia que una circunferencia tiene 360°, se aplicó la ecuación ( 2 ), para obtener el error en metros obtenido en cada punto, en longitud se obtuvo que 1° es 111319 m.

$$Error\ Lat\ (m) = (Lon\ (Open\ Camera) - Lon(GPS\ Arduino))^{\circ} * \frac{40075000\ m}{360^{\circ}} \quad (2)$$

**Tabla 1.**

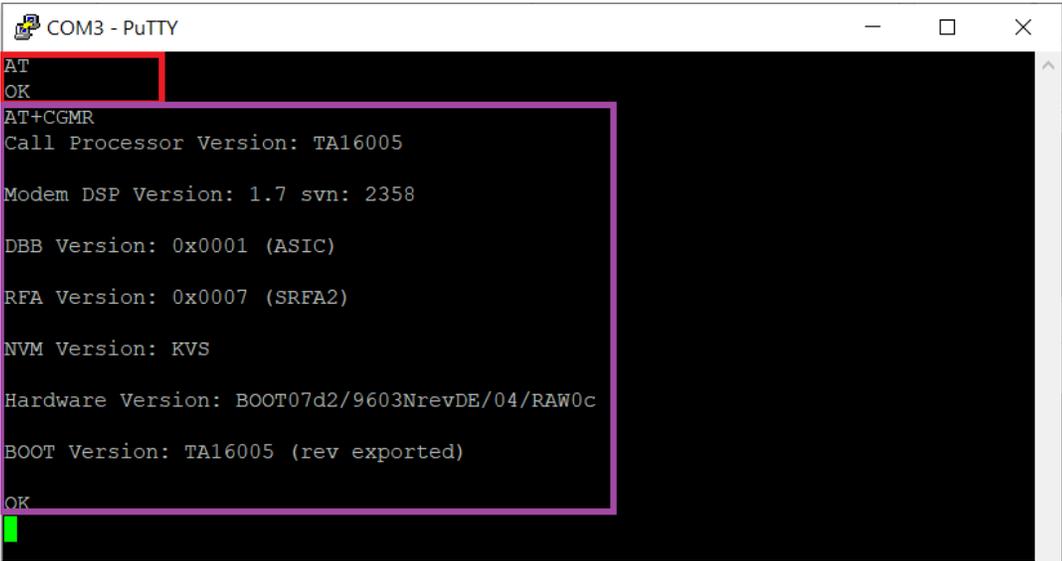
*Resultados de mediciones de posicionamiento.*

Punto referencial	Celular + GPS		GPS con Arduino		Porcen. de Error [%]		Error [m]	
	Lat. [°]	Long. [°]	Lat. [°]	Long. [°]	Lat.	Long.	Lat.	Long.
<b>Punto 1</b>	-0,315080	-78,442230	-0,315109	-78,442260	0,009204	0,000038	3,228	3,334
<b>Punto 2</b>	-0,313980	-78,443660	-0,314010	-78,443590	0,009555	0,000089	3,340	7,779
<b>Punto 3</b>	-0,312610	-78,445930	-0,312636	-78,445907	0,008317	0,000029	2,894	2,556
<b>Punto 4</b>	-0,314740	-78,446190	-0,314807	-78,446205	0,021287	0,000019	7,458	1,667
<b>Punto 5</b>	-0,319150	-78,446110	-0,319086	-78,446098	0,020053	0,000015	7,124	1,334
<b>Punto 6</b>	-0,317110	-78,444010	-0,317145	-78,443969	0,011037	0,000052	3,896	4,556

Con lo expuesto anteriormente se obtuvo los errores en metros correspondiente a latitud y longitud de cada ubicación, el rango de error obtenido en las pruebas esta entre 1,334 m a 7,779 m lo cual está dentro del rango de error promedio de GPS que es de 3 a 15 m (Universidad de Panamá., s.f.).

