Diseño e implementación de un prototipo de sistema GPS diferencial móvil en tiempo real, para la localización de equipos ubicados a la intemperie para un área de cobertura de 10 km

Carlos A. Herrera y Mireya G. Anaguano

***Resumen*— En el presente artículo se explica el proceso de diseño, implementación y pruebas de un sistema de software y hardware que permite corregir el error de posición en tiempo real. El sistema emplea información obtenida del GPS para hallar el error de posición y utiliza el método de corrección de posicionamiento para corregirlo. El sistema DGPS dispone estructuralmente de una estación base (GPS base) y una estación rover (GPS móvil). El software del sistema ha sido desarrollado en LabVIEW para la parte de corrección de posición y para la parte de transmisión de datos se utilizan dos Radio-modem, uno que funciona como estación.base del sistema y otro que funciona como rover (móvil).**

***Términos de Indexación*— Radio modem, GPS, DGPS**

I. INTRODUCCIÓN

UNO de los usos más frecuentes de los satélites es el envío de datos de posicionamiento a cualquier receptor GPS (Global Positioning System). Los receptores de posicionamiento funcionan mediante la recepción de señales de un conjunto de satélites y se puede obtener información acerca de la latitud, la longitud, la altitud, sin embargo se presentan errores en la información obtenida.

En este artículo se enfoca a determinar la precisión de la posición mediante el DGPS (Differential Global Positioning System) y se analizan los errores del sistema de posicionamiento global con corrección diferencial. El sistema DGPS estructuralmente consta de una estación base (GPS-base) y una estación rover (GPS-móvil).

Para la estación base se utiliza las coordenadas de los puntos de control geodésico proporcionadas por el IGM (Instituto Geográfico Militar) de Ecuador, cuya objetivo es mostrar la información de posición geográfica fiable.

Para la implementación del sistema de transmisión – recepción de información, se utiliza Radio-módems que trabajan dentro del rango de frecuencia VHF y la información es visualizada en tiempo real.

II. DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS DEL SISTEMA DGPS

Documento enviado el 17 de septiembre de 2018.

C. A. Herrera, docente del Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información de la Escuela Politécnica Nacional (e-mail: carlos.herrera@epn.edu.ec).

- GPS DIFERENCIAL – DGPS

El Sistema de Posicionamiento Global Diferencial (DGPS) es una técnica para mejorar la precisión del posicionamiento GPS. DGPS funciona a través de dos receptores terrestres, uno estacionario (estación Base o de referencia) y otro móvil (estación rover), el cual permite hacer mediciones de posición en los diferentes lugares [3].

En la Figura 1 se muestra el campo de acción del sistema GPS diferencial.

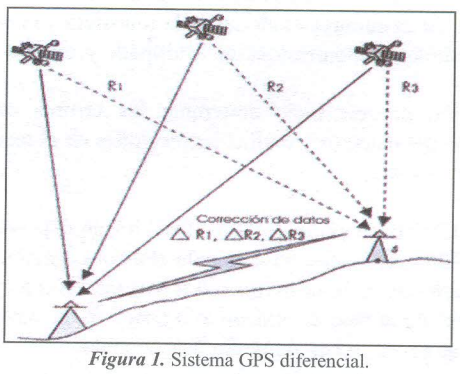

Figura 1. Sistema GPS diferencial.

A. Estación de referencia

La estación de referencia está conformada por:
a) Un receptor GPS.
b) Un microprocesador, para calcular los errores del sistema GPS y para generar la estructura del mensaje que se envía a los receptores móviles.
c) Transmisor, para establecer un enlace de datos unidireccional hacia los receptores de los usuarios finales

Para la ubicación de la estación de referencia se necesita de un punto de coordenadas conocidas y debidamente monumentado, con una visual a los 10º sobre el horizonte sin obstrucciones hacia el cielo, para así evitar la interferencia de la señal o el multipath [1]. El procesador de estación de referencia debe ser capaz de estructurar y enviar la información con una periodicidad de 5 a 15 segundos.

M. G. Anaguano ingeniera graduada de la Carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la Escuela Politécnica Nacional (e-mail: mireya.anaguano@epn.edu.ec).

B. Receptor remoto (rover)

El receptor remoto debe ser multicanal con frecuencia de código C/A, además es necesario que sea capaz de recibir las correcciones diferenciales en el formato enviado desde el procesador master, para así aplicarlas a la pseudo-distancia. La característica esencial del receptor, es la capacidad de recibir y actualizar la información cada 1 a 3 segundos según lo requiera el usuario. Los requerimientos específicos varían de acuerdo a la distancia desde la estación de referencia [1].

