

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO SISTEMA DE SOPORTE
PARA VIGILANCIA VOLCÁNICA USANDO LA RED DE TELEFONÍA MÓVIL**

**JORGE LUIS ERASO ANDRADE
SERVIO MARCELO OÑATE PORTILLA**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SAN JUAN DE PASTO
2011**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO SISTEMA DE SOPORTE
PARA VIGILANCIA VOLCÁNICA USANDO LA RED DE TELEFONÍA MÓVIL**

**JORGE LUIS ERASO ANDRADE
SERVIO MARCELO OÑATE PORTILLA**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electrónico

**Director:
MG. DARÍO FAJARDO FAJARDO
Codirector:
ING. JAIRO ORTIZ VALENCIA**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SAN JUAN DE PASTO
2011**

Nota de Responsabilidad

“La Universidad de Nariño no se hace responsable por las opiniones o resultados obtenidos en el presente trabajo y para su publicación priman las normas sobre el derecho de autor”.

Acuerdo 1. Artículo 324. Octubre 11 de 1966. Emanado del honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación

Jurado

Jurado

DEDICATORIA

A Dios, por la realización de este trabajo.

A nuestros familiares, por su incondicional apoyo

AGRADECIMIENTOS

A Darío Fajardo Fajardo, Magister en automatización y a Jairo Ortiz Valencia, funcionario de INGEOMINAS Pasto.

CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN	17
1. JUSTIFICACIÓN	19
2. OBJETIVOS	21
2.1 OBJETIVO GENERAL	21
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3. MARCO TEÓRICO	23
3.1 ANTECEDENTES	23
3.2 RED DE COMUNICACIÓN DE DATOS	24
3.2.1 Un Modelo Para las Comunicaciones	24
3.2.2 Comunicaciones de Datos a Través de la Red	26
3.2.2.1 Redes de Área Amplia (WAN, Wide Area Network)	26
3.2.2.2 Redes de Área Local (LAN, Local Area Network)	27
3.2.3 Protocolos y Arquitectura de Protocolos	28
3.2.3.1 Modelo de Protocolo TCP/IP	28
3.2.3.2 Modelo de Protocolo OSI	30
3.2.4 Modelo Cliente Servidor	31
3.2.4.1 Servidor Web	32
3.3 TELEFONÍA MÓVIL CELULAR	33
3.3.1 Primera Generación de Sistemas de Radio Móvil 1G	34
3.3.2 Segunda Generación de Sistemas de Radio Móvil 2G	35
3.3.2.1 GSM (Global Systemfor Mobile Communications)	35
3.3.3 Generación Intermedia 2.5G	37
3.3.3.1 GPRS (General Packet Radio Services)	37
3.3.3.2 EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution)	39
3.3.4 Tercera Generación 3G	43
3.3.5 Cuarta Generación 4G	44
3.4 INSTRUMENTACIÓN EN VULCANOLOGÍA	45
4. METODOLOGÍA	46
4.1 ESTRUCTURA DEL SISTEMA	46
4.1.1 Estación Remota del Sistema	47
4.1.1.1 Modem de Datos EDGE-Q2687	48
4.1.1.2 Sensores	51

4.1.1.2.1	Cámara UART JPGE - LSY-201	51
4.1.1.2.2	Acelerómetro SPI/I2C – LIS3LV02DQ	54
4.1.1.2.3	Sensor de Temperatura – LM35	55
4.1.1.3	Soporte a los Datos	56
4.1.1.4	Tarjeta de Control	58
4.1.1.4.1	Microcontrolador – PIC 18F2550	59
4.1.1.5	Fuente de Alimentación	62
4.1.1.5.1	Batería Recargable de Li-ion de 3.7 V	62
4.1.1.5.2	Batería No Recargable de 9 V	63
4.1.1.5.3	Panel Solar	64
4.1.2	Estación Central del Sistema	65
4.1.2.1	Software de Adquisición en MATLAB	65
4.1.2.1.1	Servidor de Adquisición	66
4.1.2.1.2	Aplicación de Interfaz Gráfica	67
4.1.2.2	Servidor Web en MATLAB	68
4.1.2.2.1	Página Web	68
4.2	CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA	70
4.2.1	Estudio de la Bibliografía	70
4.2.2	Creación de Montaje Circuitual Prototipo y Pruebas	70
4.2.3	Fabricación de las Estaciones Remotas	72
4.2.4	Programación de la Estación Central y Pruebas Finales:	75
4.3	FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	76
4.3.1	Identificación del Modelo Cliente - Servidor en el Sistema	77
4.3.2	Protocolo de Comunicación Estación Remota - Estación Central	78
4.3.2.1	Comunicación de Datos en el Socket TCP	78
4.3.2.2	Comunicación de Comandos en el Socket TCP	81
4.3.2.3	Comunicación de Datos en el Socket UDP	83
4.3.3	Caso de Ejemplo: Estación Remota 1 - Estación Central	85
4.3.3.1	Comunicación de los Datos por TCP	87
4.3.3.2	Comunicación de los Datos por UDP	91
4.3.4	Funcionamiento de la Tarjeta de Control	93
4.3.4.1	Controlador Principal	94
4.3.4.2	Controlador Auxiliar	95
4.3.4.3	Diagrama de Flujo del Funcionamiento de la Tarjeta de Control	96
4.3.5	Funcionamiento del Software de Adquisición	98
4.3.5.1	Diagrama de Flujo del Funcionamiento del Software de Adquisición	99
4.3.6	Reconexión Automática del Sistema en Situaciones de Falla	100
5.	RESULTADOS	101
5.1	ESTACIONES REMOTAS	101
5.1.1	Descripción de la Estación Remota	104
5.2	ESTACIÓN CENTRAL	108

5.2.1 Descripción de la Interfaz Gráfica	109
5.2.2 Descripción de la Página Web	111
CONCLUSIONES	116
RECOMENDACIONES	117
BIBLIOGRAFÍA	118
ANEXOS	120

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Modelo simplificado para las comunicaciones.	25
Figura 2 Encabezado de un paquete IPv4.	29
Figura 3 Diferencia en Encabezados para los protocolos TCP y UDP.	30
Figura 4 Modelo de referencia OSI.	31
Figura 5 Modelo Cliente Servidor.	32
Figura 6 Evolución de las redes de telefonía Móvil.	34
Figura 7 Estructura simplificada de GSM.	36
Figura 8 Red GPRS.	38
Figura 9 Red EDGE.	40
Figura 10 Stack de protocolos en EDGE.	42
Figura 11 Sistema de Tercera Generación (WCDMA).	44
Figura 12 Diagrama de bloques de la estructura general del sistema.	47
Figura 13 Diagrama de bloques de la estructura general para una estación remota.	48
Figura 14 Módem EDGE Q2687.	50
Figura 15 Cámara a color JPGE serial LS Y201.	52
Figura 16 Servo motor HXT 900.	53
Figura 17. Acelerómetro tri-axial serial SPI/I2C LIS3LV02DQ.	55
Figura 18 Sensor de temperatura LM 35.	56
Figura 19 Memoria Micro SD Scan Disk.	57
Figura 20 Capa superior de la tarjeta de control basada en dos microcontroladores PIC 18F2550.	58
Figura 21 Capa inferior de la tarjeta de control basada en dos microcontroladores PIC 18F2550.	59
Figura 22 Microcontrolador PIC 18F2550	60
Figura 23 Diagrama de bloques de la estructura general de la tarjeta de control.	61
Figura 24 Batería de Li-ion de 3.7 V recargable.	63
Figura 25 Batería no recargable de 9V.	63
Figura 26 Panel Solar.	64
Figura 27 Diagrama de bloques de la estructura general de la estación central.	65
Figura 28 Aplicación de interfaz gráfica para la estación remota 1 desarrollada en GUIDE de MATLAB.	67
Figura 29 Página HTML montada en el servidor web.	69
Figura 30 Creación de montaje circuital prototipo y pruebas.	71
Figura 31 Construcción de las tarjetas de control.	72
Figura 32 Diseño CAD de las estaciones remotas.	73
Figura 33 Construcción de los soportes con fibra de vidrio.	74
Figura 34 Construcción de las estaciones remotas.	75
Figura 35 Pruebas de funcionamiento del sistema.	76

Figura 36 Comunicación estación remota 1 - estación central según el modelo Cliente – Servidor.	77
Figura 37 Transferencia de datos de aceleración y temperatura en el socket TCP.	79
Figura 38 Parte inicial de la trama del flujo de datos sobre el socket TCP.	80
Figura 39 Tramas de datos sobre el socket TCP.	81
Figura 40 Ejemplo de la transmisión del comando UP entre las estaciones.	83
Figura 41 Transferencia de datos de imagen en el socket UDP.	84
Figura 42 Trama de datos sobre el socket UDP.	85
Figura 43 Caso de ejemplo de funcionamiento entre la estación remota 1 y la estación central.	85
Figura 44 Enlaces TCP y UDP del sistema.	87
Figura 45 Generación de los datos de aceleración y temperatura.	88
Figura 46 Transmisión de una trama de datos sobre el socket TCP.	89
Figura 47 Representación gráfica de los datos adquiridos desde el socket TCP.	90
Figura 48 Transmisión de los datos de imagen por el socket UDP.	93
Figura 49 Diagrama de flujo del funcionamiento tarjeta de control.	97
Figura 50 Diagrama de flujo del software de adquisición.	100
Figura 51 Dimensiones de la caja de soporte (vista superior).	102
Figura 52 Dimensiones de la caja de soporte (vista posterior).	103
Figura 53 Dimensiones del soporte para el acelerómetro (vista lateral).	103
Figura 54 Dimensiones del soporte para el acelerómetro (vista lateral).	104
Figura 55 Estación remota.	104
Figura 56 Conectores de la cara frontal de la caja.	105
Figura 57 Conectores de la cara posterior de la caja.	106
Figura 58 Conectores de la cara superior de la caja.	106
Figura 59 Conectores y elementos de la cara superior de la tarjeta de control	107
Figura 60 Conectores y elementos de la cara superior de la tarjeta de control.	108
Figura 61 Interfaz gráfica del Software de adquisición de datos.	109
Figura 62 Barra de menú en la GUI Estación Remota 1.	110
Figura 63 Ventana de Conexión.	110
Figura 64 Página principal del sitio web del sistema.	111
Figura 65 Acceso como usuario en el sitio web.	112
Figura 66 Página de ingreso a una estación remota.	113
Figura 67 Página de monitoreo de una estación remota.	114
Figura 68 Acceso como invitado en el sitio web.	115

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Modulación y esquemas de codificación en EDGE.	Pág. 41
Tabla 2 Sockets TCP y UDP de cada estación remota.	66

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A: CD ROM	120
Anexo B. Manual De Usuario	121
Anexo C. Manual De Programación De La Tarjeta De Control	128

RESUMEN

Los recientes reportes de la actividad volcánica del Galeras, permiten observar un crecimiento en su dinamismo. Este documento es la finalización de un proyecto de tesis en el que se ha trazado como meta principal, consolidar una solución tecnológica alternativa para el monitoreo de volcanes dentro del contexto regional. La propuesta fundamental ha sido el diseño e implementación de un sistema prototipo, orientado a la adquisición, transmisión y presentación de diferentes variables físicas de interés volcanológico.

La culminación del proyecto se ha logrado gracias a la realización de múltiples etapas de diseño y ejecución, pues el sistema requiere del uso de varios dispositivos electrónicos. Estos dispositivos están a la vanguardia de las nuevas tecnologías, por lo que confieren innovación y novedad al resultado final.

En el marco del proyecto se ha obtenido un sistema de monitoreo en red compuesto por tres estaciones remotas y una central. Las variables de instrumentación son la imagen del paisaje, las señales de aceleración del terreno y la temperatura de los sitios de implementación.

ABSTRACT

The latest reports of volcanic activity of Galeras, allow us to observe a growth in its dynamism. This document is the completion of a project which has as main goal to consolidate an alternative technology solution for monitoring of volcanoes in the regional context. The key proposal was to design and implement a prototype system aimed at the acquisition, transmission and presentation of different physical variables.

The culmination of the project was achieved through the completion of various stages of design and execution, as the system requires the use of various electronic devices. These devices are new technology, so give the final result innovation and novelty.

The project has obtained a network monitoring system consists of three remote stations and a central station. Implementation variables are the image of the landscape, the ground acceleration signals and the temperature of the implementation sites.

INTRODUCCIÓN

Nuestra región es una zona que posee una actividad volcánica imperante debido a la presencia de varios de los volcanes activos de la cordillera andina. La actividad volcánica que mayor interés despierta por su importancia en la investigación científica y sobre todo por el riesgo que representa como una amenaza ante una eventual catástrofe natural, proviene del volcán Galeras.

En nuestro país, la entidad encargada de realizar el monitoreo continuo de cada uno de los volcanes dentro de la geografía nacional es INGEOMINAS. La finalidad principal de esta institución en vulcanología es la de generar las alertas tempranas sobre posibles erupciones.

La vigilancia visual evidentemente es la forma más antigua para el seguimiento de la actividad volcánica. Los primeros observatorios se construían cerca de los volcanes activos para poder mantener una vigilancia visual del volcán, seguidamente en estos mismos observatorios se instalan los primeros instrumentos cuyo desarrollo posterior condujo a la propia desaparición del observatorio tradicional¹.

No es tema desconocido que la electrónica ha tenido una evolución gigante en las últimas décadas, involucrándose en la mayor parte de las áreas humanas. Para el caso particular de vigilancia volcánica, ha aportado avances fundamentales para llevar a cabo sus procesos. En ellos, la electrónica se involucra sobre todas las etapas de monitoreo: en la instrumentación, la adquisición, las telecomunicaciones y el procesamiento de las señales.

Las redes de monitoreo actuales que operan en nuestro departamento, están basadas en una comunicación que se lleva a cabo únicamente por medio de líneas telemétricas de radio enlace y no se dispone de un sistema de soporte sobre dicha plataforma de comunicaciones. Los sistemas redundantes pueden entrar en escena para asegurar la fiabilidad en el registro de la información de las variables medidas, vitales en el análisis de los fenómenos producidos a raíz de la actividad de un volcán. Además de las variables ambientales, sísmicas, de gases o de deformaciones en el terreno, una variable de gran importancia en el monitoreo de los volcanes es la vigilancia visual, cuyo seguimiento no está completamente implementado en las actuales redes.

¹ Ortiz, R., García, A., & Astiz, M. *INSTRUMENTACIÓN EN VOLCANOLOGÍA*. Islas Canarias: Casa de los Volcanes. p. 218.

A partir de la llegada de la telefonía celular en nuestra región, y de su evolución continua en sus capacidades y tecnologías, se hace permisible la trasmisión de datos a ratas de velocidades significativas, abriendo la posibilidad de realizar la implementación de instrumentos de monitoreo remoto en tiempo real. La aparición de la tecnología GPRS/EDGE que permite acceder a internet a través de los protocolos de TCP/IP, se postula como una solución apropiada para la implementación de esta clase de sistemas.

El problema radica en ¿Cómo implementar una red de soporte para el monitoreo volcánico en tiempo real usando la infraestructura de red de telefonía móvil e internet?

En el documento, se ha planteado una propuesta de diseño y construcción de un sistema de soporte orientado al monitoreo simultáneo de tres lugares diferentes, tanto visual como de otras variables físicas, haciendo uso de las redes de telefonía móvil e internet. Para el adecuado desarrollo, se parte del uso de un modem GPRS/EDGE, un conjunto de sensores electrónicos, controladores y software informático.

Se realiza de tal forma que cumpla con los requerimientos: robusto, portable, autónomo y fiable. En Colombia la cobertura de red GPRS/EDGE se encuentra en un punto de expansión, lo cual permite que los sistemas operantes dentro esta red trabajen en una amplia área, sin embargo esta restricción condicional se convierte en una desventaja evidente en el momento en que los sistemas se ubiquen en lugares sin cobertura.

1. JUSTIFICACIÓN

Los sistemas de monitoreo de volcanes deben disponer de una adecuada plataforma de comunicaciones que garantice la conexión continua y fiable entre los sensores, los sistemas de adquisición y los sistemas de procesamiento de datos. “La fiabilidad de todo el sistema es uno de los puntos críticos, pues puede ocurrir que en el momento de la crisis todo el sistema quede inoperante por fallo en las comunicaciones”².

De esta forma, disponer de un sistema de monitoreo volcánico que proporcione soporte a la red actual, operante del departamento de Nariño, se convierte en un punto importante y necesario, en vista de los requerimientos de máxima fiabilidad en este tipo de vigilancia.

Por otro lado, si enfocamos nuestro interés en el sobresaliente desarrollo que han tenido las nuevas tecnologías de comunicación de telefonía móvil en la transmisión de datos, no podemos pasar por alto todos estos avances, pues se proyectan como la solución más sencilla a la problemática estudiada. La transmisión de datos a través de la infraestructura de red de la telefonía móvil y la internet se convierte en una realidad confiable, versátil y portable de enlace, además de constituir un método bastante económico.

El éxito de la red de celdas, característica de la telefonía móvil consiste en ofrecer una amplia cobertura. La cobertura actual ofrecida por los diferentes operadores en nuestro país, se halla difundida en buena medida a lo largo del territorio nacional, lo cual proporciona la opción de consolidar un sistema remoto capaz operar en una amplia zona.

Debido a la dificultad jurídica que representa adquirir una licencia de utilización de una banda espectral y a la alta congestión e interferencia que poseen las bandas libres, la telefonía móvil ofrece la ventaja de realizar un enlace eficiente y eficaz sin restricciones legales y con los mínimos costos operativos.

Por otra parte, la mejora significativa que ha tenido el avance de la tecnología celular para integrarse fácilmente con internet, expande las posibilidades de un sistema de monitoreo remoto para ser operado desde cualquier lugar del mundo.

² Ortiz, R., García, A., & Astiz, M. *INSTRUMENTACIÓN EN VOLCANOLOGÍA*. Islas Canarias: Casa de los Volcanes. p. 10.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un sistema de instrumentación y monitoreo de vigilancia volcanológica en tiempo real sobre tres puntos diferentes de difícil acceso.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Implementar el sistema de transferencia de datos cliente servidor usando la tecnología de telefonía móvil e internet.
- Diseñar el sistema de transmisión de fotogramas de una cámara digital y cuatro variables físicas provenientes de otros sensores.
- Diseñar y construir el sistema de control remoto de orientación de la cámara.
- Diseñar e implantar el sistema de registro de soporte o backup mediante un sistema embebido.
- Planear y desarrollar el sistema de suministro de energía.
- Diseñar e implementar la interfaz gráfica de usuario y una aplicación web del sistema de vigilancia.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 ANTECEDENTES

Los primeros registros de comunicaciones en tiempo real usando los servicios de telefonía móvil se manifiestan para el año 2000, los investigadores S.N.; *Worrall, S.; Sadka, A.; Kondo, A.* publican su experiencia en su trabajo “Real-time Video Communications Over GPRS Fabri; First International Conference On 3G Mobile Communication Technologies, 2000.”

En el año 2003 se desarrolló un trabajo denominado: “Scalable Portrait Video For Mobile Video Communication”. *Jiang Li; Keman Yu; Tielin He; Yunfeng Lin; Shipeng Li; Ya-Qin Zhang;* Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transaction on Volume: 13 , Issue: 5 . Sus autores logran una transmisión de video de buena calidad, haciendo uso de una reciente técnica de compresión de imágenes en blanco y negro denominada Bilevel Video. La transmisión del video se realiza sobre una red inalámbrica con un ancho de banda pequeño y con dispositivos de un bajo poder computacional.

En el año 2005 se elaboró la aplicación llamada: “An Embedded Adaptive Live Video Transmission System Over GPRS/CDMA Network”. *Zhixiong Liu; Guiming He;* Second International Conference on Embedded Software and Systems. En esta experiencia consiguen desarrollar un sistema de transmisión de video en vivo a través de una red inalámbrica GPRS o CDMA haciendo uso de un esquema de control de tasa de bits adaptativo que se ajusta según el ancho de banda variable.

Igualmente, para la misma época se desarrolló un proyecto denominado: “Realizing MPEG4 Video Transmission Based On Mobile Station Over GPRS”. *Qinghuai Ma; Huaibei Zhou; Qingchun Yu; Ruoshan Kong;* Proceedings. 2005 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. Sus autores realizan un sistema de transmisión de video en vivo basado en las técnicas de compresión de imagen del estándar MPEG4 y la red de telefonía móvil GPRS.

Para el año 2007 se desarrolló un trabajo con el nombre de: “Monitoring Detection And Security Maintenance Using WMS-Webcam Mobile Surveillance”. *Ahmed, S.; Khan, A.; Babar, I.;* International Conference on Emerging Technologies. ICET 2007. Se crea un sistema de vigilancia utilizando las famosas webcams, la red GPRS y el internet, por medio de un software de interacción que permite desde un teléfono móvil observar el video registrado por la cámara web.

Hacia el año 2008 se implementa un trabajo denominado: “The Design And Realization Of Embedded Wireless Video Monitoring System Based on GPRS”.

Zhao Ji-Chun; Sun Su-Fen; Yu Feng; Luan Ru-Peng; Zhang Wei; Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. WiCOM '08. 4th International Conference. Los autores logran un sistema inalámbrico de monitorización de video basado en GPRS haciendo uso del microprocesador S3C2410 de Samsung que controla la captura de imagen y su envío vía MMS. Se utiliza el método de compresión de imagen JPEG. El sistema se implementa para el monitoreo de los procesos de la agricultura.

En el año 2010 se desarrolla un trabajo denominado “Sistema De Monitoreo Y Control De Movilidad Vehicular en Tiempo Real”. *John A. Ordoñez I., Adrian F. Martínez O., John Rojas, Diego Palacios.* Sus autores logran obtener datos de GPS, emisiones de gas, conteo de pasajeros para vehículos de transporte público en la ciudad de Pasto usando la red de telefonía móvil GPRS.

Para el año 2011 se realiza el proyecto “Diseño Y Desarrollo De Un Sistema De Monitoreo Remoto”. *Jorge L. Eraso A.; Marcelo Oñate P.* Los desarrolladores consiguen la transmisión de fotogramas y datos de temperatura usando la red de telefonía móvil GPRS.

Se encuentra en curso el proyecto denominado “Diseño E Implementación De Estación Modelo De Registro, Transmisión y Recepción De Eventos Sísmicos De La Red Sísmica De San Juan De Pasto”. *Sandra X. Díaz O.; Carolina Pantoja.* El proyecto consiste en el diseño e implementación de una red de monitoreo de microsismos en la ciudad de Pasto.

3.2 RED DE COMUNICACIÓN DE DATOS

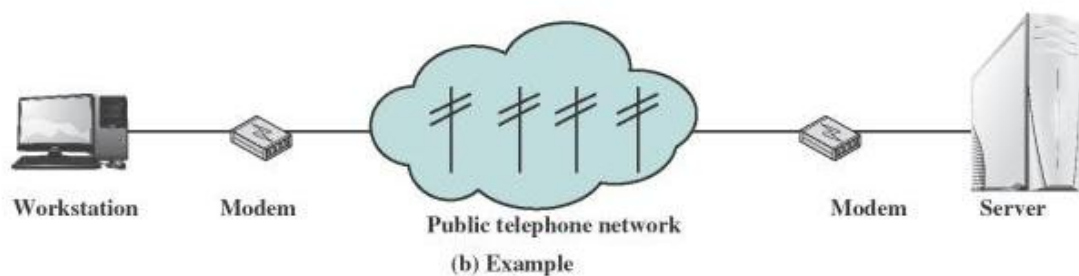
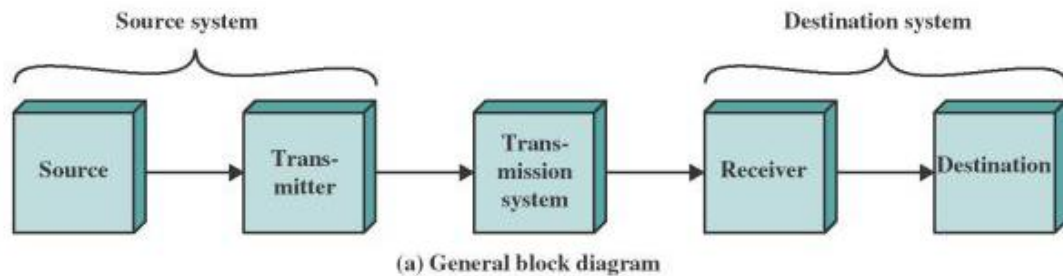
Hoy en día las necesidades de los usuarios son cada vez más exigentes, por lo tanto las redes de transmisión de datos necesitan evolucionar en cuanto a mayores manipulaciones de velocidad e integración de sistemas.

A continuación se verán algunos de los aspectos más importantes de las redes de comunicación.

3.2.1 Un Modelo Para las Comunicaciones

En la figura 1a, se concibe un modelo de un sistema de comunicaciones representado en diagramas de bloques.

Figura 1 Modelo simplificado para las comunicaciones.



Stallings, W. *Data and Computer Communications Ninth Edition*. New Jersey: Prentice Hall, 2011. p 16

El objetivo principal de todo sistema de comunicaciones es intercambiar información entre dos entidades. La figura 1b ilustra un ejemplo particular de comunicaciones entre una estación de trabajo y un servidor, a través de una red telefónica pública.