#### 4.2. Pruebas de transmisión con el sistema satelital Iridium

La tarjeta Iridium 9603 trabaja con la red satelital Iridium descrita en el capítulo II. Esta se conecta a la red satelital mediante una antena incorporada y es controlado a través de la utilización de los comandos AT con ayuda del programa Putty. Pruebas de conectividad con la tarjeta fueron realizadas, para verificar si se tiene comunicación con la tarjeta. En todas las verificaciones el resultado obtenido fue la confirmación de una correcta comunicación, como se muestra en la Figura 23.



```
COM3 - PuTTY
AT
OK
AT+CGMR
Call Processor Version: TA16005
Modem DSP Version: 1.7 svn: 2358
DBB Version: 0x0001 (ASIC)
RFA Version: 0x0007 (SRFA2)
NVM Version: KVS
Hardware Version: BOOT07d2/9603NrevDE/04/RAW0c
BOOT Version: TA16005 (rev exported)
OK
```

**Figura 23.** Comandos AT con programa Putty.

Para poder verificar que el dispositivo se encuentra conectado a la red satelital se utilizó el comando *AT+CSQ*, el cual devuelve como respuesta la calidad de señal que se tiene. Esta debe

estar de 3 a 5 para poder realizar un envío como se visualiza en la Figura 24, si esta es menor quiere decir que no se encuentra correctamente establecida la conexión con la red satelital.



```
COM20 - PuTTY
OK
at+csq
+CSQ:3

OK
at+csq
+CSQ:5

OK
```

**Figura 24.** Comando para verificar la calidad de señal

La Figura 25, muestra la verificación de señal para poder realizar el envío de un mensaje. En el recuadro naranja se encuentra la preparación para el envío de datos y el mensaje que se va a enviar se coloca con el comando `AT+SBDWT=mensaje`. El resultado recibe fue un `OK` de verificación que el mensaje está listo para ser enviado. Con el comando `AT+SBDIX` se realizó el envío del dato.



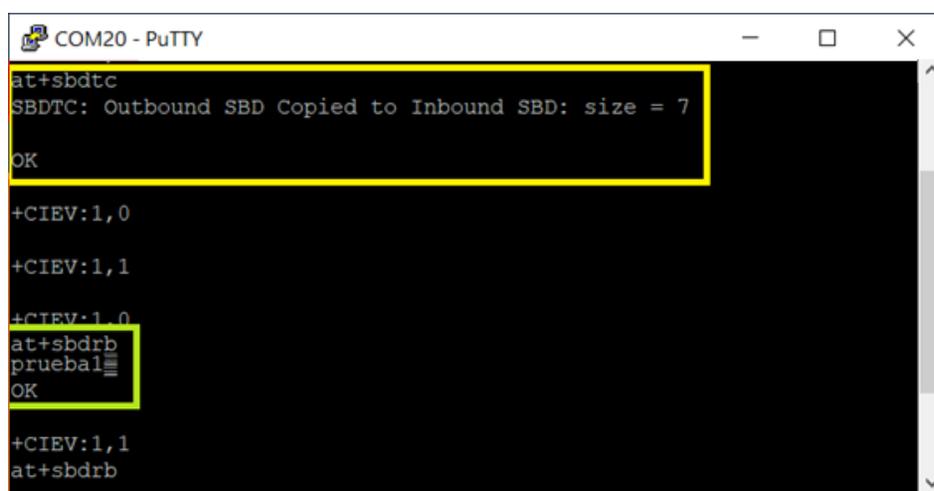
```
COM20 - PuTTY
at+csq
+CSQ:5

OK
at
OK
at&k0
OK
at+sbdmta=1
OK
at&w0
OK
at&y0
OK
at+sbdwt=prueba1
OK

+CIEV:1,0
+CIEV:1,1
```

**Figura 25.** Preparación de envío, verificación del mensaje a enviar

Para poder verificar el mensaje enviado se debe ingresar el comando `AT+SBDTC`, como se muestra en el recuadro amarillo de la Figura 26. El comando `AT+SBDTB` devuelve el mensaje enviado, como se muestra en el recuadro verde, en este caso se observa el mensaje “prueba1”.



```
COM20 - PuTTY
at+sbdtc
SBDTC: Outbound SBD Copied to Inbound SBD: size = 7
OK

+CIEV:1,0
+CIEV:1,1
+CIEV:1,0
at+sbdtb
prueba1
OK

+CIEV:1,1
at+sbdtb
```

*Figura 26.* Verificación de mensaje a enviar

#### **4.3. Pruebas de funcionamiento del prototipo.**

Las pruebas con el prototipo fueron realizadas en 5 mojones que se encuentran en diferentes posiciones geo-referenciadas dentro de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE (Figura 27). Los datos de la ubicación de los mojones fueron proporcionados por el Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción (Alava, Salgado, Torres, Tierra, & CIGMA, 2017). Un mojón es una señal que puede ser usada como guía en caminos o lugares, los cuales son utilizados como una referencia de la ubicación donde se encuentra.

