

Universidad Acción Pro Educación y Cultura



**Decanato de Ingeniería e Informática
Escuela de Ingeniería**

Tesis de Grado para optar por el título de:
Ingeniero Electrónico Mención Comunicaciones

**“Diseño de un Sistema Automatizado Usando Microcontroladores para la
Alineación de Antenas Parabólicas Satelitales”**

**Distrito Nacional
República Dominicana
Noviembre 2015**

Los conceptos expuestos en esta investigación son de la exclusiva responsabilidad de sus autores.

“Diseño de un Sistema Automatizado Usando Microcontroladores para la Alineación de Antenas Parabólicas Satelitales”

RESUMEN

La elaboración de este trabajo define bajo pautas principales, el diseño de un sistema automatizado de alineación y sintonización para antenas parabólicas satelitales utilizando microcontroladores, enfocándose particularmente en la elaboración del mecanismo encargado del movimiento de la antena, además de la interfaz que interactúa con el usuario final y maneja dicho mecanismo.

Se presenta la documentación y base de información pertinente para el entendimiento de este tipo de sistemas, así, como la importancia del mismo para la industria dominicana y la educación superior en el área de telecomunicaciones, utilizando técnicas de investigación, observación y dirigiendo todo esto al plano físico, mediante los modelos matemáticos necesarios para el desarrollo de un sistema de este nivel.

Los resultados en base a programación y pruebas del sistema demuestran, una alta factibilidad y que a bajos costos es posible realizar un modelo de pruebas para escuelas de ingeniería, cumpliendo con todos los estándares para este tipo de sistemas.

Se presenta finalmente el presupuesto empleado como prueba de factibilidad para el sistema y de esa forma, llevar a una escala diferente el aprendizaje en el campo de sintonización satelital, como también recomendaciones futuras para diversificar el sistema y sus aplicaciones.

AGRADECIMIENTOS

TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	III
Agradecimientos	IV
Tabla de contenido.....	V
Lista de gráficas	VII
Lista de tablas	IX
Introducción	10
Capítulo 1: Sistema de parábolas satelitales.	14
1.1 Órbitas.....	14
1.2 Órbita media (MEO).....	15
1.3 Órbita baja (LEO).....	16
1.4 Órbita geostacionaria (GEO)	17
1.5 Cinturones de Vann Allen	20
1.6 Satélites.....	21
1.7 Características de los satélites.....	24
1.8 Bandas de radiofrecuencia satelitales.....	25
1.9 Estación terrena	28
1.10 Características de una estación terrena	30
1.11 Elementos de una estación terrena	32
1.12 Antenas parabólicas y su orientación	38
1.13 Orientación en elevación y azimut	41

1.14	Estructura para el movimiento de la antena.....	43
Capítulo 2: Diseño de un sistema automatizado para sintonización de satélites		47
2.1	Configuración de la estación terrena de UNAPEC.....	47
2.2	Elementos parabólicos de la estación	49
2.3	Diseño de la interfaz gráfica de control (Software).....	50
2.4	Diseño de la interfaz de control (Hardware)	58
Capítulo 3: Análisis, validación y presupuesto del sistema.....		75
3.1	Análisis del sistema diseñado.	75
3.2	Validación del sistema.....	81
3.3	Presupuesto del sistema diseñado.....	91
Conclusión		93
Recomendaciones		94
Bibliografía.....		96
Apéndices.....		98
A.	Apéndice: Código de programación de software	98
B.	Apéndice: Código de programación de firmware	113

LISTA DE GRÁFICAS

Figura 1: Tipos de órbitas.	15
Figura 2: Satélites comerciales geoestacionarios.	19
Figura 3: Cinturones de Vann Allen.	21
Figura 4: Esquema modular de estación terrena.	30
Figura 5: Elementos de una estación terrena seccionada por elementos.	32
Figura 6: Antena parabólica de foco centrado.	39
Figura 7: Antena parabólica de foco offset.	40
Figura 8: Antena parabólica tipo Cassegrain.	40
Figura 9: Orientación de una antena parabólica.	41
Figura 10: Montaje de movimiento para soporte de azimut.	44
Figura 11: Montaje tipo X – Y.	45
Figura 12: Diagrama en bloques estación terrena de UNAPEC.	49
Figura 13: Solicitud de la base de datos por parte del software diseñado.	51
Figura 14: Estados de conexión entre el dispositivo y el software.	52
Figura 15: Estado de localización y azimut ofrecidos por el software.	53
Figura 16: Despliegue de lista de satélites en el software.	54
Figura 17: Datos de elevación y azimut presentados por el software al momento de localizar un satélite.	55
Figura 18: Pantalla del software con la opción de volver al origen.	56
Figura 19: Flujograma del Software.	57
Figura 20: Microcontrolador en módulo XT PIC Clicker	60

Figura 21: Módulo de GPS con antena receptora conectada.	61
Figura 22: Módulo de magnetómetro junto al integrado.....	63
Figura 23: Controlador de motores EasyDriver V4.4	66
Figura 24: Diagrama de flujo de Firmware.	70
Figura 25: Conexión de la fuente de alimentación.....	71
Figura 26: Mecanismo con base giratoria, apoyado por 4 ruedas.	73
Figura 27: Base del mecanismo con el motor de elevación.	73
Figura 28: Diferentes tipos de DOP	76
Figura 29: Advertencia de nivel de DOP.	78
Figura 30: Representación de la tierra como dipolo magnético.....	79
Figura 31: Cálculo de declinación según posición.	80
Figura 32: Resultados de azimuth y elevación en aplicaciones SatFinder y Satellite Director para el satélite AMC 6.....	82
Figura 33: Valores de azimuth y elevación obtenidos mediante el software para localizar el satélite AMC 6.	83
Figura 34: Resultados de azimuth y elevación en aplicaciones SatFinder y Satellite Director para el satélite Star One C3.....	84
Figura 35: Valores de azimuth y elevación obtenidos mediante el software para localizar el satélite Star One C3.....	85
Figura 36: Comparación de valores entre sistema y brújula.....	87
Figura 37: Localización de un satélite AMC 8.	88
Figura 38: Resultados obtenidos por el sistema.....	88
Figura 39: Comparación entre el programa y brújula del celular.....	89
Figura 40: Radiación generada por satélite AMC8.....	90

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de bandas de frecuencia satelital.	28
Tabla 2: Valor de azimut a partir de la posición del satélite.	43
Tabla 3: Características de Antena receptora.	50
Tabla 4: Especificaciones del Microcontrolador.....	59
Tabla 5: Especificaciones motores “Steppers”.....	65
Tabla 6: Clasificación del DOP según valor.....	77
Tabla 7: Presupuesto de piezas del sistema.	91

INTRODUCCIÓN

Las telecomunicaciones juegan un papel de suma importancia en la sociedad como hoy la conocemos. Son una puerta de acceso a grandes cantidades de información, pero sobre todo, son una vía rápida para intercambiar conocimientos. Existen diversos métodos para transportar la información en el mundo de las telecomunicaciones, entre estos podemos destacar los satélites artificiales dedicados a las comunicaciones.

Los satélites orientados a las telecomunicaciones, constan de la particularidad de que son utilizados para abarcar grandes zonas de difícil acceso y es gracias a esta cualidad que son el medio más propicio para transportar servicios de datos, voz y video en grandes capacidades, así como son los servicios de margen internacional. La mayor dificultad para los sistemas que trabajan directamente con satélites, es la sintonización de los mismos. Este es un proceso que implica un trabajo manual y extenuante en la cual existe el riesgo de perder horas en localizar los satélites sin el equipo adecuado.

En el ámbito estudiantil, los recursos necesarios para poder desarrollar proyectos y análisis sobre los sistemas satelitales o sobre las señales emitidas por los satélites son altamente costosos y de poca accesibilidad para el cuerpo de estudio ingenieril, puesto al poco desarrollo de sistemas encargados de sintonizar estos equipos de forma automatizada y a bajo costo. Pensando en volver más eficiente el proceso de sintonización y minimizar el tiempo de ejecución, surge la propuesta de diseño de una unidad que automatice el

proceso de localización y apunte, para los sistemas parabólicos que trabajan con satélites, utilizando dispositivos de bajo costo como son los microcontroladores.

En base a estas informaciones revelamos el objetivo principal del diseño de este sistema, el cual consiste en el desarrollo automatizado de sintonización entre antenas parabólicas y satélites; para el crecimiento tanto de la industria de las telecomunicaciones en nuestro país, como también un mejor desarrollo de la educación, utilizando microcontroladores y sistemas de control.

Con el fin de cumplir este objetivo se tomaron en cuenta una serie de pasos, los cuales se organizaron en capítulos de la siguiente forma para el desarrollo de esta idea:

En el capítulo uno se esbozaron los conceptos teóricos que explican, las características de satélites, las órbitas en donde trabajan, los tipos de estaciones terrenas, las características de las estaciones terrenas, los tipos de antenas parabólicas y el cómo éstas se orientan hacia los satélites, así como los movimientos que se emplean, la elevación y el azimut y para concluir la estructura básica necesaria para las antenas parabólicas.

En el segundo capítulo definimos el proceso de automatización, desarrollamos la programación del circuito integrado a utilizar y el cuerpo de soporte para el movimiento de las antenas, definimos el acoplamiento entre la antena parabólica y el sistema de movimientos y realizamos pruebas de tecnologías aplicadas. Configuramos la estación terrena desarrollada para UNAPEC, así como, los elementos utilizados en esta estación. Se diseñó la interfaz gráfica y la interfaz de control, tanto hardware como software y el sistema lógico del hardware conocido como el firmware.

En el tercer capítulo se validaron todas las pruebas realizadas al sistema, así como los componentes y el trabajo conjunto de los mismos, realizando análisis de desempeño del equipo. De igual forma se muestra en este capítulo el presupuesto a utilizar para desarrollar éste tipo de sistema a nivel académico y su factibilidad para aplicarlo.

Una vez cumplidos estos pasos, se estaría en capacidad de ejecutar un sistema automatizado utilizando microcontroladores para alinear antenas parabólicas satelitales.

CAPÍTULO I

CAPÍTULO 1: SISTEMA DE PARÁBOLAS SATELITALES.

1.1 Órbitas

Las órbitas son la trayectoria que sigue un objeto físico mientras está bajo la influencia de la fuerza gravitatoria de éste. Las órbitas fueron estudiadas por Johannes Kepler de forma matemática, quien formuló tres leyes del movimiento planetario. (Maral & Bousquet, 2010)

La primera ley describe que las órbitas de los planetas para el sistema solar son elípticas y que el Sol era uno de los focos de esta órbita. La segunda, expresa que la velocidad orbital de un planeta no es constante, más bien ésta depende de la distancia entre el Sol y el planeta. La tercera explica la relación universal entre las propiedades orbitales de todos los planetas alrededor del Sol. Dentro de un sistema planetario se encuentran los planetas, cometas, asteroides y demás, los cuales orbitan alrededor de la estrella central, el Sol, de forma elíptica. (Maral & Bousquet, 2010)

Para los satélites existen formas diversas de diferenciar los sistemas existentes, la más sencilla es por la altura a la que estos orbitan alrededor de la tierra. Éste es también un factor importante para calcular cuántos satélites necesita un sistema para conseguir una cobertura mundial y a cuál potencia debe trabajar. Mientras más baja sea la órbita, menor será la potencia a implementar en el haz de la antena del satélite. Así como mientras más

alta sea la órbita, mayor será la potencia a implementar y mayor será la cobertura del haz de la antena.

Existen diferentes tipos de órbitas que describen la altura a la cual se encuentran los satélites, entre estas están las órbitas: MEO, LEO y GEO. Ver figura 1.

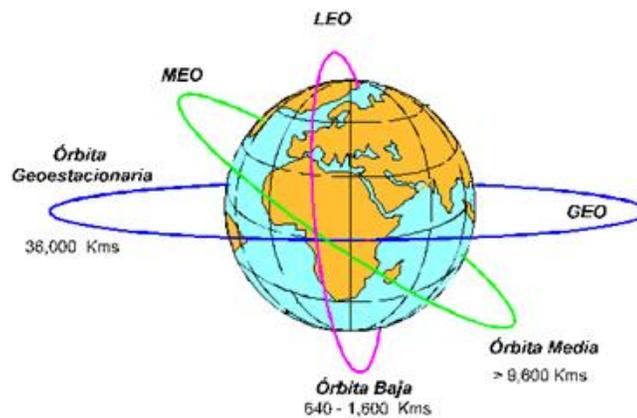


Figura 1: Tipos de órbitas.

Fuente: <http://aulasat.wikispaces.com/Satélites>.

1.2 Órbita media (MEO)

La órbita media terrestre, por su siglas en inglés (MEO), se define como la región del espacio alrededor de la tierra por encima de la órbita baja y por debajo de la geoestacionaria. Los satélites de órbita terrestre media se encuentran a una altura entre 10,075 y 20,150 kilómetros. A diferencia de los de órbita geoestacionaria, su posición no es fija con relación a la superficie. Al encontrarse a una altitud menor, se necesita un número

mayor de satélites para abarcar todo el globo, pero el tiempo de respuesta se reduce de forma significativa. (Carreón Castro, 2015)

Los satélites en esta órbita mayormente son utilizados para sistemas de navegación como son los GPS con altitudes de 20,200 kilómetros, Glonass con altitudes de 19,100 kilómetros y Galileo con altitudes de 23,222 kilómetros. (Carreón Castro, 2015)

Los satélites de comunicaciones que cubren los polos Norte y Sur son incluidos en la órbita media, tomando en cuenta que los periodos orbitales de la MEO se encuentran en rangos de 2 a 24 horas.

1.3 Órbita baja (LEO)

La órbita terrestre baja, por sus siglas en inglés (LEO), se define como la región del espacio alrededor de la atmósfera terrestre y el cinturón de Van Allen, con un bajo ángulo de inclinación. Esta órbita no tiene los límites definidos de forma rígida, pero usualmente estos se encuentran entre 200 y 2000 kilómetros sobre la superficie de la tierra. (Carreón Castro, 2015)

Existen diferentes tipos de clasificaciones para esta órbita. Los satélites pequeños pertenecientes a LEO, están destinados a aplicaciones de bajo ancho de banda, pues estos manejan decenas a centenas de Kbps, como son buscaperonas incluyendo sistemas como

OrbComm. Los grandes pueden manejar además de buscapersonas, servicios de telefonía móvil y transmisión de datos de cientos a miles de Kbps. Los de banda ancha también denominados megaLEO operan en el estrecho de los Mbps y entre ellos están Teledesic, Celestri y SkyBridge.

Los satélites que operan en la órbita LEO viajan alrededor de 27,400 km/h, que sería un equivalente a 8 km/s, dando una vuelta a la tierra cada 90 minutos. Debido a la gran energía y distancia a la que se encuentran los satélites geoestacionarios, esta órbita terrestre baja sirve de ayuda para estos satélites de teledetección, gracias al gran nivel de detalle que mantiene esta órbita en sus equipos.

1.4 Órbita geoestacionaria (GEO)

La órbita terrestre geosíncrona (GEO) por sus siglas en inglés. En esta órbita los satélites se encuentran a 35,800 kilómetros sobre el ecuador terrestre, a esta altura, el periodo de rotación del satélite es de 23 horas 56 minutos 4.09 segundos aproximadamente y, por lo tanto, da la impresión de estar todo el tiempo sobre el mismo lugar de la superficie del planeta. A este tiempo se le conoce como periodo orbital, utilizado para sincronizar la rotación de la tierra con la posición del satélite. (Maral & Bousquet, 2010)

La gran mayoría de los satélites actuales están en esta órbita, a esta misma órbita también se le conoce como Órbita Clarke, en honor al escritor Arthur C. Clarke y su sugerencia sobre la posibilidad de colocar los satélites a esta altura. Los satélites que recorren esta órbita poseen un retardo de 0.24 segundos aproximadamente por día, ésta es la razón por la cual no tardan exactamente un día en cubrir una vuelta entera a la Tierra, debido al recorrido que debe trazar la señal.

Los satélites que se encuentran en la órbita GEO necesitan obtener unas posiciones orbitales determinadas y específicas a lo largo del ecuador para mantenerse alejados lo necesario unos de otros, 2 grados aproximadamente para evitar posibles interferencias entre satélites. La UIT y la FCC son los encargados de administrar éstas posiciones.

Los satélites en esta órbita proporcionan un panorama de observación muy grande permitiendo cubrir los sucesos relacionados con el tiempo. Esto es útil especialmente para observar tormentas locales severas y ciclones tropicales.

Como podemos observar la gran mayoría de satélites dedicados a servicios se encuentran en esta órbita geoestacionaria. A continuación presentaremos un gráfico con la gran mayoría de satélites disponibles según el tipo de satélites. Ver figura 2.

Commercial Communications Satellites Geosynchronous Orbit

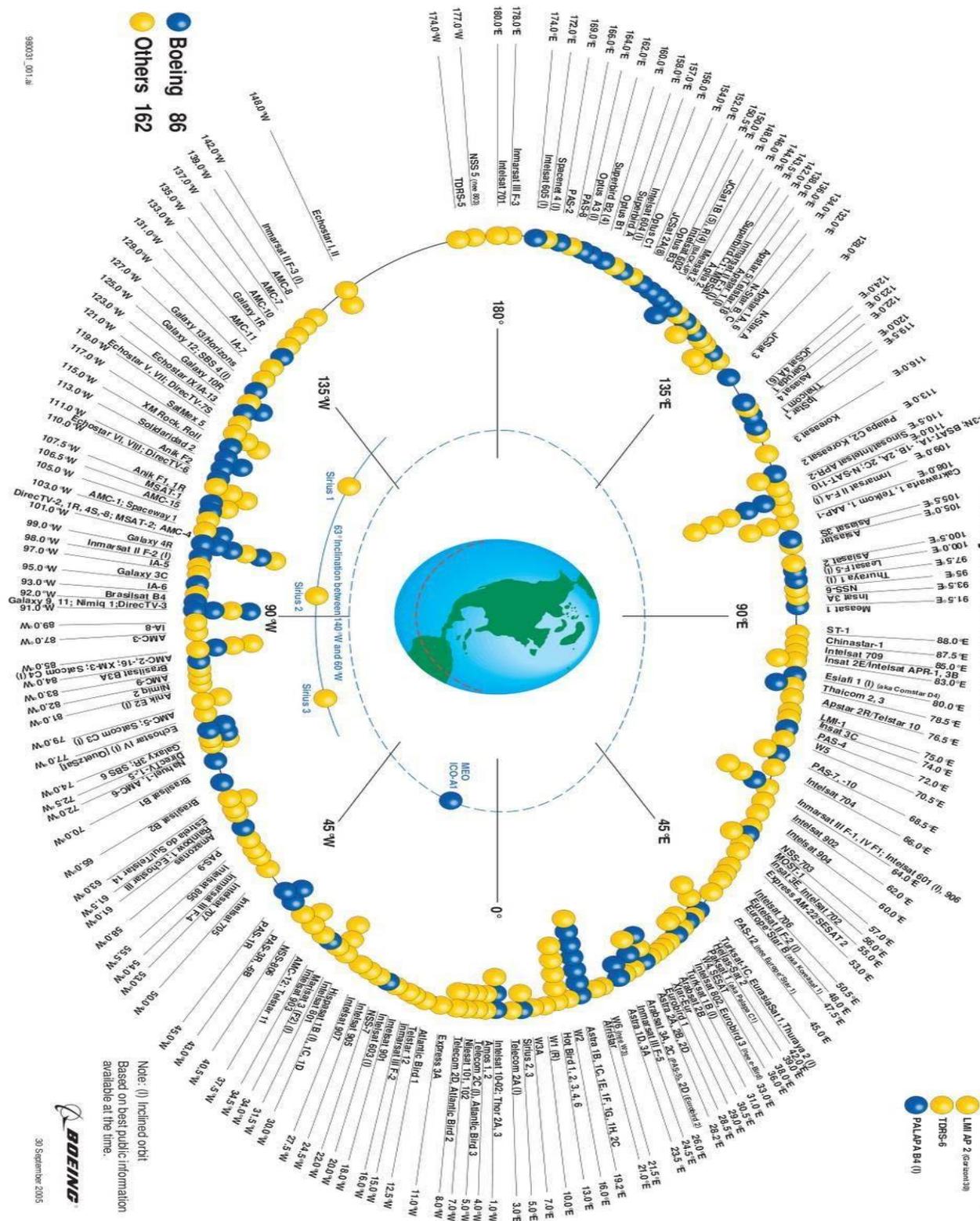


Figura 2: Satélites comerciales geostacionarios.

Fuente: <http://www.boeingimages.com/comercial/satellites>

1.5 Cinturones de Vann Allen

Son ciertas zonas de la magnetosfera terrestre donde se acumulan partículas cargadas. Estos cinturones fueron descubiertos mediante el lanzamiento del satélite estadounidense Explorer 1, que fue un error debido a su forma alargada, que fue mal diseñado junto al sistema de control. Estos cinturones son áreas en forma de anillo de superficie toroidal en las que sus partículas se mueven en espiral en grandes cantidades entre los polos magnéticos del planeta. (Soop, 2012)

Una de las razones para poseer varias órbitas es la existencia de estos campos energéticos en forma toroidal, el cual se divide en 2, un cinturón interior y uno exterior. El interior se extiende desde unos 1000 kilómetros por encima de la superficie terrestre hasta poco después de los 5000 kilómetros. El exterior, que se extiende desde los 15,000 kilómetros hasta unos 20,000 kilómetros, no afectando satélites de órbitas altas o medias como son los geoestacionarios. Ver figura 3.

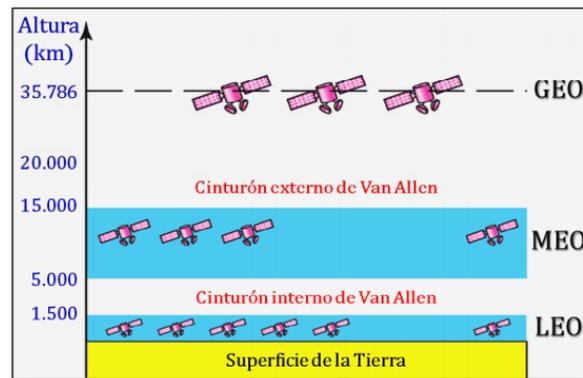


Figura 3: Cinturones de Vann Allen.