- CORRECCIÓN DIFERENCIAL

La corrección diferencial remueve errores comunes y mejora la exactitud. El nivel de exactitud obtenido está en función del receptor GPS y de algunas condiciones de la estación de referencia. El método es tanto más preciso cuanto más iguales sean las condiciones de la estación base y rover, es decir que está limitado por la distancia a la base [3].

Al aplicar corrección diferencial se eliminan: errores de reloj, error orbital. Se disminuye el efecto de la ionósfera y el efecto de la tropósfera, manteniéndose el Multipath y el ruido del receptor.

La estación de referencia determina los errores en las componentes del receptor y realiza correcciones en el receptor GPS en tiempo real.

Tanto el GPS-Base como el GPS-Móvil deben observar los mismos satélites, el equipo base calcula el error en función de los datos recibidos y la posición conocida, las "correcciones diferenciales" de la base se aplican a la posición del móvil, el mismo que se encuentra en un punto desconocido.

C. Corrección diferencial inversa en tiempo real

Para la corrección diferencial inversa, los datos recogidos por la estación móvil se envía a un centro de control que dispone de correcciones diferenciales o las obtiene mediante una "estación base" y las aplica a todos ellos obteniendo su posición corregida [3]. Para la corrección en tiempo real, el receptor de campo envía la información a la estación base a través de una emisión simultánea de radio (o cualquier otro medio de transmisión de datos).

- TRANSMISIÓN DE DATOS

Se utilizan transceptores que trabajen en la banda VHF para el transmisor y receptor, se establece las condiciones bajo las cuales se realiza la transmisión de la información en la banda VHF, a las cuales se debe ajustar el prototipo.

D. El proceso de transmisión y recepción de la señal consiste en:

- ✓ Utilizando el software de configuración adecuada para los Radio-Modems, el módem transmisor comienza a transmitir en el formato dado por el protocolo, el módem receptor lo recibe y descifra.
- ✓ El módem transmisor recibe la señal del GPS, y comienza a convertir la señal digital que puede ser procesada y la envía al receptor, el módem receptor recibe la señal, al terminar, el módem transmisor envía una señal de término de comunicación al módem receptor, ambos finalizan el protocolo [15].

- ELEMENTOS PARA ESTABLECER LA TRANSMISIÓN DE DATOS

E. ZRT Data Radio

El ZRT Data Radio permite que la velocidad de la transmisión de los datos pueda regularse de 150 a 9600 bps en un canal de 12,5 kHz, todos estos parámetros se pueden programar en base al software de configuración WinA4P bajo el sistema operativo Windows [15].

En la Figura 2 se muestra el ZRT Data Radio-Modem de RF DataTech utilizado.

Figura 2. ZRT Data Radio Modem de RF DataTech.

Este Radio-Modem incluye aplicaciones de GPS diferencial y la transmisión de datos NMEA, cuya característica principal es la transmisión de datos de forma fiable.

F. WinA4P

Para la configuración local de los módems RF Datatech, se utiliza el software WinA4P basado en el sistema operativo Windows.

En la Figura 3 se observa el entorno WinA4P Configuration Software, para la configuración de los Radio-modems [15].

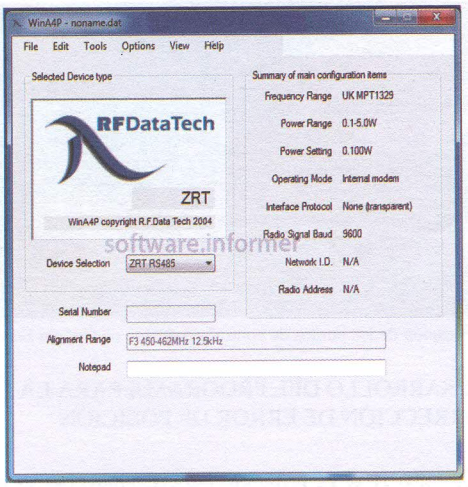

Figura 3. Configuración de radio módems.

G. Antena PCTCNMFT

En la Figura 4 se muestra la Antena PCTCNMFT, cuyas características técnicas permiten un ajuste adecuado al Radio-modem.

Figura 4. Antena PCTCNMFT.

H. Batería

La batería que se usa en el prototipo, cumple con los requerimientos técnicos requeridos por el radio modem que consiste en batería sellada, batería recargable, libre de mantenimiento, Capacidad de 4 Amperios-hora, Voltaje de carga 12 Vdc máx y medidas: 10 x 7 x 4.5 cm.

I. Frecuencia de transmisión

Utilizar enlaces de radio VHF o UHF se convierte en una opción apropiada, puesto que resulta menos costosa que su contraparte celular.