Los elementos claves en este son:

- **La fuente**, este dispositivo genera los datos a transmitir, por ejemplo: los computadores, teléfonos, etc.
- **El transmisor**, normalmente los datos no se transmiten tal como y como son generados. Al contrario, el transmisor transforma y codifica la información.
- **El sistema de transmisión**, que puede ser desde una sencilla línea de transmisión hasta una compleja red que conecte a la fuente con el destino.
- **El receptor**, que acepta la señal proveniente del sistema de transmisión y la transforma de tal manera que pueda ser manejada por el dispositivo destino.

- **El destino**, toma los datos del receptor³.

3.2.2 Comunicaciones de Datos a Través de la Red

La necesidad de conectar un dispositivo en red surge a raíz de que un usuario requiere obtener distintos tipos de servicios, posibilidad que se limita al estar conectado en un enlace punto a punto.

Existen dos tipos de redes aunque sus diferencias se hacen cada vez más difusas⁴.

3.2.2.1 Redes de Área Amplia (WAN, Wide Area Network)

Se considera como redes de área amplia a todas aquellas que cubren una extensa geografía, requieren atravesar rutas de acceso público y utilizan parcialmente circuitos proporcionados por una entidad proveedora de servicios de telecomunicaciones. Típicamente constan de una serie de dispositivos de conmutación interconectados. La transmisión generada por cualquier dispositivo se encaminara a través de estos nodos hasta alcanzar el destino.

Tradicionalmente, las WAN se han implementado usando una de las dos tecnologías siguientes: conmutación de circuitos y conmutación de paquetes. Aunque últimamente se está empleando como solución la técnica de retransmisión de tramas (Frame Relay), así como las redes ATM.

- **Conmutación de circuitos:** se establece a través de los nodos de la red un canal dedicado a la interconexión de dos estaciones, los datos generados por la estación fuente se transmiten tan rápido como pueden.
- **Conmutación de paquetes:** Los datos se envían en secuencias de pequeñas unidades llamadas paquetes, cada paquete se pasa de nodo a nodo de la red siguiendo algún camino entre la estación origen y destino. En cada nodo, el paquete se recibe completamente, se almacena durante un intervalo de tiempo breve y posteriormente se transmite.

³Stallings, W. *Data and Computer Communications Ninth Edition*. New Jersey: Prentice Hall.2011. p. 16-17

⁴ Ibid.,p.22

- **Retransmisión de tramas (Frame Relay):** se ha desarrollado teniendo presente las mayores velocidades de transmisión que actualmente se disponen, así como de las bajas tasas de error. Mientras que las redes originales de conmutación de paquetes se diseñaron para ofrecer velocidades al usuario final de 64kbps, las redes “Frame Relay” fueron diseñadas para operar eficazmente a velocidades de transmisión de usuario de 2Mbps. La clave reside en eliminar la mayor parte de información redundante y el proceso asociado para el control de errores.
- **Modo de Transferencia Asíncrona ATM (Asynchronous Transfer Mode),** a veces denominado como modo de transferencia de celdas (cell Relay). Se puede interpretar como una evolución de Frame Relay. La diferencia más obvia entre estas es que Frame Relay usa paquetes de longitud variable, llamados tramas, y ATM usa paquetes de longitud fija llamados celdas. ATM se ha diseñado para trabajar a velocidades de transmisión del orden de 10 a 100Mbps, e incluso del orden de Gbps⁵.

3.2.2.2 Redes de Área Local (LAN, Local Area Network)

Al igual que las redes de área amplia, una red de área local es una red de comunicaciones que interconecta varios dispositivos y proporciona un medio para el intercambio de información entre ellos. No obstante hay algunas diferencias entre las LAN y la WAN:

- La cobertura de una LAN es pequeña, típicamente un edificio o como mucho un conjunto de edificios próximos.
- Es común que las redes LAN sean propiedad de la misma entidad. En WAN, esto no es tan corriente, o al menos una fracción significativa de recursos de la red son ajenos.
- Las velocidades de transmisión internas en la LAN son mucho mayores que en la WAN⁶.

⁵ Stallings, W. *Data and Computer Communications Ninth Edition*. New Jersey: Prentice Hall.2011. p.22-24

⁶Ibid., p. 24

3.2.3 Protocolos y Arquitectura de Protocolos

Para que dos entidades se comuniquen con éxito se requiere que hablen el mismo idioma, y para que ello se cumpla, ambas entidades deben seguir una serie de convenios mutuamente aceptados. Este conjunto de convenios se denominan Protocolos. Entonces estos se pueden definir como el conjunto de reglas que gobiernan el intercambio de información entre dos entidades.

Hay dos arquitecturas que han sido determinantes y básicas en el desarrollo de los estándares de comunicación: el conjunto de protocolos TCP/IP y el modelo de referencia OSI.

3.2.3.1 Modelo de Protocolo TCP/IP

No hay un modelo oficial de referencia TCP/IP. No obstante en los protocolos estándar que se han desarrollado, todas las tareas involucradas en la comunicación se puede organizar en cinco capas relativamente independientes:

- Capa de aplicación
- Capa origen-destino o de transporte.
- Capa internet.
- Capa de acceso a la red.
- Capa física.

La capa física, define la interfaz física entre el dispositivo de transmisión de datos y el medio de transmisión o red. Esta capa se encarga de la especificación de las características del medio de transmisión, la naturaleza de las señales, la velocidad de datos, y cuestiones afines.

La capa de acceso a la red, es responsable del intercambio de datos entre el sistema final y la red a la cual se está conectando. El emisor debe proporcionar a la red la dirección del destino, de tal manera que la red pueda encaminar los datos hasta el destino apropiado.

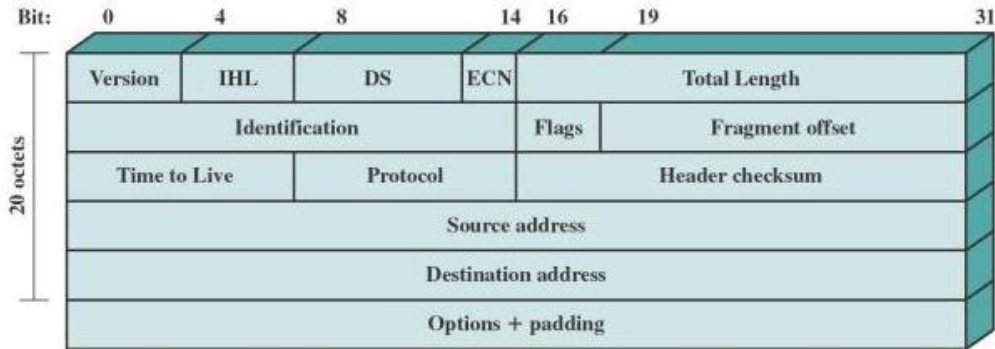
La capa de Internet, se utiliza para ofrecer el servicio de encaminamiento a través de varias redes. Este protocolo se implementa tanto en los sistemas finales como en los intermedios (routers).

El Protocolo de Internet fue diseñado como un protocolo con bajo costo. Provee sólo las funciones necesarias para enviar un paquete desde un origen a un destino a través de un sistema interconectado de redes. El protocolo no

fue diseñado para rastrear ni administrar el flujo de paquetes. Estas funciones son realizadas por otros protocolos en otras capas superiores.

La siguiente figura ilustra el encabezado de un paquete IPv4.

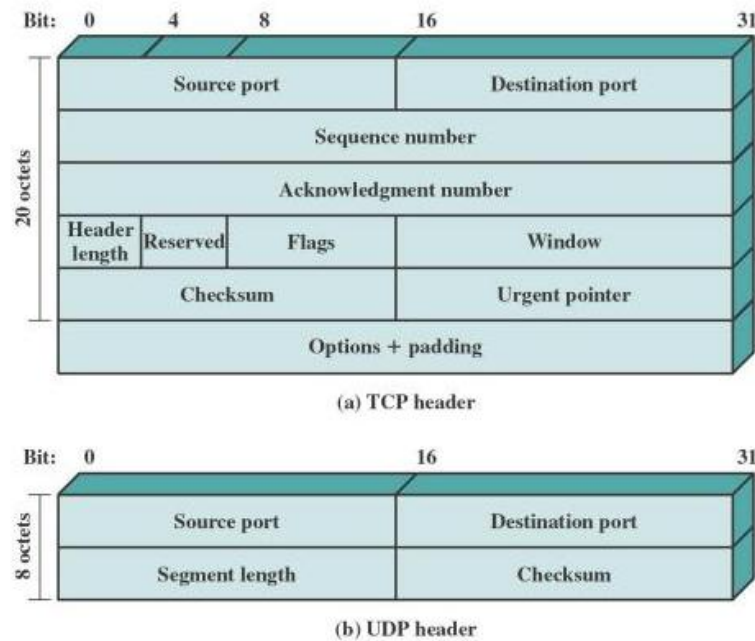
Figura 2 Encabezado de un paquete IPv4.



Stallings, W. *Data and Computer Communications Ninth Edition*. New Jersey: Prentice Hall. 2011. p. 44

La Capa de transporte, se encarga de intercambiar datos, en esta capa existen dos tipos de protocolos: TCP (Transfer Control Protocol) se encarga de la transferencia de datos en forma segura, UDP (User Datagram Protocol) se encarga de transferir datos sin la utilización de tantos recursos, lo que quiere decir que lo hace de forma no confiable. En la figura se muestra las diferencias en los dos protocolos de la capa de transporte.

Figura 3 Diferencia en Encabezados para los protocolos TCP y UDP.



Stallings, W. *Data and Computer Communications Ninth Edition*. New Jersey: Prentice Hall. 2011. p. 43

Finalmente, la capa de aplicación contiene la lógica necesaria para posibilitar las distintas aplicaciones de usuario⁷.

3.2.3.2 Modelo de Protocolo OSI

El modelo de OSI (Open System Interconnection) se desarrolla como una arquitectura para las comunicaciones entre computadores, con el objetivo de ser el marco de referencia en el desarrollo de protocolos estándares.

OSI considera siete capas tal como se muestra en la figura siguiente⁸.

⁷ Stallings, W. *Data and Computer Communications Ninth Edition*. New Jersey: Prentice Hall. 2011. p. 38-43.

⁸ _____ *Comunicaciones y Redes de Computadores Sexta Edition*. New Jersey: Prentice Hall. 2000. p. 19.

Figura 4 Modelo de referencia OSI.



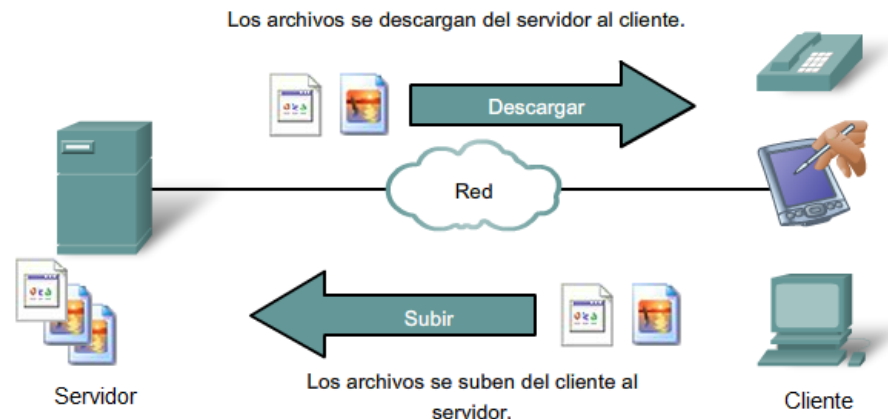
Stallings, W. *Comunicaciones y Redes de Computadores Sexta Edition*. New Jersey: Prentice Hall. 2000. p. 19

3.2.4 Modelo Cliente Servidor

En una red Cliente-Servidor, el dispositivo que solicita información se denomina cliente y el dispositivo que responde a la solicitud se denomina servidor. El cliente comienza el intercambio solicitando los datos al servidor, que responde enviando uno o más streams de datos al cliente. Un ejemplo de una red Cliente-Servidor es la navegación por la web. El cliente de páginas web emite una solicitud desde el navegador de su computadora al servidor web para obtener una página. El servidor responde enviando el archivo HTML

solicitado al cliente. La transferencia de datos de un cliente a un servidor se conoce como subida y la de los datos de un servidor a un cliente, descarga.

Figura 5 Modelo Cliente Servidor.



Cisco Networking Academy. CCNA Exploration 4.0 Acceso a la WAN [CD-ROOM]. 2008. 1cd-room

El servidor debe ejecutar un proceso denominado daemon o demonio de servidor. Los daemons son procesos programados para "escuchar" y responder a una solicitud del cliente (enviar los datos pedidos), según lo requerido por su protocolo⁹.

3.2.4.1 Servidor Web

Un servidor web o servidor HTTP es un programa informático que procesa una aplicación del lado del servidor realizando conexiones bidireccionales y/o unidireccionales y síncronas o asíncronas con el cliente generando o cediendo una respuesta en cualquier lenguaje o Aplicación del lado del cliente. El código recibido por el cliente suele ser compilado y ejecutado por un navegador web. Para la transmisión de todos estos datos suele utilizarse algún protocolo. Generalmente se utiliza el protocolo HTTP para estas comunicaciones, perteneciente a la capa de aplicación del modelo OSI. El

⁹ *Cisco Networking Academy. CCNA Exploration 4.0 Acceso a la WAN [CD-ROOM]. 2008. 1cd-room.*

término también se emplea para referirse al ordenador que ejecuta el programa¹⁰.

HTML (Hyper Text Markup Language), es el lenguaje que todos los programas navegadores usan para presentar información en la World Wide Web (WWW). Este es un lenguaje muy sencillo que se basa en el uso de etiquetas, consistentes en un texto ASCII encerrado dentro de un par de paréntesis angulares (<...>). El texto incluido dentro de los paréntesis dará una explicación de la utilidad de la etiqueta. Así por ejemplo la etiqueta <TABLE> permitirá definir una tabla.

Las etiquetas podrán incluir una serie de atributos o parámetros, en su mayoría opcionales, que permiten definir diferentes posibilidades o características de la misma¹¹.

3.3 TELEFONÍA MÓVIL CELULAR

Las comunicaciones móviles de radio en relación a celulares tienen lugar en una estación de base fija (BS) y un número de estaciones móviles. El área geográfica en la cual esta comunicación ocurre se denomina célula y podríamos considerar que los límites de la célula es la máxima distancia que una MS puede recorrer de la BS antes que la calidad en la comunicación sea pobre¹².

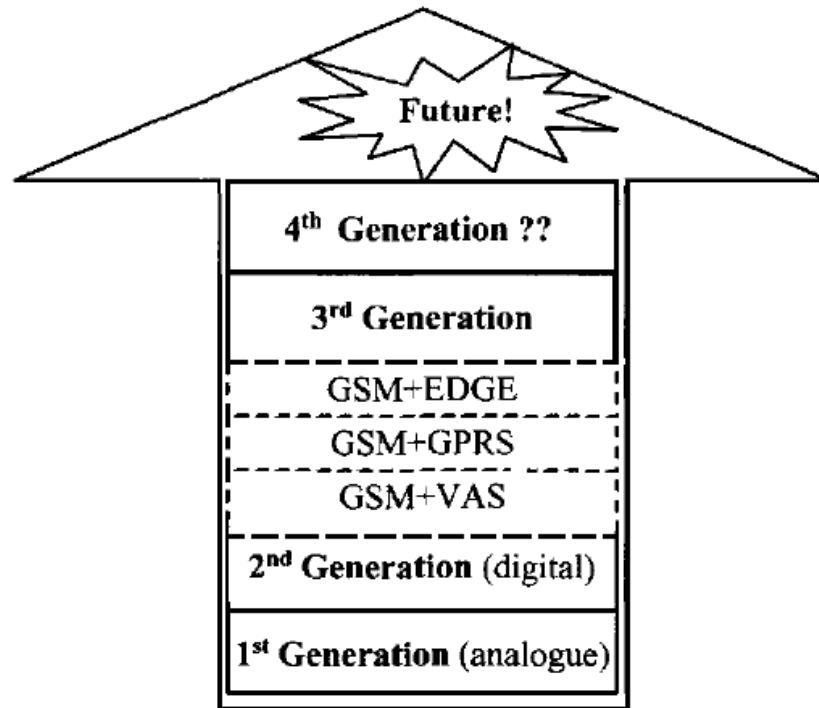
La evolución de las redes móviles se ha categorizado dentro de “Generaciones” así como se muestra en la siguiente figura.

¹⁰ Wikipedia. *Servidor Web* [en línea]. <http://es.wikipedia.org/wiki/Servidor_web> [Citado 3 septiembre de 2011]

¹¹ Grupo Eidos. *Lenguaje HTML* [en línea]. <www.LaLibreriaDigital.com> [Citado 5 de septiembre de 2011]

¹² Steele, R., & Hanzo, L. *Mobile Radio communications* segunda edición. New York: John Wiley & Sons, LTD. 2000. p. 3.

Figura 6 Evolución de las redes de telefonía Móvil.



Mishra, A. R. *Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimisation 2G/2.5G/3G... Evolution to 4G*. Inglaterra: John Wiley & Sons, Ltd. 2004. p. 6

3.3.1 Primera Generación de Sistemas de Radio Móvil 1G

Los sistemas afines a esta generación se relacionan básicamente con transmisión de voz, aunque también se transmite datos pero a muy baja velocidad. Por lo general la comunicación entre las MSs y la BS se desarrolla de forma analógica. Sin embargo el mando y control de la red se realiza de forma digital.

Las comunicaciones entre una estación móvil (MS) y otra, o entre una MS y una estación fija, como un teléfono conectado a la red telefónica pública conmutada (PSTN), o una red digital de servicios integrados (ISDN) necesita de técnicas celulares tales como: FDMA (acceso múltiple por división de frecuencia), la cual consiste en asignar una banda del espectro durante toda la conexión. TDMA (acceso múltiple por división de tiempo), la cual consiste en asignar un slot de tiempo durante el estado de conexión. Entra a jugar parte la denominada Multiplexación.

Entre las redes pertenecientes a esta generación están: El estándar NMT (Nordic Mobile Telephone), el estándar AMPS (Advanced Mobile Phone System), el estándar TACS (Total Access Communications System), el estándar alemán Netz C y D y el estándar japonés NAMTS (Nippon Advanced Mobile Telephone System)¹³.

3.3.2 Segunda Generación de Sistemas de Radio Móvil 2G

Esta generación marca el cambio de protocolos en la telefonía móvil, en la cual se deja atrás la parte analógica y pasa a ser digital.

Se introducen protocolos de comunicación digital que permiten tener un mejor aprovechamiento del espectro, admitiendo además de enlaces simultáneos, integrar otros servicios como los Short Message Service (SMS) y transmisión de datos desde fax y módems.

Entre los sistemas conocidos pertenecientes a esta generación se tienen:

El sistema estadounidense IS-54 el cual tiene portadoras TDMA separadas por 30KHz para poder alinearse con la tecnología previa AMPS. Cada portadora soporta tres usuarios a ratas TDMA de 46kbp/s. En modo de transmisión dual opera en las bandas de 824-849MHz y 869-894MHz. Usa modulación DQPSK desplazada $\pi/4$.

Los japoneses adoptan un enfoque similar, su sistema de primera generación tiene espacios entre portadora de 25KHz, utilizan el ancho de banda para introducir un tipo de TDMA de 42Kbp/s, también usan modulación DQPSK desplazada $\pi/4$.

3.3.2.1 GSM (Global System for Mobile Communications)

En Europa el sistema móvil celular es llamado GSM, el nombre proviene del francés "group spécial mobile", ahora simboliza: Sistema Global Para Comunicaciones Móviles¹⁴.

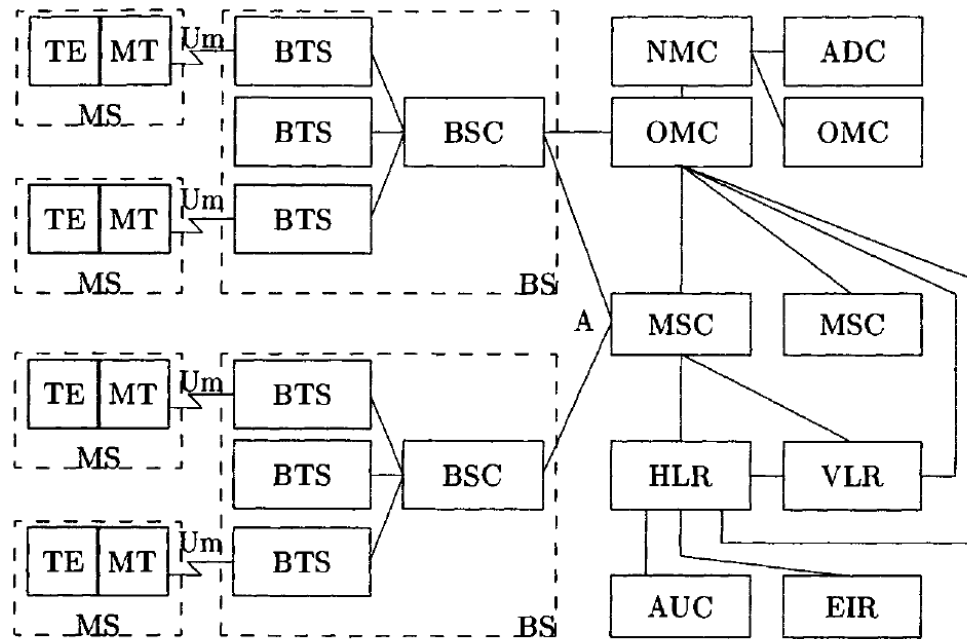
¹³ Steele, R., & Hanzo, L. *Mobile Radio communications* segunda edición. New York: John Wiley & Sons, LTD. 2000. p. 54.

¹⁴ Ibid, p. 665.

GSM usa Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA) con ocho usuarios por portadora con una velocidad de multi-usuario de 271Kbp/s, demanda un ecualizador de canal para combatir la dispersión en los entornos de las células grandes.

En la siguiente figura se ilustra la estructura de una red GSM.

Figura 7 Estructura simplificada de GSM.



Steele, R., & Hanzo, L. (2000). *Mobile Radio communications* segunda edición. New York: JOHN WILEY & SONS, LTD.p.666.

La estación Móvil (MS) es un equipo usado por el suscriptor para acceder al servicio ofertado por el sistema. Funcionalmente, la MS incluye una terminal móvil (MT), y un equipo terminal (TE). La interfaz de radio entre la MS y la BTS es denominada Um.

El Sistema De Estación Base (BSS), conocida también como Estación Base (BS), ésta funcionalmente está dividida en la Estación Base de Trasmisión (BTS) y la Estación Base de Control (BSC). Las BSCs están interconectadas por la interfaz A-bis junto con la MSC. El Centro de Conmutación Móvil (MSC) es el encargado de interconectar el sistema con otras redes.

El HLR es una unidad de base de datos útil para la administración de suscriptores, esta unidad posee la identificación de suscriptor móvil

internacional (IMSI) el cual es usado por la AUC (centro de autenticación) el cual habilita al sistema para permitir al suscriptor el acceso a este.

El Registro de Identificación de Equipos EIR permite identificar estaciones móviles robadas, fraudulentas o defectuosas por los operadores de la red.

El Registro de Localización de Visitantes VLR es una unidad que atiende a los MSs que se encuentran fuera del alcance del HLR, los MSs allegaderos son atendidos por la MSC más cercana y la VLR es informada de este proceso.

El Centro de Mantenimiento y Operaciones OMC, El Centro de Administración de Red NMC y el Centro de Administración ADC son las entidades funcionales a través de las cuales el sistema es monitoreado, controlado, mantenido y administrado¹⁵.

En el campo de las radio comunicaciones GSM es el principal exponente de los sistemas de segunda generación, tiene tan buena acogida que “esta tecnología supero las previsiones más optimistas y hoy hay en el mundo 838 redes GSM en 234 países y territorios independientes de todo el mundo, con más de 4.400 millones de abonados”¹⁶.

3.3.3 Generación Intermedia 2.5G

2.5G más que una generación propiamente dicha, es la evolución de GSM hacia las tecnologías de 3G. Se centra principalmente en transmisión de datos.

3.3.3.1 GPRS (General Packet Radio Services)

Como las exigencias de trasmisión de datos a través de la interfaz de aire aumentan nuevos componentes como SGSN (Serving GPRS Support Node) y GGSN (Gateway GPRS Support Node) son adheridos a la ya existente red GSM para proporcionar el servicio de transmisión de paquetes de datos, además de los mencionados componentes se adicionan routers IP, Servidores

¹⁵ Steele, R., & Hanzo, L. *Mobile Ratio comunicaciones* segunda edición. New York: John Wiley & Sons, LTD.2000. p. 665-767.