Fuente: <http://www.lagranepoca.com/sondas-van-Allen/>

1.6 Satélites

Un satélite es una luna, planeta o máquina que orbita un planeta o una estrella. Por ejemplo, la Tierra es un satélite porque orbita alrededor del sol (Carreón Castro, 2015). Del mismo modo, la luna es un satélite puesto que orbita alrededor de la Tierra. Usualmente se utiliza la palabra “satélite” para hacer referencia a una máquina que es lanzada al espacio y se mueve en la órbita de la Tierra o algún otro cuerpo en el espacio.

Las comunicaciones son parte de un aspecto indispensable en el desarrollo de un país, principalmente en los países que poseen un amplio territorio. En las telecomunicaciones siempre fue de vital importancia lograr comunicarse más allá del radio del horizonte. Esto

se realizaba utilizando métodos como el de las comunicaciones ionosféricas y el de dispersión ionosférica o troposférica. (QUINTERO, 2014)

El escritor británico de ciencia ficción Arthur C. Clarke, en 1945 sugirió la posibilidad de colocar un satélite en órbita circular ecuatorial con un radio de 42,242 Km que tendría una velocidad angular adaptada a la tierra. En 1950 se propuso realizar ese tipo de comunicación colocando un vehículo espacial en órbita. La primera versión apareció en 1956 con el satélite Echo, este consistía en un balón metálico en órbita que permitía la reflexión de la señal y la comunicación de los Estados Unidos a través del Océano Atlántico.

En 1965, la Organización Internacional de Telecomunicaciones por Satélite (por sus siglas en inglés INTELSAT), lanzó el INTELSAT I, conocido como el pájaro madrugador (Early Bird) en órbita sobre el Océano Atlántico. Este satélite brindó la posibilidad de realizar el primer enlace satelital continuo transatlántico. Tenía la capacidad de transmitir simultáneamente 240 circuitos de voz, o señales de video. Este satélite geoestacionario poseía una antena omnidireccional que irradiaba señales desde el satélite.

Para mantener la antena del satélite correctamente orientada en dirección a la Tierra, el cuerpo cilíndrico del INTELSAT I giraba alrededor de su eje a una velocidad determinada. Numerosos satélites luego de éste utilizaron la técnica de estabilización spin.

Entre los años 1966 y 1967, INTELSAT lanzó la segunda generación de satélites geoestacionarios. Estos INTELSAT II, también utilizaban antenas omnidireccionales, pero

cada satélite concentraba la mayor parte de su energía en un haz global, de forma que esto hiciera llegar sus servicios de telecomunicaciones hacia el sur del Ecuador.

En 1966, la Unión Soviética fue la primera en gestionar una red doméstica de comunicaciones por satélites. Su primer satélite Molniya emitió señales de TV y radio desde Moscú a través de toda la Unión Soviética. En lugar de utilizar el arco geoestacionario, decidieron colocar 4 satélites Molniya en el espacio a intervalos iguales a lo largo de la órbita elíptica. Cada satélite tenía la capacidad de proveer hasta 6 horas de cobertura sobre la Unión Soviética antes que se perdiera el rango de seguimiento de las estaciones terrenas rusas.

En 1969, INTELSAT lanzó su tercera generación de satélites geoestacionarios, INTELSAT III, en órbita sobre las regiones del Océano Atlántico, Pacífico e Índico. Estos satélites ofrecían la posibilidad de transportar 1500 circuitos de voz simultáneos y señal de TV. En los primeros años de 1970, Canadá y los Estados Unidos comenzaron programas para el lanzamiento de satélites domésticos. El primer satélite canadiense Anik y el norteamericano Westar, transportaban una docena de transpondedores, mejorando la limitada capacidad de canales de los anteriores satélites INTELSAT y Molniya.

En Europa un consorcio franco-alemán lanzó satélites experimentales, Symphonie entre los años 1974-1975. Los Symphonie I y II fueron utilizados una gran cantidad de países y organizaciones del mundo, incluyendo Irán, países de Latinoamérica y las Naciones Unidas.

Para el año 1963, 23 años después de que Clarke realizara sus sugerencias, había un satélite sobre cada uno de los océanos: Atlántico, Índico y Pacífico. (QUINTERO, 2014)

1.7 Características de los satélites

En comunicaciones, (Universidad Politécnica de Valencia, 2009) nos hacen referencia sobre los satélites, los cuales disponen de un módulo de servicios, que consta de los elementos necesarios para el mantenimiento del satélite en órbita, y un conjunto de instrucciones o instrumentos de espacios de telecomunicaciones para la función a desarrollar. Dentro del módulo de servicio se pueden dar a notar los subsistemas de energía, estabilización, control de órbita, telecontrol, control térmico, telemetría y estructura mecánica.

La configuración primaria de un sistema de comunicaciones consta de los siguientes elementos:

- **Antena de recepción/emisión:** ésta antena es la encargada de recibir y emitir todas las señales provenientes de las estaciones terrenas sintonizadas con el satélite.
- **Receptor:** los satélites reciben señales realmente débiles debido a la gran distancia a la que estos se encuentran de las estaciones terrenas, por esta razón se utiliza una

unidad receptora cuyo ruido interno sea lo más mínimo posible en comparación a la señal, con el objetivo de que la calidad de la señal no se deteriore.

- **Multiplexor de entrada:** se encuentra ubicado justo a la salida de la unidad receptora. La función principal es extraer de la banda de 400 MHz, amplificada y trasladada por el receptor, los canales asignados a cada función específica.
- **Etapas de potencia:** es una de las partes más características del satélite en la concepción de un sistema de comunicación. Ésta etapa está conformada por un amplificador de ondas progresivas (TWT – Traveling Wave Tube) de elevada potencia y del equipo auxiliar encargado de brindar la energía adecuada a los electrodos.
- **Multiplexor de salida:** ésta etapa realiza una función completamente inversa a la realizada por el Multiplexor de entrada. Recoge todas las señales de los diferentes canales para enviarlos por la antena emisora. Debe ser capaz de soportar altas potencias, lo que produce alta temperatura, así como debe tener las mínimas pérdidas posibles.

1.8 Bandas de radiofrecuencia satelitales

En las telecomunicaciones, los satélites trabajan con una porción del espectro radioeléctrico que determina prácticamente todo: la potencia, la capacidad del sistema y el precio. Las distintas longitudes de onda poseen diferentes propiedades, éstas pueden recorrer grandes

cantidades de distancias y atravesar obstáculos, siempre y cuando sus propiedades físicas no consuman la onda, cuanto mayor sea la frecuencia, más difícil se le hace a las ondas evadir el obstáculo.

Al hablar de las frecuencias elevadas, generalmente hacemos referencia a frecuencias en el orden de los gigahercios, las ondas pueden ser consumidas o detenidas por objetos como las hojas de papel o las gotas de lluvia, provocando el fenómeno conocido como “rain fade”. Para evitar que esto suceda se utilizan transmisores más potentes o antenas más enfocadas, provocando que el precio del satélite aumente.

Puesto que los satélites se manejan en bandas de frecuencia alta, se han denominado bandas de microondas específicas para estos. Las más utilizadas por estos sistemas satelitales son:

- **Banda L.**
 - Rango de frecuencia de 1.53 – 2.7 GHz.
 - Penetran grandes estructuras terrestres; precisan de menor potencia en los transmisores.
 - Capacidad de transmisión de datos limitada.

- **Banda Ku.**

- Rango de frecuencia en recepción 11.7 – 12.7 GHz, y en transmisión 14 – 17.8 GHz.
- Son longitudes de ondas medianas que penetran grandes estructuras terrestres y tienen gran capacidad de datos.
- Tienen ubicaciones muy remotas.

- **Banda Ka.**

- Rango de frecuencia en 18 – 31 GHz.
- Amplio espectro en las ubicaciones y las longitudes de ondas pueden transportar enormes cantidades de datos.
- Necesitan transmisores muy potentes lo que la hace sensible a interferencias ambientales.

Para tener una idea más detallada podemos ver en la Tabla 1 el detalle de las bandas de microondas y su clasificación.

Tabla 1: Tipos de bandas de frecuencia satelital.

Tipo de Banda	Rango de Frecuencias
HF	1.8-30 MHz
VHF	50-146 MHz
P	0.230-1.000 GHz
UHF	0.430-1.300 GHz
L	1.530-2.700 GHz
S	2.700-3.500 GHz
C	Downlink: 3.700-4.200 GHz Uplink: 5.925-6.425 GHz
X	Downlink: 7.250-7.745 GHz Uplink: 7.900-8.395 GHz
Ku (Europa)	Downlink: FSS: 10.700-11.700 GHz DBS: 11.700-12.500 GHz Telecom: 12.500-12.750 GHz Uplink: FSS y Telecom: 14.000-14.800 GHz; DBS: 17.300-18.100 GHz
Ku (America)	Downlink: FSS: 11.700-12.200 GHz DBS: 12.200-12.700 GHz Uplink: FSS: 14.000-14.500 GHz DBS: 17.300-17.800 GHz
Ka	Entre 18 y 31 GHz

Fuente: <http://www.upv.es/satélite/trabajos/pracGrupo17/frecuencias.html>

1.9 Estación terrena

La estación terrena consiste en una serie de equipos interconectados entre sí, siendo el más predominante la antena o reflector parabólico. Ver figura 4.

Generalmente, la antena es utilizada tanto para transmitir como para recibir información. (Carreón Castro, 2015)

La principal función de la estación terrena, que consiste en la adaptación de las señales de datos/voz para su transmisión al satélite. Dependiendo del tipo de estación esta se puede encargar de transmitir y/o recibir información, controlar el estado de los datos recibidos del satélite y su situación orbital. (Carrera, 2011)

Los principales tipos de estaciones son: receptoras de TV por satélite, estaciones terrenas portátiles, estaciones o terminales VSAT, terminales de abertura muy pequeña y grandes estaciones de comunicaciones internacionales. Las cuales conceptualmente poseen el mismo diseño original de comunicaciones dado que, el procesamiento de la señal a transmitir o recibir es similar en todos los casos. Esto quiere decir que la estación estará constituida por un subsistema de antena, un subsistema de seguimiento, transmisión/recepción en radiofrecuencia, etapa de conversión de frecuencia, modulación/demodulación, suministro de energía y sistema controlador. (Scribd, 2011)

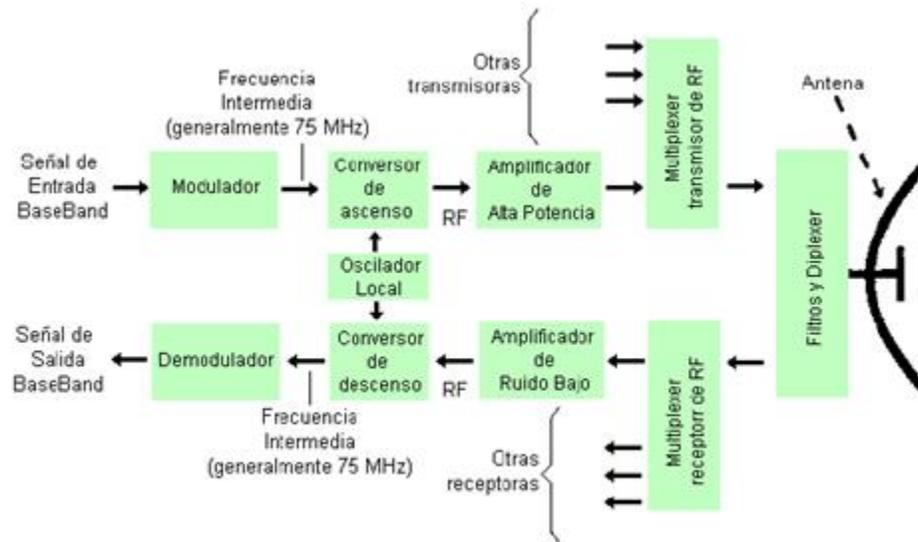


Figura 4: Esquema modular de estación terrena.

Fuente: <http://redesacesomichelle.blogspot.com/2011/07/estacion-terrena-de-comunicaciones.html> (Carrera, 2011)

1.10 Características de una estación terrena

Una estación terrestre consta de varias características físicas y conceptuales, partiendo del modelo de las telecomunicaciones tomamos en cuenta que están 2 funciones indispensables, emisión y recepción. Las cuales realizan operaciones de modulación o demodulación según corresponda en el sistema.

El sistema de transmisión está compuesto por:

- Conexión con las señales de entrada de la banda base.

- Procesamiento de la banda base.
- Convertidor de FI a RF.
- Amplificador de gran potencia AGP.
- Klystrons de gran potencia.
- Alimentación de la antena.
- Antena Parabólica.

De igual modo la recepción está compuesta por:

- Antena parabólica.
- Convertidor de RF a FI.
- Procesamiento de la banda base.
- Amplificador de nivel bajo de ruidos de alimentación ANBA.

Ya que la estación estará conformada por el conjunto de módulo de emisión y de recepción y el conjunto de antenas, también debe de implementarse un sistema de seguimiento que ayude al sistema a localizar el punto crítico de ganancia en donde la central está en el punto indicado para emitir o recibir señales, de esta forma obtendremos un sistema para la estación muy similar a la figura 4.

1.11 Elementos de una estación terrena

En una definición más detallada de forma modular, podemos apreciar las funciones y características de las partes de una estación terrena y del sistema de seguimiento que esta posee. Ver figura 5.

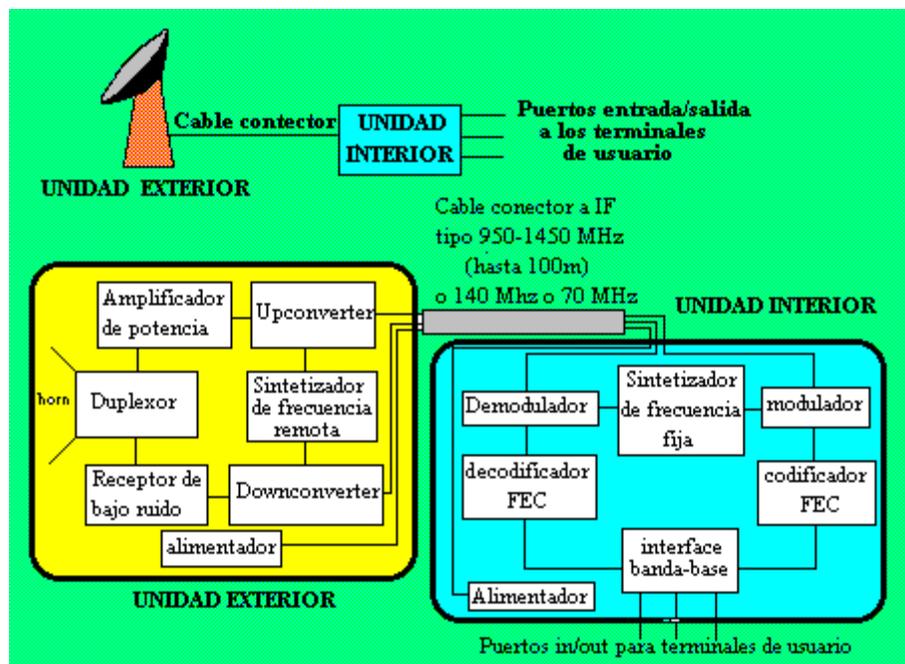


Figura 5: Elementos de una estación terrena seccionada por elementos.

Fuente: http://www.upv.es/satélite/trabajos/pract_4/eltos/terminal.htm.

Los elementos de la estación se definen de la siguiente forma:

- **La antena:** sus funciones principales son el seguimiento de señales, la telemetría y tele-comando y capacidades de voz y televisión. Frecuentemente utiliza el sistema

de Banda S, el cual implementa principios de autoseguimiento por monopolso para mantener la antena en dirección hacia la señal que transmite el satélite. El diámetro de la antena necesario para cualquier función en específico estará determinado por la distancia entre la estación terrena y el satélite, la frecuencia de la portadora y la potencia de transmisión del satélite en Watts. La antena comúnmente es utilizada en el proceso de emisión y de recepción, por razones de costo y tamaño. (Carrera, 2011)

- **Sistema de Transmisión y Recepción de Radiofrecuencia:** algunas de las características marcadas por Carrera (2011) de este bloque son:
 - Los elementos transmisores son más caros que los receptores y su precio aumenta proporcionalmente a la potencia que se requiera transmitir.
 - Este sistema tiene la función de transmitir vía RF desde tierra al satélite y en la banda de frecuencia para todos los comandos necesarios para los componentes del satélite.
 - El equipo de RF para recepción está, usualmente, en arreglos de ganancia, colocados de manera que sea capaz de minimizar las pérdidas en la línea transmisora hacia la antena.
 - Los componentes de transmisión y recepción con más relevancia de una estación terrena son el amplificador de bajo ruido para el receptor (LNA – Low Noise Amplifier) y el amplificador de alta potencia del transmisor (HPA – High Power Amplifier). Al igual que los convertidores de frecuencia para pasar la Frecuencia Intermedia (FI) a frecuencias de microondas.

- **Amplificadores de bajo ruido (LNA):** los amplificadores paramétricos refrigerados criogénicamente son los Low Noise Amplifier utilizados más frecuentemente en las estaciones terrenas de gran capacidad. Y entre sus características se encuentran:
 - Un rango de frecuencia de unos 500 MHz de ancho a 4 GHz.
 - Un rango de frecuencia de unos 700 MHz de ancho a 11 GHz.

Para las estaciones de tamaño medio como las receptoras de TV en los que el costo es un factor crítico se utilizan amplificadores GsaAsFET con refrigeración electrotérmica.

- **Amplificadores de gran potencia (HPA):** los amplificadores utilizados en las grandes estaciones terrenas son organizados en arreglos para obtener señales bien definidas, estos amplificadores de potencia conocidos como High Power Amplifier trabajan con:
 - Niveles de potencia superiores a los 8.5 kW.
 - La configuración empleada se determina a sabiendas de los tipos de señales a utilizar ya sean señales moduladas en FDM o TDM.
 - Cuando utilizan HPAs a 6 GHz, suelen tener anchos de banda entre 40 y 80 MHz.

- Estos amplificadores se clasifican por tipos de onda progresiva (TWT), refrigerados por aire o klystrons llegando hasta los 500 MHz a 6 GHz, permitiendo se les pueda sincronizar en la banda de cualquiera de los transpondedores.
- **Conversores de subida/bajada (Up/Down converter):** los conversores de subida y bajada, son los que realizan la tarea de convertir Frecuencia Intermedia (FI) a Radio Frecuencia (RF).
 - Cuando es Up Converter se aplica una conversión de RF hacia FI.
 - Cuando es Down Converter se aplica una conversión de FI a RF.

Las frecuencias de FI habitualmente son de 70 MHz – 140 MHz y la banda más común es la L (950 – 1550 MHz aproximadamente). Mientras la RF puede ser banda C, Ku, Ka, entre otras. El conversor de Up/Down también puede estar integrado junto con el LNA. Cuando es de esta peculiaridad, se le conoce como LNB (Low Noise Block), es entonces cuando un LNB es lo mismo que un LNA en adición con un Up/Down Converter. (Carrera, 2011)

- **Sistemas FDM:** estos sistemas transmiten y reciben gran cantidad de señales de voz/datos mediante la asignación de diferentes frecuencias a cada canal. Estos utilizan doble conversión de frecuencia con 2 frecuencias intermedias, las cuales oscilan entre 70 MHz y 770 MHz. (Carrera, 2011)

La señal modulada en FDM consiste en 12 canales telefónicos, modulada en una portadora de FI, con un ancho de banda entre 1.25 y 36 MHz, una vez es filtrada, teniendo como resultado una señal FM. La portadora de RF de 70 MHz es entonces reconvertida a 770 MHz donde se recombina con otra portadora para dar lugar a una señal compuesta FM/FDMA. Dicha señal es finalmente trasladada a 6 GHz para su amplificación por el Amplificador de Alta Potencia. (Universidad Politécnica de Valencia, 2009)

- **Sistemas TDM:** estos sistemas se caracterizan por utilizar división en tiempo para enlazar señales digitales en tramas que serán transmitidas por medio de transpondedores separados. La misma FI utilizada para sistemas FDM de 70 MHz debe ser reemplazada por una FI de 140 MHz cuando se realizan los envíos de datos a 120 Mbps utilizando QPSK con un ancho de banda de 80 MHz. Mientras que la FI de 770 MHz se reemplaza por una de 1.2 GHz en estaciones donde la banda Ku tiene un ancho de banda de 750 MHz.

Uno de los puntos críticos de estos sistemas en la recepción digital es la parte que contiene el demodulador, normalmente trabajando en QPSK. En estos sistemas la tasa de error (Bit Error Rate o BER) es totalmente dependiente de la estabilidad de la señal portadora, en donde la mayoría de los satélites proporcionan una relación portadora ruido (C/N) de entre 10 y 25 dB a la entrada del demodulador.

- **Sistema de Seguimiento:** la función principal del sistema de seguimiento de la estación terrena es mantener la antena apuntando en la dirección correcta hacia donde se encuentra el satélite. De esa forma compensa las variaciones de movimiento entre el satélite y la rotación de la tierra. (Carrera, 2011)

Las características de cada sistema de seguimiento varían y son particulares de acuerdo a las propiedades únicas del haz electromagnético de la antena que esté utilizando el satélite y la órbita en la que se encuentre. El sistema debe estar compuesto por:

- **Receptor:** el cuál será el captador de todas las señales que perciba la antena.
- **Sistema de control:** encargado de todos los comandos de dirección que utilizará el sistema de seguimiento para mantener sincronizada la estación terrena, con el satélite.
- **Mecanismo de antena:** éste será el encargado de realizar todos los movimientos de la antena, para que ésta se mantenga en sincronismo con el satélite. Este mecanismo es dirigido por las instrucciones directas del sistema de control.

1.12 Antenas parabólicas y su orientación

Las características principales de una antena son su ganancia, su patrón de radiación, la directividad y la polarización. La ganancia es la cualidad que posee la antena para amplificar señales recibidas o emitidas en una dirección determinada, la misma se mide en decibeles en relación con la potencia emitida o percibida por una antena isotrópica (dBi).