La banda VHF, resulta ser entonces uno de los medios más fiables al momento de garantizar la comunicación en zonas de cobertura de corta y media distancia sin visibilidad directa, permitiendo tener una buena conexión hasta dentro de 50 Km dependiendo de la zona geográfica.

Para el diseño del prototipo se consideró la banda VHF, debido a que el Radio-módem elegido trabaja sobre esa banda y las pruebas de comunicación se realizan en el rango de 140MHz – 170 MHz.

J. Módulo GPS EM-406

El módulo GPS EM-406, de la empresa GlobalSat se basa en el chipset SiRF StarIII de alto rendimiento, incluye regulación de voltaje, indicador LED de estado, memoria RAM con respaldo de batería y una antena de parche integrada (6-pin cable de interface), presenta muy alta sensibilidad (Seguimiento de sensibilidad: -159 dBm), es extremadamente rápido TTFF (Time To First Fix) a nivel de señal baja, respaldo al protocolo de datos NMEA 0183 y SuperCap incorporado para reservar el sistema de datos para una adquisición rápida de los satélites. [16]

En la Figura 5 se indica el GPS EM-406A SiRF III que cumple con las características óptimas requeridas.

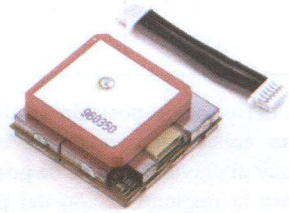

Figura 5. EM-406A SiRF III con antena.

El receptor GPS posee dos salidas seriales, envían la misma información pero en dos formatos eléctricos distintos. Una salida tiene el formato TTL, puede ser conectado directamente al microcontrolador sin necesidad de utilizar un cambiador de niveles como el MAX 232. La otra salida tiene el formato RS232 original, es más resistente al ruido y puede conectarse directamente al puerto serial de una computadora [16].

III. DISEÑO DEL PROGRAMA DE CORRECCIÓN DE ERROR DE POSICIÓN

Para el desarrollo del programa que permita la corrección de error, se toma en cuenta el elipsoide, en el caso de Ecuador, el elipsoide asociado al WGS84 es el GRS80 (Geodetic Referente System 1980). En la práctica puede asumirse que los sistemas WGS84 y GRS80 son iguales, ya que actualmente se usa el elipsoide WGS84, como modelo de base para el sistema de coordenadas UTM [3].

El sistema GPS utiliza actualmente como Datum geodésico el WGS84, el cual tiene las siguientes características:

- Origen en el centro de masa de la Tierra.
- El eje Z es paralelo al polo medio.
- El eje X es la intersección del meridiano de Greenwich y el plano del Ecuador.
- El eje Y es perpendicular a los ejes Z y X.
- Las coordenadas geodésicas están referidas a un elipsoide del Sistema Geodésico de Referencia de

1980 - GRS80.

En la Tabla 1 se muestra las características de elipsoide del Sistema Geodésico de Referencia de 1980 - GRS80.

Tabla 1. Características de elipsoide del Sistema Geodésico de Referencia de 1980 - GRS80.

Constante	Relación Matemática	Valor
Semieje Mayor (a)	Constante definida	$a = 6378137.000$ m
Constante Gravitacional geocéntrica (GM)	Constante definida	$GM = 3986005 * 10^8 \frac{m^3}{s^{-2}}$
Factor de aplanamiento dinámico (J_2)	Constante definida	$J_2 = 108\,263 * 10^{-9}$
Velocidad angular de rotación (ω)	Constante definida	$\omega = 7292115 * 10^{-11}$ rad/s
Primera excentricidad (e^2)	Cálculo iterativo a partir de a, GM, J_2, ω	$e^2 = 6{,}69438002290 * 10^{-3}$
Segunda excentricidad (e'^2)	$e'^2 = \frac{e^2}{1-e^2}$	$e'^2 = 6.73949677548 * 10^{-3}$
Semieje menor (b)	$b = a\sqrt{1-e^2}$	$b = 6\,356\,752.31414$ m
Aplanamiento recíproco($1/f$)	$f = \frac{a-b}{a}$	$\frac{1}{f} = 298.257\,222\,101$

Para la corrección del error de posición se toma un área dentro de la cual se aplica un método de interpolación adecuado, para disminuir al máximo el error de posición dentro del área asignada. Para la implementación del programa de corrección de error de posición, se utiliza los puntos de control geodésico de los sectores de Guamani y Cutuglagua, en donde se verificó el funcionamiento del prototipo [14].