Una vez definido los puntos de prueba, se utilizó el software I-Track para poder recolectar los datos de posicionamiento y enviarlos a través de la red satelital de Iridium. El software se inicia

autenticando el usuario y clave como se muestra en la Figura 28. Una vez ingresado los datos requeridos se accede a la pantalla principal como se muestra en la Figura 29



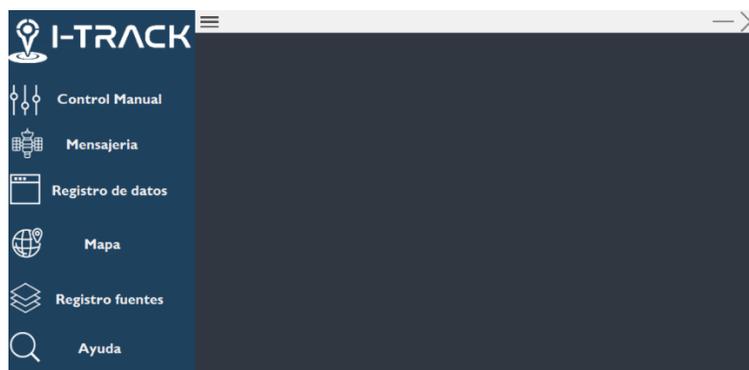
**Figura 27.** Localización de Mojones escogidos.

Fuente: Google Earth Pro.

Una vez definido los puntos de prueba, se utilizó el software I-Track, para poder recolectar los datos de posicionamiento y enviarlos a través de la red satelital de Iridium, el software se inicia autenticando usuario y clave como se muestra en la Figura 28, una vez ingresado los datos requeridos se accede a la pantalla principal como se muestra en la Figura 29.

A screenshot of the I-Track application login screen. It features three input fields on a dark background. The first field is labeled 'Usuario de la aplicación:' and contains the text 'cicte1'. The second field is labeled 'Contraseña:' and contains a series of asterisks. The third field is labeled 'Email de recepción:' and contains the email address 'iridiumlip1@gmail.com'. Each field has a corresponding icon: a person for the user, a padlock for the password, and an envelope for the email.

**Figura 28.** Ingreso por usuario a la aplicación.



**Figura 29.** Ventana principal para selección de submenús.

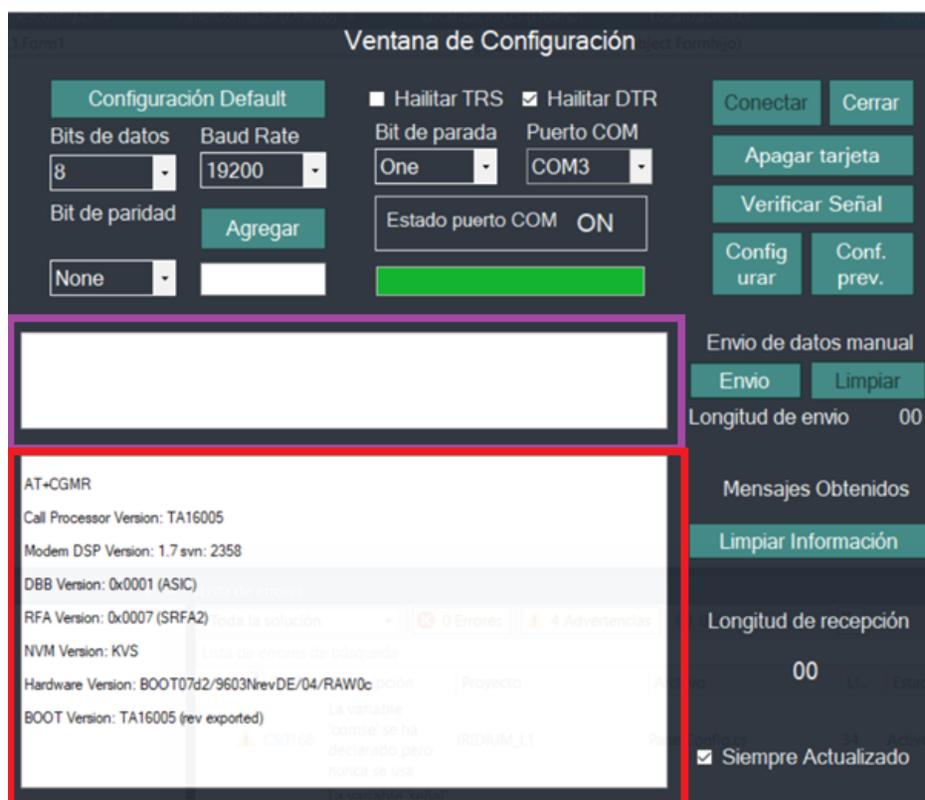
Seguidamente se ingresa en la sub - ventana “Registro y Verificación”. Todas las posibles fuentes generadoras de localización son registradas. Las mismas se muestra en una tabla teniendo como datos el puerto COM en el que se encuentra la fuente generadora. Un ID designado por el usuario y el tipo de transporte en el que se coloca el dispositivo de rastreo se muestra en la Figura 30.