La directividad de la antena es una medida de concentración de la potencia emitida hacia una dirección en particular, asumiendo este concepto se puede decir, también, que es la capacidad de la antena para direccionar la energía radiada en una dirección determinada. Es regularmente una relación de intensidad de radiación en una dirección particular. (WNI México, Wireless Solution, 2014)

La antena parabólica se caracteriza por ser un tipo de antena que lleva un reflector parabólico, cuya superficie es un paraboloides de revolución. (Wikipedia, 2015). Las antenas parabólicas tienen la peculiaridad de poder reflejar las señales que llegan a ella y concentrarlas, como si fuera un lente, en un punto común llamado foco. Este foco es concéntrico con el foco geométrico del paraboloides de revolución que representa matemáticamente la antena y en él se coloca el alimentador, el cual es generalmente una antena de corneta o bocina. (Carreón Castro, 2015)

El tipo de alimentador definirá la ganancia final de la antena y las características de sus lóbulos. Existen varios tipos de alimentación para las antenas parabólicas, pero las más frecuentemente utilizadas son las antenas de alimentación frontal, la descentrada y la Cassegrain.

La antena parabólica de foco centrado o primario, que se caracteriza por tener el reflector parabólico centrado respecto al foco. (Wikipedia, 2015). Ver figura 6.

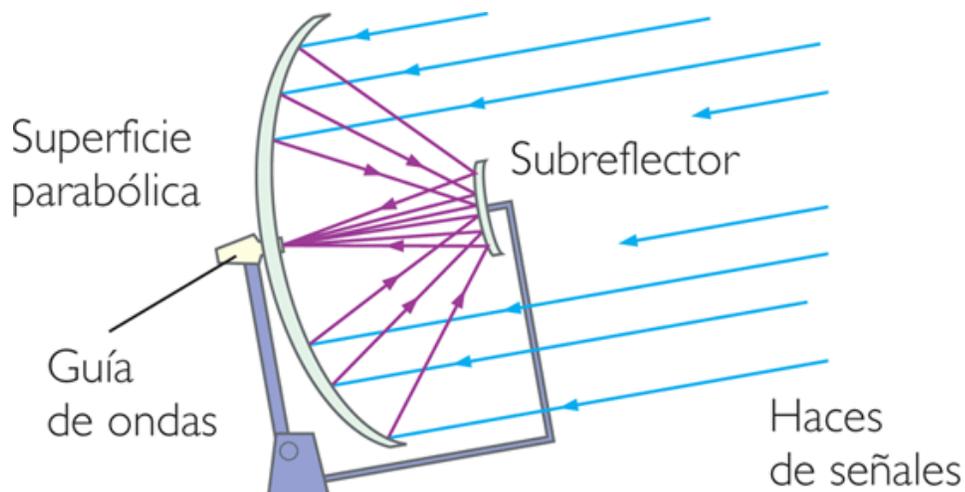


Figura 6: Antena parabólica de foco centrado.

Fuente: <https://maam891.wordpress.com/2011/05/11/105/>

La antena parabólica de foco desplazado u offset, que se caracteriza por tener el reflector parabólico desplazado respecto al foco. Son más eficientes que las parabólicas de foco centrado, porque el alimentador no hace *sombra* sobre la superficie reflectora. (Wikipedia, 2015). Ver figura 7.

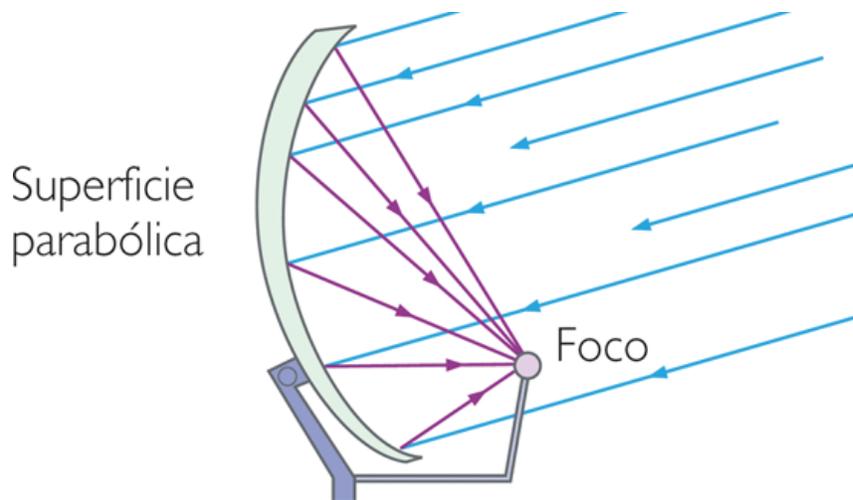


Figura 7: Antena parabólica de foco offset.

Fuente: <https://maam891.wordpress.com/2011/05/11/105/>

La antena parabólica Cassegrain, que se caracteriza por llevar un segundo reflector cerca de su foco, el cual refleja la onda radiada desde el dispositivo radiante hacia el reflector en las antenas transmisoras, o refleja la onda recibida desde el reflector hacia el dispositivo detector en las antenas receptoras. (Wikipedia, 2015). Ver figura 8.

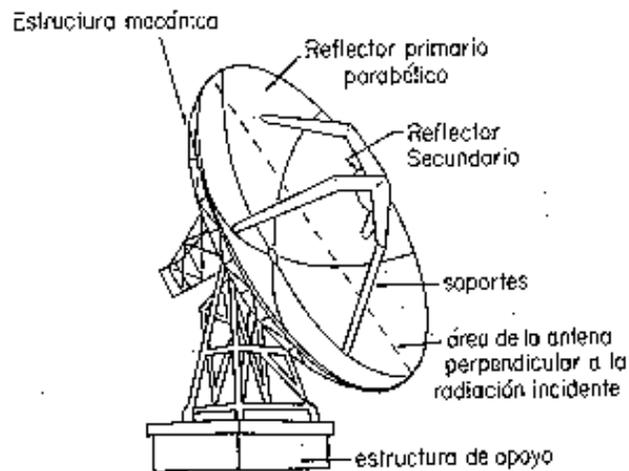


Figura 8: Antena parabólica tipo Cassegrain.

Fuente: <http://www.astroscu.unam.mx/~tony/gif/antestruc.gif>.

1.13 Orientación en elevación y azimut

La orientación de las antenas en las estaciones terrestres hacia satélite geoestacionario, se realiza ajustando ángulos en elevación y azimut, los valores de estos ángulos van a depender de la posición geográfica de la estación, haciendo referencia a la latitud y la longitud, así como también la posición en longitud del satélite. Tomando referencia del eje de simetría de la parábola, el cual coincide con su eje de máxima radiación, el ángulo de elevación es aquel formado por el suelo y el eje de simetría dirigido al satélite. Ver figura 9. El ángulo azimut es la cantidad en grados que hay que mover la antena en el sentido de las manecillas del reloj con relación al norte geográfico de la tierra, de forma que el mismo eje de simetría del satélite pase por la posición en longitud del satélite.” (Maral & Bousquet, 2010).

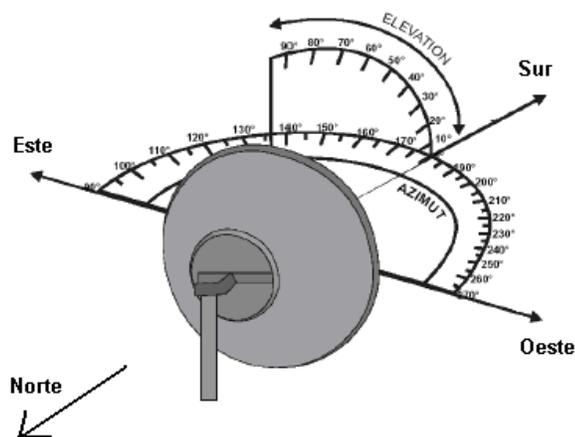


Figura 9: Orientación de una antena parabólica.

Fuente: <http://viasatelital.com/blogs/?p=227#.ViggA9IrJaQ>; (Carreón Castro, 2015)

Es imprescindible conocer la posición geográfica de la antena en latitud y longitud para poder conocer los ángulos de elevación y azimut necesarios para la antena de nuestra estación terrestre, así como la posición orbital del satélite hacia el cual se desee orientar esta antena. Todos estos datos se obtienen de ecuaciones matemáticas dedicadas a conocer esta información.

Para conocer el ángulo azimut utilizamos la siguiente fórmula:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{\tan L}{\text{sen } l}\right)$$

Dónde:

L es la longitud relativa de la estación terrena. Ésta se obtiene del valor absoluto de la diferencia entre la longitud de la estación y la longitud del satélite.

l es la latitud de la estación terrena.

Una vez calculado debemos tomar en cuenta que para el ángulo α , el azimut real al que debe apuntar la antena va a depender del hemisferio en donde nos encontremos, ya sea norte o sur, así como la posición del satélite con respecto a la posición de la estación.

(Maral & Bousquet, 2010) Como podemos ver en la Tabla 2.

Tabla 2: Valor de azimut a partir de la posición del satélite.

Valor del Azimut a partir de la posición satelital		
Hemisferio	Posición del satélite	Valor de Azimut
Norte	Al Este	180 - α
Norte	Al Oeste	180 + α
Sur	Al Este	α
Sur	Al Oeste	360 - α

Para conocer la elevación, se emplea la fórmula a continuación:

$$E = \arctan \left(\frac{\cos \Phi - \frac{R_e}{R_e + R_o}}{\sqrt{1 - \cos^2 \Phi}} \right)$$

Dónde:

$$\cos \Phi = \cos l * \cos L$$

Re es el radio de la Tierra (6378 Km).

Ro es la altura del satélite en la órbita geoestacionaria (35786 Km).

1.14 Estructura para el movimiento de la antena

Las estaciones fijas que operan con un satélite geoestacionario específico abarcan una gama de ángulos a través de los cuales es permitido que la antena apunte hacia ellos y sus variaciones. Su magnitud debe ser suficiente para permitir una reorientación hacia otros

satélites de reserva en caso de avería en el satélite principal. Mas sin embargo, la gran mayoría de estaciones proporcionan un equipo capaz de permitir a la antena, el poder apuntar hacia otros satélites en cualquier dirección ya sea en la órbita geostacionaria o en alguna otra diferente. (Maral & Bousquet, 2010)

El movimiento de las antenas generalmente se obtiene como el resultado de mover 2 o más ejes. En el más general de los casos el primer eje se fija con respecto a la tierra y el eje secundario rotará con relación al primero.

El montaje de movimiento con relación a azimut corresponde a un eje principal fijo de forma vertical, además de un eje secundario horizontal obligado a girar alrededor del eje vertical. Ver figura 10.

La rotación del soporte de la antena alrededor del eje vertical permite que el ángulo azimut A pueda ser ajustado y la rotación de la antena alrededor del eje horizontal asociada del soporte, permite el ángulo de elevación E .

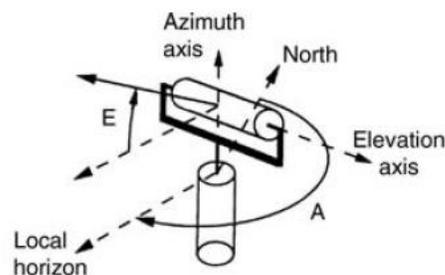


Figura 10: Montaje de movimiento para soporte de azimut.

Fuente: *SATELLITE COMMUNICATIONS SUSTEMS 5th Ed.* Toulouse, Francia: John

Wiley & Sons Ltd.

La estructura mostrada en la imagen anterior muestra que el eje secundario no está en el plano horizontal, por esta razón puede estar en un ángulo diferente a 90. Este tipo de montaje es útil para antenas de tipo Cassegrain ya que el volumen dentro del cual este tipo de antenas funciona es referente a diferentes ángulos.

El montaje X – Y tiene un eje principal horizontal fijo y un eje secundario dependiente que gira alrededor del eje primario y es ortogonal al mismo. Este montaje tiene una alta rotación alrededor del eje primario, razón por la cual lo hace útil para los satélites en órbitas bajas en lugar de los satélites geoestacionarios. En este tipo de montajes la antena apunta en la dirección del satélite, la misma es obtenida a través de un ángulo X alrededor del eje principal horizontal, luego por rotación a través de un ángulo Y sobre el eje secundario asociado de la parte giratoria del eje primario. (Maral & Bousquet, 2010).

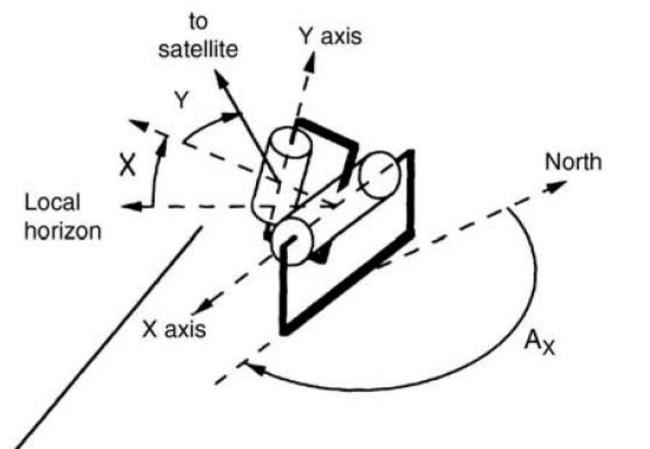


Figura 11: Montaje tipo X – Y.

Fuente: *SATELLITE COMMUNICATIONS SUSTEMS 5th Ed.* Toulouse, Francia: John

Wiley & Sons Ltd.

CAPÍTULO II

CAPÍTULO 2: DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA SINTONIZACIÓN DE SATÉLITES

2.1 Configuración de la estación terrena de UNAPEC

La estación terrena en la que se trabajará se encuentra localizada en el campus II de la universidad APEC, en el techo del edificio 2, con coordenadas geográficas (18.450577, -69.968336). La selección de esta localización se debe a que en dicho edificio se encuentran los laboratorios de telecomunicaciones y esto facilitaría mucho el traslado de las personas para realizar pruebas o experimentos.

Ésta estación será configurada como una estación móvil, de forma que si en algún momento es necesario mover el punto fijo de donde ésta se encuentra, no represente una dificultad o una limitante para el usuario final, que será quien decida si es necesario mover la estación de lugar, ya sea por recepción de señal o por mejor posicionamiento para movimiento del sistema. Este sistema poseerá la siguiente composición de elementos (configuración):

- **Interfaz gráfica:** encargada de la interacción con el usuario final y la interfaz de control. La misma sirve de puente de comunicación entre estos y es quien envía los datos introducidos por el usuario al sistema de control de datos.

- **Etapa de control de datos:** el punto crítico encargado de realizar cálculos matemáticos y la toma de decisiones en el sistema. Esta etapa controla todas las demás partes del sistema.
- **Etapa de control de movimientos:** ésta etapa también es conocida como la parte mecánica de las estaciones terrenas. Se encarga de proporcionar los movimientos adecuados a la antena parabólica para que esta se sintonice correctamente con el emisor del satélite.
- **Unidad de GPS:** es un módulo que sirve para conocer la localización exacta de la estación terrena. La misma es utilizada para aplicaciones en las cuales el sistema sea movido de lugar; enviando toda la información a la etapa de control de datos.
- **Antena parabólica y unidad de recepción:** ésta es la etapa básica de comunicaciones de este sistema, la misma está compuesta más que nada por la antena receptora que es una parábola de tipo offset o foco desplazado.
- **Unidad de alimentación:** es la etapa encargada de generar la energía suficiente para la alimentación de todo el sistema en el módulo de hardware.

Siendo estas las partes principales de la configuración de nuestra estación terrena, mencionamos que la misma se divide en 2 partes: Software y Hardware. Ver figura 12.

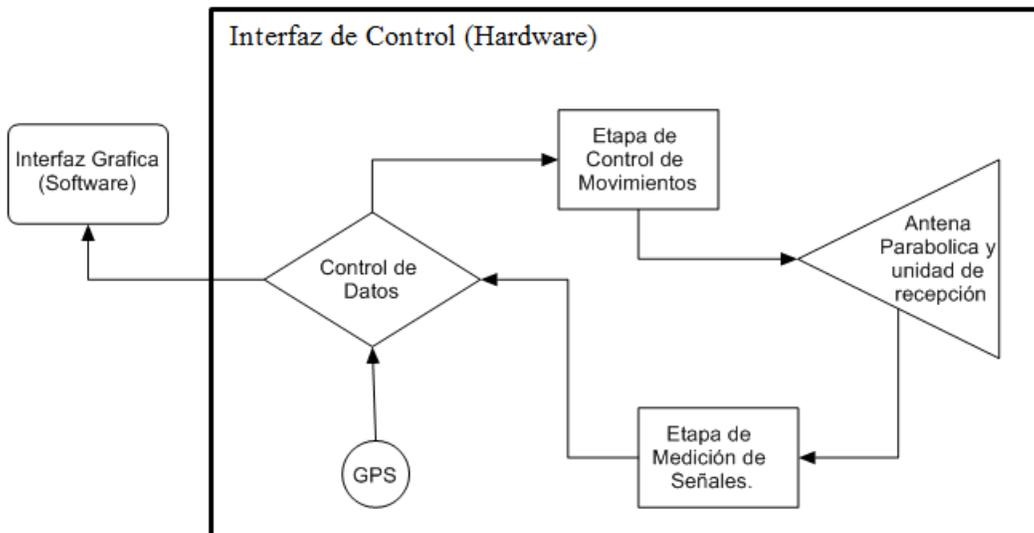


Figura 12: Diagrama en bloques estación terrena de UNAPEC.

2.2 Elementos parabólicos de la estación

Para dicha estación terrena se ha seleccionado una antena parabólica provista por la Universidad cuyas características se pueden observar en la tabla 3.

Esta antena, la cual es de tipo Offset puesto que su punto focal difiere del foco mismo de la antena, es la idónea para nuestro sistema. Complementa el sistema por sus características en peso y tamaño, de forma que el mecanismo sea capaz de mover a voluntad esta antena. Este modelo de antena el DSA8900H es el utilizado por el grupo de satélites DIRECTV fabricados por Boeing, ésta antena tiene una capacidad de transpondedores de 500MHz suficientes para abarcar los 360 grados en la órbita geoestacionaria.

Tabla 3: Características de Antena receptora.

Antena Receptora	
Marca	RCA
Peso	13.5 lbs.
dimensiones	24.5 x 23 x 5.5 pulgs.
Modelo	DSA8900H
Frecuencia	26.5 - 40GHz
Longitud de onda	7.5 mm
Banda de frecuencia	Ka
Tipo de Antena	Offset

2.3 Diseño de la interfaz gráfica de control (Software)

Para la realización de la interfaz gráfica que controlará el sistema se ha seleccionado el lenguaje de programación BASIC y el compilador XOJO por su facilidad de implementación y por las existentes librerías de comunicación serial USB, que es precisamente la comunicación que se utilizará por su universalidad y compatibilidad tanto con ordenadores modernos como con algunos más antiguos.

El software desarrollado utiliza de una base de datos donde se encuentran todos los satélites geoestacionarios en línea (a la fecha) donde el usuario puede seleccionar cual satélite desea sintonizar. Dicha base de datos fue proporcionada por los servicios de la página web satsig.net. Otra característica del software es que es capaz de obtener la localización

geográfica actual de la estación terrena en caso de que ésta sea movida o de que se deseé acoplar el sistema a alguna estación móvil.

Una vez se ha seleccionado el satélite que se desea rastrear (si se encuentra dentro del campo visible para la parábola) el programa envía la información de desplazamiento que debe de realizar la antena al circuito de control, el cual es el encargado de realizar los movimientos de lugar para obtener una sintonización correcta del satélite seleccionado.

El software de control fue diseñado para trabajar con una base de datos de los satélites geoestacionarios disponibles actualmente, así como su longitud, por tal razón al inicio del programa se pide que se localice dicha base de datos como puede verse en la figura 13.

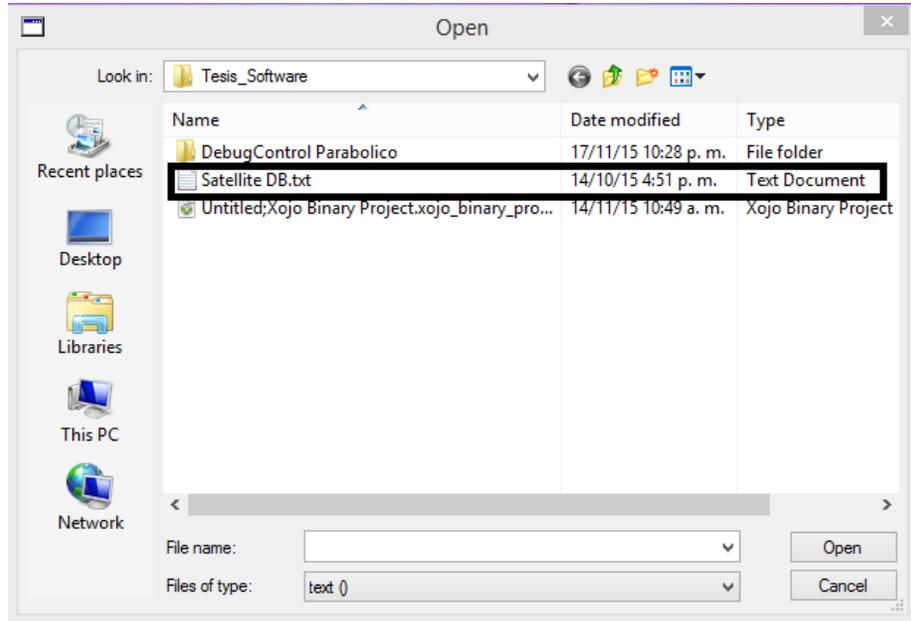


Figura 13: Solicitud de la base de datos por parte del software diseñado.