En la Tabla 2 se muestra información proporcionada por el Instituto Geográfico Militar Ecuador (IGM), en la cual se pueden identificar los puntos de control Geodésico adquirido.

Tabla 2. Ubicación de los puntos de control geodésico

ID	Nombre del Punto	Latitud	Longitud	X UTM (m)	Y UTM (m)
1491	PE 29460-Y	0°22'07.6082" 0.36878	78°32'38.1356" 78.543926	773378.153	9959200.987
1202	PE 2201-X	0°22'20.1159" 0.372254	78°32'34.28" 78.542856	774547.272	9958816.283
2251	PE 20655-Y	0°22'23.4" 0.373167	78° 32'49.9" 78.547194		
1492	PE 29393-X	0°22'08.2" 0.368944	78° 32'13.5" 78.537083		
1737	PE 29393- Y	0°22'07.9814"	78° 31'45.7769"		
1444	PE 29354 - Y	0°21'36.1"	78° 33'09.5"	494134.953	9960171.426
1103	PE 2227 - Y	0°22'07.2"	78° 32'28.1"		
1088	PE 2239-X	0°21'59.1688" 0.366436	78°33'43.8857" 78.56219	771344.144	9959460.896
3014	TURIN	0°22'4.3918" 0.367886	78°34'34.9492" 78.576372	769764.281	9959300.820
1186	PE 2187-X	0° 21'59" 0.366389	78° 34'35" 78.576389		
1193	PE 2227-X	0°22'01.9" 0.367194	78° 32'53.6" 78.548222	772899.185	9959376.185
1200	PE 2196-X	0°23'21.2" 0.389222	78° 32'17.8" 78.538278		

En la Figura 6 se identifica los puntos de control geodésico mediante la utilización de Google Earth.

Figura 6. Ubicación de los puntos de control geodésico en Google Earth.

IV. DESARROLLO DEL PROGRAMA PARA LA CORRECCIÓN DE ERROR DE POSICIÓN

El software LabVIEW es utilizado para diseñar el programa encargado de procesar los datos de posicionamiento de los GPSs y la lectura de la información que llega a los puertos seriales.

Tanto para el GPS que se encuentra en el punto de referencia, como también para el GPS-rover (remoto o móvil), los datos ingresan a través de los puertos seriales que se encuentran en el computador. [1]

1. Como primer paso el GPS base ingresa las tramas NMEA del GPS (mediante puerto serial).

2. Las diferentes tramas que ingresan son separadas por el programa desarrollado.

3. Los datos del GPS base no poseen ningún tipo de corrección, pero son utilizados para obtener el error de posición el cual se aplica a los datos obtenidos del GPS-móvil.

Para el programa se toma en consideración las siguientes tramas:

- Trama GPGGA, muestra los datos de ubicación.

$GPGGA,200635.000,0010.6982,S,07829.2631,W,2,7,1.03,2808.2,M,13.7,M

- Trama GPGSA, muestra los satélites activos.

$GPGSA,A,3,31,,22,18,21,30,12,14,,,,,,1.99,1.04,1.7*0D

- Trama GPRMC, muestran los datos mínimos recomendados específicos para el GPS.

$GPRMC,200634.000,A,0010.6982,S,07829.2631,W,0.03,0.00,280212,,,D*69

- Trama GPGSV, muestra los satélites a la vista.
- Trama GPVTG, muestra los datos de curso sobre tierra y velocidad en tierra.

El programa previsto para la corrección de error de posición se realiza en base a un algoritmo de interpolación, en el cual se identifica el error de posición de acuerdo al punto de control geodésico más próximo al GPS-móvil dentro del área

especificada por los puntos de control geodésico.

Los datos que se debe obtener en la corrección de posición son los siguientes: posición tomada por el GPS-móvil, el error que se aplica al GPS-móvil, la posición corregida del GPS-móvil, el punto de control geodésico más cercano con el cual se aplica la corrección de posición.

En la Figura 7 se muestra el diagrama de bloques de la configuración del puerto serial del programa para el ingreso de datos.

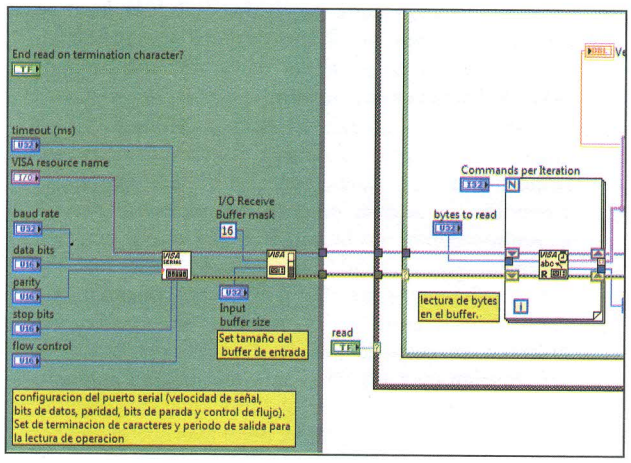

Figura 7. Configuración del puerto serial para ingreso de sentencias NMEA.