Puerto COM	ID	Transporte
COM7	ID007	Bus
COM15	ID003	Furgoneta
COM6	ID011	Camioneta
COM12	ID005	Auto
*		

**Figura 30.** Ventana de registro de cada una de las fuentes de señal GPS.

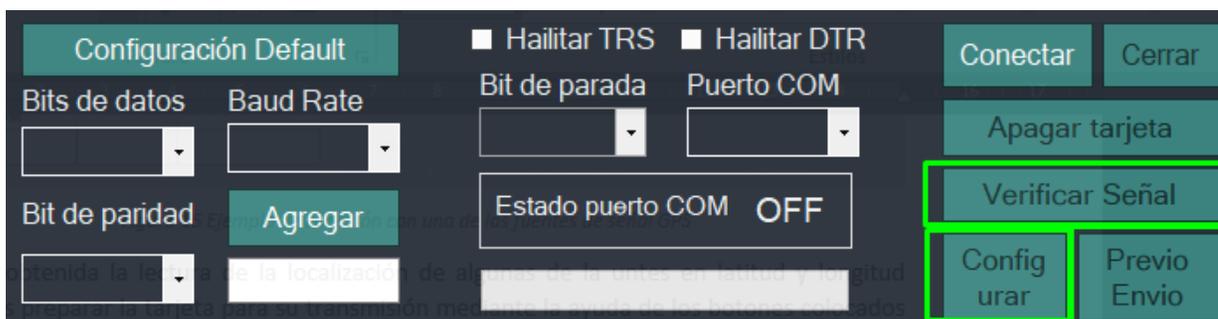
Como pruebas previas de funcionamiento con el software I-TRACK, se selecciona el submenú *Control Manual*, en esta sub-ventana se realiza la conexión con la tarjeta con las configuraciones predeterminada. Se elige el puerto y se conecta a la tarjeta como se muestra en la Figura 31.

Primero, se verifica señal para lo cual el software envía los comandos AT necesarios para verificación la calidad de señal. En el recuadro morado se puede escribir los comandos y dando clic en *Envió* se envía el comando ingresado y la respuesta de este se observa en el recuadro rojo.



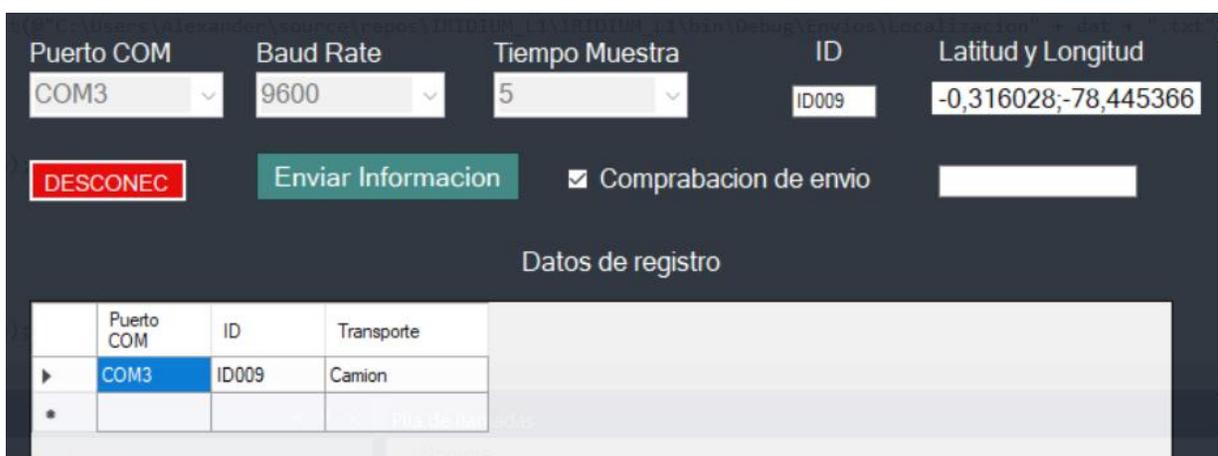
**Figura 31.** Comprobación de conexión con la tarjeta