Después que se ha seleccionado la base de datos con la cual se pretende trabajar, la interfaz con la que el usuario trabajará es iniciada. En esta ventana no se puede hacer mucho más que intentar conectar con el circuito de control, aunque de no estar conectado nos encontraremos con un mensaje de advertencia de que el dispositivo no ha podido ser localizado, si por el contrario, el dispositivo ha sido conectado, entonces el texto del botón cambia de “connect” a “connected” indicando que hay una conexión establecida aparte de la habilitación de todas las demás funciones más la lectura y despliegue de valores de localización y azimut en pantalla. Todo esto puede ser visualizado en la figura 14.

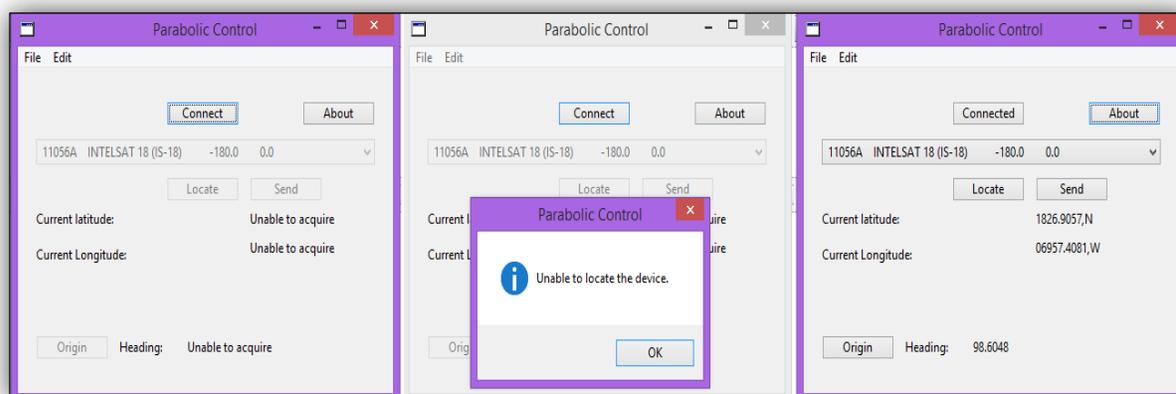


Figura 14: Estados de conexión entre el dispositivo y el software.

De izquierda a derecha:

- a) interfaz inicial de usuario, b) intento fallido de conexión con el dispositivo, c) intento exitoso de conexión con el dispositivo.

Las lecturas de localización y de azimut se mantienen actualizadas de manera constante (cada 10 milisegundos el azimut y 1 segundo la localización), de manera que el usuario pueda obtener una lectura en tiempo real de estos valores. Estos pueden ser vistos en la figura 15.

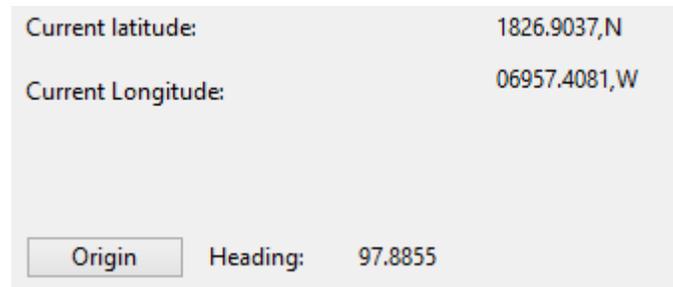


Figura 15: Estado de localización y azimut ofrecidos por el software.

Siguiendo con el uso de las funciones del software podemos observar en la figura 16, que tenemos una lista en la cual se encuentran todos los satélites extraídos desde la base de datos en la cual podemos seleccionar el que deseamos localizar.

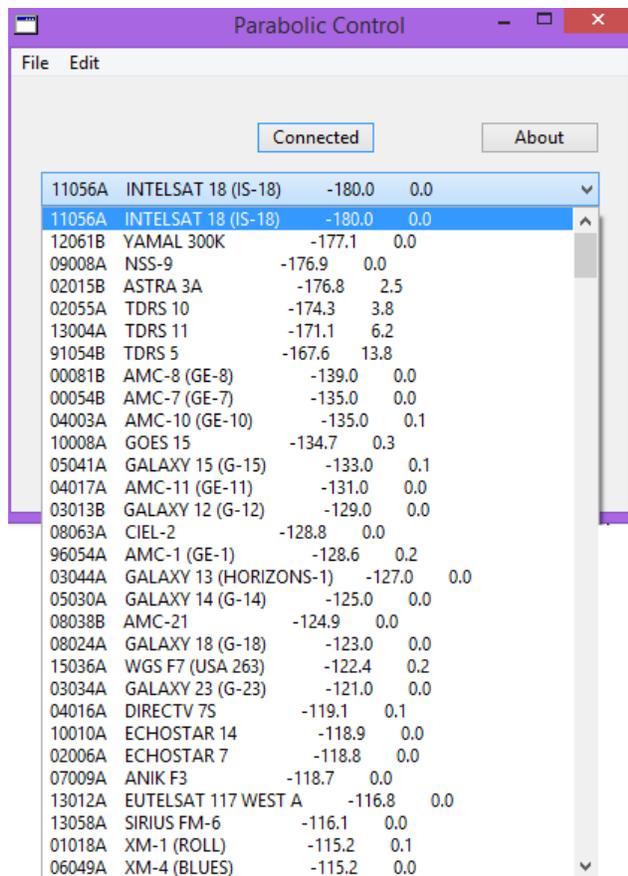


Figura 16: Despliegue de lista de satélites en el software.

Cuando seleccionamos uno de los satélites, y presionamos el botón para localizar “locate” el software nos presenta un cuadro de diálogo en el cual nos da los valores de azimut y elevación que debemos de adquirir para que se pueda localizar el satélite, tal como se puede ver en la figura 17.

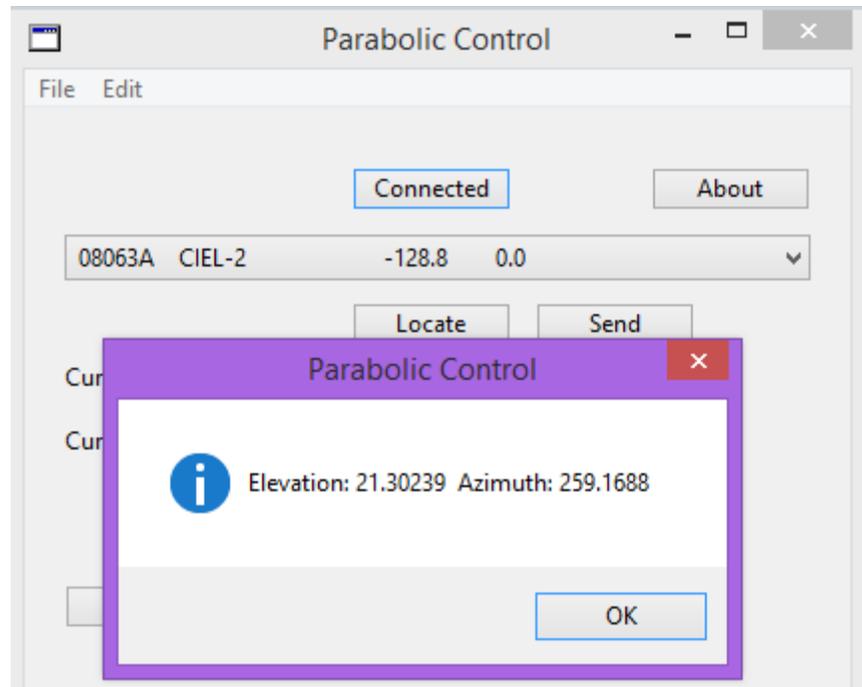


Figura 17: Datos de elevación y azimut presentados por el software al momento de localizar un satélite.

Estos datos son enviados al circuito de control solo después de que se presione el botón de enviar "send".

Por último, existe otra característica que vale la pena mencionar que es la de localizar el origen "origin", es decir, ir a elevación y azimut de cero grados. Cuando esta opción es seleccionada el sistema se moviliza hacia estos dos valores. Ver figura 18

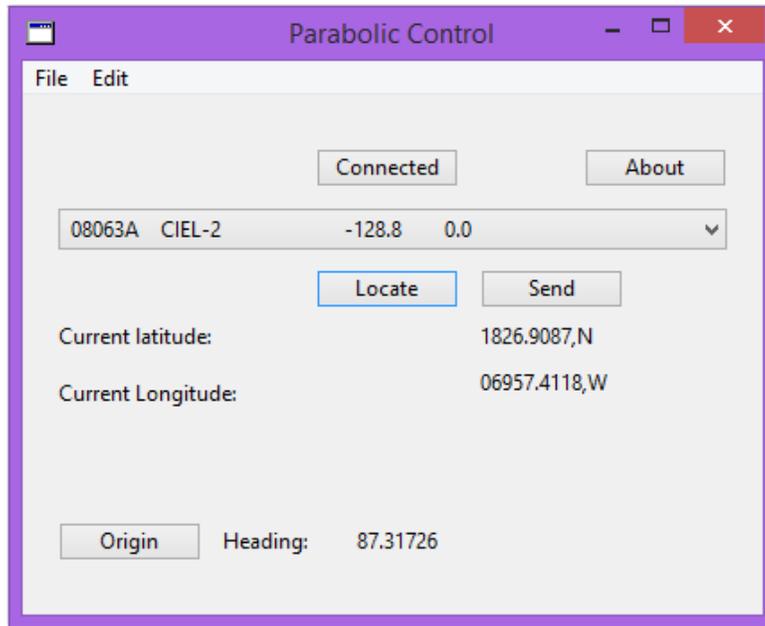


Figura 18: Pantalla del software con la opción de volver al origen.

Podemos observar una visión general de cómo funciona el software visualizando el siguiente flujo grama. Ver figura 19

El código de programación del software puede ser visualizado en el Apéndice A de este trabajo.

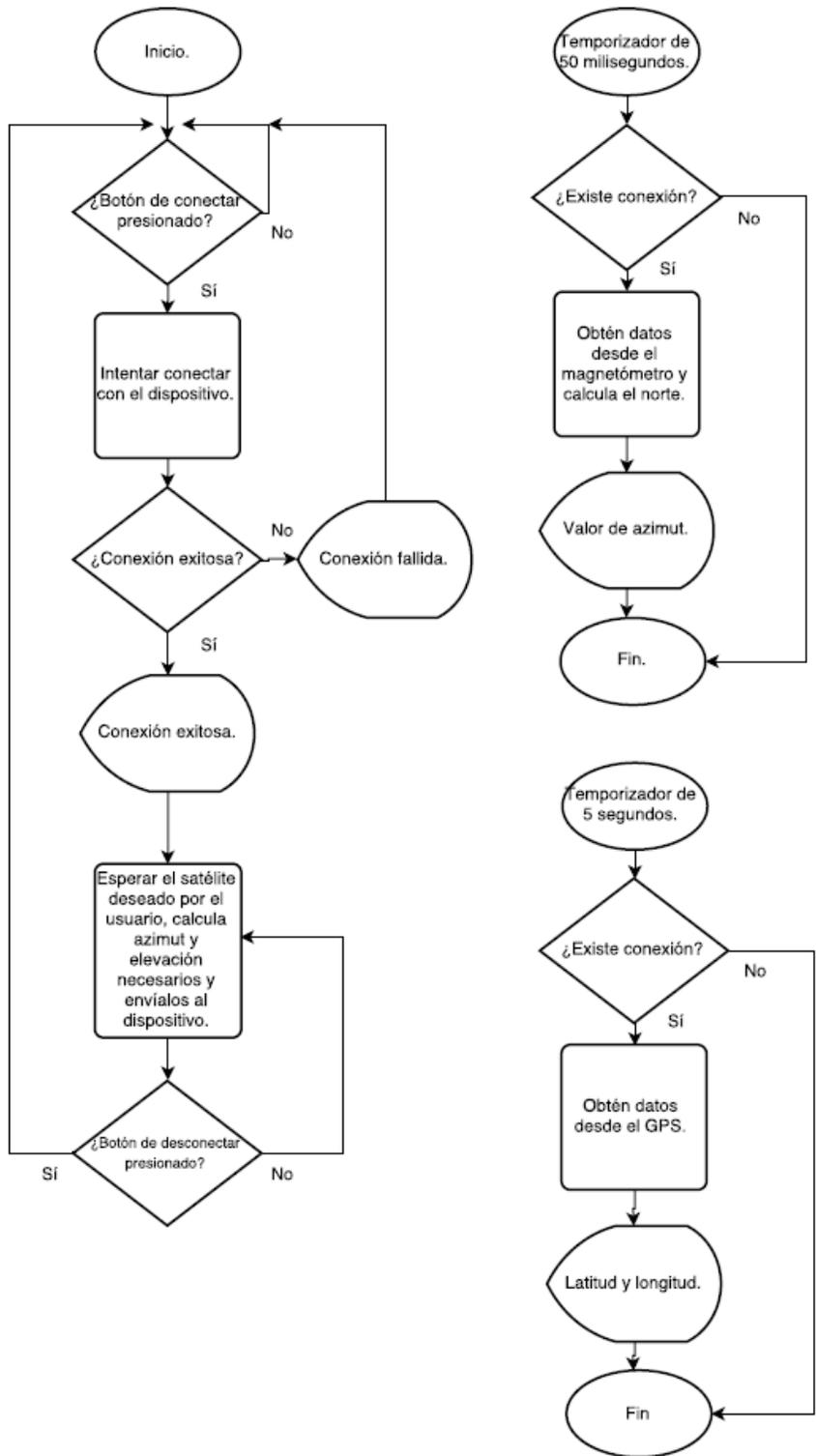


Figura 19: Flujograma del Software.

2.4 Diseño de la interfaz de control (Hardware)

La interfaz de control es la parte del proyecto que interactúa directamente con la antena y realiza el trabajo físico de alinear, rastrear y dirigir el módulo receptor. Ésta interfaz también es conocida como el mecanismo de las estaciones terrestres.

Así como existen diferentes configuraciones para trabajar el mecanismo de las estaciones terrestres, igual se emplean métodos y dispositivos diferentes para conformar las mismas, en nuestro caso optamos por los siguientes dispositivos:

- **Microcontroladores**

El sistema de control encargado de realizar los movimientos de azimut y elevación para una correcta sintonización satelital que consta de varias partes entre las cuales se pueden destacar el microcontrolador, que es un PIC18F47J53 del fabricante Microchip, se pueden ver sus principales características en la tabla del microcontrolador. Ver tabla 4.

La razón de su selección se debe principalmente a que este pequeño dispositivo consta de una alta cantidad de pines (necesarios para manipular la gran cantidad de módulos que se utilizarán en el sistema) y a su vez una gran cantidad de periféricos y protocolos comunes dentro de la electrónica digital como son la comunicación UART, I2C, USB (también necesarios para la comunicación con los módulos utilizados).

Tabla 4: Especificaciones del Microcontrolador.

Cantidad de pines	44
Memoria de programa (bytes)	128K
Memoria RAM (bytes)	3.8K
Pines remapeables	22
Temporizadores 8/16-bit	4/4
PWM	7
UART	2
SPI	1
I2C	1
Convertidor análogo a digital de 10 o 12 bits	13
Comparadores	3
Sueño profundo	Si
Reloj de tiempo real	Si
USB 2.0	Si
Frecuencia máxima del oscilador (Hz)	48M
Voltaje típico de trabajo (V)	3.3V

El microcontrolador se encuentra en sí mismo dentro de un módulo llamado XT PIC Clicker distribuido por la compañía Xolutronic, tal como se puede apreciar en la figura 20. El microcontrolador es utilizado de esta manera porque es más práctico a la hora de acoplarle los demás módulos y porque evita la necesidad de crear un circuito específico para esta aplicación haciéndolo así un proyecto más genérico y con mayor capacidad al crecimiento.

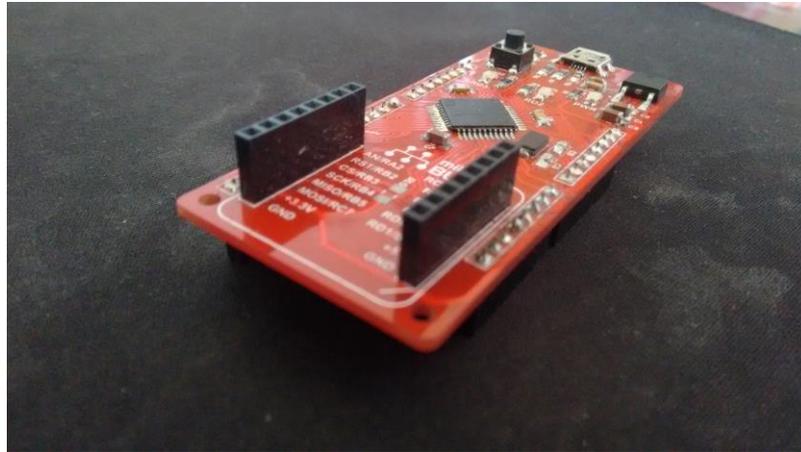


Figura 20: Microcontrolador en módulo XT PIC Clicker

La función principal del microcontrolador es la de comunicarse con el usuario a través de un ordenador utilizando el puerto serial USB y controlar todo el sistema para que cumpla con la petición realizada por el usuario. También el microcontrolador debe de conocer su posición actual, para poder realizar un cálculo correcto de cómo debe moverse el sistema para poder localizar el satélite deseado.

Este circuito integrado es el encargado de tomar toda la información entregada por los diversos módulos y traducirla en algo útil que el software pueda entender al igual que transformar la información enviada por el software en los pulsos eléctricos necesarios para movilizar los motores encargados de la localización satelital.

- **GPS**

La obtención de la localización es realizada por el microcontrolador utilizando un módulo GPS modelo RXM-GPS-RM desarrollado por el fabricante Linx. Utilizar un GPS en un

sistema como este nos brinda la practicidad del movimiento, haciendo así que el sistema aparte de poder funcionar de manera correcta en una estación terrena fija sea, además, capaz de ser movilizadado.

El módulo GPS consta de una antena que debe de ser colocada en los exteriores para obtener una geolocalización más rápida y más precisa. Dicha antena se puede observar en la figura 21. Una vez que el GPS ha obtenido la localización actual ésta se mantiene actualizándose, de manera constante, una vez cada segundo y le indica al microcontrolador enviándole un pulso que dicha información ha sido modificada.

Es necesario mencionar que los sistemas GPS reciben información desde los satélites (de manera constante como mencionamos anteriormente) no solo de latitud y longitud, sino también de altitud, hora, velocidad con respecto al suelo, entre otros datos que para algunas aplicaciones son datos muy importantes, pero para la nuestra específicamente no lo son y por tanto es deber del programador descartar toda esa información innecesaria implementando un algoritmo de descarte en el programa del microcontrolador.

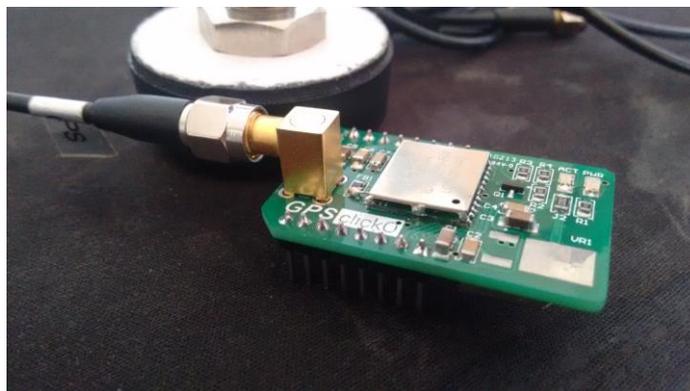


Figura 21: Módulo de GPS con antena receptora conectada.

La comunicación que se realiza entre el GPS y el microcontrolador para poder saber la localización, es una comunicación serial UART, donde cada vez que el módulo GPS le indica al microcontrolador que la información de localización ha sido modificada (o en su defecto, simplemente actualizada), el algoritmo utilizado dentro del microcontrolador refresca los datos de localización previamente almacenados en la memoria del microcontrolador por los datos nuevos enviados por el GPS de esta manera el sistema se mantiene actualizado en todo momento.

- **Magnetómetro**

Uno de los datos que no podemos recibir del módulo GPS y que es de cierto modo necesario para que el sistema pueda conocer donde se encuentra de manera más precisa en un magnetómetro.

El magnetómetro nos indica hacia donde se encuentran los polos magnéticos de la tierra, en especial el norte, que es el que más nos interesa, porque los satélites son localizados utilizando medidas angulares en un sistema de coordenadas esféricas, es decir, medidas de azimut. Estas medidas parten de un punto de referencia que es 0° hasta 359° donde el norte es 0° .

El conocer donde se encuentra el norte aporta la ventaja de que no sea necesario tener que indicarle manualmente al sistema hacia donde está apuntando (por ejemplo, en caso de que se movilice el sistema o de que se desconecte la energía) para que el sistema pueda seleccionar la ruta más conveniente para realizar los movimientos de lugar.

El magnetómetro utilizado es el GY-273, que está basado en el circuito integrado HMC5883L y se puede observar en la figura 22, es un dispositivo bastante pequeño que nos da medidas de campos magnéticos de tres ejes de la tierra (X, Y y Z).

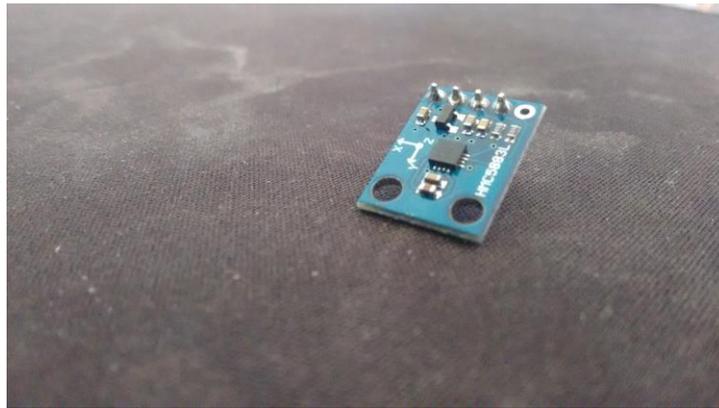


Figura 22: Módulo de magnetómetro junto al integrado

Estos valores de magnetismo terrestre crudos nos sirven para calcular los azimut utilizando los valores provistos por el fabricante del circuito integrado HMC5883L en sus notas de aplicación.