En la Figura 8 se muestra el diagrama de bloques del cambio de coordenadas y ubicación del punto de control geodésico para el receptor GPS-base y GPS-rover.

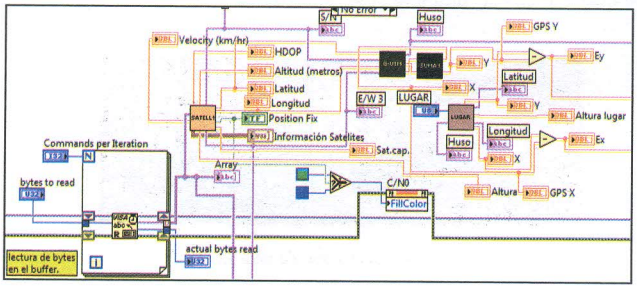

Figura 8. Cambio de coordenadas y ubicación del punto de control geodésico para el GPS base.

En la Figura 9 se muestra el diagrama de bloques para la comparación de información de los satélites capturados por el GPS-base y GPS-rover.

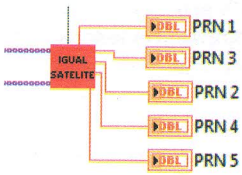

Figura 9. Información de los satélites capturados por el GPS-base y GPS-rover.

En la Figura 10 se muestra el diagrama de bloques para la corrección de posición del GPS-rover respecto del GPS-base.

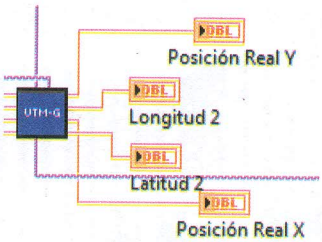

Figura 10. Corrección de posición del GPS-rover respecto del GPS-base.

V. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA IMPLEMENTADO

El programa realizado en LabVIEW consta de tres partes fundamentales para el desarrollo del mismo:

- Obtención de los datos mediante puertos seriales tanto del GPS móvil como de GPS base.
- Interacción de datos para discriminar los datos que se usarán en el programa.
- Realización del método de interpolación para corregir el error de posición.

En la Figura 11 se indica la interfaz para el ingreso de datos al programa tanto del GPS-móvil como del GPS-móvil.

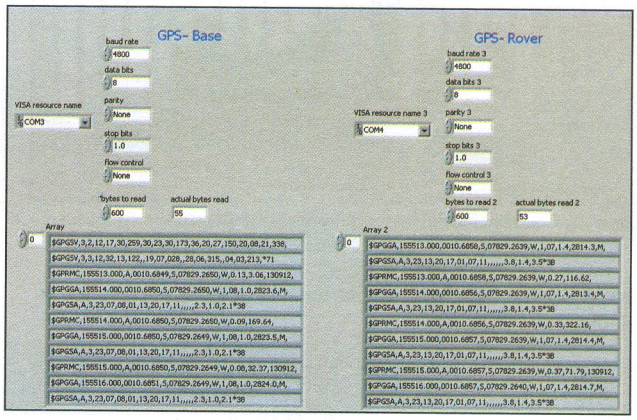

Figura 11. Comunicación con los GPS móvil y Base.

En la Figura 12 se muestra la captura de satélites del GPS-Base y GPS-Móvil que no tienen satélites en común.

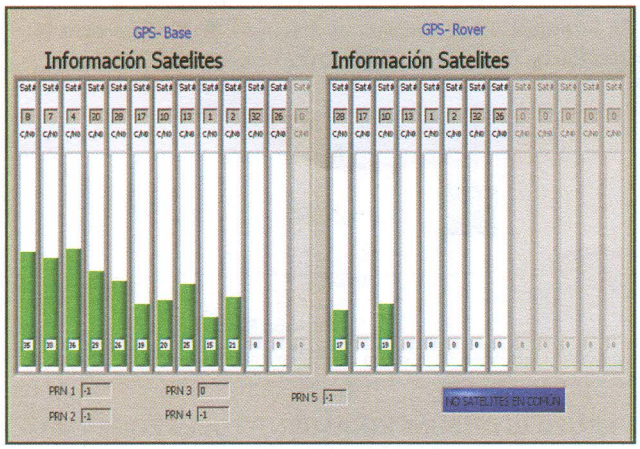

Figura 12. Comparación de captura de satélites del GPS-Base y GPS-Móvil que no tienen satélites en común.