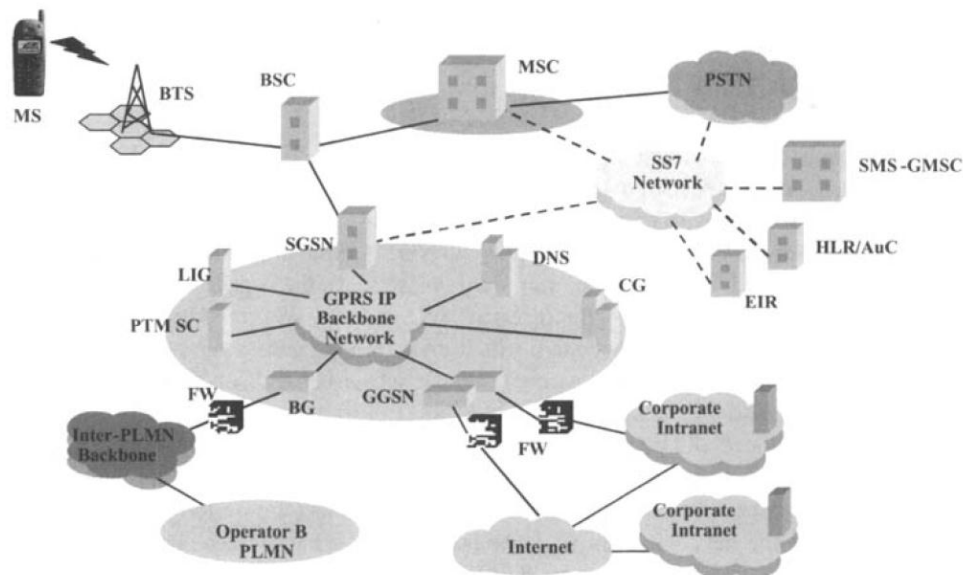
¹⁶ MERCOSURTIME Diario del Paraguay. *Se cumplen 20 años de la primera llamada comercial con telefonía GSM.* [en línea].
<<http://www.mercosurtime.com/2011/07/se-cumplen-20-anos-de-la-primera-llamada-comercial-con-tecnologia-gsm>> [Citado el 1 de Julio de 2011].

firewall y Servidores DNS. Todo este conjunto permiten el acceso a la red de Internet a una velocidad teórica de 150kbps¹⁷.

La diferencia fundamental entre GSM y GPRS radica en que GPRS es capaz de transmitir datos a alta velocidad. GPRS ha sido clasificado en 3 categorías: A, B y C según las capacidades de la estación móvil. Los móviles de clase A se conectan a la red de GSM Y GPRS y pueden usarlas simultáneamente. Los móviles de clase B se conectan a las dos redes pero usan una sola a la vez. Los de clase C se conectan a una sola red.

En la siguiente figura se muestra la estructura de una red GPRS.

Figura 8 Red GPRS.



Mishra, A. R. *Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimisation 2G/2.5G/3G... Evolution to 4G*. Inglaterra: John Wiley & Sons, LTD. 2004. p.110.

Dentro de sus elementos, el SGSN tiene funciones de administración de movilidad, registración y autenticación, el GGSN es la puerta de enlace a redes externa, el Border Gateway (BG) es el encargado de interconectar varios operadores de GPRS, la función del Legal Interception Gateway (LIG) es inhabilitar el acceso a la red para ataques criminales, el Domain Name

¹⁷ Mishra, A. R. *Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimisation 2G/2.5G/3G... Evolution to 4G*. Inglaterra: John Wiley & Sons, Ltd. 2004.p.5

System (DNS) realiza la traducción de IP a nombres de dominio, El Packet Control Unit (PCU) insertado en la BSC administra el tráfico GPRS¹⁸.

3.3.3.2 EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution)

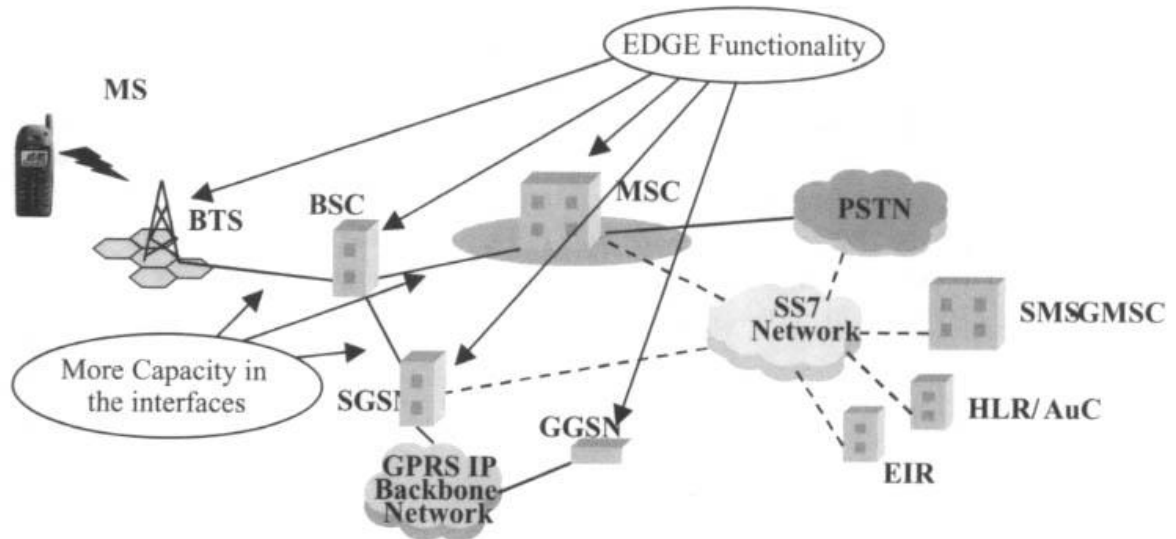
Las redes GPRS son capaces de manipular altas velocidades de transmisión de datos más que en GSM, pero aún están lejos de alcanzar lo prometido por las redes de tercera generación (3G). En ese estado de transición de 2G a 3G aparece una nueva tecnología denominada EDGE.

EDGE (Enhanced Data Rates For GSM Evolution) surge a raíz de las mejoras hechas a la red de GPRS, el concepto fundamental sigue siendo el mismo, la arquitectura de la red sigue siendo idéntica, pero difiere en cuanto a la estructura de protocolos, la modulación y codificación.

Como se muestra en la siguiente figura, la estructura de red es la misma que la de GPRS (compare con figura 8), pero con capacidades de transmisión de datos más altas. El cambio más importante es el mejoramiento en los esquemas de modulación. El esquema de modulación GMSK usado en las redes GSM y GPRS solo usa un bit por símbolo, mientras que en las redes de EDGE se emplea una modulación 8-PSK que usa tres bits por símbolo, lo cual permite una tasa de transmisión tres veces mayor. Puesto que GMSK es una modulación con amplitud constante y en 8-PSK la amplitud varía, por lo cual los cambios en la estación base son esenciales.

¹⁸ Mishra, A. R. *Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimisation 2G/2.5G/3G... Evolution to 4G*. Inglaterra: John Wiley & Sons, Ltd. 2004. p.110-112.

Figura 9 Red EDGE.



Mishra, A. R. *Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimisation 2G/2.5G/3G... Evolution to 4G*. Inglaterra: John Wiley & Sons, Ltd. 2004. p. 130.

Como ya se mencionó, EDGE es un mejoramiento del ya existente sistema GPRS. Hay nueve esquemas de modulación y codificación (Tabla 1), los esquemas de modulación MCS transportan datos desde 8.8kbps a 59.2kbps en una existente portadora GSM de 270.833kbps. Para los esquemas de modulación MCS-1 al MCS-4 todavía es modulación GMSK; para los MCS-4 al MCS-9 es 8-PSK.

Basados en estos sistemas de codificación, una velocidad de transmisión de 473kbps (8 bits x 59.2kbps) puede ser alcanzada.

A pesar de que GMSK es un esquema más sólido, 8-PSK provee un mejor rendimiento en la transmisión de datos aun cuando se pague el precio de un decrecimiento en la sensibilidad del sistema.

Otra ventaja en las redes de EDGE es que la conmutación entre diferentes esquemas de codificación se hace de forma sencilla, mientras que en GPRS esto no se puede realizar.

Cuando la transmisión de datos se lleva a cabo en un esquema de codificación GPRS, no es posible cambiar el esquema de codificación en caso de fallo de recepción, por lo que la re-transmisión se lleva a cabo con exactamente la misma protección que para su transmisión inicial. En EGPRS, es posible cambiar el MCS, es decir, el bloque de datos se pueden enviar de

nuevo, pero con una mejor protección que para su transmisión inicial. Esto se hace mediante un proceso llamado adaptación de enlace¹⁹.

Tabla 1 Modulación y esquemas de codificación en EDGE.

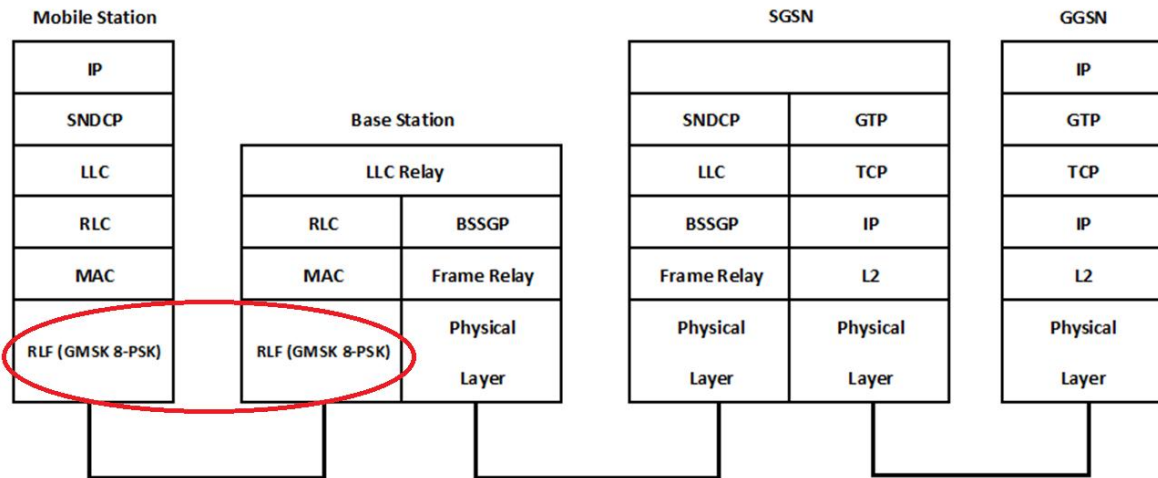
MCS	Modulación	Velocidad (kbps)
1	GMSK	8.8
2	GMSK	11.2
3	GMSK	14.8
4	GMSK	17.6
5	8-PSK	22.4
6	8-PSK	29.6
7	8-PSK	44.8
8	8-PSK	54.4
9	8-PSK	59.2

Mishra, A. R. *Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimisation 2G/2.5G/3G... Evolution to 4G*. Inglaterra: John Wiley & Sons, Ltd. 2004. p. 131.

Puesto que la infraestructura de EDGE es parecida a la de GPRS, el “stack” de protocolos es similar. La diferencia radica en la parte de capa física tanto en la estación móvil como en la estación base tal como se muestra en la figura.

¹⁹ Mishra, A. R. *Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimisation 2G/2.5G/3G... Evolution to 4G*. Inglaterra: John Wiley & Sons, Ltd. 2004. p. 129-131.

Figura 10 Stack de protocolos en EDGE.



Mishra, A. R. *Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimisation 2G/2.5G/3G... Evolution to 4G*. Inglaterra: John Wiley & Sons, LTD. 2004. p. 113.

El protocolo RLF de capa física realiza modulación / demodulación (GMSK y 8-PSK) de la señal de entrada (información), aparte de FEC (Forward Error Correction). La capa de enlace física proporciona los servicios que se requieren para transferir esta información a través de la interfaz aérea, que incluyen la codificación, elaboración, sincronización, control de calidad de la radio, los procedimientos de control de potencia, transmisión y detección y corrección de errores, puede soportar múltiples estaciones móviles que comparten el mismo canal físico.

Las capas RLC/MAC están presentes sobre la capa física de RF. La RLC (Radio Link Control) es responsable de la transmisión de datos hacia la capa física y proporciona un enlace a las capas superiores. La dirección MAC (Medium Access Control), como su nombre indica, es responsable del control de las funciones de acceso de los móviles a través de la interfaz de aire. Estas funciones incluyen la asignación de canales y la multiplexación de los recursos.

La capa LLC (Logical Link Control) se encuentra sobre la capa de RLC y como su nombre lo indica, es responsable de la creación de un vínculo lógico entre el móvil y el SGSN.

La capa SNDCP (Sub-Network Dependent Convergence Protocol) realiza las funciones de mapeo y la compresión entre las capas de red y las capas inferiores.

La capa IP es la responsable de la formación de la columna vertebral de la red EDGE y una interfaz directa entre el MS y el GGSN.

La capa BSSGP (Base Station Subsystem GPRS Protocol) es responsable de la transferencia de información entre el SGSN y la capa RLC / MAC. Por lo tanto, su función principal es crear el ambiente para el flujo de datos entre estas dos entidades.

El GTP (GPRS Tunneling Protocol) se ejecuta sobre la capa de UDP y es responsable de los datos y la información de señalización entre el BSC y los nodos GSN. Este protocolo forma un túnel para cada usuario y cada túnel se identifica mediante un identificador de punto final. El protocolo UDP / TCP es el protocolo de red troncal que se utiliza para el enrutamiento de la red de datos y señalización de control. Mientras que el TCP es un protocolo orientado a la conexión el cual proporciona un servicio confiable de transmisión de datos, UDP es un protocolo sin conexión.

IP (Internet Protocol) es un protocolo de enrutamiento que proporciona un medio para que los dispositivos puedan descubrir la topología de la red, así como detectar las cargas del Estado en los nodos, las líneas y los anfitriones²⁰.

3.3.4 Tercera Generación 3G

En EDGE, la transmisión de grandes volúmenes de datos es posible, pero aun así la transferencia de paquetes en la interfaz de aire se comporta como una llamada conmutada. Así, parte de esta eficiencia se pierde en el entorno de conmutación de circuitos. Por otra parte, las normas para el desarrollo de las redes son distintas para diferentes partes del mundo. Por lo tanto, se decide tener una red que proporcione servicios independientes de la plataforma tecnológica y cuyo conjunto de normas de diseño sean los mismos a nivel mundial. Es así como surge 3G.

En Europa se llama UMTS (Universal Terrestrial Mobile System), que es impulsada por el ETSI.

IMT-2000 es el nombre de la UIT-T para el sistema de tercera generación, mientras que CDMA2000 es el nombre que América adopta para los sistemas de 3G.

²⁰ Mishra, A. R. *Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimisation 2G/2.5G/3G... Evolution to 4G*. Inglaterra: John Wiley & Sons, Ltd. 2004. p. 113-114.

La respuesta es que la capacidad de 3G actualmente se considera menor a lo previsto sobre las necesidades futuras y aplicaciones. Además, los sistemas futuros deberían ser mucho más baratos para los consumidores. Así, los conceptos se pueden resumir como:

- Las redes de cuarta generación proporcionarán a los suscriptores un mayor ancho de banda y una velocidad de datos de 100Mbps y más.
- Se espera que las redes de tercera generación no serán capaces de satisfacer las necesidades de calidad de servicio como la videoconferencia, etc.
- Habrá una mayor movilidad y menores costos.
- Será posible la integración de WLAN y WAN²².

3.4 INSTRUMENTACIÓN EN VULCANOLOGÍA

Un instrumento es una interface que nos permite relacionarnos con el mundo físico y nos permite extraer información del mismo, aunque algunos instrumentos pueden también actuar sobre el medio. La información obtenida siempre representa un aspecto parcial del fenómeno que se está desarrollando y, en algunas ocasiones, pueden modificarlo considerablemente²³.

El vulcanología los instrumentos aún no están en la capacidad de actuar sobre el mundo físico, solamente se limitan a extraer información de él.

Para este tipo de instrumentación, los sensores más usados son: sísmicos, de gases, de temperatura, de magnetismo, clinómetros, gravímetros, resistivímetros, cámaras. Dentro de los sensores sísmicos se tienen los sismógrafos y acelerómetros.

²²Mishra, A. R. *Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimisation 2G/2.5G/3G... Evolution to 4G*. Inglaterra: John Wiley & Sons, LTD. 2004. p. 219.

²³Ortiz, R., Garcia, A., & Astiz, M. *INSTRUMENTACIÓN EN VOLCANOLOGÍA*. Islas Canarias: Casa de los Volcanes. p. 1.

4. METODOLOGÍA

4.1 ESTRUCTURA DEL SISTEMA

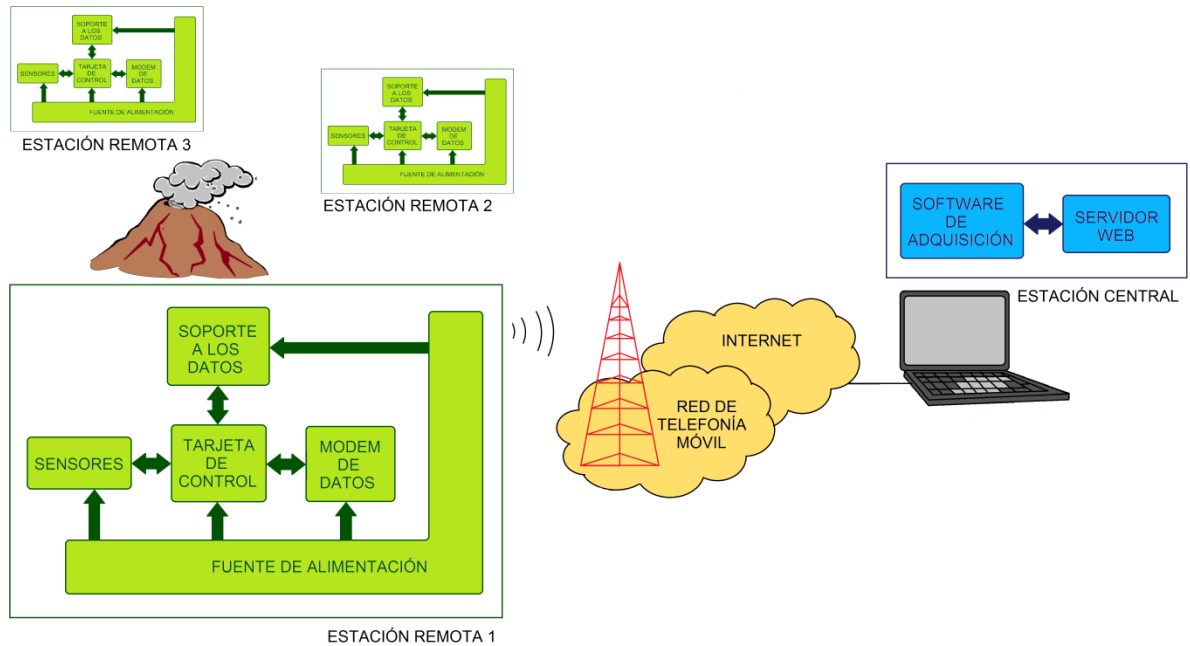
El sistema permite obtener y almacenar información de variables físicas sobre tres lugares remotos haciendo uso de la tecnología de transmisión de datos de telefonía móvil EDGE e internet, a través del modelo de red cliente servidor. El sistema completo está compuesto por tres estaciones remotas funcionalmente idénticas y una estación base o central:

Una estación remota se localiza sobre algún lugar de interés para el registro de las magnitudes físicas que se van a medir, y básicamente se compone por un conjunto de sensores, una estación móvil (MS) de red EDGE, un subsistema de soporte a los datos y una tarjeta de control para los dispositivos electrónicos. Cada estación remota por tanto constituye el host cliente en la red EDGE-internet empleada.

La estación central se conforma por el host servidor de la comunicación, y opera de dos modos diferentes; como servidor de adquisición de datos, lo que permite la recuperación de la información remota y como servidor web, que permite la publicación de una página web suministrando los datos adquiridos en tiempo real por medio de la respectiva representación gráfica.

En la siguiente figura se identifican los bloques principales del sistema, según se ha mencionado:

Figura 12 Diagrama de bloques de la estructura general del sistema.



A continuación se realiza una descripción detallada de todos los componentes.

4.1.1 Estación Remota del Sistema

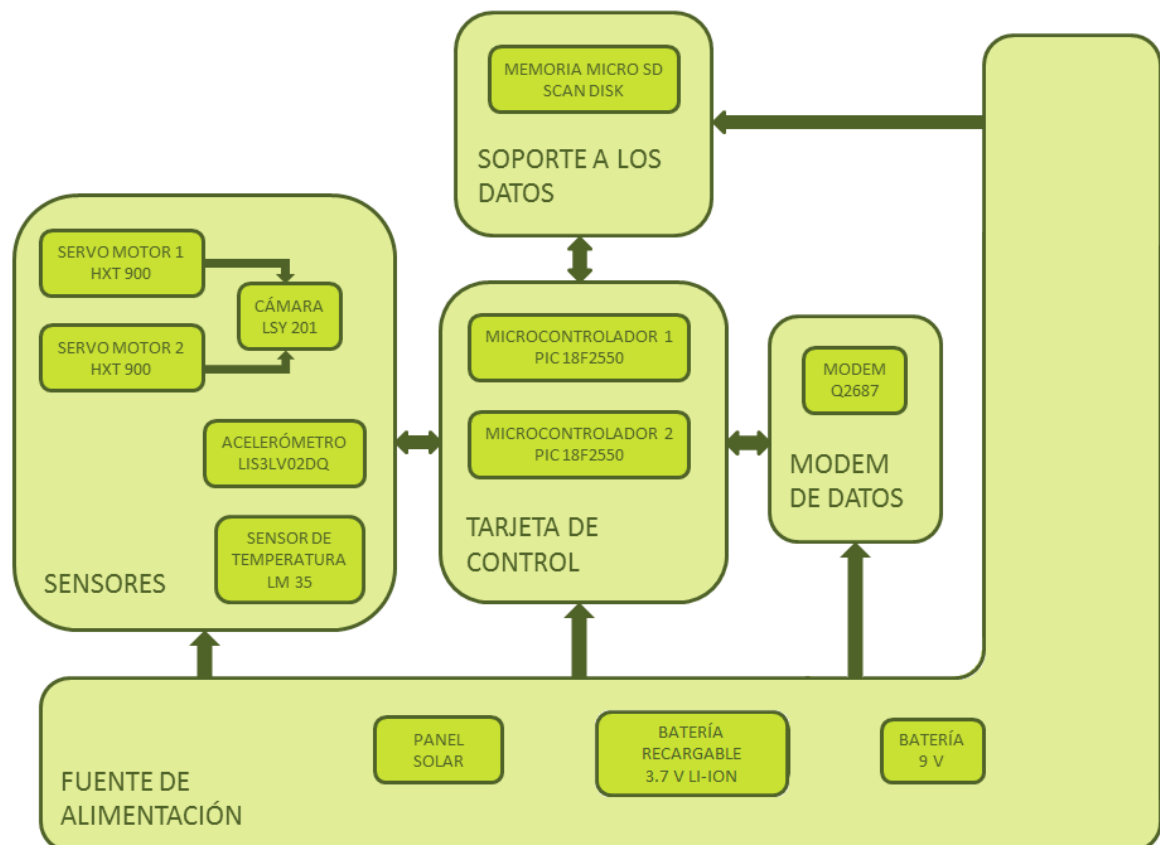
Una estación remota está compuesta principalmente por los siguientes dispositivos electrónicos:

- **Módem de datos** de telefonía móvil EDGE: El módem es el dispositivo encargado de transmitir los datos generados por los distintos sensores desde la estación remota hacia la estación central así como los comandos de control en cualquier dirección,
- **Sensores** de temperatura, acelerómetro y cámara: Los sensores captan y generan las respectivas señales desde el lugar de implementación.
- **Soporte a los datos**: El subsistema de soporte a los datos almacena en forma permanente el volumen de información generada por los sensores (excepto por la cámara),
- **Tarjeta de control**: La tarjeta controladora realiza las tareas de configuración y control de los anteriores dispositivos para una transmisión y almacenamiento continuo de los datos.
- **Fuente de alimentación**: La fuente de alimentación proporciona la energía eléctrica requerida por la estación remota.

Además de los anteriores dispositivos, se cuenta con un par de micro servo motores que dan movilidad a la cámara otorgando un registro panorámico del paisaje monitoreado.

En la siguiente figura se muestra una aproximación a los componentes de una estación remota y sus diferentes dispositivos, cada uno con su referencia. Se debe notar en la figura como un caso excepcional la clasificación de los servomotores dentro del bloque de los sensores, aunque naturalmente son elementos que no corresponden a esta categoría, en la práctica se usan como dispositivos complementarios para el funcionamiento del sensor cámara.

Figura 13 Diagrama de bloques de la estructura general para una estación remota.



4.1.1.1 Modem de Datos EDGE-Q2687

Un modem es un dispositivo que se utiliza para transmitir información de forma modulada a través de una red. Un módem de telefonía móvil proporciona la comunicación dentro de una red de celdas de telefonía móvil e internet. Para el

desarrollo de este proyecto el módem de datos ha sido una parte fundamental, ya que es el dispositivo encargado de otorgar la transmisión de los datos recogidos por los sensores en forma inalámbrica. Su operación basada en una red de telefonía móvil, sumada a su pequeño tamaño y bajo consumo de potencia son características que otorgan movilidad, portabilidad y autonomía a las estaciones remotas.

Cada estación utiliza el módem Q2687 de Sierra Wireless. El Q2687 es un módem E-GSM/GPRS/EGPRS quad-band operando en 850/900/1800/1900 MHz, con un consumo de potencia máximo de 2 Watts (para EGSM-GPRS a 3.6 V, el consumo máximo para EGPRS es de 0.5 Watts a 3.6V), con dos interfaces seriales RS232 con soporte de comandos AT: UART1 (principal a 2.8V) y UART2 (auxiliar a 1.8V) y una interfaz serial USB 2.0 esclavo.