Entre el microcontrolador y el módulo se establece una comunicación serial I²C, donde el microcontrolador realiza el trabajo de maestro y el módulo de esclavo. El maestro le pide al esclavo cada 10 milisegundos que le indique los valores actuales, dichos valores son analizados para determinar los movimientos de los motores. Los valores leídos del esclavo

también son transferidos al software para que así el operador pueda ver los valores de azimut que está tomando el sistema.

Es necesario mencionar que el magnetómetro debe de aislarse lo más posible del resto de circuito por razones de interferencia magnética. Se obtienen valores mucho más precisos cuando el módulo se encuentra alejado de metales y de dispositivos generadores de interferencia electromagnética (EMI).

- **Motores paso a paso**

Para convertir todos los datos ofrecidos por los periféricos del sistema en movimiento, es necesario el uso de algún mecanismo capaz de moverse de manera controlada, es decir, que se le puede indicar cuál es el movimiento necesario que hay que realizar para llegar a un punto determinado. Por tal razón se han seleccionado motores paso a paso para transformar la petición del operador y los datos de los sistemas en movimientos certeros.

Los motores paso a paso tiene la particularidad de que tienen movimientos bastante precisos y fáciles de controlar, además de que disponen de un par estático (torque estático) que es ideal para mantener la posición deseada evitando así que sea posible (al menos no tan fácilmente) el movimiento de la antena por agentes externos mientras los motores están energizados.

Se necesitan realizar dos movimientos para poder controlar del todo la antena, movimientos en azimut y movimientos en elevación. Los motores seleccionados tienen sus

especificaciones que aparecen reflejadas en la tabla 5 y se puede resaltar que dichos motores tienen 400 pasos por revolución, significando así que cada motor tiene una resolución de 0.9° ($360/400$) por paso en paso completo.

Tabla 5: Especificaciones motores “Steppers”.

Angulo de paso	0.9°
Precisión del paso	5%
Par estático	0.9Nm (127.5oz.in)
Corriente de fase	0.38A
Resistencia de fase	32Ohms
Voltaje	12.1V
Inductancia	40mH±20%(1KHz)
Peso	600g

Fuente: *Datos provistos por el fabricante.*

- **Control de los motores paso a paso**

El control de los motores paso a paso es bastante sencillo en sí, con una combinación de pulsos en sus pines el motor gira un paso (o menos). El único problema que representa el control de los motores es el uso de 4 pines del microcontrolador solo para mover un motor, además de que es necesario realizar un circuito que pueda suplirle la corriente necesaria a cada fase del motor (380 mA en nuestro caso).

Por lo tanto se ha elegido controladores de motores que disminuyen a solo dos los pines necesarios para manejar los motores, uno para mover el motor y otro para cambiar la dirección del motor. El controlador de los motores es un EasyDriver V4.4 y lo podemos observar en la Figura 23, es capaz de suplir hasta 750 mA por fase, suficiente para los motores seleccionados.

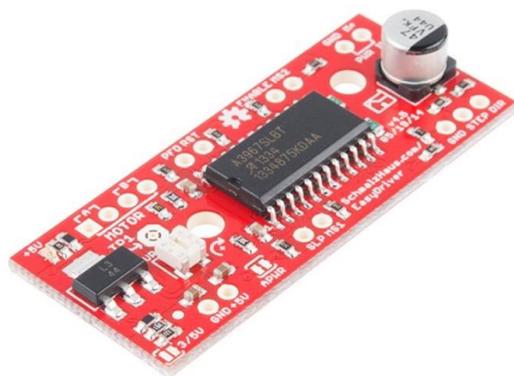


Figura 23: Controlador de motores EasyDriver V4.4

El microcontrolador controla al EasyDriver V4.4 enviando un flanco positivo para realizar un paso de motor al pin STEP. La dirección a la cual va el motor es determinada por el pin DIR al cual si se le aplica un 1 lógico se dirige hacia la derecha y con un 0 lógico se dirige hacia la izquierda.

Podríamos obtener una mayor resolución utilizando micro pasos (microstepping), que es un método de control de motores paso a paso que nos aumenta la resolución pero compromete mucho el torque del motor y en nuestro caso, que estamos controlando el mecanismo directamente con el motor es muy necesario el torque máximo que nos pueda brindar el motor.

Este módulo es capaz de implementar el microstepping de hasta 8 pasos por paso completo, brindado así una resolución total de hasta 0.1125° , pero por razones de torque utilizaremos la opción de paso completo.

- **Control de elevación**

Para mantener el sistema consciente en todo momento de su localización se utilizará un módulo GPS y para que esté al tanto de donde se encuentra en términos de azimut se utilizará un magnetómetro, pero para que el sistema esté consciente de donde se encuentra en términos de elevación utilizaremos un botón de límite (“limit switch”) que cuando sea presionado por los movimientos de la parábola le indicará al sistema donde está la posición inicial o elevación de 0° y a partir de ahí el firmware será el encargado de asignar la elevación correspondiente necesaria para localizar el satélite deseado.

- **Firmware**

La sección del circuito de control encargada de otorgar la inteligencia a todo el sistema es el programa del microcontrolador, o firmware, éste se encarga de configurar el microcontrolador para que trabaje como sea requerido por el programador, y de manera más específica para este sistema, de recibir los comandos del software desde el ordenador y responder de manera adecuada; esta respuesta requiere que también este firmware interactúe de manera eficiente con los demás módulos del sistema.

El firmware está escrito en lenguaje BASIC, utilizando el compilador mikroBasic para PIC de la compañía Mikroelectronica, debido a que ofrecen un gran abanico de librerías, ya optimizadas para implementar casi todos los recursos del microcontrolador, haciendo así que el trabajo del programador se vuelva menos tedioso.

Al inicio de todo el proceso (al encender el microcontrolador y demás componentes) el firmware se mantiene en un estado de reposo, esperando que el GPS indique que se ha obtenido una localización geográfica concreta o que el programa le haga alguna petición. Una vez el módulo GPS adquiere una posición, el firmware se mantiene constantemente leyendo la posición actualizada por el GPS (utilizando el módulo de comunicación UART del microcontrolador). El firmware está consciente de que esta posición ha sido actualizada por el GPS porque verifica un pin de interrupción del módulo GPS que indica cuando se ha actualizado la posición.

El software, una vez conectado con el microcontrolador, se mantiene de manera continua solicitando el azimut (leído desde el magnetómetro utilizando comunicación I2C) y la elevación (determinada contando los pasos del motor encargado de ésta) en la cual se encuentra la antena para desplegar dichos datos de manera gráfica para el usuario.

Otra acción que el firmware debe de realizar es la de recibir la dirección a la cual debe de apuntar la antena. Esto es recibido desde el software y es el mismo firmware el encargado de determinar, a partir de su posición actual, cuales movimientos debe de realizar para llegar a una localización de satélite exitosa.

Para dar la sensación de que todas estas acciones se están realizando de manera paralela y no de manera lineal, teniendo que esperar que se termine una para que comience la siguiente, el firmware se apoya en el sistema de interrupciones que brinda el

microcontrolador, además de la alta velocidad de ejecución de comandos a la que trabaja el circuito integrado.

Las interrupciones son de gran utilidad, ya que nos indican cuando un evento ha ocurrido, haciendo así, que se puedan atender peticiones en medio de alguna acción previamente iniciada, como por ejemplo, la actualización de las coordenadas del GPS en medio de la transmisión de los datos del satélite que se quiere localizar enviados por USB desde el ordenador.

Una apreciación gráfica del diagrama de flujo del firmware se puede ver en la figura 24.

El código de programación del firmware puede ser visualizado en el Apéndice B de este trabajo.

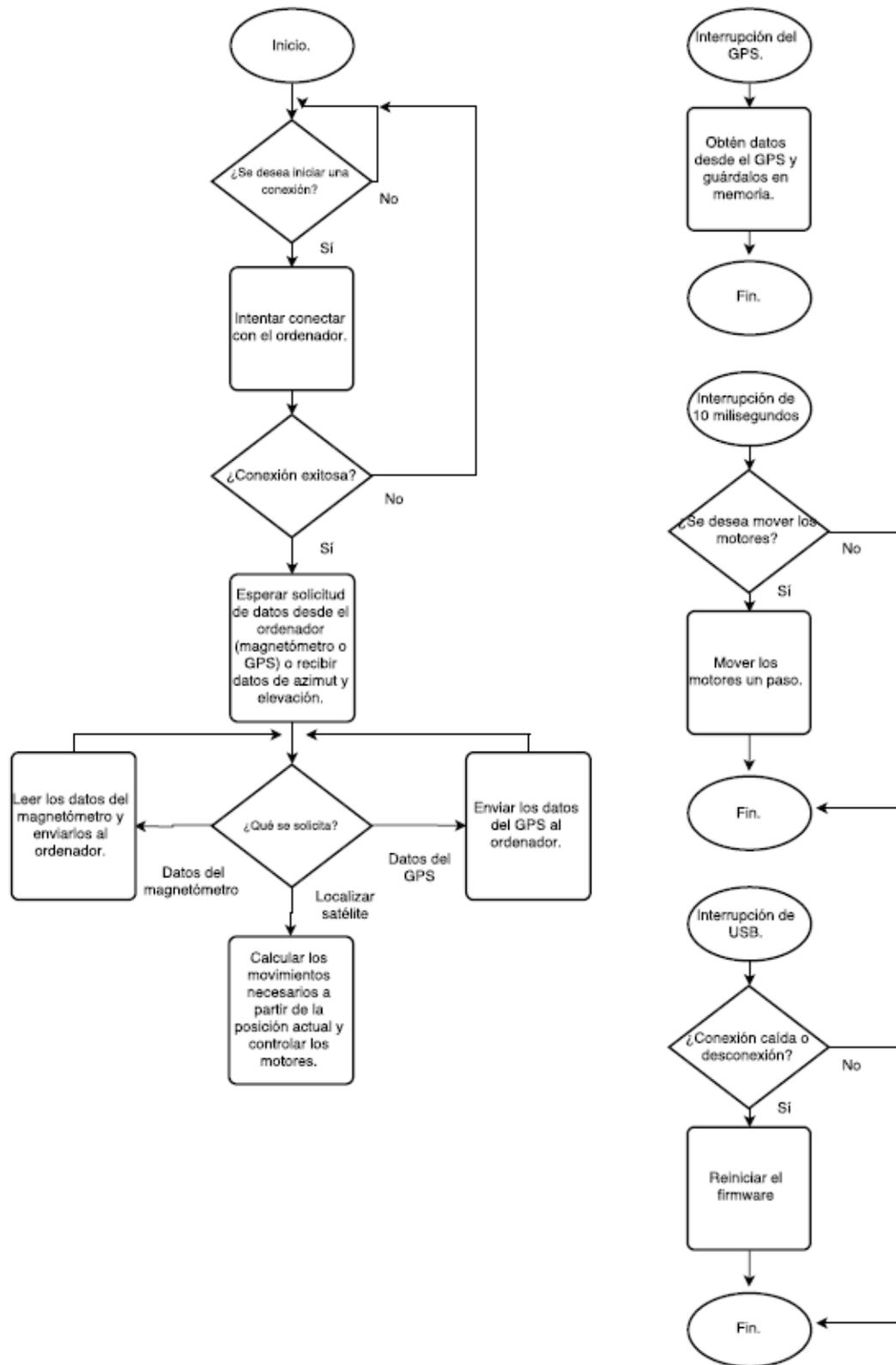


Figura 24: Diagrama de flujo de Firmware.

- **Alimentación**

El circuito se alimenta de una fuente de poder lineal de 24 watts, 12 voltios y 2 amperios, basado en un circuito integrado LM7812 utilizando un transformador de 110VAC/24VAC. Esto es suficiente para alimentar correctamente el circuito, tomando en cuenta que cada uno de los motores que controlan el mecanismo, según el fabricante, necesita al menos 0.74 amperios para funcionar correctamente (0.64 máximo en práctica) haciendo un total de 1.5 amperios. La salida de la fuente se conecta directamente con los controladores de los motores y estos hacen el trabajo de controlar el sobreconsumo limitando la corriente a 0.75 amperios por motor. El esquemático de la conexión se puede apreciar en la figura 25.

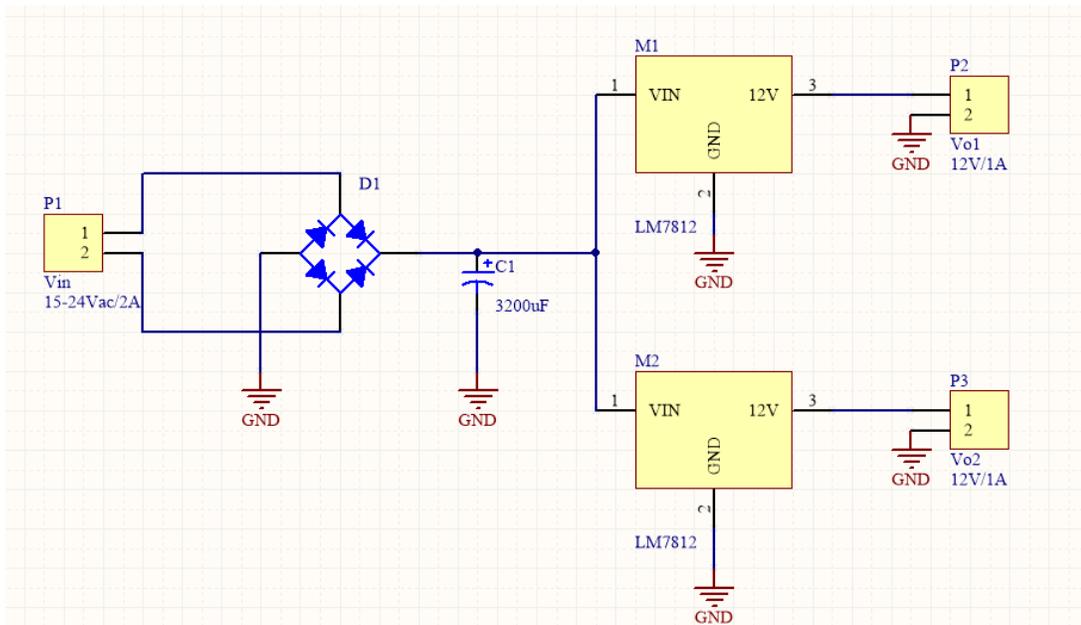


Figura 25: Conexión de la fuente de alimentación.

Además de la fuente de poder, también se está alimentando el circuito de control con la fuente prevista por la comunicación USB desde el ordenador. El voltaje que viene desde el

puerto USB es de 5 voltios con una corriente máxima de 500 miliamperios (0.9 amperios si es versión 3.0). Todos los dispositivos conectados al circuito de control están diseñados para trabajar con 3.3 voltios y por tal razón se está haciendo uso un regulador de voltaje provisto por el XT PIC Clicker para alimentar los demás dispositivos (módulo magnetómetro y módulo GPS).

Con respecto a la corriente, el consumo típico del circuito es de 95mA, haciendo al puerto USB muy capaz de manejar el circuito de control.

Para que los niveles de voltaje provenientes del microcontrolador puedan gobernar de manera eficiente a los controladores de los motores es necesario realizar una conexión de las dos tierras de las diferentes fuentes (USB y fuente lineal) para así desaislar las fuentes.

- **Mecanismo y circuito**

El mecanismo es básicamente un motor fijo a una base que sobre su eje se encuentra el resto del mecanismo. Éste motor se encarga de realizar los movimientos de rotación en azimut del sistema. Además del motor, para mantener el equilibrio, se utilizan cuatro ruedas que giran al momento del motor realizar los movimientos y que pueden ser observadas en la figura 26.

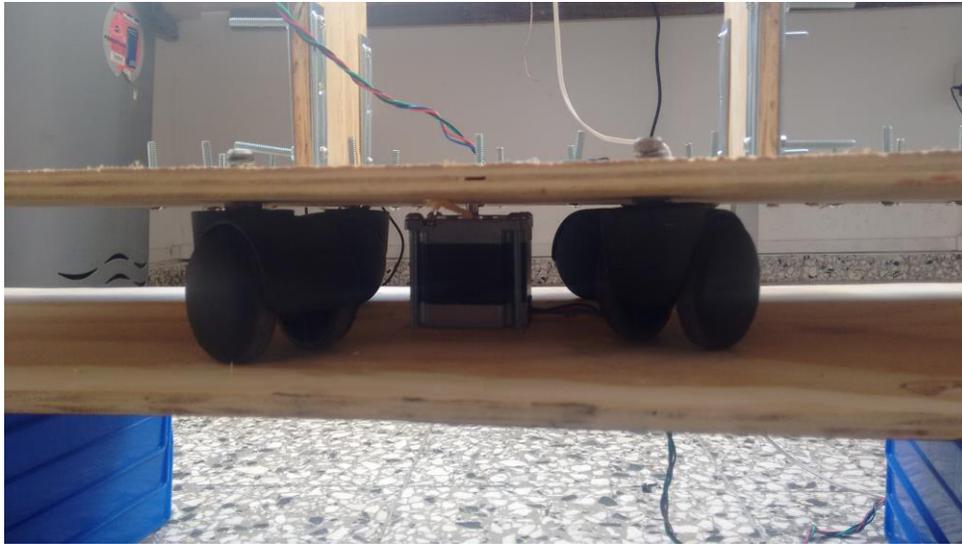


Figura 26: Mecanismo con base giratoria, apoyado por 4 ruedas.

El resto del mecanismo que se encuentra sobre el eje del motor, consiste en una base en posición vertical sobre la cual se encuentra el segundo motor, encargado de determinar la elevación, esto se puede observar en la figura 27.

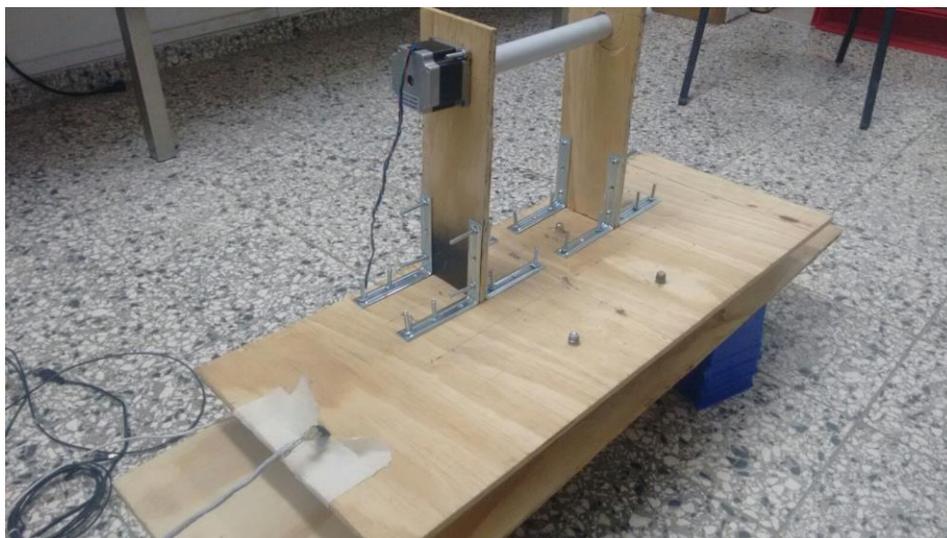


Figura 27: Base del mecanismo con el motor de elevación.

CAPÍTULO III

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS, VALIDACIÓN Y PRESUPUESTO DEL SISTEMA.

3.1 Análisis del sistema diseñado.

La precisión del sistema, en general, es la de la sumatoria de la precisión de todas sus partes, por tal razón, para garantizar una buena sintonización con respecto a los cálculos realizados por el software utilizando las ecuaciones de elevación y azimut presentadas anteriormente en el capítulo 1.13. El GPS, el magnetómetro y los motores (y los controladores) deben de funcionar de la manera más precisa posible.

De tal manera, la forma en que se puede determinar cuan preciso es el sistema, cada módulo debe de ser analizado por separado y luego evaluar la unión de todo el sistema. De esta forma iniciamos un análisis más crítico a la hora de evaluar el desempeño.

- **Precisión del GPS**

Los módulos GPS proveen unos valores de precisión que son calculados a partir de la localización de los satélites a su alrededor. Estos valores, adimensionales, son conocidos como dilución de precisión (DOP del inglés “dilution of precision”).

Cuando se obtiene un valor de DOP muy alto, esto significa que los satélites de los cuales se está recibiendo la señal GPS se encuentran muy cerca entre sí, significando que se tiene una precisión baja. Si por el contrario se consigue un valor de DOP bajo, se puede entender que los satélites están más alejados entre sí y así se obtiene una precisión mayor. También se puede obtener un valor de DOP alto si los satélites están bien esparcidos pero el módulo tiene una mala visibilidad de estos por obstrucciones en la señal. Visualizando la figura 28 podemos obtener una mejor visión de lo ante expuesto.

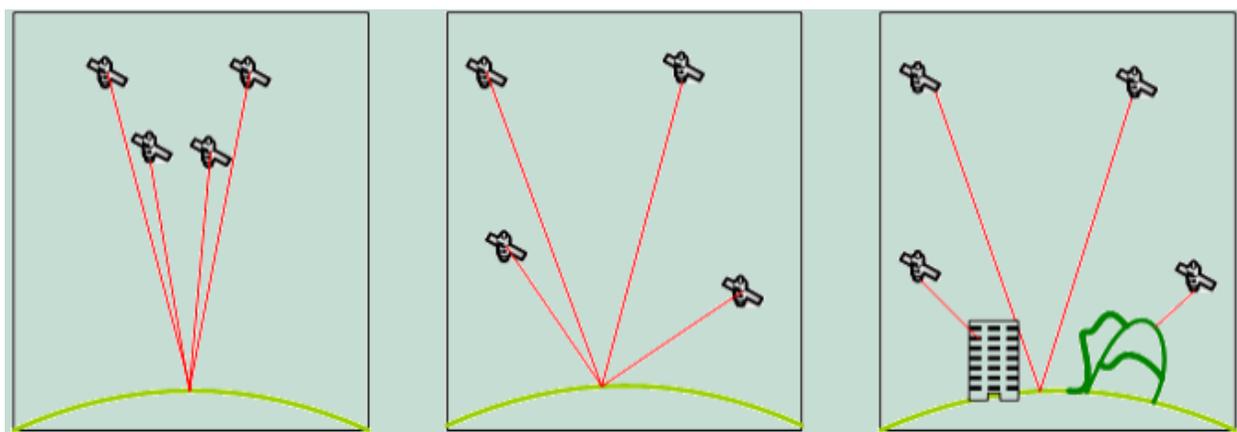


Figura 28: Diferentes tipos de DOP

Fuente: http://nptel.ac.in/courses/105104100/lectureB_11/B_11_3GDOP.htm

De izquierda a derecha los valores de DOP pobres a valores de DOP buenos y valores de DOP buenos pero con poca visibilidad.