En la Figura 13 se muestra la captura de satélites del GPS-Base y.GPS-Móvil que si tienen satélites en común.

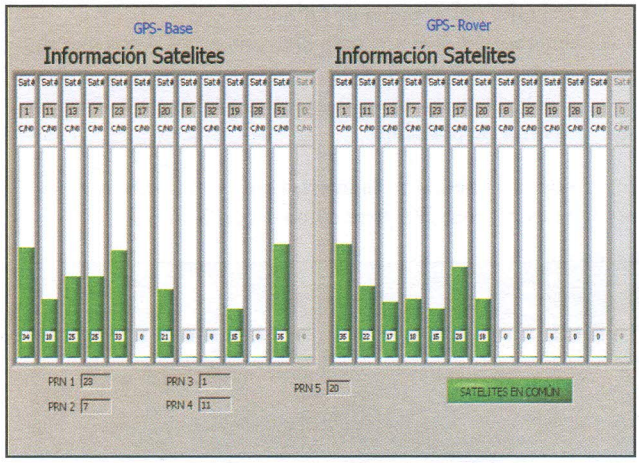

Figura 13. Comparación de captura de satélites del GPS-Base y GPS-Móvil que tienen satélites en común.

En la Figura 14 se muestra la interfaz para la corrección de posición.

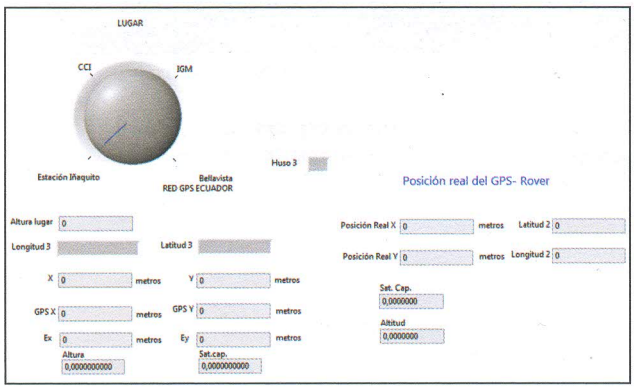

Figura 14. Interfaz de corrección de posición para el GPS móvil.

VI. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL TRANSMISOR Y RECEPTOR

Se requiere un GPS para que reciba información de la posición geográfica obtenida.

- El Radio-modem ZRT170TR-5 ofrece una interfaz serial RS232 para la comunicación con el mismo; es decir, el ZRT170TR-5 encapsula al módem interno de manera de hacerlo más manejable y fácil de conectar como periférico a un computador estándar.
- La comunicación entre el GPS móvil y la base se realiza por medio de Radio-módems trabajando en VHF, por el cual se envía datos de GPS (tramas NMEA) hacia la estación base.
- Se incorpora las antenas al radio – Modem que se encuentra en la estación base y la estación móvil, respectivamente, que son utilizadas para la comunicación de estaciones a la misma frecuencia que el Radio-módem, en la que se podrá emitir con una potencia que va desde los 100mW hasta los 5W omnidireccionalmente. Es conveniente recordar que emitir a 5W; es decir, el máximo, sólo deberá ser utilizado en caso de que se desee enviar o recibir información más allá de 1Km y un máximo de 5Km, si se tiene en cuenta que el fabricante no garantiza comunicación a más de 5Km, nivel más que razonable para este prototipo.

El GPS-móvil al cual se desea corregir el error de posición deberá estar equipado con un módulo transmisor.

En la Figura 15 se muestra los componentes del GPS móvil que permite enviar datos al Radio-módem.

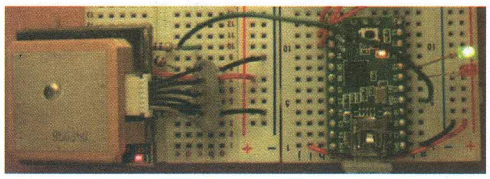

Figura 15. Comprobación de GPS activo.

En la base o estación de referencia se instala el sistema de corrección de error de posicionamiento, que es capaz de recibir la información enviada desde el GPS-rover.

Cuando el sistema se inicia, el GPS-rover envía las instrucciones necesarias mediante un transmisor conectado. Condicionalmente el GPS genera las instrucciones una vez por segundo. Se usa esta propiedad como temporizador para enviar la información. Antes de transmitir, se verifica el funcionamiento del Radio-modem transmisor para verificar que esté operando en la frecuencia adecuada y que se ajuste con el amplificador de potencia, y espera un tiempo aproximado de 100 ms para enviar los datos.