Sus interfaces en total son: interfaces seriales, audio análogo, audio digital PCM, SIM card, teclado, LCD serial y puerto paralelo para aplicaciones específicas (bajo control Open AT). Posee un reloj de tiempo real RTC, y soporte de algoritmos de carga de batería, cancelación de eco y reducción de ruido. La conexión externa de las diferentes señales entrada-salida del modem se realiza por medio de un conector p5k de 100 pines.

Nota: Open AT es un lenguaje de programación propiedad del fabricante, diseñado para la utilización de los diferentes recursos del dispositivo Q2687)

Algunas de sus características son:

Características Técnicas

- E-GSM/GPRS/EGPRS quad band 900/1800 y 850/900 MHz.
- Dimensiones: largo 40mm, ancho 32.2mm, espesor 4mm.
- 2 Watt EGSM/GPRS 900/850MHz a 3.6V.
- 1 Watt GSM/GPRS 1800/1900 MHz a 3.6V.
- 0.5 Watt EGPRS 900/850 MHz a 3.6 V.
- 0.4 Watt EGPRS 1800/1900 MHz a 3.6 V.
- GSM/GPRS clase 10 y EGPRS clase 10.
- Reloj de tiempo real RTC, con calendario.
- Cargador de batería.
- Cancelación de eco y reducción de ruido.
- Sistema operativo completo GSM o GSM/GPRS/EGPRS.

Interfaces de Aplicación

- Enlace serial RS232 a 2.8 V y 1.8 V con soporte de comandos AT.

- Enlace serial USB 2.0 con soporte de comandos AT.
- Audio análogo.
- Audio digital PCM.
- SIM card.
- Teclado.
- LCD serial.
- Puerto paralelo para aplicaciones específicas (bajo control Open AT).
- Interfaz de conexión de RF.
- Interfaz de conexión de señales I/O de 100 pines²⁴.

En la siguiente figura se muestra al dispositivo:

Figura 14 Módem EDGE Q2687.



Sierra Wireless Airprime. Q2687. [en línea].
 <<http://www.g4soft.net/productsandservices/Q2687.htm>>. [Citado 10 de mayo de 2011].

²⁴ Wireless. *CPU Quik Q2687 Product Technical Specification*. [en línea].
 <http://common.leocom.jp/datasheets/160228_79416.pdf>. [Citado 10 de mayo de 2011].

Las tarjetas de circuito impreso de las estaciones, poseen los distintos circuitos necesarios para la adecuación y utilización de las siguientes interfaces del modem: Las tres interfaces seriales, es decir los dos puertos seriales UART y el puerto USB, la interfaz de la SIM card, la entrada de cargador de batería de Li-ion, la salida de la señal de indicador LED de funcionamiento y las líneas de alimentación, entre otras.

4.1.1.2 Sensores

La estación remota adquiere las señales de temperatura, las vibraciones del terreno y la imagen del lugar de implementación; estas señales conforman las variables de instrumentación del sistema. Los sensores tienen la tarea de traducir dichas variables en señales eléctricas que se puedan manipular desde un subsistema electrónico de control. La cámara digital, el acelerómetro y el sensor de temperatura empleados se describen con mayor detalle.

4.1.1.2.1 Cámara UART JPGE - LSY-201

Una cámara digital es un dispositivo electrónico que captura imagen por medio de un sensor electrónico y la almacena en una memoria. En el desarrollo del proyecto se ha propuesto la adquisición de imágenes como uno de los principales objetivos, por esta razón la selección de una cámara digital adecuada ha sido de gran relevancia. Las características deseadas para este componente se identificaron como: facilidad en el control y operación por medio de comandos de alto nivel, un manejo de los datos por medio de una interfaz sencilla, y un tamaño reducido.

La cámara digital LSY201 es una cámara a color, con interfaz serial RS232, con LEDs infrarrojos y sensor infrarrojo para visión nocturna, posee nueve comandos numéricos de configuración y operación, y soporte de algoritmo de compresión de imagen JPGE. Estas propiedades se ajustan completamente a los requerimientos buscados, y más aún, la cámara LSY201 ofrece otras ventajas que la hacen más que apropiada en el proyecto. Las características principales de este dispositivo son:

Características Técnicas

- Resolución VGA/QVGA/160*120.
- Soporta captura JPEG desde el puerto serial.
- Fuente de alimentación DC 3.3V o 5V.
- Tamaño 32*32mm².
- Consumo normal de corriente de 80mA a100mA, 200mA cuando el LED infrarrojo está encendido.

Interfaz de Aplicación

- Puerto serial RS232 para control y operación.
- Velocidad de transmisión de 38400 bps por defecto en el puerto serial, máxima tasa de transferencia de 115200 bps.

Aplicación

- Diferentes sistemas de captura de imagen.
- Monitoreo ambiental.
- Equipamiento médico.
- Seguridad²⁵.

En la figura se da una vista ampliada de esta cámara:

Figura 15 Cámara a color JPGE serial LS Y201.



Los micro servo motores HXT 900 de Hextronik son motores adecuados para la aplicación en el proyecto ya que su tamaño es el mínimo encontrado en el mercado, además por el hecho de ser servos, vienen equipados de antemano con la electrónica de control, de tal forma que el posicionamiento angular de su eje se logra por la modulación de una señal PWM de entrada. Otra de las ventajas de los servos, es que vienen instalados con una caja de reducción que le otorga al eje un torque suficiente, de tal forma que se puede dar movimiento giratorio al mecanismo de orientación de la cámara.

Características Técnicas

- Modulación análoga.
- Torque 1.60 kg-cm.
- Velocidad 0.12 s/60°
- Peso 9.1 g.
- Dimensiones: largo 22 mm, ancho 21 mm, espesor 12 mm.
- Piñonería plástica.
- Rango de rotación de 180°.
- Ancho de pulso de 20 ms.²⁶

En la figura se muestra al motor:

Figura 16 Servo motor HXT 900.



Servo Database. Hextronik HXT 900 – 9g Micro Servo [en línea]
< <http://www.servodatabase.com/servo/hextronik/hxt900>> [Citado agosto 10 de 2011].

²⁶ Servo Database. *Hextronik HXT 900 – 9g Micro Servo* [en línea]
< <http://www.servodatabase.com/servo/hextronik/hxt900>> [Citado agosto 10 de 2011].

4.1.1.2.2 Acelerómetro SPI/I2C – LIS3LV02DQ

Para la captura de señales sismológicas se ha optado por el uso de un acelerómetro.

El acelerómetro LIS3LV02DQ fabricado por ST es un sensor lineal con salida digital (con una interfaz de protocolo serial I2C/SPI) de tres ejes, con una escala seleccionable de $\pm 3g$ o $\pm 6g$ sobre el ancho de banda de 640 Hz sobre todos los ejes. La frecuencia de muestreo también es configurable y puede tomar los valores de 40, 160, 640 o 2560 Hz.

El acelerómetro LIS3LV02DQ se comporta como dispositivo esclavo en el bus serial. Posee 128 registros, entre registros de operación, configuración, salida de datos y reservados. La salida en cada eje tiene una máxima resolución de 16 bits. Las características técnicas de este dispositivo son:

Características Técnicas

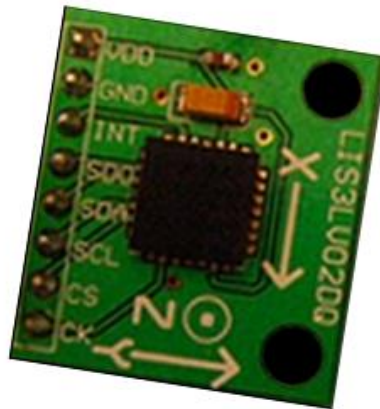
- Salida de aceleración sobre tres ejes x, y, z.
- Escala programable de $\pm 3g$ o $\pm 6g$.
- Fuente de alimentación de 2.16 a 3.6 V.
- Entradas-salidas compatibles a 1.8 V.
- Interfaces de salida digital I2C/SPI.
- Representación de los datos programable de 12 o 16 bits.
- Interrupción activada por movimiento.
- Umbral de interrupción programable²⁷.

En la figura se muestra el dispositivo acelerómetro:

²⁷ Sparkfun. LIS3LV02DQ [en línea].

<<http://www.sparkfun.com/datasheets/IC/LIS3LV02DQ.pdf>> [Citado Febrero de 2011].

Figura 17. Acelerómetro tri-axial serial SPI/I2C LIS3LV02DQ.



Sparkfun. *LIS3LV02DQ* [en línea]. <<http://www.sparkfun.com>>. [Citado 7 de febrero de 2011].

4.1.1.2.3 Sensor de Temperatura – LM35

Otro importante elemento de la estación remota es el sensor de temperatura. Este sensor tiene la función de transformar la variable de temperatura ambiental en una señal eléctrica que se pueda procesar por la electrónica de adquisición y control. Se busca de este dispositivo, un buen grado de exactitud y precisión en la medida.

El sensor de temperatura escogido en este proyecto es el LM35.

El LM35 es un sensor de precisión cuyo voltaje de salida es linealmente proporcional a la temperatura en grados centígrados. Su presentación disponible es el pequeño encapsulado TO-92 típico de los transistores. Este sencillo sensor, pese a su bajo costo, brinda muy buenas prestaciones debido a que su señal es confiable y no necesita de un mayor acondicionamiento ni métodos complicados de calibración. Por estas y otras características, el sensor es conveniente para su implementación en las estaciones remotas.

Características Técnicas

- Calibración directa en grados centígrados.
- Lineal con un factor de escala de 10.0 mV/°C.
- Precisión de 0.5°C (a unos 25°C).
- Rango de operación de -55°C a +150°C.
- Adecuado para aplicaciones remotas.
- Bajo costo.
- Opera en el rango de 4 V a 30V.

- Consumo de corriente menor a 60mA.
- Baja impedancia de salida, 0.1Ω para 1mA de carga²⁸.

La siguiente es una imagen de la presentación del sensor en el encapsulado TO-92:

Figura 18 Sensor de temperatura LM 35.



Electro-device. *LM35* [en línea].

<<http://electro-devices.com/view.php?id=721901235&NumCat=72>>. [Citado 23 de agosto de 2011].

4.1.1.3 Soporte a los Datos

Una memoria es un dispositivo electrónico que permite almacenar volúmenes de información digital.

El subsistema de soporte a los datos está diseñado para permitir el almacenamiento continuo de la información generada por el acelerómetro y por el sensor de temperatura. La manera de hacerlo es por medio de la utilización de una memoria no volátil. Según los objetivos del proyecto, este dispositivo debe ser de pequeño tamaño y alta capacidad.

“Una tarjeta de memoria o tarjeta de memoria flash es un dispositivo de almacenamiento que conserva la información que le ha sido almacenada de forma correcta aun con la pérdida de energía, es decir, es una memoria no volátil”²⁹.

²⁸ National Semiconductor. *LM35* [en línea].

<<http://www.national.com/ds/LM/LM35.pdf>>. [Citado 13 de septiembre de 2011].

²⁹ Wikipedia. *Micro SD*. [en línea]

<es.wikipedia.org/wiki/MicroSD>. [Citado 12 de julio de 2011].

Por tal razón, se ha elegido implementar el subsistema de soporte a los datos a partir de una tarjeta de memoria, pues se ajusta perfectamente a los requerimientos buscados (tiene bajo consumo eléctrico, pequeño tamaño, relativa capacidad alta, alta velocidad y es no volátil).

El subsistema se basa en el empleo de una memoria FLASH micro SD de Scan Disk que tiene una capacidad de 1 GB. Las memorias SD en general se controlan de dos modos diferentes; según el modo SD, el cual es corresponde a un protocolo específico para este tipo de dispositivos, o según el modo SPI, bajo el cual el control y operación de la memoria se realizan sobre un bus SPI tradicional.

El almacenamiento de la información se realiza por medio de la creación de archivos sobre la memoria micro SD operando en modo SPI. Esto se logra usando las especificaciones del sistema de archivos FAT32 instalado en la memoria y que es compatible con los sistemas operativos de Microsoft.

Las especificaciones generales de la memoria micro SD empleada son:

Características Técnicas

- Capacidad de 1GB.
- Fuente de alimentación de 2.7 a 3.6 V.
- Dimensiones: largo 15 mm, ancho 11 mm, espesor 1 mm.
- Volumen de la tarjeta 165 mm³.
- Peso menor a 1 g aproximadamente.
- 8 pines.

En la figura se muestra la imagen de una memoria micro SD Scan Disk.

Figura 19 Memoria Micro SD Scan Disk.



kotear.pe. Memoria Micro SD Scan Disk 1GB. [en línea].
<<http://kotear.pe/aviso/256771-memoria-micro-sd-sandisk-1gb>>. [Citado 6 de octubre de 2011].

4.1.1.4 Tarjeta de Control

En forma práctica y de acuerdo al contexto del proyecto podemos definir a un sistema de control como el bloque operacional que dirige a otros bloques miembros de un sistema aún mayor, por este motivo, se ha decidido denominar a este sistema como subsistema de control. Cada estación remota debe poseer este esencial componente.

En forma resumida, el subsistema de control, se encarga de operar y controlar a todos los dispositivos electrónicos de la estación remota: lograr la comunicación apropiada entre los sensores y el módem, controlar el subsistema de soporte a los datos y administrar la comunicación con el servidor en el otro extremo del enlace.

El subsistema de control físicamente representa una tarjeta de control. Esta tarjeta se ha construido por medio de un circuito impreso de montaje superficial y doble capa basado en el uso del microcontrolador PIC 18F2550 de 28 pines. Otros elementos de la tarjeta son los osciladores de cristal, el desplazador de voltaje MAX232, el regulador de voltaje LM 7805, el conector p5k del módem, un par de LEDs indicadores, otros conectores, condensadores, resistencias, etc.

En la siguiente figura se observa la tarjeta de control desarrollada para los fines descritos.

Figura 20 Capa superior de la tarjeta de control basada en dos microcontroladores PIC 18F2550.

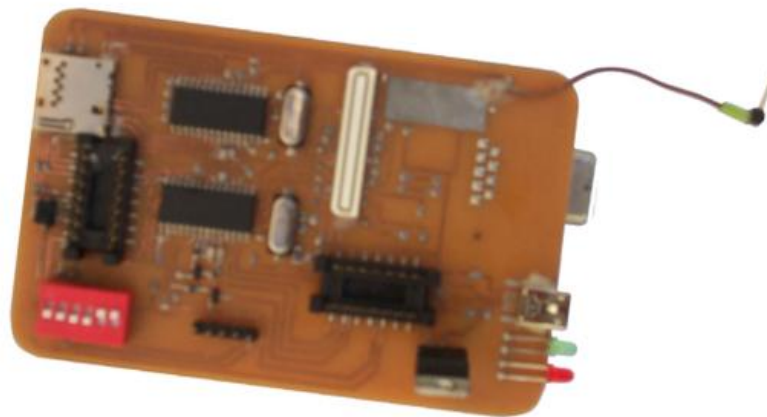
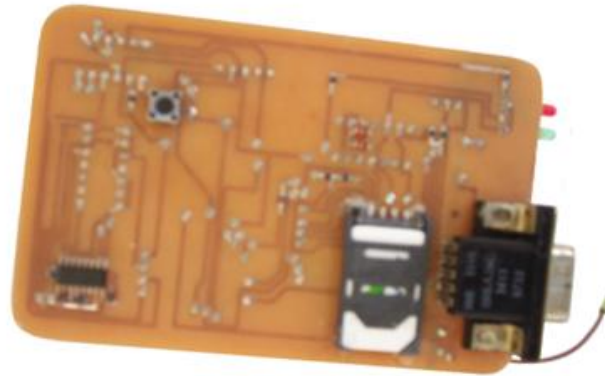


Figura 21 Capa inferior de la tarjeta de control basada en dos microcontroladores PIC 18F2550.



4.1.1.4.1 Microcontrolador – PIC 18F2550

Un microcontrolador básicamente es un circuito integrado programable provisto de una computadora, una unidad de procesamiento, una memoria y periféricos de entrada y salida. Un microcontrolador está diseñado para reducir el costo económico y el consumo de energía de un sistema electrónico. Para el desarrollo de la tarjeta de control se ha buscado un microcontrolador de buen rendimiento bajo una operación continua, y además, que brinde las capacidades de manipular a los sensores, a los servo motores, a la memoria SD y al módem a través de las interfaces apropiadas.

El microcontrolador empleado en el subsistema de control es el PIC 18F2550 de Microchip. Este integrado es un controlador de 16 bits de gama media con múltiples módulos entre los que se destacan principalmente a la unidad de comunicación serial UART o RS232, de conversión análoga a digital o ADC, módulos de CCP (Capture Compare PWM), módulos de temporización, etc. Estos módulos son de uso general y convierten al integrado en un dispositivo de gran desempeño para múltiples aplicaciones.

En el caso particular del proyecto, se han empleado fundamentalmente entradas y salidas digitales, entradas análogas, y puertos seriales RS232, I2C y SPI. La siguiente figura es una vista ampliada de este integrado en su empaque de montaje superficial.

Figura 22 Microcontrolador PIC 18F2550



Findchips. PIC18F2550. [en línea]

<<http://www.radiolocman.com/datasheet/data.html?di=72681&/pic18f2550-i>>.

[Citado 15 de mayo de 2011].

Las características técnicas del microcontrolador PIC18F2550 son:

- Frecuencia de operación en el rango DC a 48 MHz.
- Memoria de programa de 32768 Bytes.
- Memoria de programa de 16384 Instrucciones.
- Memoria de datos de 2048 Bytes.
- Memoria de datos EEPROM de 256 Bytes.
- 19 fuentes de interrupción.
- 4 Puertos I/O A, B, C, E.
- 4 temporizadores.
- 2 Módulos de Captura/Compara/PWM.
- Comunicación serial MSSP, USART mejorado.
- 1 Módulo de bus serial universal (USB).
- 10 canales de entradas para conversor Análogo-Digital de 10 bits.
- 2 Comparadores.
- Resets (and Delays) por: POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow, (PWRT, OST), MCLR (opcional), WDT.
- Detección de bajo voltaje programable.
- Brown-out Reset programable.
- Conjunto de instrucciones: 75 Instrucciones y 83 con el conjunto habilitado de instrucciones extendidas.
- Encapsulado 28 pines PDIP, 28 pines SOIC.
- Amplia gama de voltaje de funcionamiento (2V-5.5V)³⁰.

³⁰ Microchip. *PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet* [en línea].

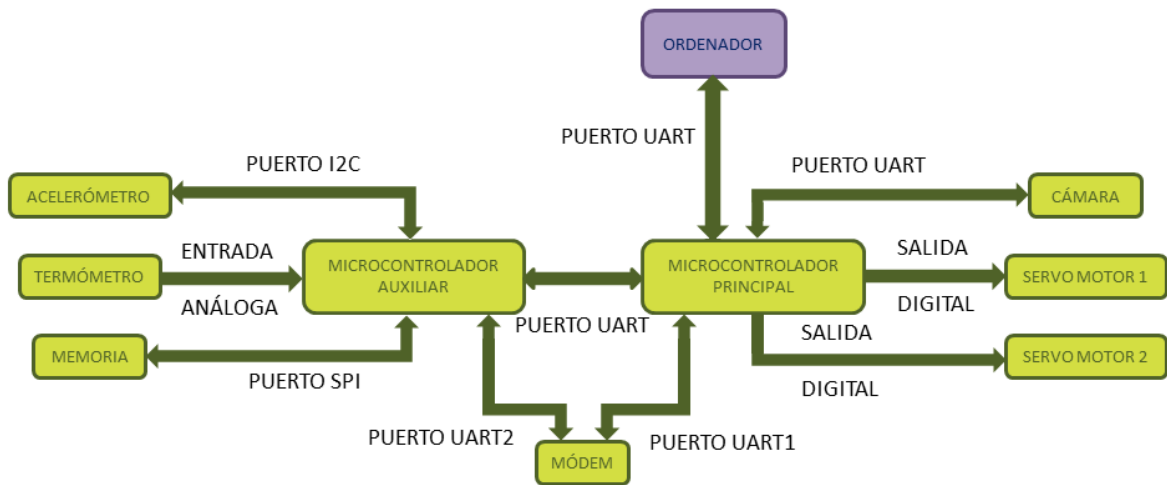
<<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632D.pdf>>. [Citado 15 de mayo de 2011].

Estructura de la tarjeta de control

Las funciones de control asociadas con el subsistema de control, serían imposibles de llevarse a cabo empleando tan solo un microcontrolador, puesto que se requiere un total de 33 señales diferentes, y se cuenta con solo 19 pines efectivos en un microcontrolador PIC 18F2550. Aún si se dispusiera de un microcontrolador con la cantidad suficiente de pines, se tendría dificultades evidentes en la programación de la aplicación, ya que ésta debería atender en forma eficiente y simultánea a todos los dispositivos electrónicos de la estación remota, como por ejemplo leer paralelamente los datos del acelerómetro y de la cámara para escribirlos en los dos diferentes puertos UART del módem.

Por este motivo, se ha optado por el uso de tarjetas de control con doble núcleo, es decir tarjetas que emplean dos microcontroladores PIC 18F2550 que ejecutan en paralelo las tareas que se les ha programado. En una tarjeta de control, a cada uno de los microcontroladores se los distingue como controlador Principal y controlador Auxiliar, la muestra los dispositivos relacionados con cada uno.

Figura 23 Diagrama de bloques de la estructura general de la tarjeta de control.



Como cada controlador tiene asignado un conjunto de dispositivos diferente, se tendrá como consecuencia, un conjunto de tareas específicas. Las funciones relacionadas a los controladores se explican en la sección de funcionamiento del sistema.

En la anterior figura también se muestra un bloque de color lila, el cual corresponde a un bloque externo a la tarjeta de control (y al sistema). Este bloque representa un ordenador externo que se puede conectar a la tarjeta de control por medio de un puerto serial RS232 (a 115200 bps), y se utiliza para la visualización en tiempo real de los estados de las tareas producidas por los controladores.

De la figura se identifica como una conexión importante a la que existe entre los microcontroladores y las interfaces UART del módem. El controlador Principal se conecta a la UART1 (la UART principal) y el controlador Auxiliar a la UART2 (la UART auxiliar), de allí la denominación escogida. La UART1 del módem se utiliza para la transmisión de datos por medio de un socket UDP (unidireccional), la UART2 se utiliza para la transmisión de datos y comandos por medio de un socket TCP (bidireccional).

4.1.1.5 Fuente de Alimentación

La fuente de alimentación de una estación remota proporciona la energía eléctrica necesaria para hacer funcionar a sus diferentes componentes electrónicos.

Uno de los objetivos del proyecto es lograr la mayor autonomía posible en el sistema, de tal forma que se minimice el mantenimiento para el total de las estaciones. De esta forma para la fuente de alimentación se deducen los siguientes requerimientos: Debe ser recargable para permitir su reutilización, debe contar con un subsistema de recarga, y además debe proporcionar la suficiente potencia para una operación ininterrumpida.

Para lograr las exigencias, la fuente de alimentación se conforma por dos baterías, una recargable y otra no recargable, y un panel solar.

4.1.1.5.1 Batería Recargable de Li-ion de 3.7 V

Se ha hecho uso de baterías de Li-ion recargables originalmente diseñadas para teléfonos celulares (razón por la cual es ideal para energizar al módem), las cuales arrojan en sus terminales un voltaje nominal de 3.7 V.

La batería de Li-ion es la fuente de alimentación principal en la estación remota, pues suministra la energía a la mayoría de sus componentes, los cuales consisten en los sensores (cámara, acelerómetro y termómetro), la tarjeta de control, la memoria micro SD y el modem de datos, todos estos dispositivos son compatibles con el voltaje de la batería. Como caso especial se adecua un voltaje de 3.3 V para la memoria SD y el acelerómetro, pues sus especificaciones exigen voltajes inferiores a los 3.7 V.

La principal característica de esta batería es su capacidad para recargar la energía que almacena. Para recargarla, se utiliza un panel solar que será descrito posteriormente.

La figura siguiente muestra la batería de Li-ion.

Figura 24 Batería de Li-ion de 3.7 V recargable.



4.1.1.5.2 Batería No Recargable de 9 V

Se utiliza una segunda batería en cada estación para energizar a los servo motores. Esto, debido a que la exigencia del voltaje de alimentación para estos actuadores supera los 3.7 V, nominales en la batería principal. La utilización de una batería independiente, permite además reducir la interferencia causada por su operación, sobre todo cuando se generan las corrientes de arranque.

La solución más sencilla y efectiva es el uso de una batería de 9 V no recargable.

Figura 25 Batería no recargable de 9V.



4.1.1.5.3 Panel Solar

El panel solar permite la recarga de la batería de Li-ion. Se ha empleado un panel solar que originalmente está diseñado para recargar teléfonos celulares, PDAs, IPODS entre otros.

Se debe mencionar que este componente posee una batería recargable interna, por lo cual la energía que recibe desde el sol pasa directamente a esta batería, para ser transferida posteriormente al dispositivo conectado.

En la siguiente figura se muestra el panel.

Figura 26 Panel Solar.



Las características principales del panel solar son:

Características Técnicas

- Voltaje de 5.5 V, corriente de 150mA, Máxima potencia de 0.8W.
- Batería interna recargable de 2600 mAh.
- Corriente de salida de 400 a 800mA.
- Voltaje de salida seleccionable de 4.5, 5.5, 6.5 y 9V.
- Dimensiones: largo 125 mm, ancho 78 mm, espesor 14mm.
- Peso: 215 g.