Existen varios tipos de valores de DOP como son el GDOP (dilución de precisión geométrica), PDOP (dilución de precisión de posición), HDOP (dilución de precisión horizontal), VDOP (dilución de precisión vertical) y TDOP (dilución de precisión de tiempo). Todos nos ayudan a determinar cuan preciso es nuestro sistema, aunque no todos

son dados por todos los módulos GPS. En nuestro caso solo podemos obtener tres, HDOP, VDOP y PDOP.

En las pruebas realizadas leyendo las oraciones de datos entregadas por el GPS obtuvimos en la mayoría de los casos, valores de HDOP, VDOP y PDOP de entre 0.8 y 3. Teniendo en cuenta que según la tabla 6 estos valores son considerados entre ideales y buenos.

Tabla 6: Clasificación del DOP según valor.

Valor de DOP	Calificación	Descripción
<1	Ideal	Niveles máximos de precisión.
01-02	Excelente	Nivel de precisión excelente. No apto para las aplicaciones más precisas.
02-05	Bueno	Niveles mínimos apropiados para realizar decisiones confiables.
05-10	Moderado	Medidas de posición pueden ser usadas para realizar cálculos pero se recomienda una visión más abierta del cielo.
10-20	Justo	Representa un nivel de confianza bajo.
>20	Pobre	En éste punto las medidas son tan imprecisas como podrían llegar a ser.

Fuente: [https://en.wikipedia.org/wiki/Dilution_of_precision_\(GPS\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Dilution_of_precision_(GPS)).

Tomando en cuenta que estos niveles obtenidos pueden variar dependiendo en el lugar donde se encuentre el sistema. Se ha agregado una advertencia que se presenta en pantalla cuando existe un nivel de DOP que va más allá de bueno, tratando de hacer al usuario

consciente de que la medida de longitud y latitud que se está leyendo no es tan precisa como podría llegar a ser. Ver figura 29.

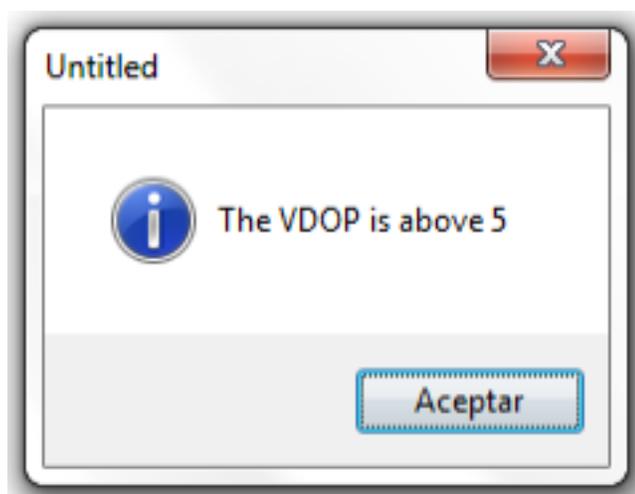


Figura 29: Advertencia de nivel de DOP.

- **Precisión del magnetómetro**

Los campos magnéticos de la Tierra son muy parecidos a los de cualquier imán, pudiéndose representar como un dipolo magnético como aparece en la figura 30, donde las líneas de campo salen desde el polo sur y terminan en el polo norte. Pero esta no es más que una representación ideal de cómo serían estas líneas de campo, la verdad es que estas líneas de campo varían tanto en dirección como en fuerza dependiendo de en qué lugar nos encontremos. La variación de dirección de las líneas de campo de la Tierra es llamada ángulo de declinación magnética.

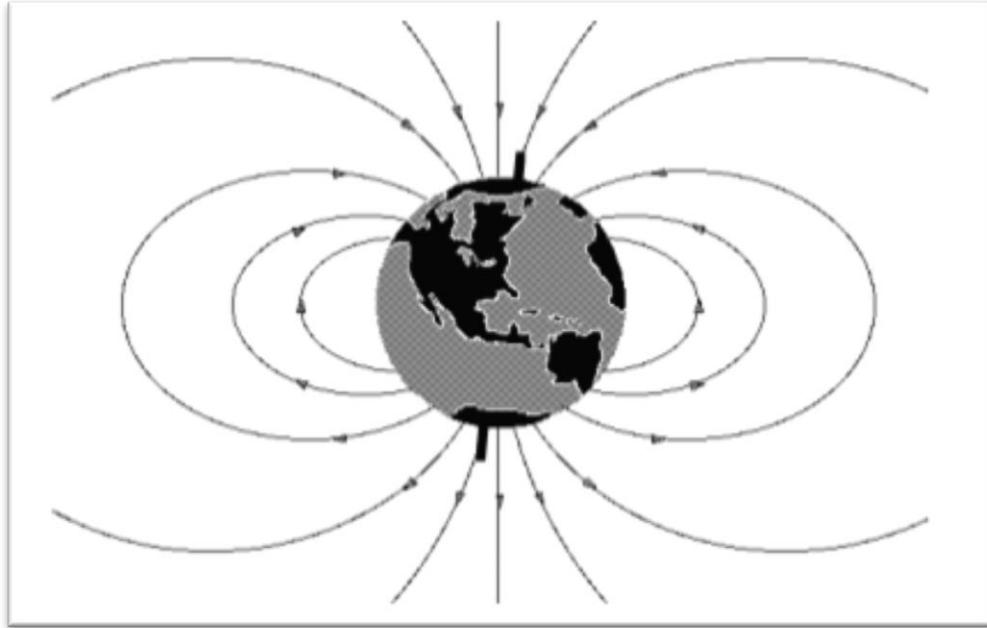


Figura 30: Representación de la tierra como dipolo magnético.

Fuente: http://www51.honeywell.com/aero/common/documents/myaerospacatalog-documents/Defense_Brochures-documents/Magnetic_Literature_Application_notes-documents/AN203_Compass_Heading_Using_Magnetometers.pdf

El ángulo de declinación magnética es muy importante en el proceso de determinación de la precisión del magnetómetro debido a que éste indica la diferencia entre el norte geográfico y el norte magnético.

Utilizando la herramienta de cálculo de campo magnético (Magnetic Field Calculator) provista por NOAA (National centers for environmental information) en su página web, se puede determinar, a partir de los valores de longitud y latitud que se introduzcan cual es el valor de declinación que debemos de adicionar o substraer del norte magnético entregado por el magnetómetro, como podemos ver en la figura 31.

Calculate Declination

Latitude:	<input type="text" value="18° 29' 20"/>	<input type="radio"/> S <input checked="" type="radio"/> N
Longitude:	<input type="text" value="69° 53' 56"/>	<input checked="" type="radio"/> W <input type="radio"/> E
Model:	<input checked="" type="radio"/> WMM (2014-2019) <input type="radio"/> IGRF (1590-2019)	
Date:	Year <input type="text" value="2015"/> ▼	Month <input type="text" value="11"/> ▼ Day <input type="text" value="16"/> ▼
Result format:	<input checked="" type="radio"/> HTML <input type="radio"/> XML <input type="radio"/> CSV <input type="radio"/> PDF	

Figura 31: Cálculo de declinación según posición.

El magnetómetro utilizado provee una alta precisión por sí solo siendo capaz de medir, de acuerdo con el fabricante en su hoja de datos precisión de hasta 1°, sin embargo estos tipos de pruebas son realizadas bajo las condiciones más ideales posibles.

Cabe destacar que estos valores pueden ser modificados en el código por el usuario, de manera que a medida que se mueva geográficamente pueda variar éste valor para adquirir un valor de norte mucho más acertado.

Aparte de variar la precisión por el punto de la tierra donde nos encontremos, también es necesario mencionar que la precisión del magnetómetro también varía dependiendo de los

objetos que se encuentren al alrededor, por tal razón es necesario alejar el dispositivo lo más posible de elementos que puedan causar interferencia electromagnética.

3.2 Validación del sistema

El sistema en sí mismo debe de ser capaz de localizar los satélites que se encuentren a su alrededor y para determinar que es capaz de hacerlo se utilizaron un par de aplicaciones capaces de localizar satélites y se compararon los resultados obtenidos con ambos métodos, el sistema desarrollado y las aplicaciones.

Existen muchas aplicaciones capaces realizar esta prueba pero, las aplicaciones seleccionadas para las pruebas fueron: “SatFinder” y “Satellite Director” por ser las que tienen mejor referencia entre los desarrolladores, ambas aplicaciones se pueden obtener de manera gratuita desde el Google Play Store y además son las que cuentan con mejores puntuaciones de parte de los usuarios.

- **Comparación de resultados**

Inicialmente probamos que los cálculos realizados por el software desarrollado utilizando la localización GPS obtenida del sistema correspondieron con los datos entregados por las

aplicaciones, que también basan sus cálculos en la posición donde se encuentre el usuario, tratando de localizar los mismos satélites.

Primero evaluamos los valores obtenidos por “SatFinder” tratando de localizar el satélite **AMC 6**. Como se muestra en la figura 32, los resultados obtenidos han sido 186.4° de azimut y una elevación de 68.2° . Mediante “Satellite Director” se puede observar en la misma figura 31 que el mismo satélite nos da un azimut de 186.4° y una elevación de 68.2° al igual que con SatFinder.

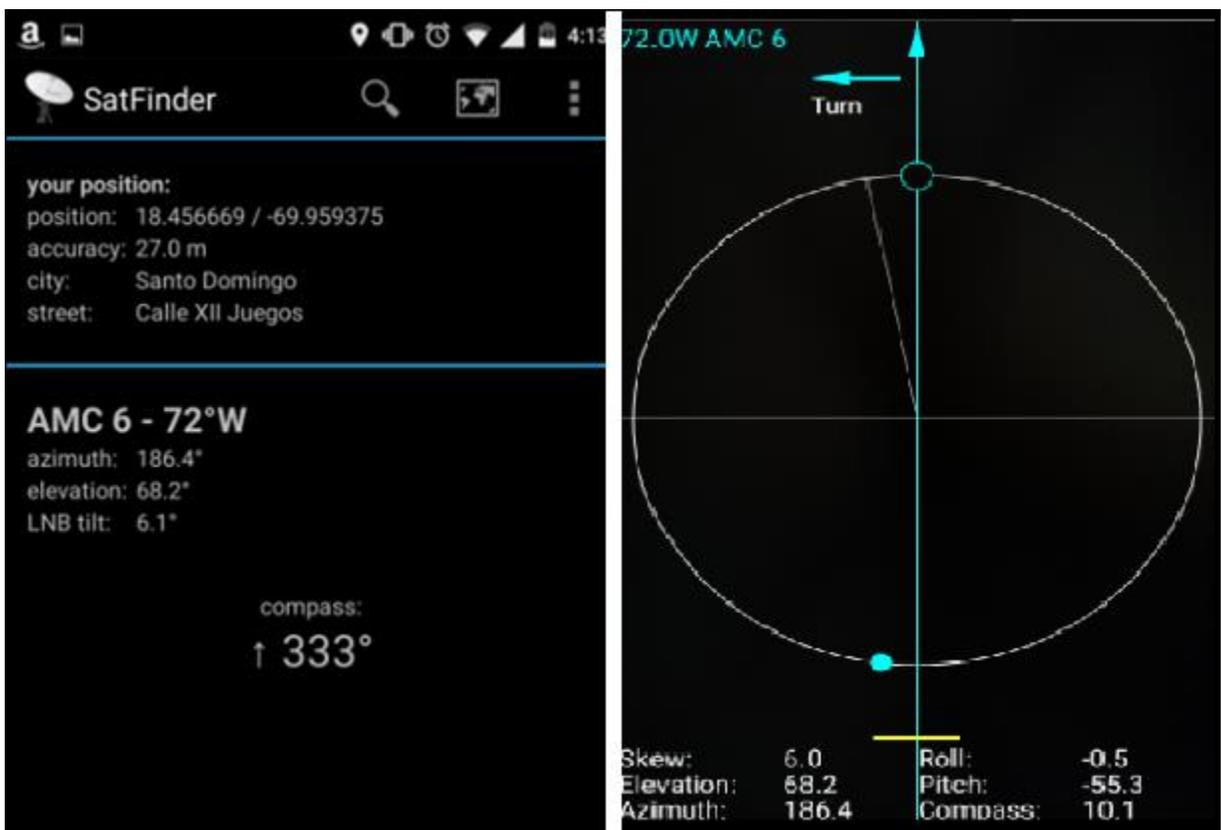


Figura 32: Resultados de azimut y elevación en aplicaciones SatFinder y Satellite Director para el satélite AMC 6.

Utilizando el software desarrollado se obtuvo un valor de azimut de 186.4216° y una elevación de 68.222° . Estos resultados son apreciados en la figura 33. Se puede observar que los valores obtenidos por los tres medios son bastante parecidos y que la diferencia que se puede apreciar en estos resultados, se debe a que las aplicaciones no entregan más de un número después del punto decimal, sin embargo el software sí y por tal razón se ven varios números después del punto.

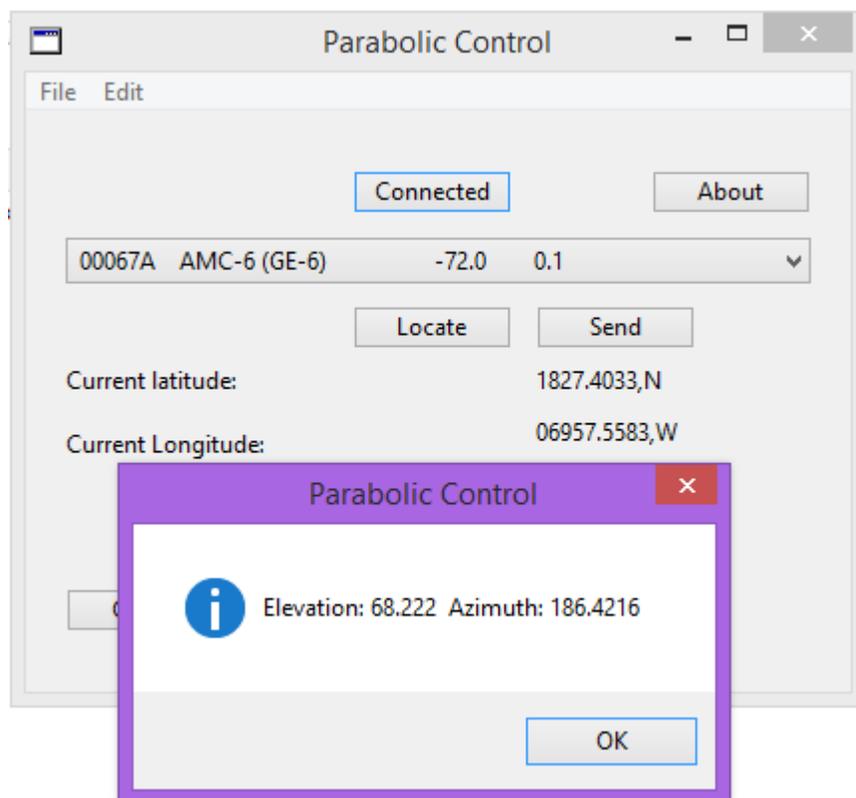


Figura 33: Valores de azimut y elevación obtenidos mediante el software para localizar el satélite AMC 6.

A continuación se presenta otra prueba realizada por los tres medios pero con un satélite diferente. En este caso se utiliza el satélite **Star One C3**.

Con SatFinder se obtuvo un azimut de 195.6° y una elevación de 67.6° . Con Satellite Director tenemos un azimut de 195.6° y una elevación de 67.5° , como podemos ver en la figura 34.

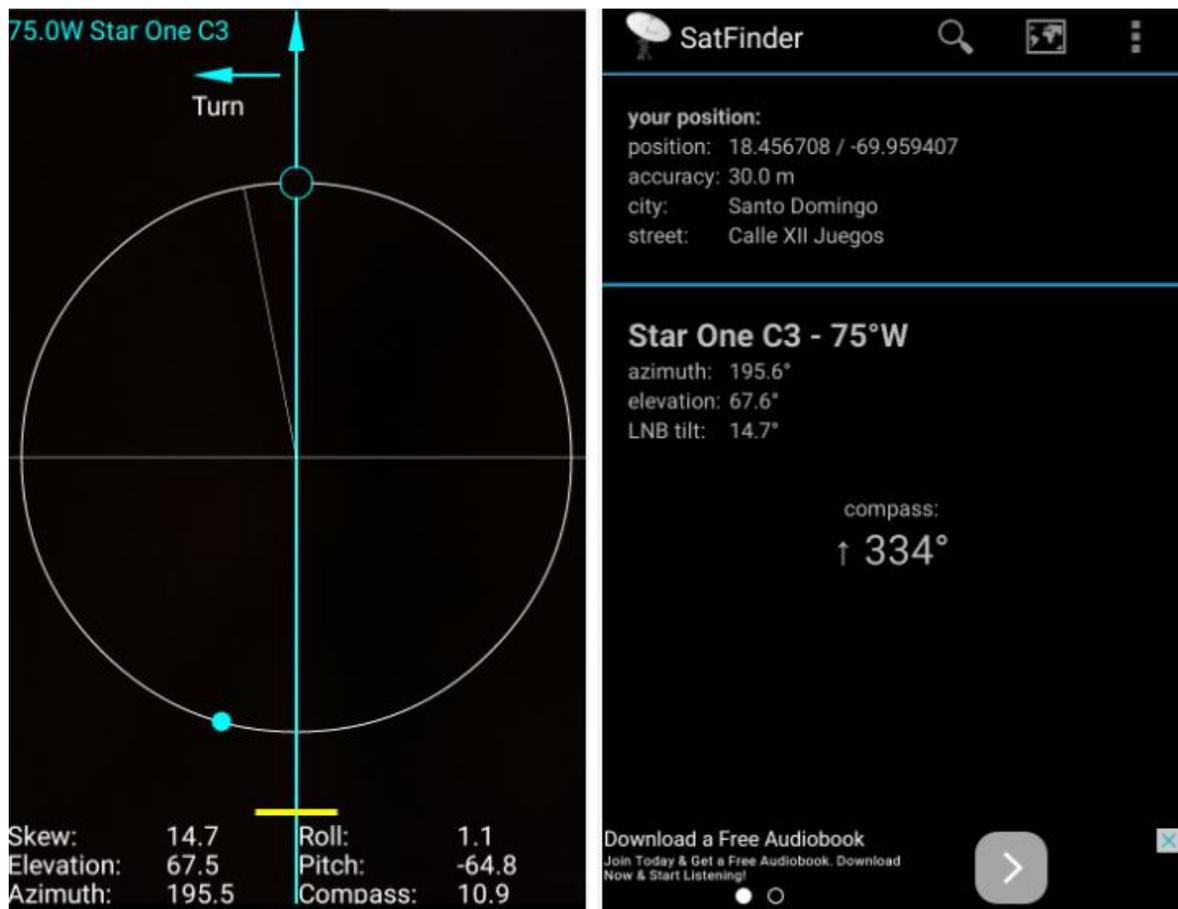


Figura 34: Resultados de azimut y elevación en aplicaciones SatFinder y Satellite Director para el satélite Star One C3.

Mientras que con el Software desarrollado obtuvimos un azimut de 195.5683° y una elevación de 67.58904° , tal y como podemos apreciar en la figura 35.

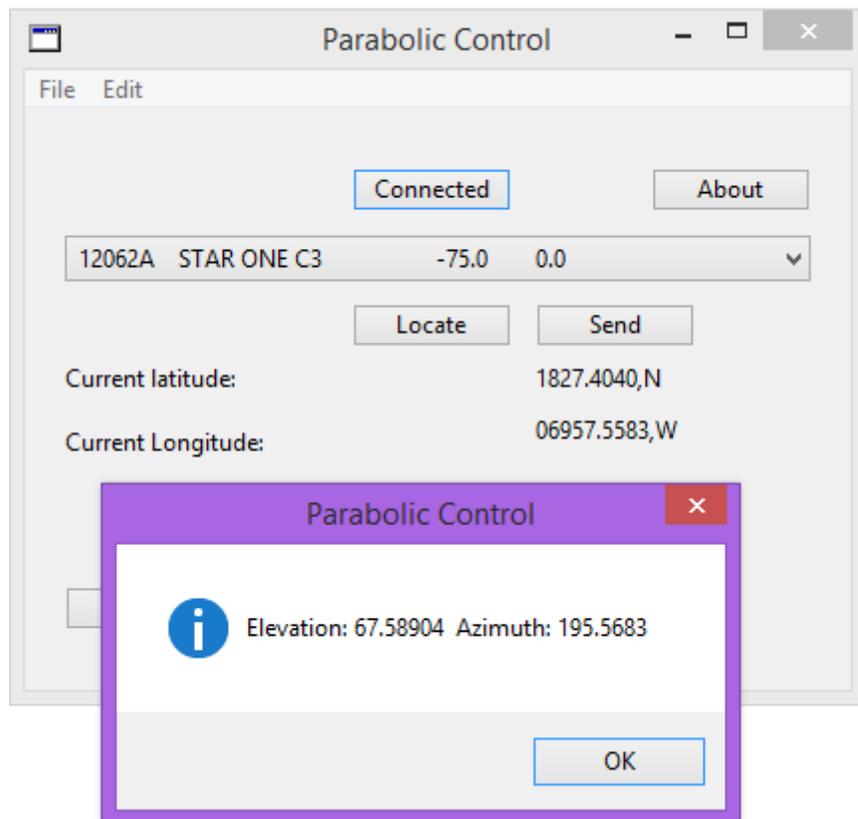


Figura 35: Valores de azimut y elevación obtenidos mediante el software para localizar el satélite Star One C3.