Para la recepción de datos del GPS y la transmisión de datos

que se van a modular se utiliza el puerto serial, pero las velocidades de transferencia de datos son distintas. El GPS transmite los datos a 4800 bps y la transferencia de datos se realiza a 9600 bps, esto implica que se debe modificar la velocidad del puerto serial para la transmisión y la recepción.

En la Figura 16 se muestra los conectores utilizados para la conexión entre la antena y el radio modem.

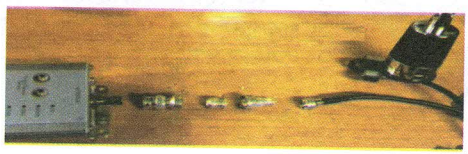

Figura 16. Elementos de acoplamiento entre el radio modem y la antena.

En la Figura 17 se muestra el Radio-modem utilizado. Se debe tomar en cuenta que para encender el Radio-modem debe estar conectada la antena para evitar daños en el equipo.

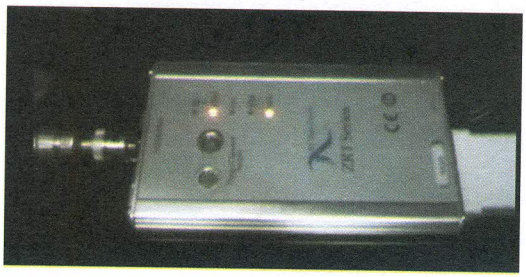

Figura 17. Radio modem.

El transmisor VHF debe generar la señal portadora de RF, la modula y luego la amplifica para lograr un buen alcance.

Dentro de las pruebas de comunicación y funcionamiento del transmisor y receptor realizado se comprueba:

- La prueba de tramas del GPS enviadas fueron recibidas con éxito, se comprobó entonces el correcto funcionamiento del sistema VHF, de los Radio módems y los GPSs que se encontraban operativos.
- En cuanto a transmisiones en posiciones cercanas al Radio-modem base, se presentó leve problema de interferencia de ruido, se induce cuando las antenas transmisora y receptora se encuentran muy cerca, sin embargo a pesar de ello, se recibió correctamente los datos correspondientes al punto de prueba realizados.

Los Radio-módems se los configura en modo simplex, puesto que, si se los configura en modo semi – dúplex, las antenas no deben estar muy próximas, ya que se produce un efecto de retroalimentación produciéndose errores, por lo tanto se debe mantener una distancia mínima de 10 metros. Además la longitud de las antenas de transmisión y recepción es adecuada para su respectiva frecuencia de operación, evitando problemas en la comunicación y daños en los equipos debido a un exceso de potencia reflejada.

- Para evitar problemas en el funcionamiento del prototipo se conectó el Radio-modem y el GPS a la batería acoplada, ya que las referencias circuitales de alimentación son diferentes para el GPS y para el Radio-modem, lo que podría provocar que deje de transmitir la información de posición.
- A parte del problema físico de cercanía de antena Rx y Tx, la transmisión de datos tuvo un cien por ciento de éxito en la prueba, habiendo recibido el total de tramas enviadas.
- El sistema de transmisión y recepción de datos implementado, funcionó cualitativamente de acuerdo a lo esperado.

Se comprueba que:

- La obtención de datos se realizó con éxito, en razón de que el programa LabVIEW presenta una interfaz amigable con el usuario.
- La discriminación de datos utilizados en el programa no presentó dificultad, para lo cual se realizaron cálculos matemáticos, verificación de los datos ingresados, todas estas acciones en un ambiente en tiempo real.
- En lo que respecta al método de interpolación no funcionó de acuerdo a lo esperado, esto debido a la falta de puntos de control geodésico que proporcionen un ambiente adecuado para realizarlo.

VII. CONCLUSIONES

Las pruebas de transmisión y recepción de datos realizadas en base al ZRT Data Radio Modem de RF Data Tech entregaron resultados satisfactorios, por lo cual se puede afirmar que es factible implementar proyectos relacionados a esta investigación con fines comerciales.

El sistema de transmisión utilizado es el adecuado para el caso en el cual se necesite transmitir datos utilizando medios relativamente baratos y accesibles, sin necesidad de desarrollar complicados sistemas de modulación digital y el desarrollo de aplicaciones, ya que no se necesita intercambiar mucho volumen de información.

El sistema de cobertura VHF es ampliamente usado, por lo que la integración de un servicio de localización resulta favorable y con un ahorro económico considerable, ya que se haría uso de una infraestructura instalada.