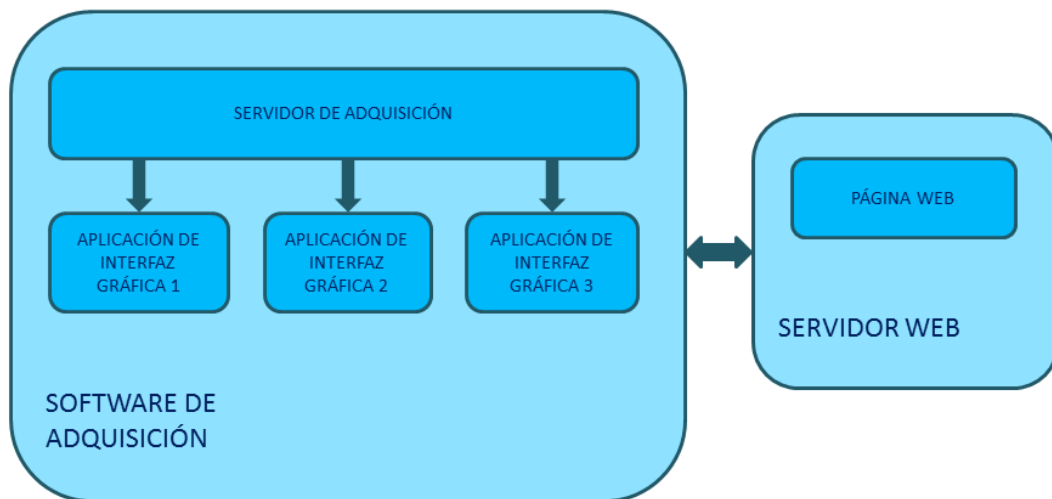
4.1.2 Estación Central del Sistema

La estación central consiste en un ordenador que dispone de conexión a internet con una dirección IP pública. Este equipo ha sido programado en MATLAB para actuar como servidor y ejecuta simultáneamente:

- **Software de adquisición:** El software de adquisición recibe los datos provenientes de los sensores de cada estación remota por los sockets TCP y UDP, y los representa al usuario por medio de una interfaz gráfica. Cada estación remota se relaciona con una única interfaz gráfica,
- **Servidor web:** El servidor HTTP publica una página web en internet con la información básica recogida por cada estación remota.

En la siguiente figura se ilustra un diagrama descriptivo de la estación central:

Figura 27 Diagrama de bloques de la estructura general de la estación central.



4.1.2.1 Software de Adquisición en MATLAB

El software de adquisición es la aplicación principal desarrollada en la estación central. Provee las tareas de adquisición de la información remota, y de su representación en una interfaz gráfica al usuario, ambos procesos ejecutados por la misma aplicación.

4.1.2.1.1 Servidor de Adquisición

El servidor de adquisición atiende y responde las peticiones de cualquiera de los clientes. Para el sistema, un cliente lo constituye alguna estación remota, y el servidor debe proporcionar el proceso que interactúe con el proceso equivalente en el otro extremo, ejecutado por el cliente remoto. Esto se logra empleando un protocolo de capa de aplicación apropiado que posibilite la transferencia efectiva de los datos (subida de datos de cualquier estación remota a la central).

En la capa de transporte, en el sistema se ha empleado los dos tipos de protocolos existentes: UDP y TCP. Como se ha dicho antes el socket UDP sirve para la transmisión de datos y el TCP para la transmisión de datos y comandos.

El servidor de adquisición ha sido programado en MATLAB haciendo uso del toolbox TCP_UDP_IP desarrollado por Peter Rydesäter con el apoyo de Mario Bergeron y Mike Medeiros. El uso de este toolbox no es restrictivo ya que está sujeto a la licencia pública general de GNU, que habilita la libre distribución, modificación y uso del software.

El toolbox TCP_UDP_IP permite realizar conexiones en red por medio de los protocolos TCP o UDP a través de sus funciones varias.

En la siguiente tabla se definen los sockets que se manejan entre cada una de las estaciones remotas y la estación central:

Tabla 2 Sockets TCP y UDP de cada estación remota.

ESTACIÓN REMOTA	SOCKET TCP	SOCKET UDP
Estación Remota 1	em.dyndns-server.com:8220	em.dyndns-server.com:8221, 8222
Estación Remota 2	em.dyndns-server.com:8223	em.dyndns-server.com:8224, 8225
Estación Remota 3	em.dyndns-server.com:8226	em.dyndns-server.com:8227, 8228

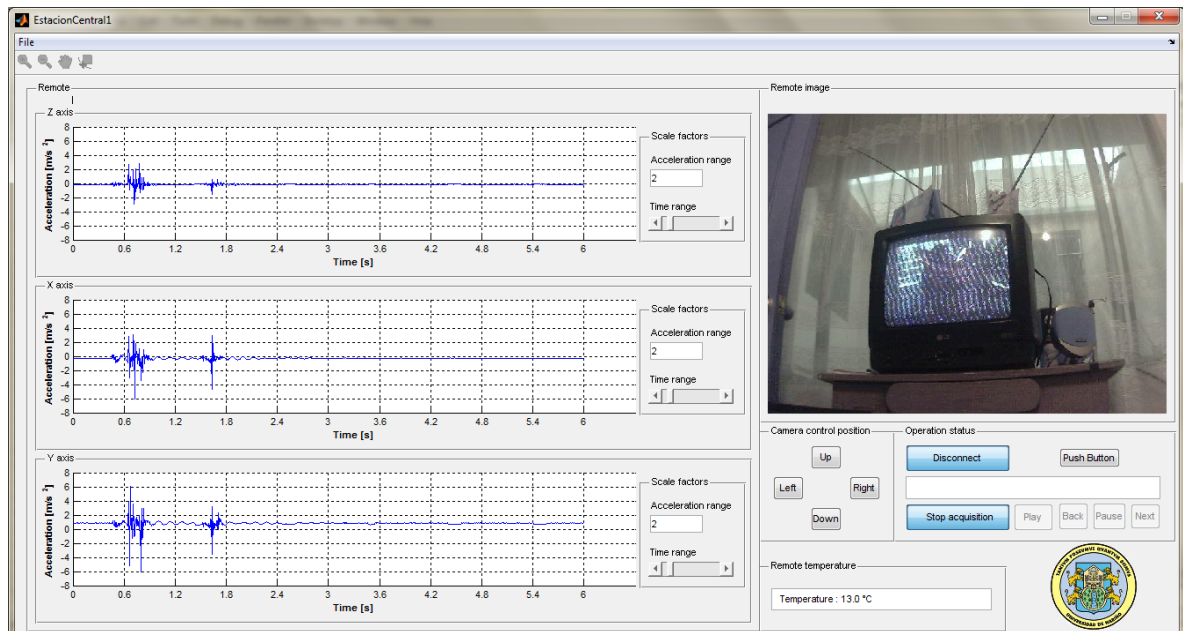
Todos los sockets usan el nombre de dominio *em.dyndns-server.com*, que es el nombre de dominio con la que se resuelve la dirección IP del servidor. Para la estación remota 1, por ejemplo el socket de comunicación TCP se establece en el puerto 8220 y el socket UDP en el puerto 8222 y puerto local 8221, ambos con el mismo dominio.

4.1.2.1.2 Aplicación de Interfaz Gráfica

Una interfaz de usuario gráfica GUI es un programa informático que proporciona un entorno visual para facilitar la comunicación entre un usuario y un ordenador. La interfaz gráfica del software de adquisición del sistema, debe resumir la información que se recibe, de forma sencilla y compacta en una misma ventana. Debe permitir iniciar o cerrar la conexión entre el servidor central y la estación remota. Además de los datos provenientes de los sensores remotos, la GUI debe permitir representar otra información importante como el estado de la conexión de red. Si el usuario lo desea, la interfaz gráfica también debe proporcionar la capacidad de elaborar bases de datos para la información adquirida. Todo esto dentro de una aplicación amigable y de fácil uso.

La GUI desarrollada para el proyecto está compilada en GUIDE de MATLAB. Esta interfaz provee la información de los diferentes sensores en tiempo real. Más adelante se habla en detalle de los componentes y el funcionamiento de la interfaz. La siguiente figura ilustra la GUI para la estación remota 1 en funcionamiento:

Figura 28 Aplicación de interfaz gráfica para la estación remota 1 desarrollada en GUIDE de MATLAB.



Puesto que se hace necesaria la adquisición de datos por dos sockets diferentes en forma simultánea, cada aplicación GUI debe atender solicitudes paralelas. Por esta razón se utiliza el toolbox Parallel Computing de MATLAB, el cual permite la

ejecución al mismo tiempo de diferentes líneas de código .m (conocidas como scripts), cada una ejecutada por un MATLAB worker. Este toolbox permite aumentar la eficiencia en la ejecución de código cuando se realiza en un grupo o cluster de MATLAB workers. Hay que decir sin embargo que el toolbox presenta incompatibilidad con GUIDE, razón por la cual fue imperante la utilización de tres GUIs diferentes, una para cada estación remota.

4.1.2.2 Servidor Web en MATLAB

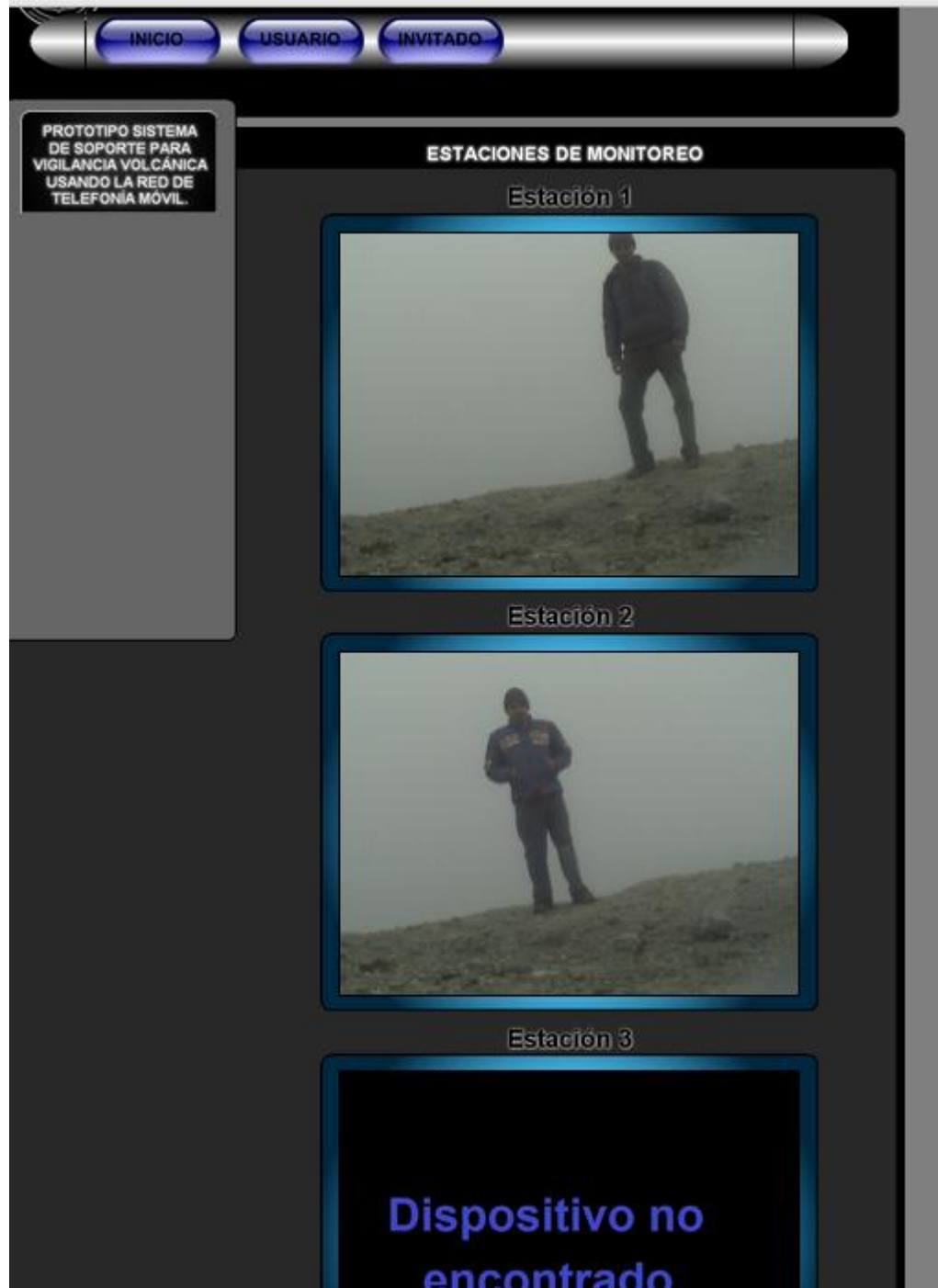
Un servidor web proporciona una página web al navegador del cliente solicitante de dicho recurso. En el proyecto se adoptó el objetivo de crear un servidor HTTP que permita la publicación en internet de una página web. Esta página contiene la información de las señales de aceleración, de temperatura y de la imagen remota que cada estación transmite. Existe una actualización continua de dicha información, de tal manera que sea oportuna y en tiempo real en la mayor medida posible.

4.1.2.2.1 Página Web

La página web se ha desarrollado por medio del programa WYSIWYG Web Builder v 6.5.6 en su versión de prueba. WYSISWYG Web Builder es un programa que posee varias herramientas o extensiones que permiten manipular diferentes elementos de los archivos HTML, tales como imágenes, texto, tablas, botones, formularios, enlaces, animaciones, etc. La compilación de código en HTML se obtiene tras construir la página web.

La siguiente figura muestra la página HTML para la estación remota 1 cuando se descarga desde el navegador Google Chrome:

Figura 29 Página HTML montada en el servidor web.



El servidor web se ha programado en MATLAB haciendo uso del toolbox WEBSERVER desarrollado por Dirk-JanKroon. Este toolbox posee funciones que permiten la publicación de un archivo HTML en la web.

4.2 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA

La culminación del proyecto se ha logrado por la clausura de las diferentes fases definidas en el cronograma de actividades. La construcción del sistema se puede resumir en cuatro fases generales:

4.2.1 Estudio de la Bibliografía

Se realizó un estudio de los diferentes temas relacionados con las redes de datos, las tecnologías de telefonía móvil (especialmente EDGE) y la instrumentación volcanológica. El dominio de estos temas permite tener un glosario adecuado cuando se habla de los diferentes componentes de los sistemas, facilita la detección de errores por el conocimiento que involucra en las estructuras generales de los sistemas y sobre todo posibilita el diseño de sistemas tecnológicos.

4.2.2 Creación de Montaje Circuitual Prototipo y Pruebas

El proyecto se realizó de manera modular. Esto quiere decir que el problema se fragmentó en pequeñas partes cuyas soluciones son más sencillas. De esta forma, se centró toda la atención en resolver solo un problema a la vez.

La estación remota se construye realizando los respectivos circuitos y sus pruebas en un montaje prototipo antes de llevar a cabo su fabricación. Todas las pruebas fueron planificadas de antemano para proyectarlas hacia el resultado último; para dar un ejemplo de esto: la prueba de lectura de los registros de salida del acelerómetro se efectuó para que la frecuencia de muestreo de los datos sea de 200 Hz y tenga escala de ± 6 g tal como ocurre en el sistema final.

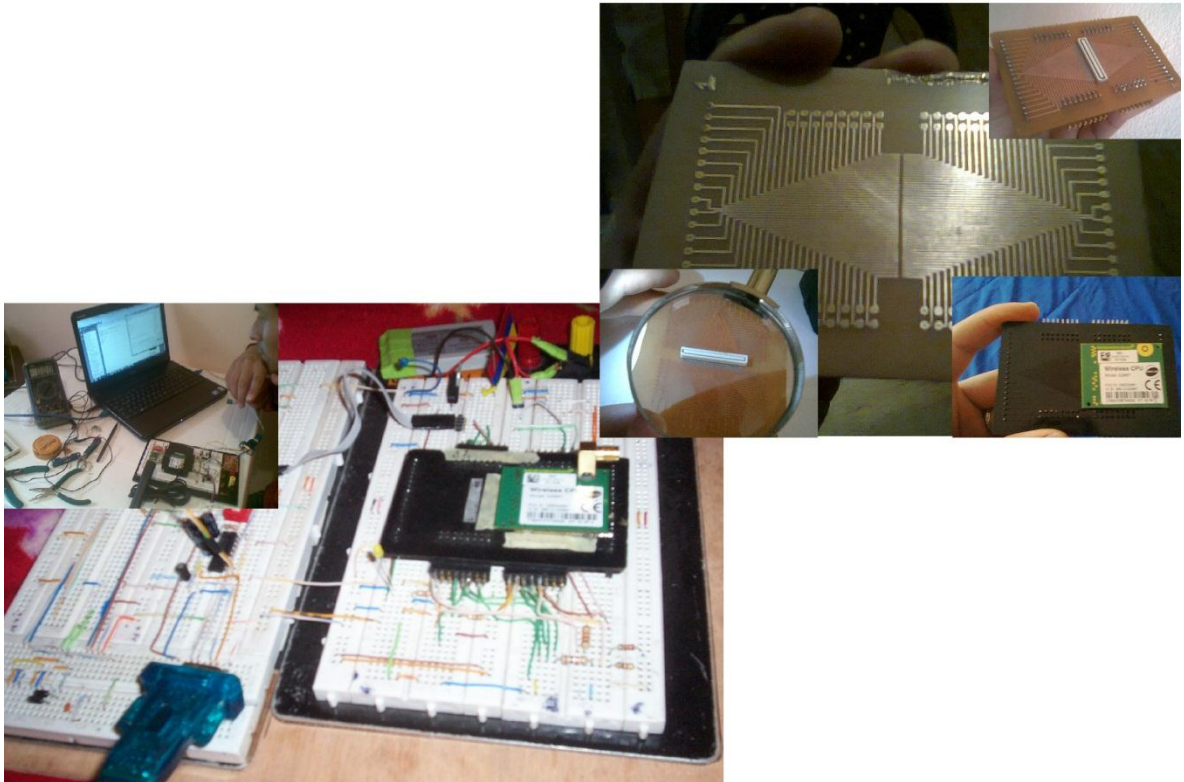
En primer lugar, se empezó a adecuar el montaje en protoboard con los circuitos del módem de datos. En este montaje se realizaron las pruebas de encendido, reinicio, comunicación a los puertos de enlace serial UART1, UART2, USB, conexión a la red de telefonía móvil y conexión en internet por sockets TCP y UDP.

Paralelamente a estas pruebas se acondicionó en la misma protoboard otros circuitos. En resumen estos montajes estuvieron relacionados con la operación de:

El acelerómetro y sus pruebas de escritura y lectura de registros, de la memoria micro SD y sus pruebas de creación y escritura de archivos FAT32, de los motores y sus pruebas de control PWM de posicionamiento angular, del sensor de

temperatura y sus pruebas de adquisición y conversión ADC de la señal de salida, de la cámara y sus pruebas de lectura de archivos JPEG.

Figura 30 Creación de montaje circuital prototipo y pruebas.



Todas estas pruebas se realizaron usando microcontroladores PIC 18F4550 equivalentes excepto por el número de pines a los PIC 18F2550 definitivos. La programación en los microcontroladores se llevó a cabo tratando de aplicar al máximo la filosofía de modularidad por medio de la creación y uso de librerías de funciones.

También se realizan las pruebas de carga de la batería de Li-ion por medio del algoritmo de carga del módem.

Después de realizar y validar las pruebas de las diferentes partes entre sensores, memoria SD y módem, se efectuaron las pruebas de transmisión de datos por TCP y UDP.

Las pruebas de transmisión de datos en el lado del módem cliente generaron la necesidad de realizar la programación informática en el lado del equipo servidor. La programación en el servidor se realizó de manera análoga a los experimentos anteriores, es decir por medio de pruebas, en este caso aplicaciones GUI con

propósitos específicos tales como la recepción y graficación de los datos de aceleración provenientes de un socket TCP, o recepción y graficación de imágenes provenientes de un socket UDP.

4.2.3 Fabricación de las Estaciones Remotas

Una vez se validan todos los circuitos, se procede a realizar la tarjeta de circuito impreso con todos los elementos necesarios (microcontroladores, conectores, reguladores, otros integrados, etc). La tarjeta se realiza con dispositivos superficiales y doble capa de tal forma que se economiza en espacio y se genera un dispositivo final de pequeño tamaño. El método empleado (“de la plancha”) otorga acabados apropiados en las placas de circuito.

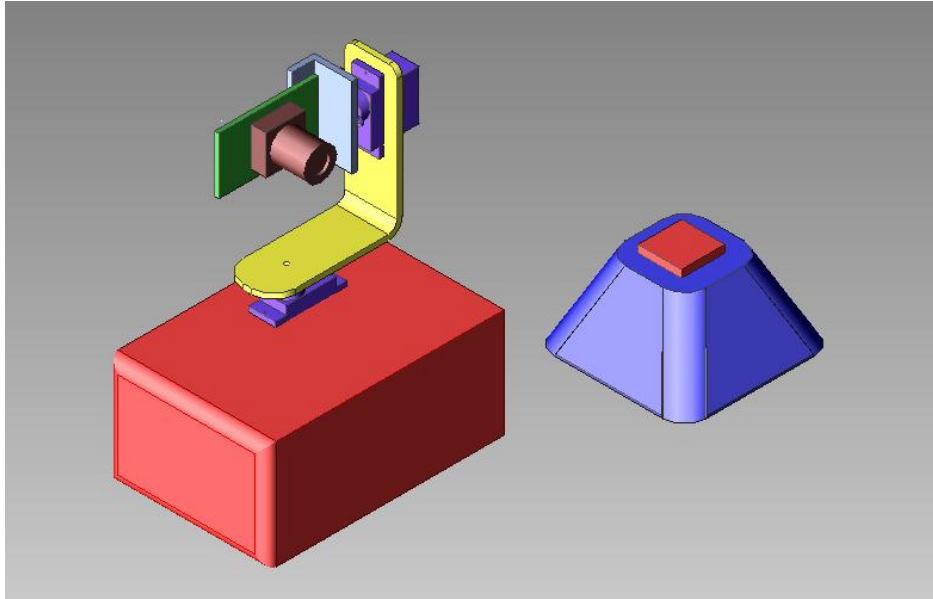
Figura 31 Construcción de las tarjetas de control.



Se verificó que las tarjetas construidas tengan un funcionamiento adecuado con los diferentes dispositivos electrónicos.

Se realiza un diseño de la presentación de las estaciones remotas. La siguiente figura muestra el modelo CAD planificado para su construcción:

Figura 32 Diseño CAD de las estaciones remotas.



Se construyeron las diferentes cajas de protección de las tarjetas de circuito. Estas cajas se elaboraron de fibra de vidrio, lo cual implicó el estudio de las técnicas de fabricación por fibra.

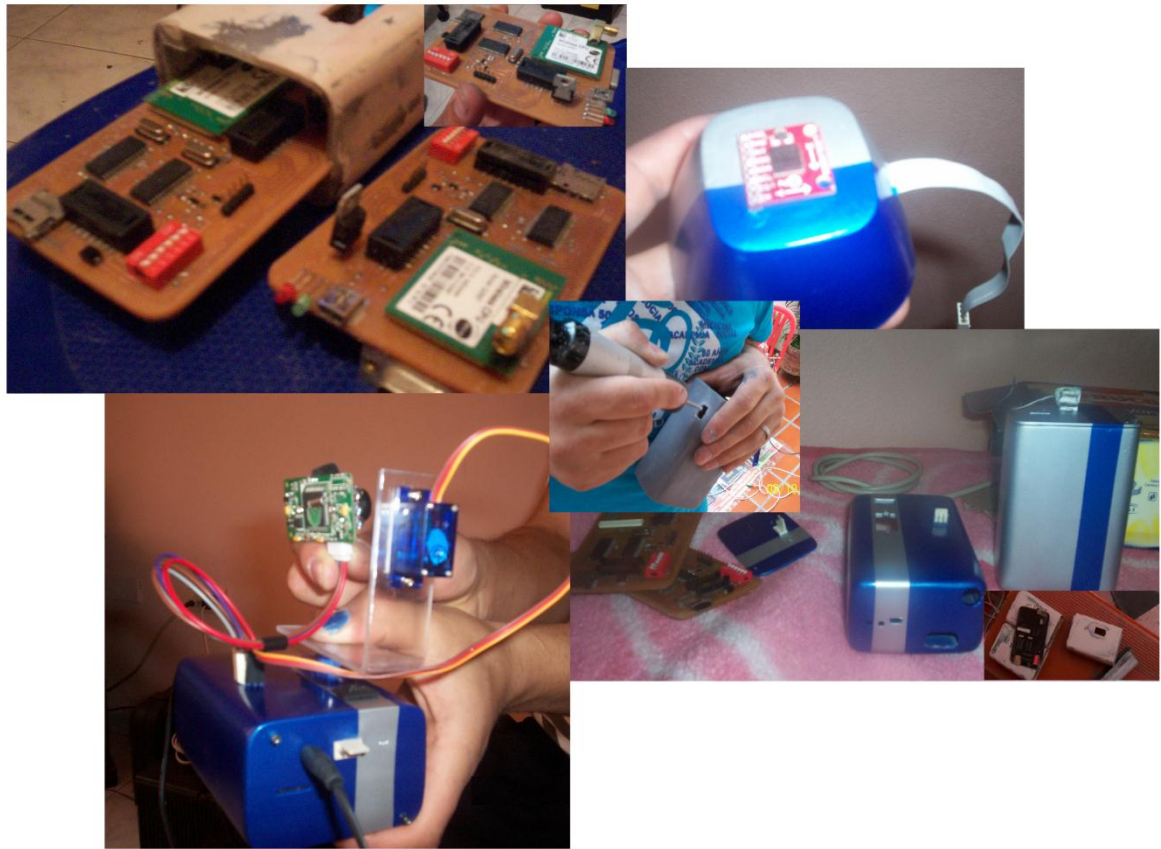
Figura 33 Construcción de los soportes con fibra de vidrio.