Para realizar el envío de los datos se ingresa en la sub – ventana Mensajería que se muestra en la Figura 32. Se preparó la tarjeta Iridium como se explicó anteriormente, se verifica la señal que se tiene con la conexión de la red satelital (debe estar de 3 a 5 para poder realizar el envío de datos), después se configuró la tarjeta para el envío de datos con los comandos correspondiente asignados en el botón *Configurar*, finalmente se seleccionó el botón *Previo Envío* para poder limpiar cualquier dato residual que se encuentre en la memoria de la tarjeta y finalmente realizar el envío de un nuevo dato.



**Figura 32.** Sub – ventana Mensajería, Botones de configuración previa para envío.

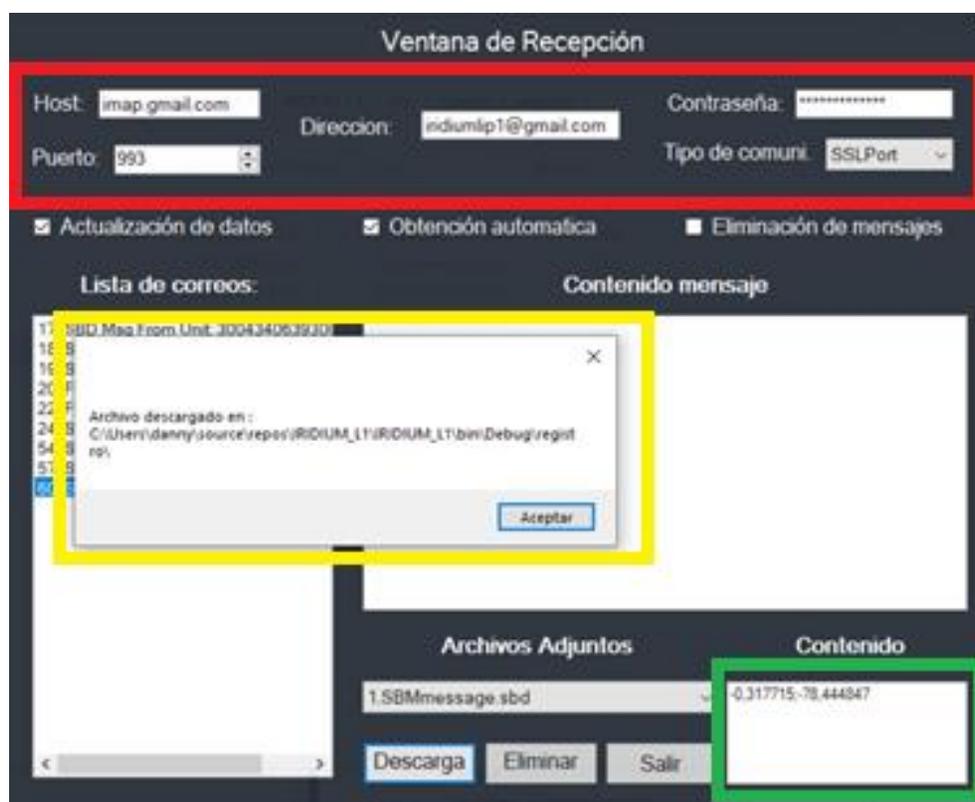
Como se muestra en la Figura 33, del listado de Puerto se eligió COM3 como la fuente de localización GPS. Se selecciona el tiempo de muestra y se conecta al dispositivo. El cual entrega los datos de ID y localización (latitud y longitud) del punto que se desea rastrear. Una vez obtenido los datos se procedió a realizar el envío de estos presionando el botón *Enviar Información*.



**Figura 33.** Ejemplo de conexión con una de las fuentes de señal GPS.

Los datos enviados se reciben en el correo asociado, el cual extrae los datos del archivo \*.sbd recibido. Para poder observar el dato recibido se ingresa en la sub-ventana *Registro de datos* la cual se muestra en la Figura 34. En esa interfaz se asocia directamente al correo registrado con la red de Iridium, lo cual se puede observar en el recuadro rojo. Al seleccionar el botón *Actualización de*

*Datos y Obtención automática*, se actualiza la información que llega al correo. Se selecciona el correo que se desea leer y se extra la información que este contiene. La información se guarda en la ruta indicada en el recuadro amarillo y la información extraída se muestra en el recuadro verde.