En la configuración del sistema de radio es fundamental realizar un correcto acoplamiento de las antenas con su

respectivo equipo, de tal modo que se evite la intromisión de ruido que puede afectar la calidad del enlace y afecte a la comunicación de datos.

El prototipo desarrollado realiza un adecuado acoplamiento entre las partes de transmisión y recepción de datos con la generación de datos que se ingresan al programa LabVIEW, no se produce ninguna interferencia entre las mismas, sin embargo para proyectos futuros sería necesario realizar un control de flujo para identificar los tiempos en los cuales el canal se halle ocupado debido a otros transmisores, para poder determinar los intervalos de tiempo precisos para la transmisión y así evitar pérdidas de datos.

REFERENCIAS

[1] L. Letham, "GPS Fácil, Uso del sistema de posicionamiento global", PAIDOTRIBO, 2002

[2] Casanova Matera Leonardo, Topografía Plana, Universidad de Los Andes, Mérida 2002. [Online]. http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/topografia_plana/pdf/topografia.pdf.

[3] J.Olmedillas, "Introducción a los sistemas de Navegación por satélite", Editorial UOC, 2012.

[4] P.Misra, P. Enge, "Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance", Ganga-Jamuna Press, 2006

[5] J. Iglesias, "Curso sobre el patrimonio histórico 12", Santander, 2011

[6] C. Garcia, J. Martinez, "Territorio y medio ambiente – Métodos Cuánticos y técnicas de información georeferenciada", FG Graf, 2004.

[7] Brandetti Alejandro, Kemerer Sebastian, Posicionamiento GPS en tiempo real utilizando BTRIP [Online] http://www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/collect/facagr/index/assoc/HASH01ef.dir/doc.pdf

[8] Zurita L Patricio, Informe técnico para la adopción del marco geodésico de referencia nacional SIRGAS – ECUADOR [Online] http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/PORTAL/IG/2_Informe_tecnico_adopcion_sirgas.pdf.

[9] Cioce Víctor, Alves Sonia, Simposio SIRGAS 2016 – Presentación Estado actual de la red SIRGAS-CON: reporte del Grupo de Trabajo I. [Online] http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol21/03_Cioce_et_al_2016_REPORTE_GT1_2015-2016.pdf.

[10] Zurita Patricio, Adopción del nuevo marco de referencia para el Ecuador, SIRGAS – ECUADOR, Noviembre – 2010. [Online] http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol15/37_Zurita_et_al_Reporte_Ecuador.pdf.

[11] Diagnóstico del comportamiento de las EMC de la REGME en el momento del terremoto del 16 de abril del 2016 con soluciones de la técnica PPP, noviembre 2016. [Online] http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol21/14_Porras_et_al_2016_REGME_PPP.pdf.

[12] Cartografía y Geodesia. Sistemas de proyección, Capítulo 1. [Online] http://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario_1.pdf.

[13] Cisneros Revelo David Alexander, Análisis de la red nacional GPS pasiva enlazada al sistema de referencia SIRGAS95 y su evolución hacia la nueva infraestructura soportada por la red GNSS de monitoreo continuo del Ecuador. [Online] http://www.geoportaligm.gob.ec/wordpress/?wpfb_dl=67.

[14] Monografías adquiridas en el IGM – Ecuador (se adjunta como Anexo)

[15] ZRT Radio Modem, ZRT Datasheet, WinA4P Configuration Manual, ZRT Manual (Rev M). [Online] www.rfdatatech.co.uk/product/zrt-radio-modem.

[16] GPS Receiver - EM-406A SiRF III. [Online] https://www.sparkfun.com/products/retired/465.

[17] Zubrinic Fabian, Modelos digitales de terreno (MDT), Facultad de ciencias forestales UNSE. [Online] http://fcf.unse.edu.ar/archivos/lpr/pdf/p13.PDF.

[18] Estructuras de las señales transmitidas. [Online] http://tel.abloque.com/telecomunicaciones/tutorial/capitulo3.html

[19] USB-RS232 conector DB9. [Online] https://www.planafabrega.com/conversor-usb-rs232-conector-db9.

C. Herrera Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, Master en Conectividad y Redes de Telecomunicaciones, Escuela Politécnica Nacional. Docente de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

Mireya G. Anaguano G., Nació en Quito el 9 de Febrero de 1986, sus estudios secundarios los realizó en el Colegio Nacional Experimental María Angélica Idrobo de la ciudad de Quito, los estudios universitarios los cursó en la Escuela Politécnica Nacional (EPN) en la carrera de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. Ha cursado sus estudios en la Academia ACIERTE de la EPN.