También se realizaron los soportes para los acelerómetros, de tal forma que fuesen lo más densos posibles, para ello se llenaron con cemento.

Se hicieron los acabados finales de masillado y pintura para obtener los mejores resultados estéticos.

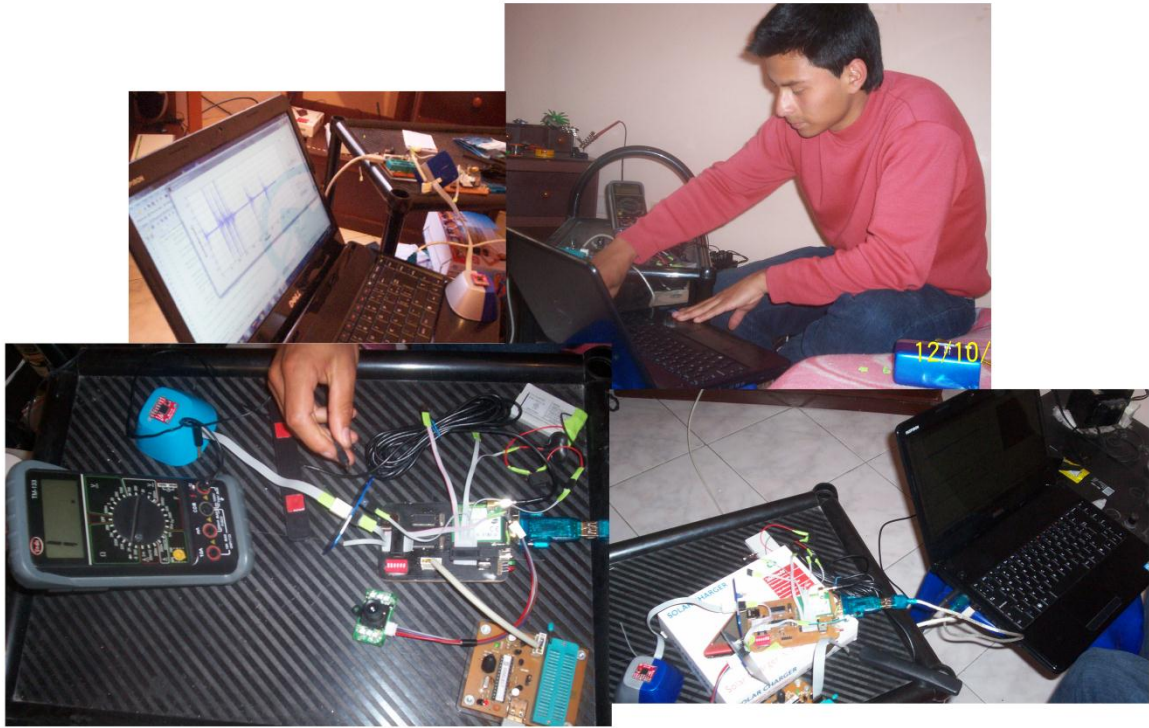
Figura 34 Construcción de las estaciones remotas.



4.2.4 Programación de la Estación Central y Pruebas Finales:

Posterior a la construcción del hardware, se procedió a la programación en el servidor. La programación involucra la creación de los códigos de la interfaz de usuario gráfica y de la página web.

Figura 35 Pruebas de funcionamiento del sistema.



Se detectaron desperfectos en el funcionamiento de las tarjetas de circuito impreso y se procedió a realizar las respectivas correcciones. Los errores más comunes detectados se debieron a la discontinuidad eléctrica en algunas líneas de cobre.

Se efectuaron las pruebas de funcionamiento de transmisión de aceleración e imagen por medio de los sockets TCP y UDP.

Se realizaron las pruebas finales para validar el sistema completo.

4.3 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

El correcto funcionamiento del sistema, visto como un todo, depende en última instancia de la solidez con la que se ensamblen todos sus subsistemas, componentes y dispositivos.

Un punto clave para las comunicaciones, ha sido la identificación del modelo teórico cliente-servidor, pues sirve como punto de partida en el diseño general del sistema. De aquí surgen importantes aportes, como la identificación, de la

necesidad que existe en implantar un protocolo de comunicación entre las estaciones remotas y la estación central. Se ha deseado referirse a éste con el término: protocolo Estación Remota-Estación Central.

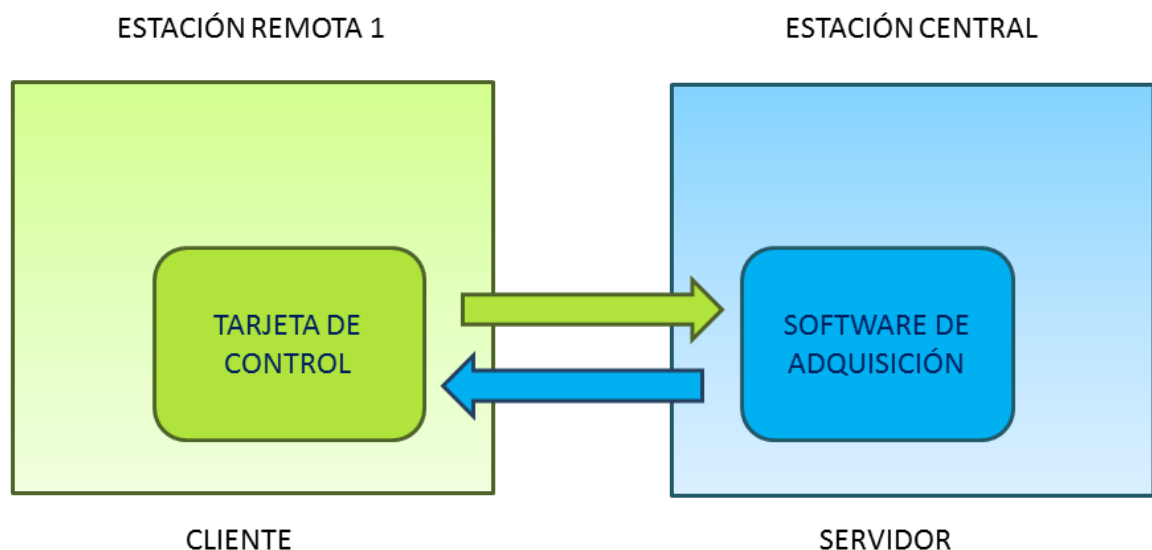
A continuación se describe con mayor profundidad la estructura general de la comunicación en el sistema y su protocolo. También se da una descripción detallada de los pasos de funcionamiento en un caso de ejemplo entre la estación remota 1 y la estación central. Finalmente se realiza una descripción de las funciones relacionadas con la tarjeta de control remota y el software de adquisición central.

4.3.1 Identificación del Modelo Cliente - Servidor en el Sistema

La idea básica encerrada dentro del modelo Cliente-Servidor es realmente sencilla: “El *cliente solicita* y el *servidor atiende*”. El sistema desarrollado se ajusta a esta definición general: Cuando se establece la comunicación entre la estación central y alguna de las estaciones remotas, se demanda del intercambio de información entre extremos. La estación remota conectada debe suministrar los diferentes datos que capta de su entorno, en respuesta, la estación central debe aceptar dichos datos. La estación remota constituye el cliente que *solicita* del envío de información, la estación central conforma el servidor que *atiende* dicha solicitud.

El siguiente esquema es una representación gráfica de este hecho.

Figura 36 Comunicación estación remota 1 - estación central según el modelo Cliente – Servidor.



Como se observa en la gráfica, el bloque de *tarjeta de control* en el lado remoto es quien se encarga de ejecutar internamente la tarea de cliente. En su contraparte central, el bloque de *software de adquisición* actúa como el servidor. De aquí a la importancia de estos bloques cuyo funcionamiento se explica después, sin embargo, por ahora se puede decir que estos son bloques con funciones complementarias, por ejemplo, si la tarjeta de control debe enviar los datos de imagen, el software de adquisición deberá recibirlos.

Hay que notar que la comunicación entre extremos (de peticiones y respuestas), sin embargo no es válida sin que se adopte el uso de reglas en común (de forma que las peticiones y respuestas sean entendibles por igual, entre extremos). Este es el objetivo del protocolo Estación Remota-Estación Central.

4.3.2 Protocolo de Comunicación Estación Remota - Estación Central

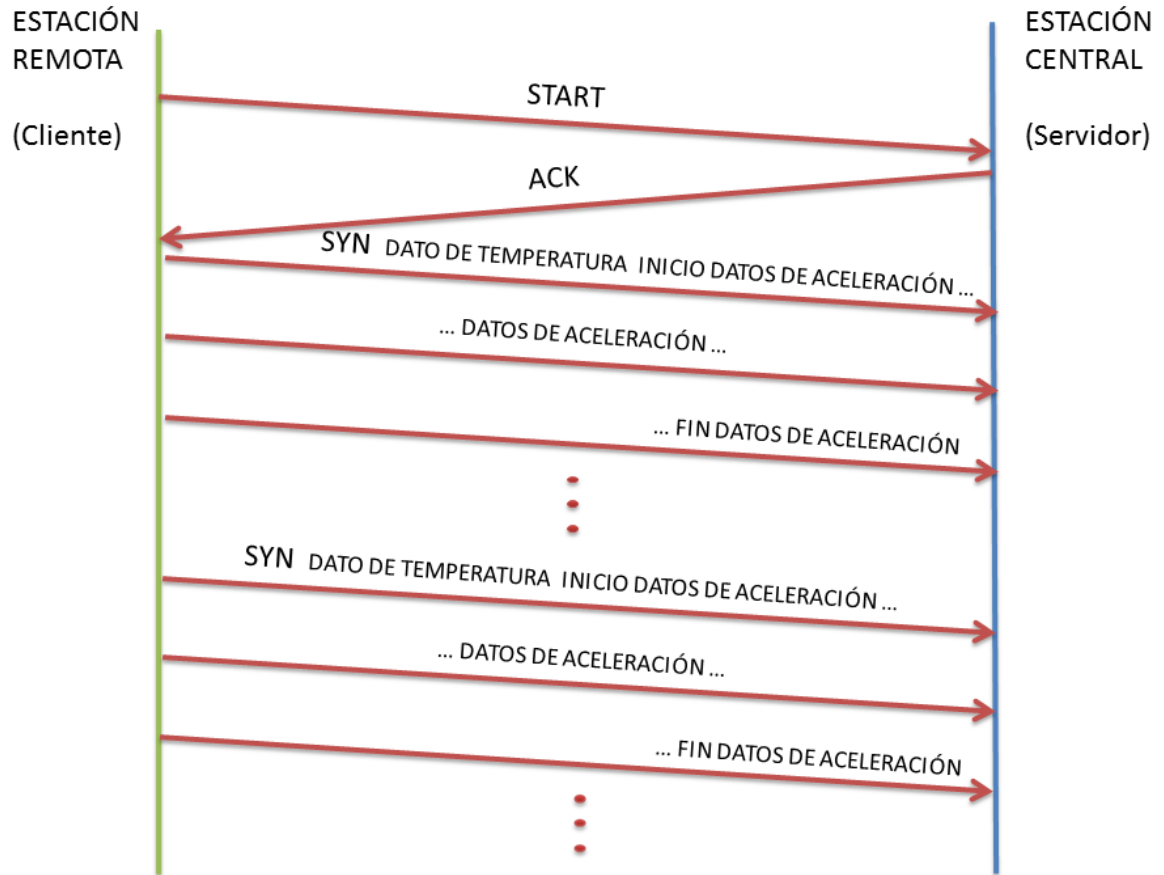
Toda comunicación entre dos interlocutores es exitosa cuando siguen un conjunto de normas o reglas predefinidas y conocidas por los mismos, este conjunto de normas corresponde a su protocolo de comunicación. Por tal motivo en el sistema se ha ideado un protocolo que rija la comunicación a nivel de capa de aplicación según el modelo TCP/IP. En el documento se ha denominado a este protocolo como protocolo de comunicación Estación Remota-Estación Central.

En lo seguido, se opta por referir en forma casi indistinta a cualquiera de las estaciones remotas con el término cliente o a la estación central con el término servidor.

4.3.2.1 Comunicación de Datos en el Socket TCP

La transmisión de datos en el enlace TCP, correspondientes a información de temperatura y de aceleración (en los tres ejes x, y, z), se realizan básicamente bajo el siguiente esquema de comunicación:

Figura 37 Transferencia de datos de aceleración y temperatura en el socket TCP.



Cuando se establece la conexión TCP entre la estación remota y la estación central, la estación remota empieza la comunicación al enviar un primer comando (*START* en el diagrama).

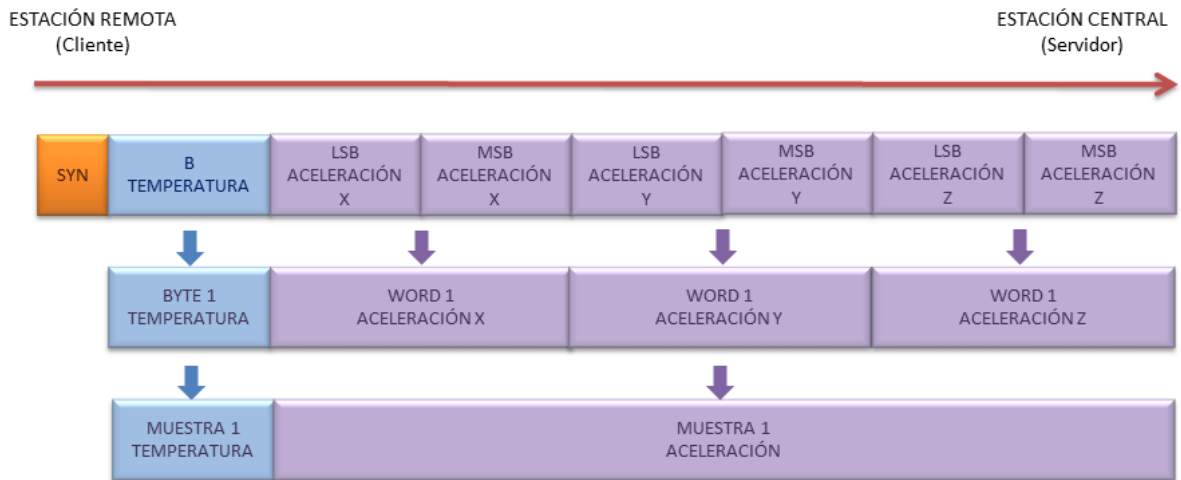
Si la estación central reconoce este comando de inicio, responde al mismo con un comando de reconocimiento (*ACK* en el diagrama).

Seguido a un reconocimiento exitoso, el lado cliente en la estación remota inicia el envío de la secuencia de los datos. El flujo de datos comienza siempre por un encabezado de sincronización (*SYN* en la figura) que permite al servidor distinguir entre las diferentes informaciones, ya se trate de la temperatura o de la aceleración a lo largo del eje x o del y o el z.

La forma en que se sincronizan los datos en el servidor es por medio del encabezado de sincronización. Esto se consigue en función al orden escogido en la trama del flujo de los datos. En la figura 38 se muestra la parte inicial de esta trama, como se puede observar, después del encabezado de sincronización, viene un byte correspondiente al dato de temperatura, denominado muestra 1 de

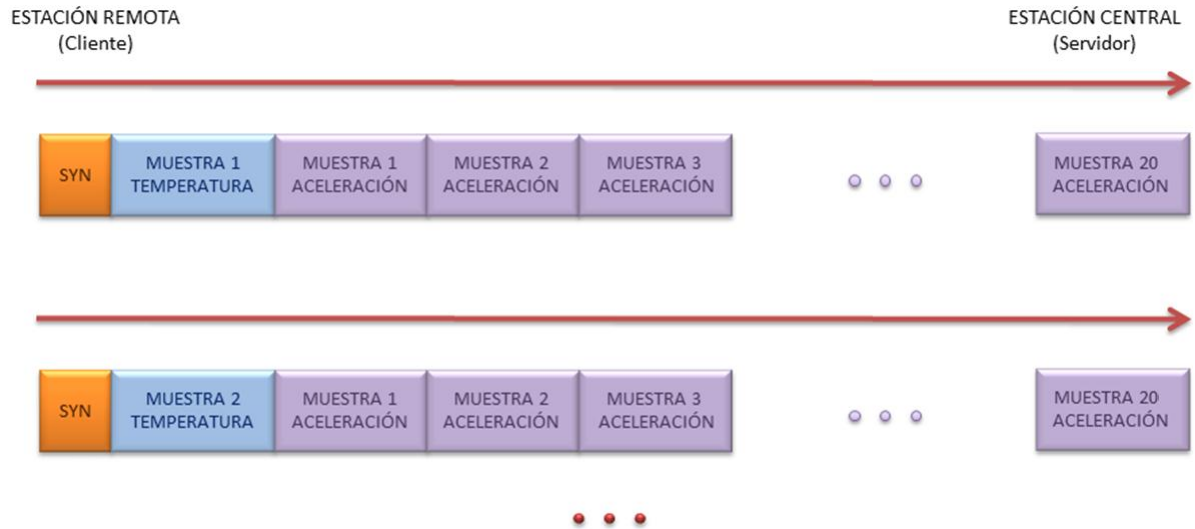
temperatura. A la *muestra 1 de temperatura* le sigue un par de bytes que constituyen una única palabra correspondiente al dato de la aceleración en el eje x. Las primeras palabras (Word 1 en el esquema) o datos de aceleración de los ejes x, y, z originan una primera muestra de aceleración, llamada *muestra1 de aceleración*:

Figura 38 Parte inicial de la trama del flujo de datos sobre el socket TCP.



En la siguiente figura se muestra la trama de los datos sobre TCP completa. Esta trama está formada por una muestra de temperatura seguida por 20 muestras de aceleración:

Figura 39 Tramas de datos sobre el socket TCP.



4.3.2.2 Comunicación de Comandos en el Socket TCP

Puesto que el socket TCP es un canal bidireccional entre el cliente y el servidor, permite que la comunicación tenga transmisión de información en ambas direcciones. De esta manera, además del flujo de datos generado, también se genera un segundo flujo, el cual corresponde a unos comandos de control entre los dos extremos.

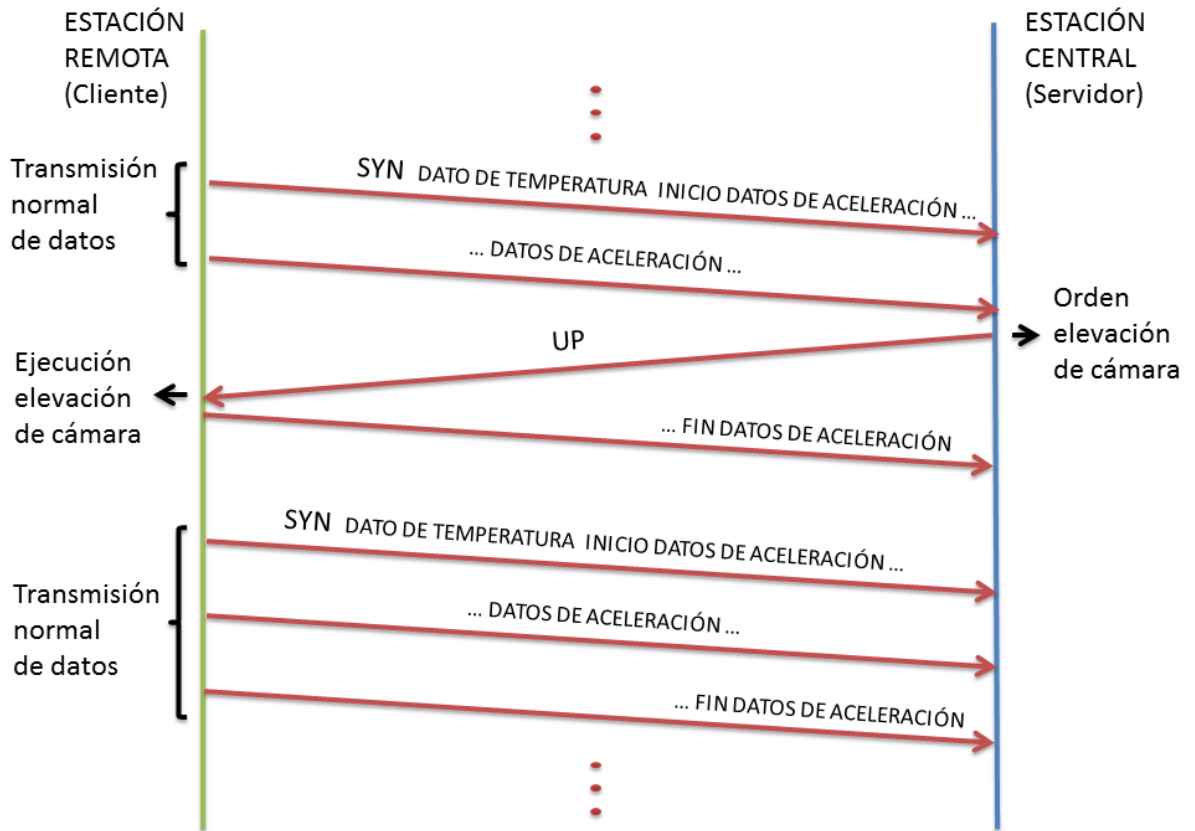
Los comandos de control entre las estaciones son:

- **START:** El comando de inicio es generado por cualquier estación remota cuando se establece el enlace de red con la estación central. Este comando es una petición del cliente para la inicialización del protocolo de comunicación y demanda de una respuesta por parte del servidor. Todos los demás comandos de control no son válidos sin que antes se halla ejecutado el comando de inicio.
- **ACK:** El comando de reconocimiento es producido por el cliente o el servidor como respuesta satisfactoria de algún otro comando de control. Por ejemplo si el cliente empieza por enviar al servidor el comando de inicio START y este a su vez retorna el comando de reconocimiento ACK, significa que el comando (START) fue correctamente entendido y ejecutado.
- **UNK:** El comando de no reconocimiento es producido por el cliente o el servidor como respuesta no satisfactoria de algún otro comando de control. Este tipo de respuesta requiere de la repetición del comando ya que no se entendió o no se ejecutó correctamente por el par.

- **STOP:** El comando de paro es generado por cualquier estación remota o la estación central y produce la finalización del protocolo de comunicación individual. Si el funcionamiento entre extremos es correcto antes de la ejecución de este comando, producirá el paro en la transmisión de todos los datos (sobre los sockets TCP y UDP). Todos los demás comandos de control ya no serán válidos después del comando de paro, excepto el comando de inicio START.
- **BKP:** Este comando permite crear un archivo .txt en la estación remota siempre y cuando exista la tarjeta micro SD para almacenar los datos de temperatura y aceleración tri-axial generados.
- **SBK:** Este es el comando encargado de cerrar el archivo .txt generado en la estación remota cuya apertura se realiza previamente con el comando BKP.
- **UP:** Este comando es producido por la estación central y produce el desplazamiento de la cámara (en la estación que recibe el comando) en un pequeño ángulo hacia arriba. No requiere de una respuesta por parte de la estación remota.
- **DOWN:** Este comando es producido por la estación central y produce el desplazamiento de la cámara (en la estación que recibe el comando) en un pequeño ángulo hacia abajo. No requiere de una respuesta de la estación remota.
- **RIGTH:** Este comando es producido por la estación central y produce el desplazamiento de la cámara (en la estación que recibe el comando) en un pequeño ángulo hacia la derecha. No requiere de una respuesta por parte de la estación remota.
- **LEFT:** Este comando es producido por la estación central y produce el desplazamiento de la cámara (en la estación que recibe el comando) en un pequeño ángulo hacia la izquierda. No requiere de una respuesta de la estación remota.

A manera de ejemplo, en la siguiente figura se ilustra una situación en la que el funcionamiento del sistema sobre el socket TCP es normal, es decir se tiene una correcta transmisión de datos, pero súbitamente un usuario produce el comando *UP* desde el servidor hacia alguna de las estaciones remotas. De ser reconocido correctamente, el comando tendrá el efecto de activar el servo motor que gira a la cámara en un pequeño ángulo hacia arriba:

Figura 40 Ejemplo de la transmisión del comando UP entre las estaciones.