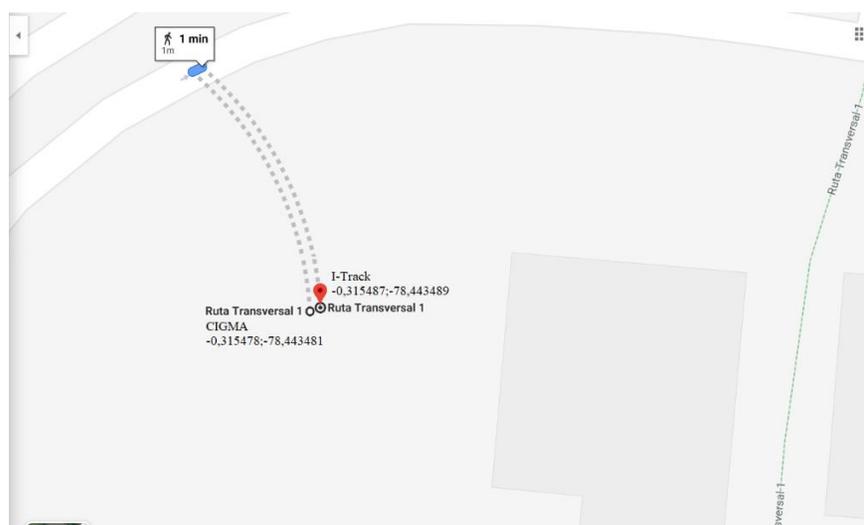
**Figura 34.** Ventana de Recepción

Los datos obtenidos de cada uno de los Mojones se muestran en la Tabla 2, teniendo la comparación de datos con el error en porcentaje y el error en metros correspondientes a latitud y longitud.

Para obtener los errores en metros se utilizó las ecuaciones ( 1 ) y ( 2 ), como se observa en la Tabla 2, se tiene un error de 0,222 a 1,889 m, este error esta debajo del promedio que se mencionó en el apartado 4.1.2, esto se da por los equipos utilizados para la medición de la posición

**Tabla 2.***Datos de Localización, CIGMA e I-TRACK*

Punto referencial	Datos de CIGMA		Prototipo construido		Porcen. de Error [%]		Error (m)	
	Latitud [°]	Longi. [°]	Latitud[°]	Longi. [°]	Lat.	Long.	Lat.	Long.
Mojón 8	-0,317705	-78,444837	-0,317715	-78,444847	0,003053	0,000013	1,078	1,113
Mojón 2	-0,312125	-78,446229	-0,312123	-78,446220	0,000641	0,000011	0,222	1,002
Mojón 9	-0,317646	-78,446819	-0,317638	-78,446823	0,002519	0,000005	0,889	0,445
Mojón 5	-0,315478	-78,443481	-0,315487	-78,443489	0,002853	0,000010	1,000	0,891
Mojón 6	-0,316045	-78,445359	-0,316028	-78,445366	0,005379	0,000009	1,889	0,779

**Figura 35.** Ubicación en el mapa del mojón 5, CIGMA e I-Track

En la Figura 35, se colocó los puntos de coordenadas entregados por CIGMA (Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente) y los puntos de obtenidos con I-TRACK en Google Maps, se puede observar que la distancia entre los puntos es mínima, con lo cual el objetivo buscado podrá ser localizado casi de manera exacta.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

A partir de los resultados mostrados a lo largo de este trabajo podemos inferir que el margen de error obtenido en la primera prueba del prototipo produjo errores, en longitud y/o latitud, menor al 0,025%, el cual se consideraría por demás aceptable. Al realizar la conversión de la diferencia de longitudes / latitudes a metros, esa diferencia quedo más evidente, se obtuvieron errores en un margen de 3 m a 9m.

El software diseñado se demostró consistente y de mucha ayuda para usuarios con poca o media experiencia en comandos AT, pues de este modo los usuarios pueden conectarse con facilidad a la tarjeta Iridium 9603, sin miedo de mala conexión o errores por parte del usuario. El programa *I-TRACK* demostró ser altamente intuitivo y brindar un entorno más amigable al usuario, comparado con otros softwares como el tradicional (Putty).