De igual forma, se confirma que los valores son bastante parecidos o prácticamente iguales a diferencia de la apreciación de los números después del punto decimal. Estos valores obtenidos dependen de donde se encuentre la persona realizando la prueba. En otra posición geográfica se obtendrán valores distintos. Esta prueba no solo demuestra que los cálculos

realizados por el software son correctos sino que además las mediciones del GPS también están correctas.

- **Prueba de localización**

Al estar conscientes de que los resultados conseguidos por el software son iguales a los obtenidos por las aplicaciones mencionadas en la sección anterior, es necesario validar que se puede conseguir también una localización de los satélites utilizando el sistema mecánico de sintonización.

Para realizar la validación primero debemos estar seguros de que las medidas del magnetómetro se encuentra calibrado, de tal manera que las mediciones tomadas sean iguales a las mediciones de alguna otra brújula. Para demostrar que es el caso, se ha utilizado la brújula de un celular inteligente y hemos comparado las mediciones.

En la imagen se puede ver cómo se obtiene una medición muy similar entre ambos dispositivos, a diferencia de que la brújula del teléfono móvil solo da valores enteros. Ver figura 36.

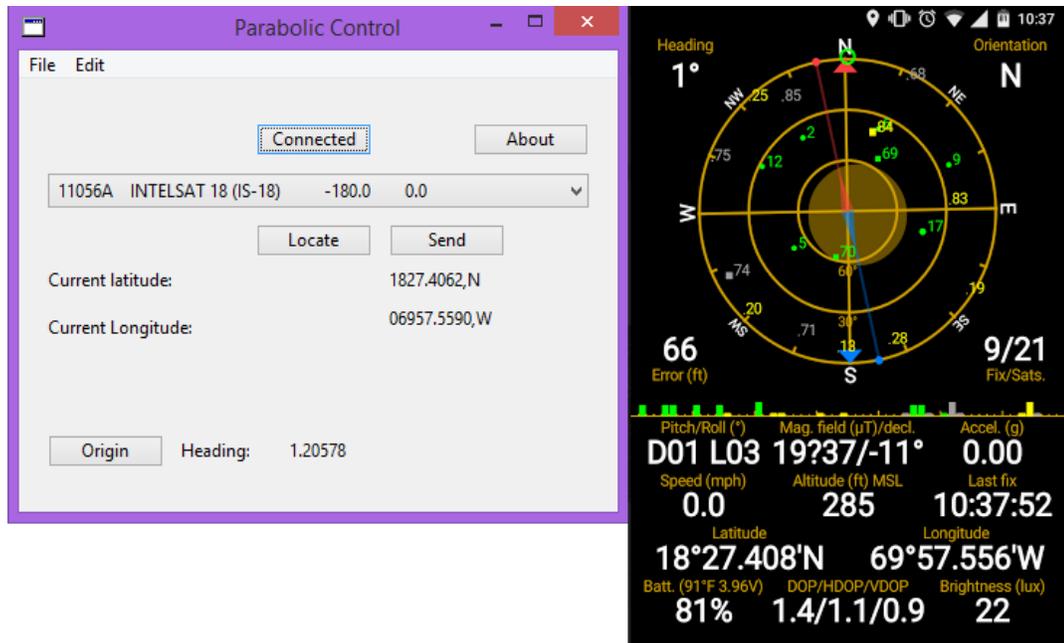


Figura 36: Comparación de valores entre sistema y brújula.

A continuación se intentó la localización de un satélite, el AMC 8 cuyos valores de azimut y elevación se pueden ver en la figura 37. Al presionar el botón de enviar, el sistema se movió hasta encontrar un azimut de 263.31° grados, dándonos una diferencia de 0.23° entre la posición deseada y la alcanzada. Ver figura 38.

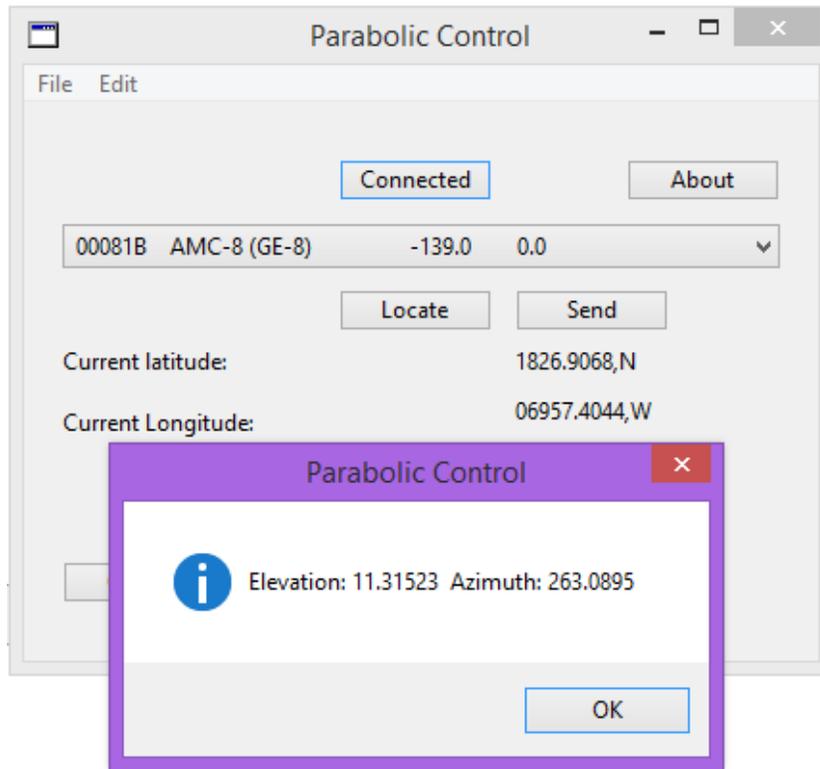


Figura 37: Localización de un satélite AMC 8.

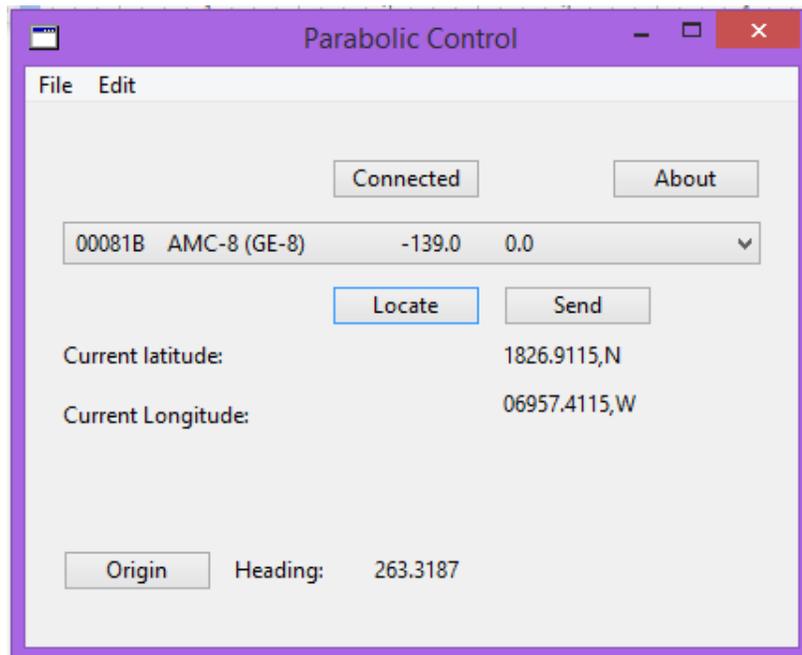


Figura 38: Resultados obtenidos por el sistema.

Sin embargo la brújula del celular marcó una medición de 263° como se ve en la figura 39. Con respecto a la elevación, ésta es determinada por el uso de un botón de límite que es presionado al volver al origen, es decir, que solo se cuentan los pasos necesarios para llegar a la elevación deseada a partir de la resolución de motor.

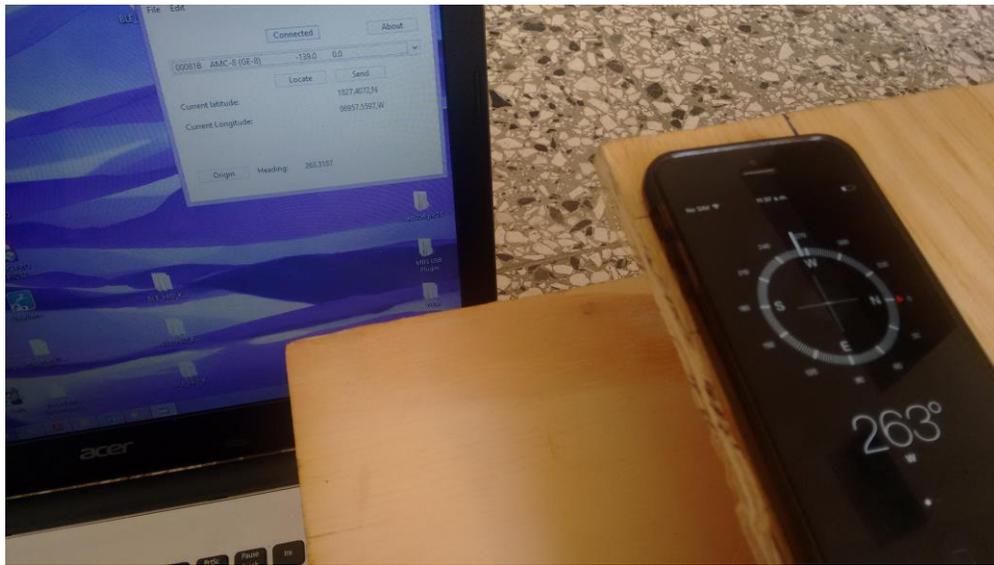


Figura 39: Comparación entre el programa y brújula del celular.

Como se ha visto en el capítulo 2, los motores tienen una resolución de 0.9° por paso, es decir, que para llegar a una elevación de 11.3° que es la necesaria, el motor tendría que dar 12 pasos, llegando así a 10.8° .

De tal modo que la localización ha resultado ser de 263.31° de azimut y de 10.8° de elevación, en vez de lo ideal según los cálculos que era 263.08° de azimut y 11.3° de elevación presentando una diferencia de 0.23° en azimut y de 0.5° en elevación.

A estas diferencias tan bajas entre los valores medidos y los conseguidos entre los valores reales y los ideales es necesario verificar con un mapa de huellas satelitales si representan un problema mayor, por tal razón utilizamos una herramienta online capaz de mostrarnos huellas satelitales, dicha herramienta es de la página web SATBEAMS y es llamada “footprints”.

Al introducir el satélite que deseamos, en nuestro caso el AMC 8 nos muestra su irradiación como es mostrado por la figura 40.

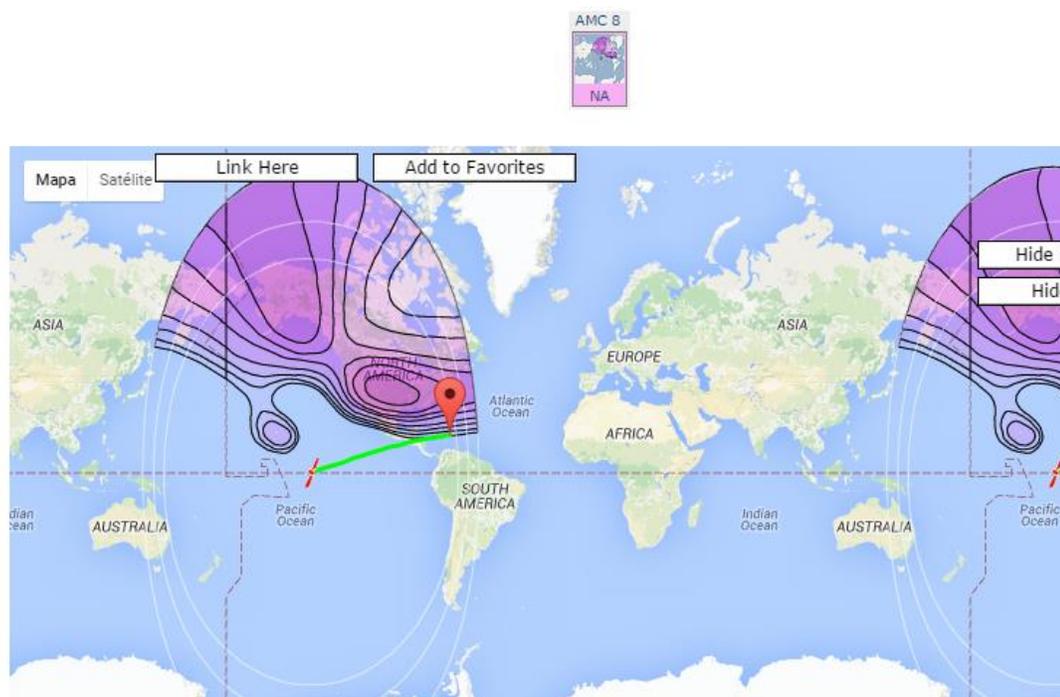


Figura 40: Radiación generada por satélite AMC8.

En la imagen se puede ver que el satélite cubre a la República Dominicana en su totalidad. Así que aun cuando se obtuvo en esta prueba una diferencia de medio grado en elevación y menos de un cuarto de grado en azimut es bastante probable que la señal del satélite pueda ser recibida por la parábola.

3.3 Presupuesto del sistema diseñado.

La gama de componentes, módulos y materiales gastables utilizados para la creación de este sistema, fue concebida en base a las necesidades calculadas y la implementación necesaria para el óptimo desarrollo de este sistema.

Razón por la cual se ha desarrollado el presupuesto expuesto en la tabla 7.

Tabla 7: Presupuesto de piezas del sistema.

Presupuesto			
Módulos/Piezas	Qty	Monto	Importe
MOTOR STEPPER	2	RD\$ 1,134.00	RD\$ 2,268.00
MAGNETOMETRO	1	RD\$ 319.52	RD\$ 319.52
XT PIC CLICKER	1	RD\$ 2200.00	RD\$ 2200.00
ANTENNA PARA GPS	1	RD\$ 544.32	RD\$ 544.32
DRIVERS PARA MOTORES	2	RD\$ 362.88	RD\$ 725.76
TRANSFORMADOR 120v-12v/2A	1	RD\$ 430.00	RD\$ 430.00
RECTIFICADORES LM7812	2	RD\$ 79.00	RD\$ 158.00
CAPACITOR 3200uF/50v	1	RD\$ 67.33	RD\$ 67.33
MATERIAL GASTABLE	1	RD\$ 3,000.00	RD\$ 3,000.00
Total:	12	RD\$ 8,137.05	RD\$ 9,712.93

Como podemos observar, en esta tabla se detalla el presupuesto de todos los elementos utilizados para el diseño del proyecto. En cuanto a la casilla de “MATERIAL GASTABLE”, se utilizó para destacar gastos como son la compra de la base de madera del proyecto, entre otros materiales no denotados en esta lista, además de la mano de obra albañil utilizada para el corte y modificaciones de la misma.

CONCLUSIÓN

Una vez determinadas todas las características del sistema podemos concluir de forma clara y directa que gran parte del sistema es factible y tiene la capacidad suficiente para ser aplicado en Universidades y empresas con necesidades básicas de localización de satélites. Este sistema es capaz de dirigir una antena parabólica con la suficiente fuerza y precisión medida en grados, para localizar cualquier satélite disponible en el punto donde el sistema se encuentre localizado.

Fue diseñado de forma exitosa un algoritmo lo suficientemente depurado, como para evitar errores en el cálculo de la elevación y azimut que se empleará para dirigir la antena parabólica, agregando además, una interfaz gráfica amigable y de fácil entendimiento para cualquier usuario que necesite aplicar el sistema.

Obteniendo una torsión de movimiento de 0.9° en cada paso empleado por el stepper para los movimientos de azimut y elevación, el sistema es capaz de realizar apunte y direccionamiento en un tiempo no mayor a 60 segundos.

RECOMENDACIONES

El sistema en general parece hacer un buen trabajo localizando satélites, sin embargo algunas mejoras pueden ser realizadas, por tal razón a continuación se tocarán los puntos que requieren mejoría.

- 1) Utilizar motores con mayor resolución, porque así se podría conseguir mejores localizaciones de satélites donde una resolución de 0.9° resulta excesiva.
- 2) Utilizar motores con más torque o agregar un sistema de poleas que aseguren un mayor torque al momento de mover el sistema. Algo que se pudo observar en este sistema fue la simpleza con que se podía detener todo el sistema con cualquier obstáculo.
- 3) Emplear servomotores o un controlador de motor que nos permita saber si ha existido alguna obstrucción en el movimiento de los motores.
- 4) Conseguir un mejor magnetómetro capaz de lidiar mejor con la interferencia electromagnética. Es mucho el cuidado que hay que tener al momento de colocar el magnetómetro en el sistema porque la más mínima interferencia significa una pérdida de precisión muy alta.
- 5) Mejorar el control de la elevación con algún dispositivo que pueda saber en qué posición se encuentra la elevación entregada por el motor encargado a cada momento. Esto podría realizarse utilizando un giroscopio o una unidad de medición inercial.

- 6) Buscar un mejor método de cableado ya que en la configuración actual es muy común el estrangulamiento de los cables.

BIBLIOGRAFÍA

Carreón Castro, J. H. (2015). *Automatización De Antena Parabolica En Una Estación Terrena*. Ciudad Universitaria, DF, México.

Carrera, M. (05 de 07 de 2011). *Redes de Acceso: ESTACIÓN TERRENA*. Obtenido de <http://redesacesomichelle.blogspot.com/2011/07/estacion-terrena-de-comunicaciones.html>

Maral, G., & Bousquet, M. (2010). *SATELLITE COMMUNICATIONS SUSTEMS 5th Ed.* Toulouse, Francia: John Wiley & Sons Ltd.

Planeta Maxwell. (04 de 2015). *APUNTANDO A UN GEOESTACIONARIO*. Recuperado el 25 de 10 de 2015, de PLANETA MAXWELL : <http://planetamaxwell.com/apuntando-a-un-geoestacionario/>

QUINTERO, D. M. (2014). LA ÓRBITA DE LOS SATÉLITES GEOESTACIONARIOS: TRATAMIENTO JURÍDICO Y POSIBILIDADES DE ACCESO. 20-21.

Scribd. (17 de 01 de 2011). *Estación terrena de comunicaciones*. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/47022152/Estacion-terrena-de-comunicaciones>

Soop, E. M. (s.f.). *Introduction to geostationary orbits Volume 1053 of ESA SP*. European Space Agency, Scientific & Technical Information .

Tomasi, W. (2004). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Ed. Prentice Hall*.

Universiudad Politecnica de Valencia. (2009). *Estación terrena de comunicaciones*. Obtenido de http://www.upv.es/satélite/trabajos/sat_tv/83.htm

Universidad Politécnica de Valencia. (2009). *Características del satélite*. Obtenido de http://www.upv.es/satélite/trabajos/sat_tv/82.htm

Universidad Politecnica de Valencia. (2009). *EQUIPAMIENTO PARA ESTACIONES TERRENAS*. Obtenido de

http://www.upv.es/satélite/trabajos/Grupo5_b99.00/ESTACIONES.htm

Wikipedia. (27 de 09 de 2015). *Antenas Parabolicas*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Antena_parab%C3%B3lica#Tipos_de_antenas_parab.C3.B3licas

WNI México, Wireless Solución. (03 de 2014). *Tipos de Antena y Funcionamiento*. Obtenido de

[http://www.wni.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=62:atenassoporte&catid=31:general&Itemid=79:](http://www.wni.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=62:atenassoporte&catid=31:general&Itemid=79)

http://www.wni.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=62:atenassoporte&catid=31:general&Itemid=79

APÉNDICES

A. Apéndice: Código de programación de software

Funciones globales:

Función FindDevice:

```
FindDevice as WinHIDMBS
```

```
dim h as WinHIDMBS
```

```
dim p as string
```

```
h=new WinHIDMBS
```

```
if h.FindFirstDevice then
```

```
if str(h.Product) = "PARABOLIC_CONTROL" then
```

```
Return h
```

```
end if
```

```
while h.FindNextDevice
```

```
if str(h.Product) = "PARABOLIC_CONTROL" then
```

```
    Return h
end if
wend
end if
```

Función OpenUSBDevice:

```
OpenUSBDevice
```

```
dim i as integer
```

```
dim a as Boolean
```

```
if PushButton1.Caption <> "Connected" then
```

```
    h=FindDevice
```

```
    if h=nil then
```

```
        MsgBox "Unable to locate the device."
```

```
        //quit
```

```
        Return
```

```
    end if
```

```
    if not h.Connect then
```

```

    MsgBox "Failed to connect to "+h.Product+" Device."+EndOfLine+EndOfLine+"Error:
"+str(h.Lasterror)

    h=nil

    //quit

    Return

end if

PushButton1.Caption ="Connected"

Timer1.Enabled = true

PushButton2.Enabled =true

PushButton3.Enabled =true

PushButton4.Enabled =true

PopupMenu1.Enabled =true

else

    h.Disconnect

    PushButton1.Caption ="Connect"

    Timer1.Enabled = False

    PushButton2.Enabled =False

    PushButton3.Enabled =False

    PushButton4.Enabled =False

    PopupMenu1.Enabled =False

end if