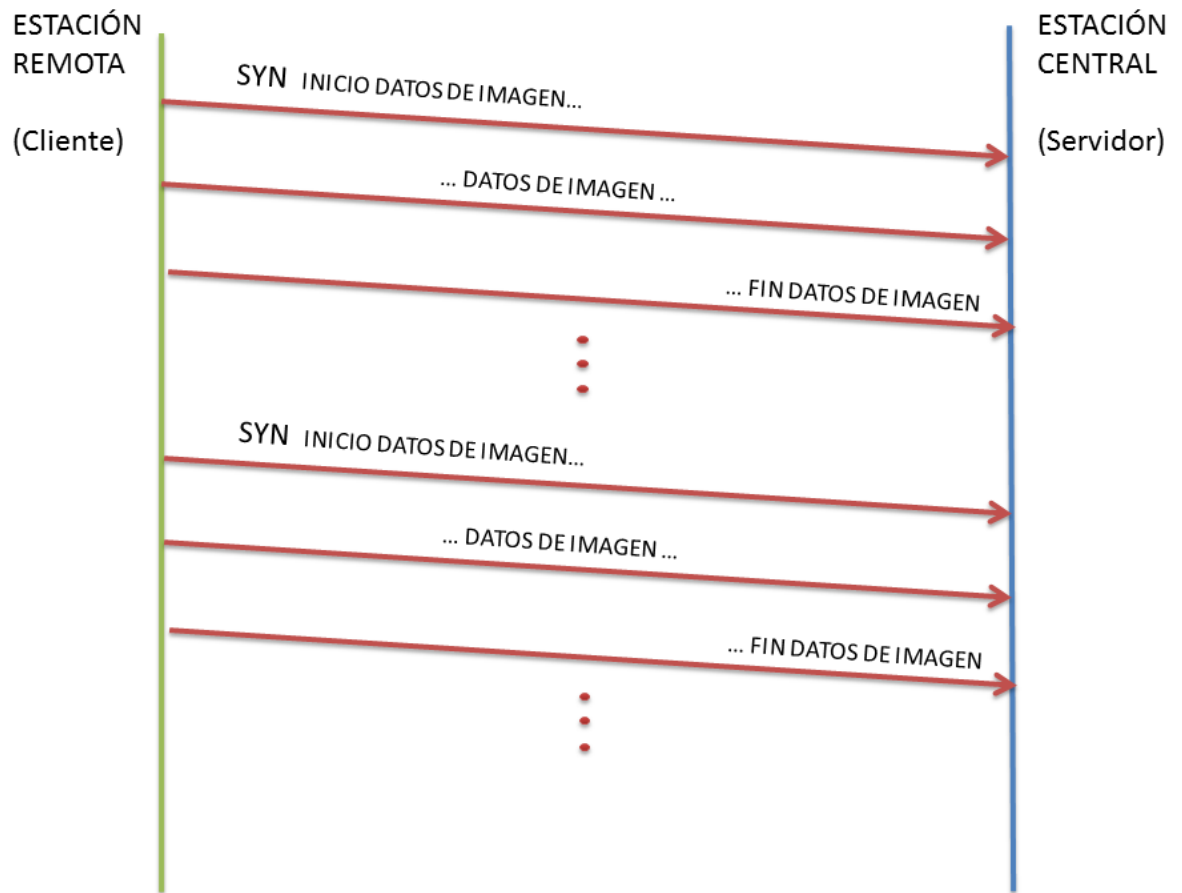


Luego de que el comando es ejecutado por la estación remota, la transmisión de los datos sobre TCP retorna a una operación normal.

4.3.2.3 Comunicación de Datos en el Socket UDP

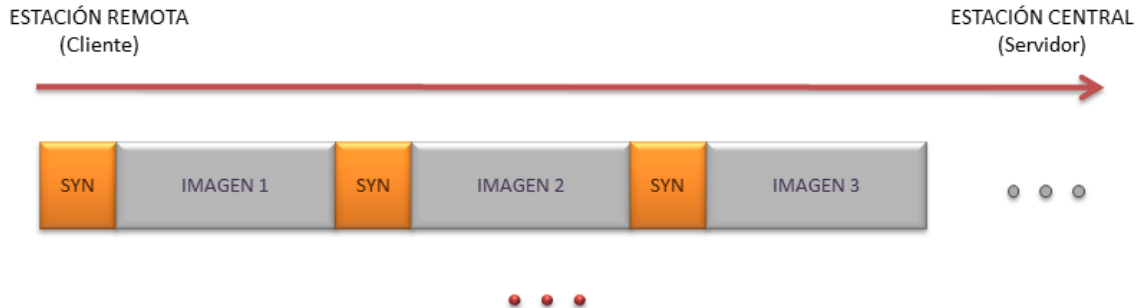
Los datos que se transmiten en el enlace UDP consisten en el stream de los bytes que conforman el archivo JPEG de cada imagen registrada por la cámara, en alguna de las estaciones. Este flujo sigue el siguiente esquema:

Figura 41 Transferencia de datos de imagen en el socket UDP.



Como antes el encabezado de sincronización *SYN* tiene el objetivo de brindar al servidor un mecanismo para discernir en la información, en este caso para distinguir los archivos independientes de imagen entre diferentes imágenes consecutivas. En la siguiente figura se ilustra una serie de tramas de datos en el socket UDP:

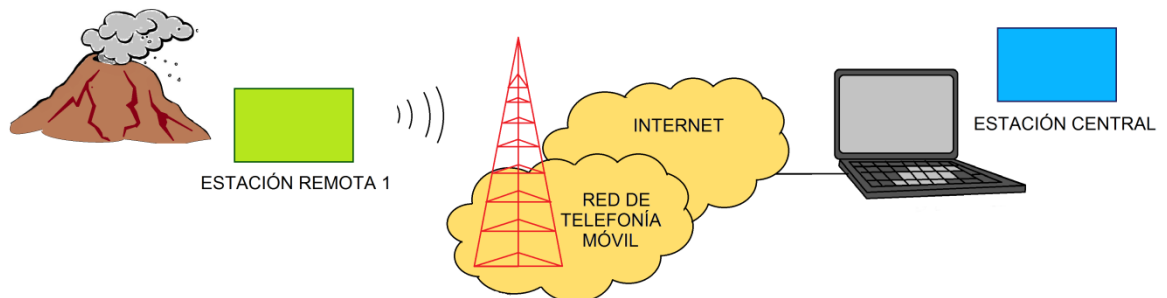
Figura 42 Trama de datos sobre el socket UDP.



4.3.3 Caso de Ejemplo: Estación Remota 1 - Estación Central

La secuencia de pasos que se efectúan a nivel operacional en el sistema, se explican a continuación. En ellos se describen todos los aspectos relacionados con el funcionamiento de una de las estaciones remotas (la estación remota 1 por ejemplo) y la estación central, desde la generación de los datos de las variables de instrumentación en el lugar de difícil acceso hasta su adquisición y presentación visual en el equipo central de monitoreo.

Figura 43 Caso de ejemplo de funcionamiento entre la estación remota 1 y la estación central.



El funcionamiento de las estaciones remotas restantes (la 2 y la 3) es idéntico, por lo que el caso de ejemplo es una descripción general del sistema:

- **Se inicia una nueva sesión desde del software de adquisición de la estación remota 1, en la estación central:**

En principio, desde la estación central se establece la ejecución del daemon de escucha en el servidor de adquisición. La forma de realizarlo es por medio de la interfaz gráfica de la estación remota 1, en donde se inicia un nuevo enlace por medio del socket TCP *em.dyndns-server.com:8220*. Este demonio efectúa un bucle indefinido de espera dentro del cual el servidor de adquisición se pone en expectativa continua e intenta establecer por primera vez una conexión en red con la estación remota.

- **Se establece la sesión entre la estación remota 1 y la estación central:**

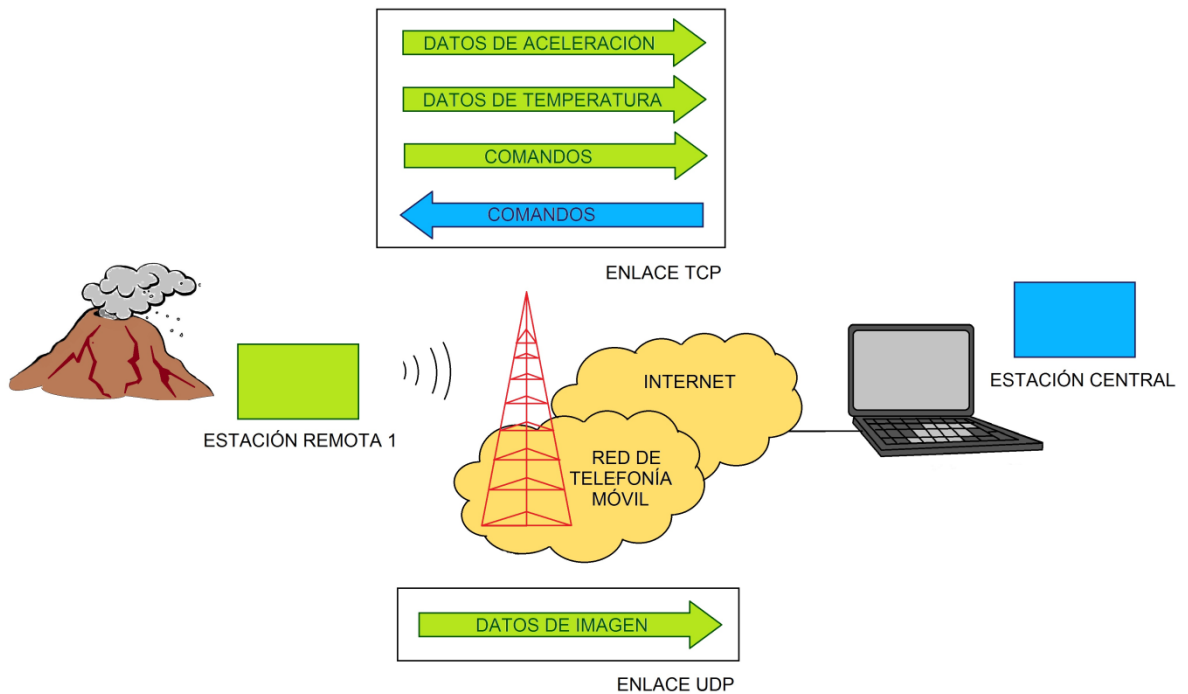
Se energiza la estación remota 1 y se espera a que se establezca la conexión con la estación central, en el momento de encender la estación remota, su LED verde (figura 62) se enciende indicando que el sistema se ha iniciado correctamente. El parpadeo posterior de este LED indica la conexión a la red de telefonía móvil del módem. Antes de efectuarse la comunicación con la estación central, la tarjeta de control en la estación remota inicializa a todos los dispositivos electrónicos (módem, cámara, acelerómetro y memoria micro SD) para su posterior uso.

El módem de datos, se controla para abrir en primer lugar, el socket TCP con el servidor central. Una vez se ha realizado el enlace TCP entre el módem de datos remoto y el servidor central, se tiene conectividad de capa 4 (de transporte) con la estación remota, y se está en la capacidad de empezar una comunicación en las capas de aplicación. Esta comunicación debe permitir el mantenimiento de la sesión con el cliente remoto, la decodificación de la información recibida y la representación gráfica de dicha información.

La estación remota 1 comienza la comunicación formal enviando el comando de inicio *START* a su contraparte central. La estación central atiende a dicho comando respondiendo con un reconocimiento positivo *ACK*. En este punto se puede empezar una comunicación bidireccional bajo el protocolo estación Remota-estación Central.

Paralelamente a la creación y apertura correcta del socket TCP, se abre otro socket UDP *em.dyndns-server.com:8222*. La finalidad de los sockets TCP y UDP en la transmisión de datos o comandos se puede observar en el siguiente diagrama:

Figura 44 Enlaces TCP y UDP del sistema.



De esta forma, se observa que el socket TCP se utiliza para la transmisión de datos y comandos, mientras que el socket UDP se usa para la transmisión exclusiva de datos.

4.3.3.1 Comunicación de los Datos por TCP

La transmisión de los datos en el enlace TCP se realiza siguiendo la estructura de trama de datos definida en la figura 41, de acuerdo con la misma, se debe iniciar la transferencia por medio de un encabezado de sincronización *SYN*, después del cual se pueden enviar los diferentes datos:

- **Se genera la información de temperatura en la estación remota 1:**

La tarjeta de control, en la estación remota 1 adquiere la señal del sensor de temperatura desde una entrada análoga y la convierte a un valor digital de 8 bits.

- **Se trasmite la información de la temperatura desde la estación remota 1 a la central por el socket TCP:**

Ese valor digital de la conversión es el que se envía al módem de datos vía al servidor central de adquisición. Dicho byte se envía por medio del socket TCP

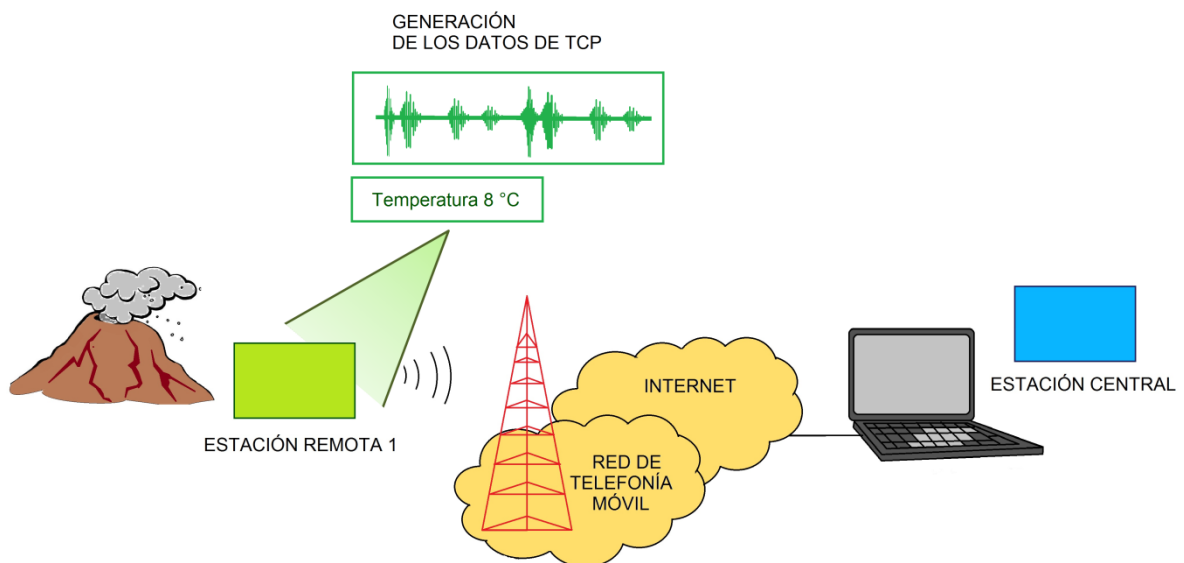
según la trama de datos mostrada en la figura 41, por lo que está antepuesto por el encabezado de sincronización *SYN*. Este es el comienzo de la trama TCP.

- **Se generan los datos de aceleración en la estación remota 1:**

La tarjeta de control manipula el acelerómetro por medio de su puerto I2C para leer los valores de aceleración sobre cada eje ortogonal. El valor de aceleración por cada eje posee un tamaño de 16 bits, es decir una longitud de dos bytes o una palabra.

La siguiente figura ilustra la situación de la generación de los datos de temperatura y aceleración en la estación remota 1:

Figura 45 Generación de los datos de aceleración y temperatura.

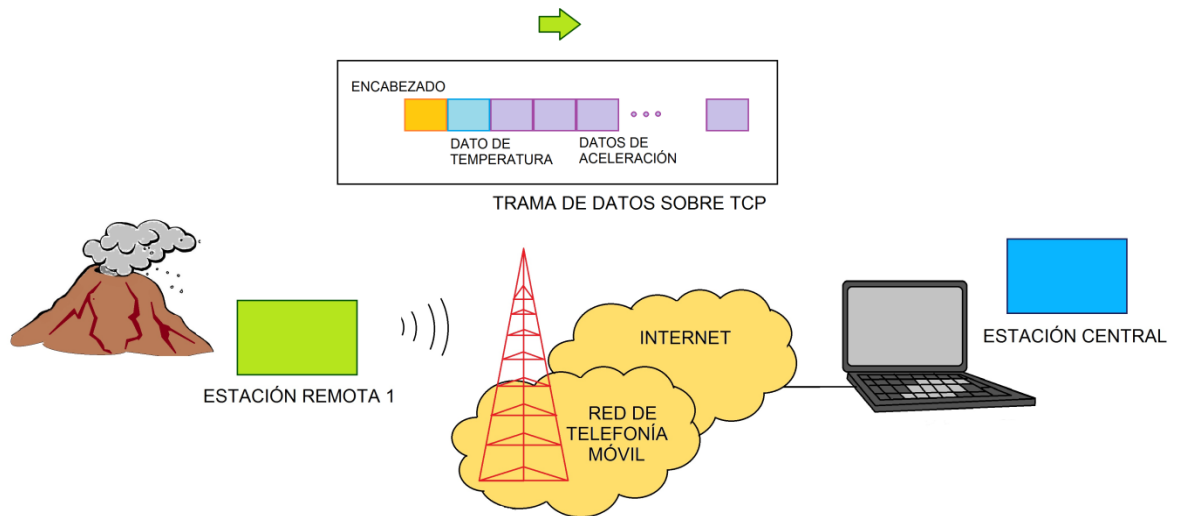


- **Se transmite la información de la aceleración desde la estación remota 1 a la central por el socket TCP:**

Las primeras tres palabras de aceleración a lo largo de los ejes x, y, z leídas por la tarjeta de control corresponden a una primera muestra de aceleración. Las palabras de esta muestra se envían en el mismo orden (de los ejes x, y a z) por el socket TCP, según se puede identificar en la trama de la figura 41. Así, la trama de datos en TCP se conforma gradualmente.

Se repite la tarea de lectura de las muestras de aceleración y envío de las mismas por el socket TCP hasta completar un total de 200 muestras enviadas. En este punto se concluye una trama de datos completa sobre TCP.

Figura 46 Transmisión de una trama de datos sobre el socket TCP.



- **Se adquiere la trama de datos de TCP en la estación central:**

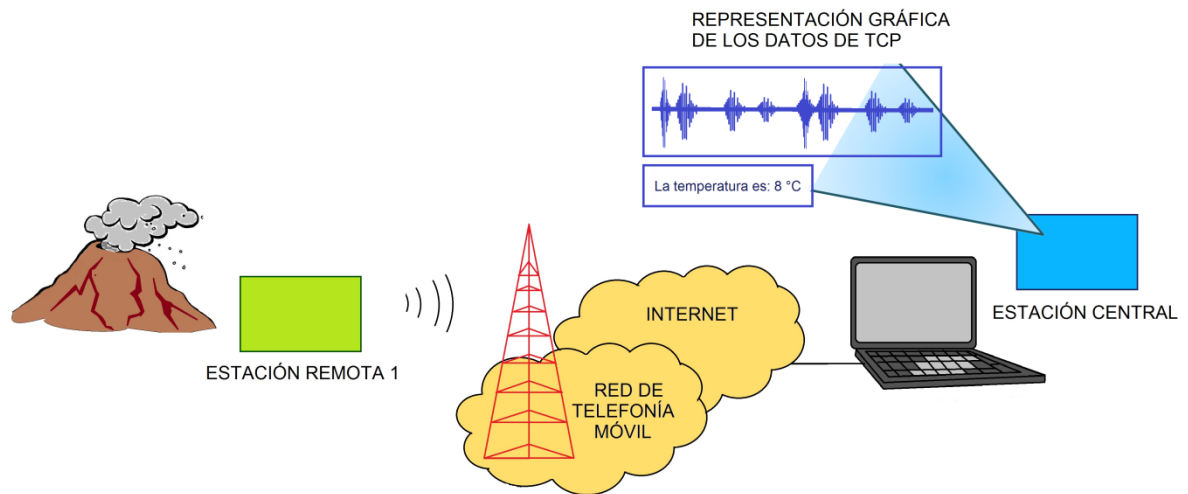
El servidor adquiere la trama generada en el otro extremo. Extrae el dato de temperatura y lo almacena temporalmente para su presentación en la interfaz de usuario gráfica y posible almacenamiento permanente.

De igual manera extrae las muestras de aceleración, estas muestras se deben demultiplexar para encontrar en forma individual los valores de aceleración sobre cada eje, de tal forma que por cada muestra de aceleración, se obtienen tres muestras independientes de aceleración para x, y, z. Estos valores se almacenan temporalmente para su visualización y posible almacenamiento permanente.

- **Se representa gráficamente la información adquirida en la estación central:**

La interfaz de usuario gráfica representa la información adquirida. La temperatura se indica por medio de un mensaje corto. Las aceleraciones de los ejes se indican por medio de las gráficas de sus formas de onda.

Figura 47 Representación gráfica de los datos adquiridos desde el socket TCP.



- **Se continúa el proceso de transmisión de datos sobre TCP desde la estación remota 1 a la central:**

En adelante, se repite indefinidamente la transferencia de los datos de temperatura y de aceleración sobre el socket TCP, es decir:

- La estación remota 1 genera el inicio de la trama de datos TCP con el encabezado de sincronización *SYN*.
- La estación remota 1 genera un dato de temperatura y lo envía por el socket.
- La estación remota 1 genera los datos de aceleración y los envía consecutivamente por el socket. Al completar 20 muestras se culmina la trama de los datos TCP.
- La estación central acepta la trama de los datos y discrimina en ella el dato de temperatura de los 20 datos de aceleración sobre los ejes x, y, z.
- La estación central representa gráficamente los datos recibidos de aceleración y temperatura por medio de la interfaz gráfica.

Este proceso es cíclico, por lo que se repite indefinidamente, hasta que la conexión de los dos terminales termine por cualquier causa de falla en sí mismos o en la red, o porque sea clausurada voluntariamente desde la GUI del software de adquisición (por medio del comando de paro *STOP*).

Comandos de orden desde el servidor al cliente diferentes al *STOP*, causarán que el proceso de transmisión sea interrumpido. En este caso la transmisión de datos sólo se restablece a la normalidad después de ejecutado el comando. Por ejemplo, si un usuario en la estación central desea elevar la posición angular de la cámara en la estación remota 1, entonces deberá activar el botón de la respectiva

GUI que tiene esa finalidad. Esto produce la generación del comando *UP* a través del socket TCP, que se envía desde la estación central hacia la estación remota 1. Mientras la estación remota recibe, reconoce y ejecuta el comando, se deja de enviar la información por el socket TCP (aceleración y temperatura) de forma transitoria. Para los movimientos de la cámara el cese de transmisión de datos de imagen es de aproximadamente 1.5 segundos.

La tarjeta de control en la estación remota, adicional a la generación y transmisión de los datos de aceleración y temperatura, también se encarga de almacenar esa información en la memoria SD. Esta información constituye el soporte a los datos de la estación.

4.3.3.2 Comunicación de los Datos por UDP

La transmisión de los datos en el enlace UDP se realiza en forma paralela a aquella efectuada en el enlace TCP, esto quiere decir, que mientras se transmiten por un lado (TCP) los datos de aceleración y temperatura, al mismo tiempo por el otro (UDP) se deben transmitir los datos de imagen.

La transferencia por UDP se basa en la estructura de trama de datos definida en la figura 42. Se inicia la transferencia por medio del encabezado de sincronización *SYN*:

- **Se generan los datos de imagen en la estación remota 1:**

La tarjeta de control en la estación remota 1 manipula la cámara para extraer su información, la conexión a este dispositivo se realiza por medio de una interfaz UART. La cámara ha sido previamente configurada para capturar una imagen con una resolución de 640*480 pixeles. La tarjeta de control opera sobre este dispositivo para que realice la toma de una instantánea, luego lee la información de esta imagen como un archivo JPGE, directamente desde su memoria interna.

- **Se transmite la información de la imagen desde la estación remota 1 a la central por el socket UDP:**

Una vez empieza el flujo de la información de imagen proveniente de la cámara, la tarjeta de control retransmite dicho flujo al módem camino al servidor de adquisición.

La transmisión de los datos en el socket UDP se realiza de acuerdo a trama mostrada en la figura 42, esto quiere decir que después del encabezado de sincronización *SYN*, se envía todo el archivo JPGE de la imagen capturada.

- **Se adquiere la trama de datos de UDP en la estación central:**

El software de adquisición central adquiere la trama de datos UDP, extrae el archivo de imagen implícito en ella y lo almacena temporalmente para su presentación y posible almacenamiento permanente en una base de datos.