Varias pruebas con el prototipo final fueron realizadas, con lo cual se pudo concluir que el mismo funciona correctamente en varios ambientes, excepto cuando el prototipo trabajo en ambientes cerrados. Esto es debido a que tanto la tarjeta Iridium 9603 como el dispositivo GPS necesitan tener visión de sus respectivas constelaciones. Por lo tanto, el prototipo final tiene mayor funcionalidad en ambientes externos que internos.

El prototipo resultó ser más económico que los equipos comerciales, muy práctico al ser de volumen reducido y ser muy liviano ya que su peso no sobrepasa los 750 gramos. El proyecto se desarrolló como una caja abierta de modo que para futuros trabajos puede ser evidenciado su

funcionamiento y del mismo modo mejorado. Siguiendo esto se cumplió con la metodología propuesta de I+D+i, y así obtener la transferencia de conocimiento.

## **5.2. Recomendaciones**

Se tiene que el mayor error en ubicación que tiene el dispositivo final no sobrepasa el 0,025%, lo cual traducido a distancia se tiene que es 10 metros (como máximo), para fines de telemetría de grandes objetos (los que regularmente son de uso militar), esta distancia es fácilmente franqueable y por demás aceptable, pero para otro tipo de aplicaciones más específicas, de objetos más pequeños, se debería usar otro tipo de GPS que de un margen de error menor al obtener las coordenadas de localización.

Para poder tener la mayor ventaja del prototipo y el correcto funcionamiento de este, este debe ser utilizado en un medio abierto de modo que se pueda obtener la mayor potencia de conexión con los satélites tanto de GPS, como de la red satelital Iridium, además se debe considerar que este no es a prueba de agua, por lo cual al ser utilizado en exteriores se debe construir una carcasa que permita el cuidado del prototipo.

Se deben realizar más investigaciones con la tarjeta Iridium de modo que se pueda utilizar todo su potencial. La investigación debería ir enfocada a la utilización del módulo Iridium 9603, tanto con la ayuda de la tarjeta de desarrollador como sin ayuda de esta, de este modo la tarjeta 9603 podría ser utilizada independientemente para desarrollar un prototipo final que sea portable y se lo pueda colocar en cualquier vehículo sin necesidad de una computadora.

El software puede ser mejorado en lo que su peso se refiere, debido a que fue desarrollado en un software de programación avanzado los cuales siempre generan programas de un elevado peso. El software también podría ser más portable y ser multiplataforma, y soportar diferentes idiomas, así como tener una versión más ligera para dispositivos más antiguos.

### **5.3. Trabajos Futuros**

Debido a que el dispositivo Iridium permite el envío de solo un mensaje diario a través de su sistema, se podría emplear también el servicio de telefonía GSM para el envío de la posición al usuario final. Se pretende que el sistema envíe los datos por medio de un mensaje GSM, y cuando el dispositivo se encuentra en un área fuera del área de cobertura celular, se activaría automáticamente el sistema satelital Iridium.

A futuro se pretende que el dispositivo final sea inalámbrico por completo, y la discriminación de objetivos se realice con un código único propio de la tarjeta Iridium, o de la tarjeta utilizada, el cual sería equivalente a la dirección MAC de una computadora para así evitar posibles errores de falsos positivos, ni de detecciones erróneas.

Se pretende que el dispositivo final no utilice la tarjeta de desarrollador en la cual viene integrada tarjeta Iridium 9603, más bien utilice una placa electrónica que sirva como la tarjeta de desarrollador y al mismo tiempo sirva de unión con el módulo GPS implementado, y todos los módulos, aumentando de este modo su portabilidad, pero sacrificando su modularidad puesto que todos los complementos no serán factibles de remover.