```

Función send:

```
send(n as integer)
```

```
dim m as MemoryBlock
```

```
dim e as integer
```

```
dim Memory_Rec As MemoryBlock
```

```
//dim latitude as Double
```

```
//dim longitude as Double
```

```
dim Aux_str as string
```

```
dim Aux_Latitude as double
```

```
dim Aux_Longitude as Double
```

```
dim Aux_str_1 as String
```

```
dim Aux_str_2 as String
```

```
dim X_pos as short
```

```
dim Z_pos as short
```

```
dim Y_pos as short
```

```
dim X_pos_ad as double
```

```
dim Z_pos_ad as double
```

```
dim Y_pos_ad as double
```

```
dim heading as Double
```

```
dim ele as uint16
```

```
dim azi as uint16
```

```
m=NewMemoryBlock(65)
```

```
Memory_Rec = NewMemoryBlock(65)
```

```
if n = 2 then
```

```
  for e = 0 to 64 step 1
```

```
    m.Byte(e) = 125
```

```
  next e
```

```
m.byte(1) = Bitwise.ShiftRight(North, 8)
```

```
m.byte(2) = North
```

```
label9.Text = str(North)
```

```
e=h.SendMessageMemory(m,0,m.size)
```

```
if (e = 65) then
```

```
  //MsgBox "Send Successful"
```

```
Memory_Rec = h.ReadMessageMemory(65)
```

```

//do

//Memory_Rec =h.ReadMessageMemory(65)

//loop until Memory_Rec <> nil

if Memory_Rec <> Nil then

    latitude = val(midb(Memory_Rec,22,9))

    longitude = val(midb(Memory_Rec,34,10))

    Label3.Text =midb(Memory_Rec,22,11)

    Label4.Text =midb(Memory_Rec,34,12)

    Aux_str_1 = midb(Memory_Rec,24,7)

    Aux_str_2 = midb(Memory_Rec,37,7)

    Aux_Latitude = (val(Aux_str_1))/60

    Aux_Longitude = (val(Aux_str_2))/60

    Aux_str_1 = midb(Memory_Rec,22,2)

    Aux_str_2 = midb(Memory_Rec,34,3)

    Aux_Latitude = Val(Aux_str_1) + Aux_Latitude

    Aux_Longitude = Val(Aux_str_2) + Aux_Longitude

    Latitude = Aux_Latitude

    Longitude = Aux_Longitude

```

```
Aux_str = midb(Memory_Rec,22,11)
```

```
if Aux_str.Right(1) = "S" then
```

```
    latitude = -(latitude)
```

```
end if
```

```
Aux_str = midb(Memory_Rec,34,12)
```

```
if Aux_str.Right(1) = "W" then
```

```
    longitude = -(longitude)
```

```
end if
```

```
X_pos = Memory_Rec.Byte(59)
```

```
X_pos = Bitwise.ShiftLeft(X_pos, 8)
```

```
X_pos = X_pos + Memory_Rec.Byte(60)
```

```
label5.Text = str(X_pos)
```

```
Z_pos = Memory_Rec.Byte(61)
```

```
Z_pos = Bitwise.ShiftLeft(Z_pos, 8)
```

```
Z_pos = Z_pos + Memory_Rec.Byte(62)
```

```
label6.Text = str(Z_pos)
```

```
Y_pos = Memory_Rec.Byte(63)
```

```
Y_pos = Bitwise.ShiftLeft(Y_pos, 8)
```

```
Y_pos = Y_pos + Memory_Rec.Byte(64)
```

```
label7.Text = str(Y_pos)
```

```
X_pos_ad = X_pos * 2.56
```

```
Y_pos_ad = Y_pos * 2.56
```

```
Z_pos_ad = Z_pos * 2.56
```

```
heading = Atan2(Y_pos_ad, X_pos_ad)
```

```
heading = heading - 0.1879
```

```
if (heading < 0) then
```

```
    heading = heading + (2 * 3.14159265358979323846264338327950)
```

```
end if
```

```
if (heading > 2*3.14159265358979323846264338327950) then
```

```
    heading = heading - (2 * 3.14159265358979323846264338327950)
```

```
end if
```

```
heading = heading * 180/3.14159265358979323846264338327950
```

```
if heading <> 0 then
```

```
    heading = (heading - 360)
```

```
    heading = heading * - 1
```

```
end if
```

```
Label8.Text = str(heading)
```

```
North = heading
```

```
//label3.Text = latitude
```

```
//MsgBox midb(Memory_Rec,2)
```

```
end if
```

```
else
```

```
    MsgBox "Transmission error"
```

```
end if
```

```
else
```

```
if n = 3 then
```

```
for e = 0 to 64 step 1
    m.Byte(e) = 126
next e

e=h.SendMessageMemory(m,0,m.size)

if (e = 65) then

else

    MsgBox "Transmision error"

end if

else

for e = 0 to 64 step 1
    m.Byte(e) = e
next e

ele = Elevation
azi = Azimuth

m.byte(1) = Bitwise.ShiftRight(ele, 8)
m.byte(2) = ele
```

```
m.byte(3) = Bitwise.ShiftRight(azi, 8)
```

```
m.byte(4) = azi
```

```
e=h.SendMessageMemory(m,0,m.size)
```

```
if (e = 65) then
```

```
else
```

```
    MsgBox "Transmision error"
```

```
end if
```

```
end if
```

```
end if
```

Funciones de los controles:

Window1:

```
Timer1.Enabled = False
```

```
Dim f as FolderItem
```

```
Dim textInput As TextInputStream
```

```
f = GetOpenFolderItem("text")
```

```
If f <> Nil Then //if the user didn't cancel..
```

```
    If f.Exists Then //if it is a valid file...
```

```
        textInput = TextInputStream.Open(f)
```

```
        while(not(textInput.EOF))
```

```
            PopupMenu1.AddRow(textInput.ReadLine(Encodings.MacRoman))
```

```
        wend
```

```
    else
```

```
        MsgBox("Invalid file!")
```

```
    End If
```

```
Else
```

```
    MsgBox("File not found!")
```

```
End If
```

```
PopupMenu1.ListIndex = 0
```

```
Timer 1:
```

```
send (2)
```

```
Pushbutton1:
```

OpenUSBDevice()

PushButton2:

```
dim Aux_String_1 as string
dim Aux_String_2 as string
dim A as integer
//dim Azimuth as double
//dim Elevation as double
Const PI=3.14159265358979323846264338327950
const R = 6370
const he = 35800
dim Aux_Elevation as Double

A = 0

Aux_String_1 = PopupMenu1.Text
A = Aux_String_1.InStr(".")

Aux_String_2 = MidB(Aux_String_1,A - 4,6)
Satellite_Longitude = val(Aux_String_2)

//Longitude = -69.968
//Latitude = 18.45052
```

Azimuth = tan(((Longitude) - (Satellite_Longitude))*PI/180)

Azimuth = (Azimuth / sin((Latitude)*PI/180))

Azimuth = atan(Azimuth)

Azimuth = Azimuth * (180/PI)

Azimuth = Azimuth + 180

Elevation = -(R/(R+he))

Elevation = (cos((Latitude)*PI/180) * cos((Longitude - Satellite_Longitude) * PI/180)) +

Elevation

Aux_Elevation = cos((Latitude) * PI/180)

Aux_Elevation = Aux_Elevation * cos((Longitude - Satellite_Longitude) * PI/180)

Aux_Elevation = Pow(Aux_Elevation,2)

Aux_Elevation = sqrt(1-Aux_Elevation)

Elevation = Elevation / Aux_Elevation

Elevation = atan(Elevation)

Elevation = Elevation*(180/PI)

if Elevation <= 0 then

 MsgBox "This Satellite cannot be located because the Elevation is 0 or below 0 degrees"

 MsgBox "Elevation: " + str(Elevation) + " " + "Azimuth: " + str(Azimuth)

else

 if Elevation <= 10 then

MsgBox "This Satellite can be located but, its under 10 degrees meaning that its signal could be blocked by mountains or buildings"

MsgBox "Elevation: " + str(Elevation) + " " + "Azimuth: " + str(Azimuth)

//send(0)

else

if Elevation > 10 then

MsgBox "Elevation: " + str(Elevation) + " " + "Azimuth: " + str(Azimuth)

//send(0)

end if

end if

end if

//Label5.Text = str(Azimuth)

//Label6.Text = str(Elevation)

//Label7.Text = str(Longitude)

//Label8.Text = str(Latitude)

Pushbutton3:

send(3)

Pushbutton4:

send(0)

Pushbutton5:

MsgBox "N. Espinosa & A. Vargas; 2015"

B. Apéndice: Código de programación de firmware

```
program PARABOLIC_CONTROL
```

```
'Declarations section
```

```
dim readbuff as byte[64] absolute 0x60      ' Buffers should be in USB RAM, please
```

```
consult datasheet
```

```
dim writebuff as byte[64] absolute 0xA0
```

```
dim USB_Data_Counter as byte
```

```
dim GPS_Data_Ready as bit
```

```
dim GPS_Data_Read as string[200]
```

```
dim GPS_Data_Index as word
```

```
dim Counter_Assist_TMR0 as byte
dim Already_Verify_GPS as bit
dim send_five_times as byte
dim GPS_MSG_RMC as string[100] absolute 0x500
dim GPS_MSG_RMC_Validated as string[100] absolute 0x600
dim index as byte
dim Magnetometer as byte[6]
dim Soft_I2C_Scl as sbit at RB7_bit
dim Soft_I2C_Sda as sbit at RB6_bit
dim Soft_I2C_Scl_Direction as sbit at TRISB7_bit
dim Soft_I2C_Sda_Direction as sbit at TRISB6_bit
dim X_pos as integer
dim Y_pos as integer
dim Z_pos as integer
dim X_pos_ad as float
dim Y_pos_ad as float
dim Z_pos_ad as float
dim Current_North as float
dim Goto_Current_North as bit
dim total_steps as word
dim small_current_north as word
dim aux_nort_1 as byte
dim aux_nort_2 as byte
dim Azimuth as word
```

dim Elevation as word

dim Goto_This_Position as bit

dim aux_ele_1 as byte

dim aux_ele_2 as byte

dim aux_azi_1 as byte

dim aux_azi_2 as byte

sub procedure Determine_Rotation_To_North()

' if small_current_north > Azimuth then

' LATB4_bit = 0

' else

' LATB4_bit = 1

' end if

end sub

sub procedure Buffer_Clear(dim RAM_Address as word, dim Buffer_Size as word)

dim i as byte

FSR1 = RAM_Address

for i = 0 to Buffer_Size

asm

```

        CLRF POSTINC1

    end asm

next i

end sub

sub procedure Interrupt()

    USB_Interrupt_Proc()           ' USB servicing is done inside the interrupt

    if (RC2IF_bit = 1) then        ' If interrupt is generated by RC2IF
        RC2IF_bit = 0              ' Clear the flag
        GPS_Data_Read[GPS_Data_Index] = UART_Remappable_Read()    ' Read data and
store it in GPS_Data_Read[] string
        GPS_Data_Index = GPS_Data_Index + 1    ' Increment string index
        TMR0H = 0x24                  ' Clear the timer registers
        TMR0L = 0x46
        GPS_Data_Ready = 0            ' If it is receiving data is not ready
        Counter_Assist_TMR0 = 0
    end if

    if (TMR0IF_bit) then
        TMR0IF_bit = 0
        TMR0H = 0x24
        TMR0L = 0x46
    end if

```

```

GPS_Data_Index = 0          ' Clear the data index
GPS_Data_Ready = 1        ' Data is ready
end if

if (TMR1IF_bit) then
TMR1IF_bit = 0
TMR1H      = 0x15
TMR1L      = 0xA0

' if determine_rotation = 1 then
'   determine_rotation = 0
'   Determine_Rotation_To_North()
' end if

if ((small_current_north = 0)) then
  Goto_Current_North = 0
  LATD2_bit = 1
else
  LATD2_bit = 0
end if

if (Goto_Current_North = 1) then
  LATB3_bit = not LATB3_bit
end if

```

```

if (Azimuth = small_current_north) then
    Goto_This_Position = 0
end if

if Goto_This_Position = 1 then
    LATB3_bit = not LATB3_bit
end if

end if

end sub

sub function Verify_GPS_Messages() as byte
    dim Index as byte
    dim Sentence as string[11]
    dim Occurrence as word
    result = 0

    Sentence = "$PMTK414*33"

    for Index = 0 to 10 step 1
        UART_Remappable_Write(Sentence[Index])
    
```

next Index

UART_Remappable_Write(0x0D)

UART_Remappable_Write(0x0A)

Delay_ms(20)

Delay_ms(20)

Occurrence = strstr(GPS_Data_Read,"\$PMTK514,1,1,1,1,1,0")

if (Occurrence <> 0xFFFF) then

 result = 1

else

 result = 0

end if

end sub

sub function GPS_Checksum_Gen(dim byref Sentence_To_Gen as string[100]) as string[2]

 '/******

 '* Description : This function generates the checksum of a given string, this string has

 '* to begin in the second index ([1]) (the first is supposed to be "\$") and has

 end with "*" or

 '* at least contain one "*". If none "*" is found the function returns "--"

```
*****
```

```
*****/
```

```
dim Checksum_Value as byte
```

```
dim Index as byte
```

```
dim End_Procedure as bit
```

```
dim First as bit
```

```
End_Procedure = 0
```

```
First = 0
```

```
for Index = 1 to 100 step 1
```

```
if ((Sentence_To_Gen[Index + 1] <> "") and (End_Procedure = 0)) then
```

```
if First = 0 then
```

```
Checksum_Value = ((Sentence_To_Gen[Index]) xor (Sentence_To_Gen[Index + 1]))
```

```
First = 1
```

```
else
```

```
Checksum_Value = (Checksum_Value xor (Sentence_To_Gen[Index + 1]))
```

```
end if
```

```
else
```

```
End_Procedure = 1
```

```
end if
```

```
next Index
```

```
'ByteToHex(Checksum_Value, Checksum_test)
```

```
ByteToHex(Checksum_Value, result)
```

```
result = result
```

```
end sub
```

```
sub procedure GPS_Set_Output_MSG(dim byref GLL, RMC, VTG, GGA, GSA, GSV as  
string[2])
```

```
/'*****
```

```
*****
```

```
* Description : <Procedure description>
```

```
*****
```

```
*****/
```

```
dim Sentence as string[49]
```

```
dim Index as word
```

```
dim CRC as string[2]
```

```
Sentence = ("PMTK314,")
```

```
Sentence[09] = GLL[0]
```

```
Sentence[10] = GLL[1]
```

```
Sentence[11] = RMC[0]
```

```
Sentence[12] = RMC[1]
```

```
Sentence[13] = VTG[0]
```

```
Sentence[14] = VTG[1]
```

Sentence[15] = GGA[0]

Sentence[16] = GGA[1]

Sentence[17] = GSA[0]

Sentence[18] = GSA[1]

Sentence[19] = GSV[0]

Sentence[20] = GSV[1]

for Index = 21 to 45 step 2

 Sentence[Index] = ("0")

 Sentence[Index+1] = (",")

next Index

Sentence[46] = ("*")

CRC = GPS_Checksum_Gen(Sentence)

Sentence[47] = CRC[0]

Sentence[48] = CRC[1]

for Index = 0 to 48 step 1

 UART_Remappable_Write(Sentence[Index])

next Index

UART_Remappable_Write(0x0D)

UART_Remappable_Write(0x0A)

```
' UART2_Write_Text(#13)
```

```
' UART2_Write_Text(#10)
```

```
end sub
```

```
sub function GPS_MSGs_Extraction() as byte
```

```
/******
```

```
*****
```

```
/* Description : <Procedure description>
```

```
*****
```

```
*****/
```

```
dim Occurrence as word
```

```
dim Long_Index as word
```

```
dim Short_Index as word
```

```
result = 1
```

```
Short_Index = 0
```

```
Occurrence = strstr(GPS_Data_Read, "$GPRMC")
```

```
Long_Index = Occurrence
```

```
if (Occurrence = 0xFFFF) then
```

```
    result = 0
```

```
else
```

```

while (GPS_Data_Read[Long_Index] <> 0x0D)

    GPS_MSG_RMC[Short_Index] = GPS_Data_Read[Long_Index]

    Long_Index = Long_Index + 1

    Short_Index = Short_index + 1

wend

if (Short_Index > 80) then

    result = 0

end if

end if

end sub

sub function GPS_Checksum_Extract(dim byref Sentence_To_Extract as string[100]) as
string[2]

'*****

*****

'* Description      : <This function extracts the checksum from a given GPS sentence and
returns it. If no "*" is found then returns "??">

'*****

*****/

dim Sentence_Size as word

dim Checksum_Value as string[2]

```

```

Sentence_Size = strchr(Sentence_To_Extract, "*")

if Sentence_Size = (0xFFFF) then
    result = ("??")
else
    Checksum_Value[0] = Sentence_To_Extract[Sentence_Size + 1]
    Checksum_Value[1] = Sentence_To_Extract[Sentence_Size + 2]
    result = Checksum_Value
end if

end sub

sub function GPS_MSGs_Validation() as byte

'*****

*****

'* Description      : This procedure clears the gobal variable GPS_Unable_To_Validate
'*                  if every checksum is correct and the GPS sentences will pass to
'*                  the validated GPS sentences.
'*
'*                  If any of the checksums is incorrect, the variable
GPS_Unable_To_Validate
'*                  will be set to one and none of the GPS sentences will pass to the
'*                  validated GPS sentences.

'*****

*****/

dim Generated as string[2]

dim Extracted as string[2]

```

```

dim Index_For_Validation as word

dim Index as word

Extracted = GPS_Checksum_Extract(GPS_MSG_RMC)

Generated = GPS_Checksum_Gen(GPS_MSG_RMC)

if ((Extracted[0] = Generated[0]) and (Extracted[1] = Generated[1])) then

    result = 1

    'GPS_MSG_RMC_Validated = GPS_MSG_RMC

else

    result = 0

end if

end sub

sub procedure HMC5883L_Write(dim address, value as byte)

    Soft_I2C_Start()

    Soft_I2C_Write(0x3C)

    Soft_I2C_Write(address)

    Soft_I2C_Write(value)

    Soft_I2C_Stop

end sub

```

```
sub procedure HMC5883L_Init()
    HMC5883L_write(0x00, %01111000)
    HMC5883L_write(0x01, %10100000)
    HMC5883L_write(0x02, 0x00)
end sub
```

```
sub procedure HMC5883L_read()
    Soft_I2C_Start()
    Soft_I2C_Write(0x3C)
    Soft_I2C_Write(0x03)
    Soft_I2C_Start()
    Soft_I2C_Write(0x3D)
    Magnetometer[0] = Soft_I2C_Read(1)
    Magnetometer[1] = Soft_I2C_Read(1)
    Magnetometer[2] = Soft_I2C_Read(1)
    Magnetometer[3] = Soft_I2C_Read(1)
    Magnetometer[4] = Soft_I2C_Read(1)
    Magnetometer[5] = Soft_I2C_Read(0)
    Soft_I2C_Stop()
```

```
hi(X_pos) = Magnetometer[0]
```

```
lo(X_pos) = Magnetometer[1]
```

```
hi(Z_pos) = Magnetometer[4]
```

```
lo(Z_pos) = Magnetometer[5]
```

```
hi(Y_pos) = Magnetometer[2]
```

```
lo(Y_pos) = Magnetometer[3]
```

```
end sub
```

```
sub procedure config()
```

```
ANCON0 = 0xFF
```

```
ANCON1 = 0xFF
```

```
TRISD = %00110000
```

```
TRISB = 0x00
```

```
LATD = 0x00
```

```
HID_Enable(@readbuff,@writebuff)      ' Enable HID communication
```

```
GPS_Data_Ready = 0
```

```
GPS_Data_Index = 0
```

```
Already_Verify_GPS = 0
```

```
send_five_times = 0
```

```
T1CON      = 0x31
```

```
TMR1IF_bit = 0
```

```
TMR1H      = 0x15
```

```
TMR1L      = 0xA0
```

```
TMR1IE_bit = 1
```

```
INTCON      = 0xC0

T0CON      = 0x85

TMR0H      = 0x24

TMR0L      = 0x46

GIE_bit = 1

PEIE_bit = 1

TMR0IE_bit = 1

RC2IE_bit = 1

UART_Remappable_Init(9600)

RPINR16 = 22 'pin 0

RPOR23 = 6  'TX

LATB2_Bit = 1

Soft_I2C_Init()

Current_North = 0

Goto_Current_North = 0

total_steps = 0

Azimuth = 0

Elevation = 0

Goto_This_Position = 0

'determine_rotation = 0

'direction = 0

end sub
```

main:

' Main program

config()

HMC5883L_Init()

HMC5883L_read()

while(true)

Hi(small_current_north) = aux_nort_1

Lo(small_current_north) = aux_nort_2

hi(Azimuth) = aux_azi_1

Lo(Azimuth) = aux_azi_2

hi(Elevation) = aux_ele_1

Lo(Elevation) = aux_ele_2

if (HID_Read() <> 0) then

select case readbuff[8]

case 125 ' asking for GPS and magnetometer data

readbuff[8] = 0

,

```

HMC5883L_read()

aux_nort_1 = readbuff[0]

aux_nort_2 = readbuff[1]

for USB_Data_Counter = 0 to 57
    writebuff[USB_Data_Counter] =
GPS_MSG_RMC_Validated[USB_Data_Counter]
next USB_Data_Counter
,

for USB_Data_Counter = 58 to 63
    writebuff[USB_Data_Counter] = Magnetometer[USB_Data_Counter-58]
next USB_Data_Counter
,

while(HID_Write(@writebuff,64) = 0)
wend

case 126 ' asking to go to origin
    readbuff[8] = 0
    Goto_Current_North = 1

case 127 ' asking to locate a satellite

case else
    'direction = 0

```

```

readbuff[8] = 0

aux_ele_1 = readbuff[0]
aux_ele_2 = readbuff[1]
aux_azi_1 = readbuff[2]
aux_azi_2 = readbuff[3]

Goto_This_Position = 1
'determine_rotation = 1

end select

end if

if (RD4_bit = 1) then

    while ( not (Already_Verify_GPS = 0) xor (send_five_times < 5) )    'This code here
makes sure to keep the program running even when there is no communication between the
GPS and the uC

        send_five_times = send_five_times + 1

        Already_Verify_GPS = Verify_GPS_Messages()

        GPS_Set_Output_MSG("0","1","0","0","0","0")

        Delay_ms(20)

        LATD3_bit = not LATD3_bit

wend

```

```
if (GPS_Data_Ready = 1) then
    GPS_Data_Ready = 0
    RC2IE_bit = 0
    TMR0IE_bit = 0
    if GPS_MSGs_Extraction() = 1 then
        if GPS_MSGs_Validation() = 1 then
            LATD3_bit = not LATD3_bit
            for index = 0 to 99 step 1
                GPS_MSG_RMC_Validated[index] = GPS_MSG_RMC[index]
            next index
        end if
    end if
    RC2IE_bit = TRUE
    TMR0IE_bit = TRUE

end if

end if

wend

end.
```