## REFERENCIAS

- Alava, Y., Salgado, P., Torres, A., Tierra, A., & CIGMA. (2017). Red Geodésica Local - ESPE. *Monografía de Vértices*. Sangolquí, Ecuador. Recuperado el 27 de Agosto de 2019
- Andreula, L. (s.f.). *Kimerius*. Recuperado el 7 de Mayo de 2019, de [kimerius.com/app/download/5784855531/Red+de+comunicaciones+satelitales.pdf](http://kimerius.com/app/download/5784855531/Red+de+comunicaciones+satelitales.pdf)
- Calero, R. (12 de Abril de 2007). *Facultad de Ingenieria - Universidad de Buenos Aires*. Obtenido de Universidad de Buenos Aires: [http://materias.fi.uba.ar/6679/apuntes/Redes\\_Satelitales\\_v2.pdf](http://materias.fi.uba.ar/6679/apuntes/Redes_Satelitales_v2.pdf)
- Communications, I. (2019). *Iridium*. Obtenido de <https://www.iridium.com/>
- Coronado Alejos, A. J. (6 de Octubre de 2013). *Red Tauros*. Obtenido de [http://www.redtauros.com/Clases/Medios\\_Transmision/08\\_Red\\_Transmision\\_Satelital.pdf](http://www.redtauros.com/Clases/Medios_Transmision/08_Red_Transmision_Satelital.pdf)
- EcuRed*. (3 de Junio de 2014). Obtenido de [https://www.ecured.cu/Red\\_satelital](https://www.ecured.cu/Red_satelital)
- Fuentes, S. (17 de Marzo de 2008). *Xataka Móvil*. Recuperado el Agosto de 2019, de <https://www.xatakamovil.com/conectividad/iridium-telefonía-por-satelite>
- Guerrero Rodríguez, N. (18 de Noviembre de 2017). *Análisis Comparativo Del Canal Satelital Ofrecido Por Las Redes Iridium y Globalstar Para El Diseño E Implementación De Un Prototipo Que Opere Como Respaldo A Las Unidades De Localización Vehicular Automática Con Cobertura Celular*. Bogota, Colombia. Recuperado el Abril de 2019, de <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/756>
- Iridium Communications Inc. (8 de Diciembre de 2014). *Pacific Rim*. Recuperado el Agosto de 2019, de <http://www.pacificrim.com.au/media/custom/upload/File-1383628521.pdf>
- Iridium Communications Inc. (29 de Julio de 2017). *Doc Go*. Recuperado el Agosto de 2019, de [https://docgo.net/detail-doc.html?utm\\_source=iridium-9603-developer-s-kit-v1-0](https://docgo.net/detail-doc.html?utm_source=iridium-9603-developer-s-kit-v1-0)
- Iridium Satellite LLC. (9 de Marzo de 2012). Recuperado el Septiembre de 2019, de <https://usermanual.wiki/Pdf/Iridium20Short20Burst20Data20Service20Developers20Guide20v30.896763731/view>

- Iridium Satellite LLC. (Octubre de 2013). *Iridium*. Recuperado el Septiembre de 2019, de <https://www.iridium.com/services/iridium-sbd/>
- IRIDIUM SATELLITE SYSTEM. (15 de Junio de 2002). *ICAO*. Recuperado el Septiembre de 2019, de [https://www.icao.int/safety/acp/inactive%20working%20groups%20library/acp-wg-m-iridium-3/ird-swg03-wp05-draft%20iridium%20ams\(r\)s%20tech%20manual%20-%20021506.pdf](https://www.icao.int/safety/acp/inactive%20working%20groups%20library/acp-wg-m-iridium-3/ird-swg03-wp05-draft%20iridium%20ams(r)s%20tech%20manual%20-%20021506.pdf)
- Millard, D. (3 de Agosto de 2016). *New Scientist*. Recuperado el Agosto de 2019, de <https://www.newscientist.com/article/mg23130850-700-iridium-story-of-a-communications-solution-no-one-listened-to/>
- Muñoz Navarro, M. (s.f.). *Manual Vuelo*. Recuperado el Noviembre de 2019, de <http://www.manualvuelo.com/NAV/NAV72.html>
- Nassat - Satellite Systems*. (s.f.). Obtenido de Nassat: <https://nassat.com/documentos/bandas/>
- Neto Mullo, J. O. (2006). *Escuela Politécnica Nacional*. Recuperado el Diciembre de 2019, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2348/1/CD-0023.pdf>
- Tecnología & Informática. (2016). *Tecnología & Informática*. Recuperado el Septiembre de 2019, de <https://tecnologia-informatica.com/que-es-gps-como-funciona-aplicaciones/>
- Universidad de Cauca. (27 de Septiembre de 2009). *Universidad de Cauca*. Recuperado el Diciembre de 2019, de <ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIET/DEIC/Materias/Redes%20Industriales/Redes/Conferencias/Capitulo%201.pdf>
- Universidad de Panamá. (s.f.). *Maestría en Entornos Virtuales de Aprendizaje de la Universidad de Panamá*. Recuperado el Diciembre de 2019, de <https://sites.google.com/site/posicionamientoglobalgps/tecnologia/daniel>