- **Se representa gráficamente la información adquirida en la estación central:**

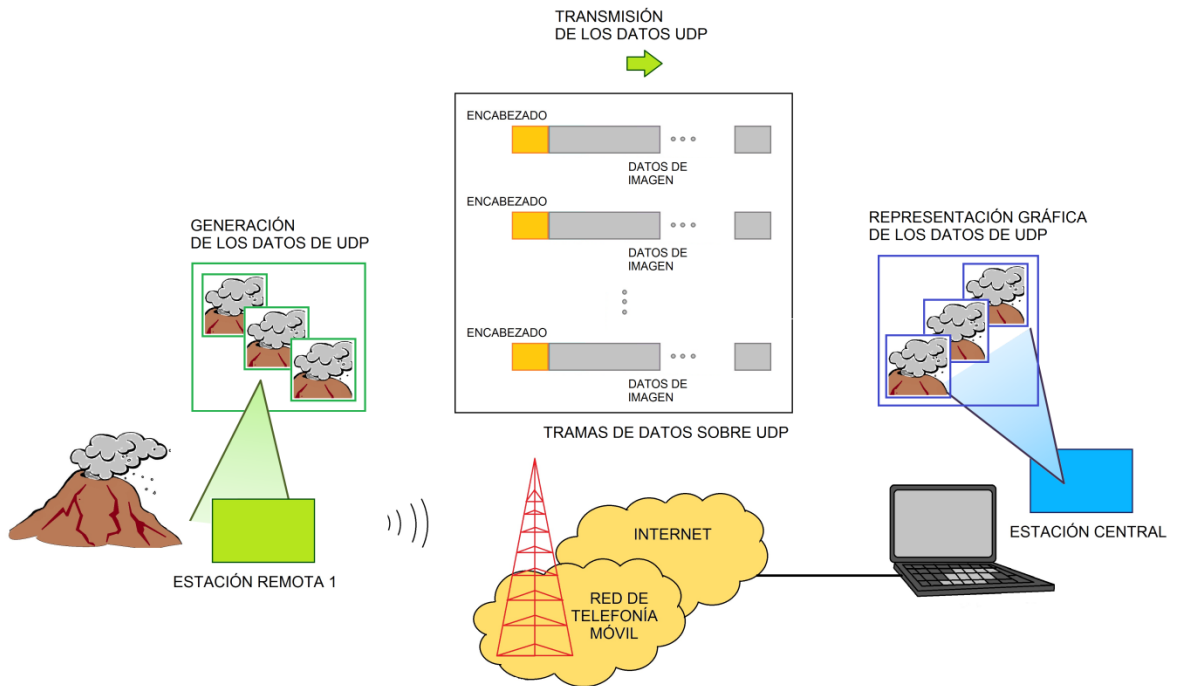
La imagen recibida se visualiza en una ventana de la GUI.

- **Se continúa el proceso de transmisión de datos sobre UDP desde la estación remota 1 a la central:**

Los pasos anteriores para la transmisión sobre UDP se repiten en forma indefinida. En resumen:

- La estación remota 1 genera el inicio de la trama de datos UDP con el encabezado de sincronización *SYN*.
- La estación remota 1 genera los datos de un archivo de imagen JPEG y los envía consecutivamente hasta completar la trama de los datos UDP.
- La estación central acepta la trama de los datos y extrae el archivo de imagen.
- La estación central representa gráficamente la imagen por medio de la interfaz gráfica y la página web.

Figura 48 Transmisión de los datos de imagen por el socket UDP.



El proceso es cíclico e indefinido, excepto cuando existen fallas en cualquiera de los extremos o en la red. Se interrumpe temporalmente si existen comandos hechos desde el servidor al cliente. Se detiene si el comando es el de *STOP*.

4.3.4 Funcionamiento de la Tarjeta de Control

La tarjeta de control es el componente que opera internamente en la estación remota como el cliente, en seguida se describe esta y otras funciones relacionadas a este elemento:

- Una función inicial de la tarjeta de control es la de extraer la información de los sensores para suministrarla al módem camino al servidor. La tarjeta se comunica con el módem de datos por medio de sus dos interfaces seriales RS232 con tres líneas cada una a 115200 bps, con la cámara digital por medio de su interfaz serial RS232 con tres líneas, con el acelerómetro por medio de su interfaz I2C con 2 líneas (a 400000 bps) y con el sensor de temperatura por medio de una entrada análoga. Para operar los servo motores, se destinan dos salidas digitales que modulan señales PWM y dos salidas digitales adicionales de control de encendido.

- La tarjeta de control también debe configurar y operar la memoria micro SD para realizar el almacenamiento de los datos según en formato FAT32 por medio de un archivo de extensión txt. La conexión a la memoria micro SD se logra a través de la interfaz serial SPI con 4 líneas. Así, la tarjeta de control debe disponer parcialmente de 22 señales diferentes entre entradas y salidas, digitales y análogas.
- Finalmente, nuestra última tarea de control, es la ejecución de una aplicación que permita comunicar a la estación remota con la estación central, esta operación se logra por medio del intercambio de distintos comandos según un protocolo Estación Remota-Estación Central.

4.3.4.1 Controlador Principal

De la figura 23 se observa como el microcontrolador Principal se conecta a la cámara, los dos micro servos, la UART1 del módem y un ordenador externo. Tiene asignado las siguientes funciones (no se describen en orden lógico respecto al del programa del controlador):

- Inicializar el módem: El módem requiere de ciertos comandos AT de enlace a la red del proveedor de servicio y otros comandos de configuración inicial (como selección de algoritmo de carga para baterías de Li-ion). Se debe ejecutar estos comandos verificando que sus respuestas sean las correctas.
- Inicializar la cámara: Se debe realizar la inicialización de la cámara por medio de un comando específico de inicio, además se debe cambiar la tasa de transferencia a 115200 bps
- Leer la información del archivo JPEG de la cámara: Para tomar una instantánea y leer el archivo JPEG generado, se debe efectuar diferentes comandos.
- Gestionar la creación del socket TCP: Para abrir un socket de comunicación, se deben ejecutar sobre el módem comandos AT de creación y apertura, se debe verificar que las respuestas a los mismos sean las adecuadas. El controlador Principal crea un socket TCP, aunque no lo abre (la apertura la realiza el controlador Auxiliar).
- Gestionar la creación y apertura del socket UDP: El controlador Principal realiza la creación y la apertura de un segundo socket UDP sobre la UART1 del módem.
- Enviar el flujo de datos de la cámara sobre el socket UDP: Los datos de imagen admiten un canal no confiable y no orientado a la conexión, por tanto estos datos se transmiten en forma continua hacia el servidor sobre el socket UDP sin ningún mecanismo de control de flujo o de errores.

- Activar los servo motores: Para dar movimiento a la cámara, se debe activar a los servo motores según los comandos de movimiento ordenados desde el servidor en la estación central, el controlador Principal debe admitir estos comandos y dar inicio al movimiento del motor respectivo.
- Realizar la comunicación con un ordenador externo: La tarjeta de control permite identificar los diferentes estados de los procesos que se llevan a cabo internamente. El controlador Principal se comunica con un ordenador externo por medio de un puerto serial UART y genera los distintos mensajes.
- Realizar la comunicación con el controlador Auxiliar: Se debe intercambiar información de estado entre los dos controladores, por tanto el controlador Principal también debe generar o admitir distintos comandos con el controlador Auxiliar. Los comandos intercambiados entre los dos controladores corresponden a un protocolo muy sencillo de comunicación interna controlador Principal-controlador Auxiliar, y se lleva a cabo bajo un enlace serial UART.

4.3.4.2 Controlador Auxiliar

El microcontrolador Auxiliar opera sobre el acelerómetro, el sensor de temperatura, la memoria micro SD y la UART2 del módem. Tiene asignado las siguientes funciones (las mismas no se describen en ningún orden lógico del programa del controlador):

- Inicializar el acelerómetro: Se debe dar las configuraciones iniciales para la operación posterior del acelerómetro, dichas configuraciones iniciales corresponden al tamaño del dato de aceleración sobre cada eje en 16 bits. una escala de medición de $\pm 6g$ y una frecuencia de muestreo de 640 Hz.
- Inicializar la memoria micro SD: Para poder emplear el sistema FAT32 se debe inicializar el formato de la memoria SD, y en caso de que exista algún conflicto con el mismo, se debe dar formato a la memoria.
- Leer la información del sensor de temperatura: Se debe realizar la conversión análoga a digital de la señal producida por el sensor de temperatura, para poder transportar hacia la estación central la información de temperatura como un valor digital de 8 bits.
- Leer la información de las señales producidas por el acelerómetro: El acelerómetro genera un flujo de datos correspondientes a las aceleraciones a lo largo de los tres ejes ortogonales x, y, z. Esta información se debe extraer por medio de la lectura consecutiva de los registros de salida respectivos.
- Escribir un archivo .txt en la memoria SD con el flujo de datos del acelerómetro y del sensor de temperatura: Se debe generar el soporte de los datos de los sensores. El controlador crea un archivo de texto .txt en la memoria SD sobre el cual se almacena continuamente la información de estos sensores.
- Gestionar la creación del socket TCP: El controlador auxiliar debe abrir el socket TCP previamente creado, este socket se opera sobre la UART2 del

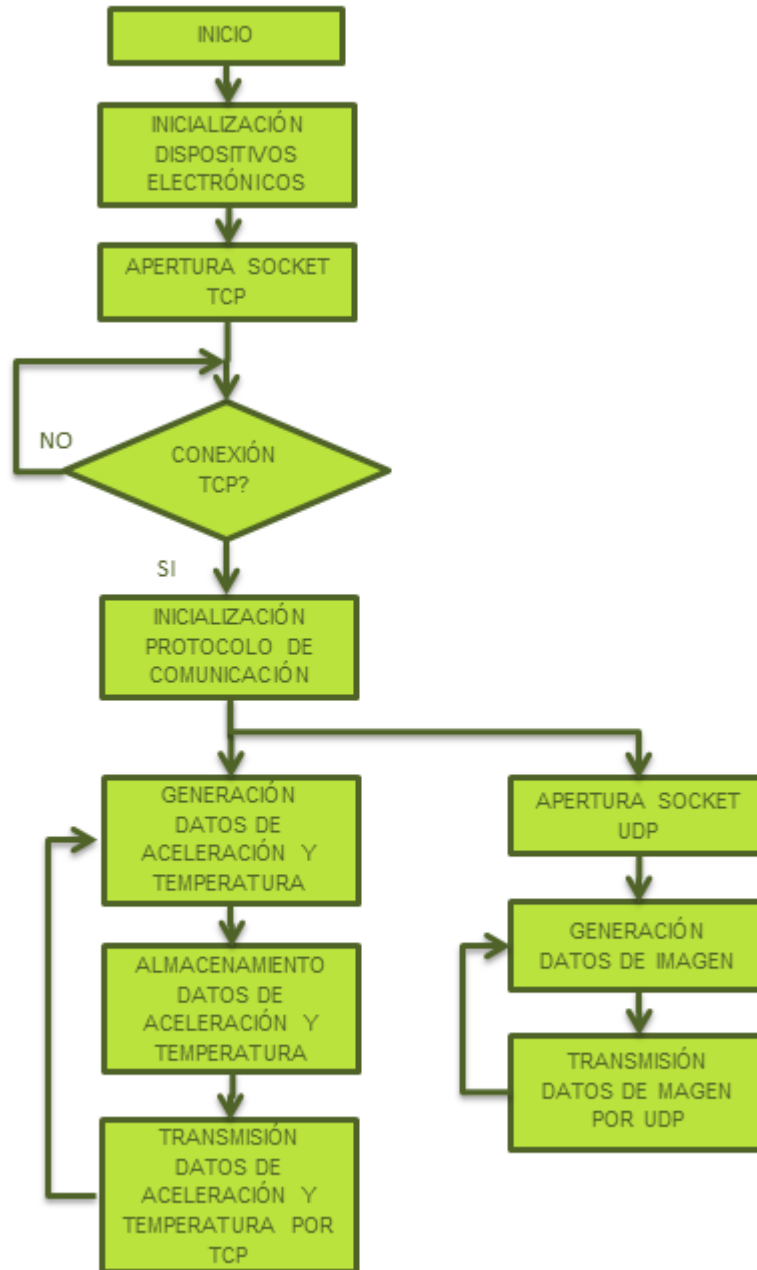
módem. Ya que el socket es bidireccional, sirve para enviar datos y comandos hacia el servidor, y para recibir comandos desde el servidor. Los datos corresponden al flujo de las señales de temperatura y aceleración, los comandos corresponden a órdenes o respuestas a las mismas según el protocolo de comunicación Estación Remota-Estación Central.

- Enviar el flujo de datos del acelerómetro y el termómetro sobre el socket TCP: Se deben transferir los datos de los sensores hacia el servidor.
- Ejecutar el protocolo de comunicación estación Remota-estación Central: El controlador auxiliar debe supervisar la comunicación con el servidor en el otro lado del enlace por medio de la implementación del protocolo de comunicación acordado.
- Realizar la comunicación con el controlador Principal: Puesto que existe un puerto de comunicación entre los dos controladores, el controlador Auxiliar al igual que el Principal debe supervisar el protocolo de comunicación interna generando o admitiendo los distintos comandos.

4.3.4.3 Diagrama de Flujo del Funcionamiento de la Tarjeta de Control

El siguiente diagrama de flujo es una gráfica bastante resumida del funcionamiento de la tarjeta de control:

Figura 49 Diagrama de flujo del funcionamiento tarjeta de control.



En el diagrama se puede identificar a grandes rasgos, que se trata de una operación ejecutada en paralelo ya que existe una ramificación a dos vías diferentes después de la inicialización del protocolo de comunicación entre el cliente y el servidor. La rama correspondiente a la generación, transmisión y almacenamiento de los datos de aceleración y temperatura la realiza el controlador auxiliar. La rama de generación y transmisión de los datos de imagen la efectúa el controlador principal.

Se debe tener en cuenta, que existen otros aspectos funcionales de la tarjeta de control que no se pueden representar por medio de un diagrama de flujo, como por ejemplo las interrupciones de atención para los comandos realizados desde el servidor.

En forma resumida se puede decir que la tarjeta de control tiene tres tareas básicas:

- **Controlar y operar los sensores, la memoria y el módem de datos**, la tarjeta de control manipula el sensor de temperatura, el acelerómetro y la cámara para extraer su información y suministrarla al módem de datos,
- **Controlar y operar la memoria SD**, de igual manera controla la memoria SD para crear el soporte a los datos y
- **Supervisar el protocolo de comunicación estación Remota-estación Central, en el extremo remoto**, el controlador también debe gestionar el protocolo de capa de aplicación diseñado para la comunicación del sistema.

4.3.5 Funcionamiento del Software de Adquisición

El software de adquisición es el componente que opera internamente en la estación central como el servidor, en seguida se describe esta y otras funciones relacionadas con el mismo (las mismas no se describen en ningún orden lógico):

- Gestionar la creación y apertura del socket TCP: Se debe abrir el socket TCP que es el canal principal entre las estaciones. El software crea un *daemon* que escucha continuamente esperando una nueva conexión.
- Recibir el flujo de datos del acelerómetro y el termómetro sobre el socket TCP: Se debe recibir todo el flujo de los datos de los sensores provenientes desde el cliente por el canal TCP.
- Gestionar la creación y apertura del socket UDP: El software también debe crear un *daemon* para la conexión sobre el canal UDP.
- Recibir el flujo de datos de imagen sobre el socket UDP: Se debe adquirir el flujo de datos desde el socket UDP.
- Representar gráficamente la información de temperatura, aceleración e imagen: El software de adquisición debe dar una representación visual de los diferentes datos que se reciben. Estas gráficas se deben actualizar en tiempo real.
- Ejecutar el protocolo de comunicación estación Remota-estación Central: El software de adquisición debe supervisar la comunicación con el cliente.

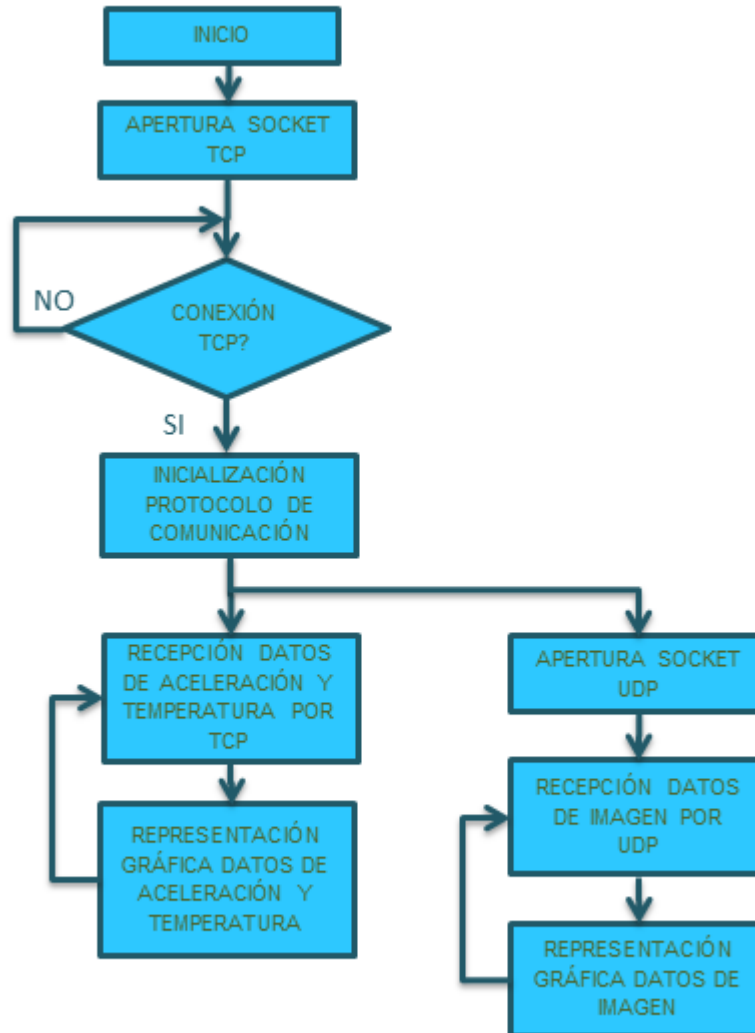
4.3.5.1 Diagrama de Flujo del Funcionamiento del Software de Adquisición

El software de adquisición, como se ha dicho anteriormente tiene asignado dos funciones que son:

- **Supervisar el protocolo de comunicación estación Remota-estación Central, en el extremo local**, el software administra los comandos del protocolo de comunicación, esta tarea la realiza el servidor de adquisición, y
- **Recibir la información de los sensores y suministrarla gráficamente**, la interfaz gráfica del software permite visualizar los diferentes datos en tiempo real conforme se adquieren.

La operación del software de adquisición en la estación central es complementaria a aquella realizada por la contraparte tarjeta de control en las estaciones remotas. El siguiente diagrama ilustra en forma general los procesos ejecutados por el software de adquisición:

Figura 50 Diagrama de flujo del software de adquisición.



Una vez más se identifica la operación en paralelo producto de la utilización de dos canales de comunicación.

4.3.6 Reconexión Automática del Sistema en Situaciones de Falla

La característica de reconexión automática en situaciones de fallas es una propiedad del sistema que permite la reapertura de la comunicación entre la estación central y alguna de las remotas cuando su enlace TCP se desconecta. Esta reapertura se realiza en forma conjunta en ambos extremos.

5. RESULTADOS

Tras la investigación y el desarrollo del proyecto se ha logrado la generación de un prototipo de un sistema de soporte para vigilancia volcánica haciendo uso de la telefonía móvil. Dentro de este, se logra desarrollar tres estaciones remotas funcionalmente idénticas, un servidor de adquisición de datos, una interfaz de usuario que presenta los datos obtenidos por las estaciones remotas en tiempo real, y por ultimo un servidor web que divulga los datos a través de la red de Internet. Además se ha conseguido una solución tecnológica para la instrumentación en vulcanología.

En los siguientes párrafos se profundiza sobre los alcances de este sistema en los aspectos relacionados con su eficiencia (velocidad de transmisión de throughput de los datos) y eficacia (desempeño sin intervención humana en ambientes reales de trabajo).

5.1 ESTACIONES REMOTAS

Una estación remota tiene las siguientes características:

Características Operacionales:

- Operación con tecnología E-GSM/GPRS/EGPRS dentro del área de cobertura del operador.
- Velocidad de transmisión de datos (throughput) alrededor de 100Kbps.
- Conexión con protocolo de capa de transporte TCP y UDP.
- Señales de transmisión de temperatura, aceleración y fotogramas de imagen en tiempo real.
- Tasa de transmisión de imágenes alrededor de 6 por minuto.
- Modo de operación nocturno de imagen mediante infrarrojo.
- Máxima resolución de imagen de 640*480
- Rango de medición de temperatura de 0°C - 150°C
- Medición de aceleración tri-axial, con frecuencia de muestreo de 200Hz.
- Almacenamiento de datos de aceleración y temperatura en formato FAT-32.
- Reprogramación de microcontroladores.
- Recarga automática de batería mediante algoritmo.
- Información de estado del sistema mediante interfaz RS-232.
- Indicación de estado de funcionamiento mediante dos LEDs pilotos.
- Reconexión automática del enlace tras una falla en la red.

Características Eléctricas:

- Fuente de alimentación de tarjeta de control en el rango de 3.5V-4.5 V DC
- Consumo en operación de transmisión máximo 200mA
- Fuente de alimentación de motores de 9V DC con consumo de corriente en operación de 150mA.
- Cargador de batería con voltaje de salida de 6-30 V DC.

Características Físicas:

- Tamaño de caja sin motores de: 115mm Largo, 75mm ancho, 50mm alto.
- Tamaño de caja con motores de: 110mm Largo, 73mm ancho, 132mm alto.
- Tamaño de porta acelerómetro: 70mm Largo, 70mm ancho, 40mm alto.
- Peso completo del 650g.
- Color: Azul, Negro y Plateado.

Figura 51 Dimensiones de la caja de soporte (vista superior).

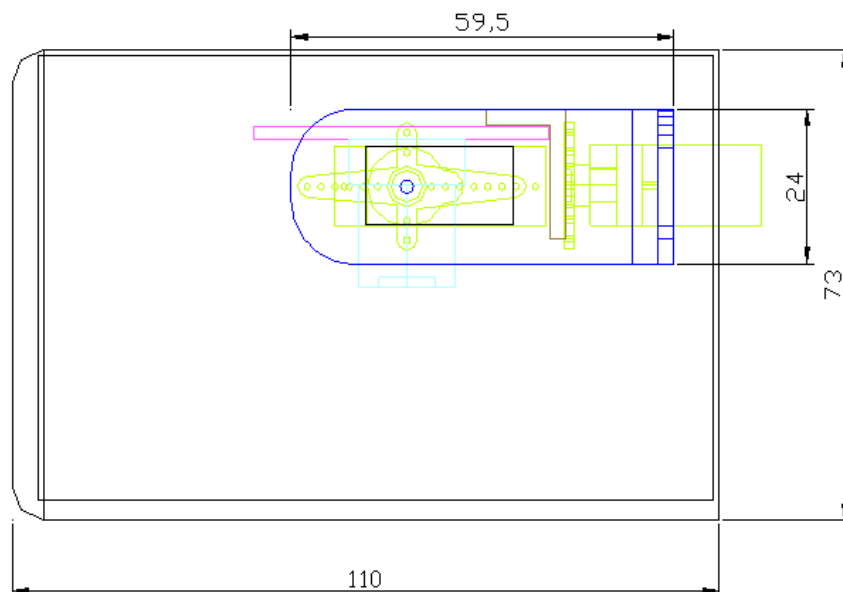


Figura 52 Dimensiones de la caja de soporte (vista posterior).

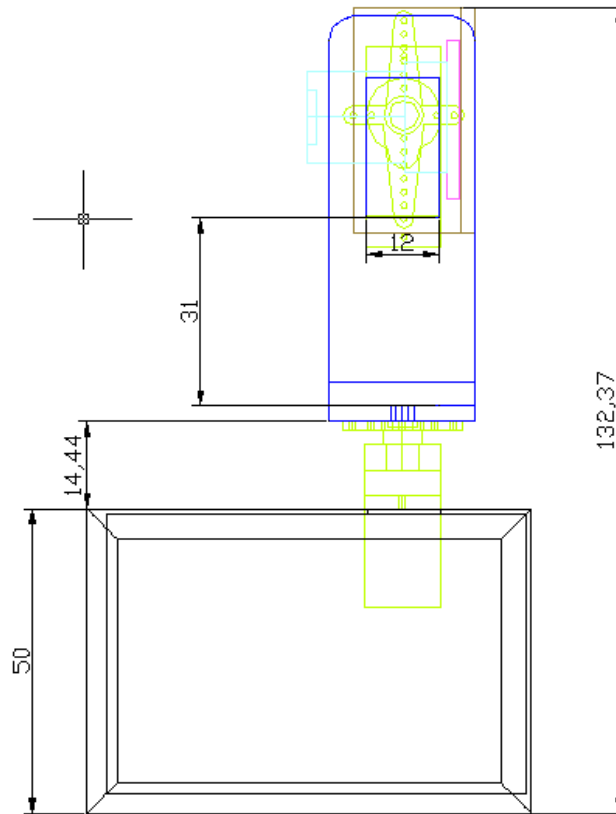


Figura 53 Dimensiones del soporte para el acelerómetro (vista lateral).

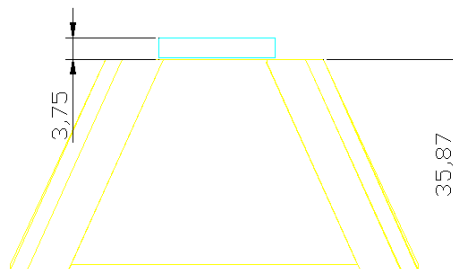
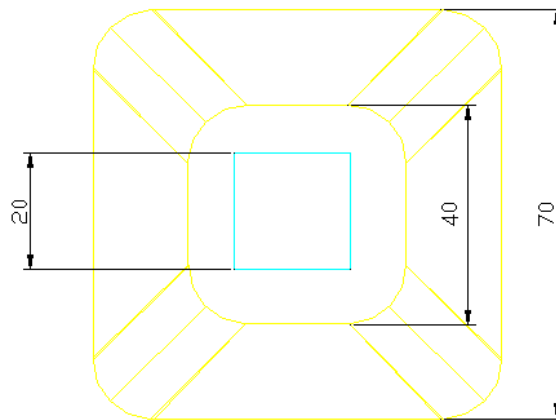
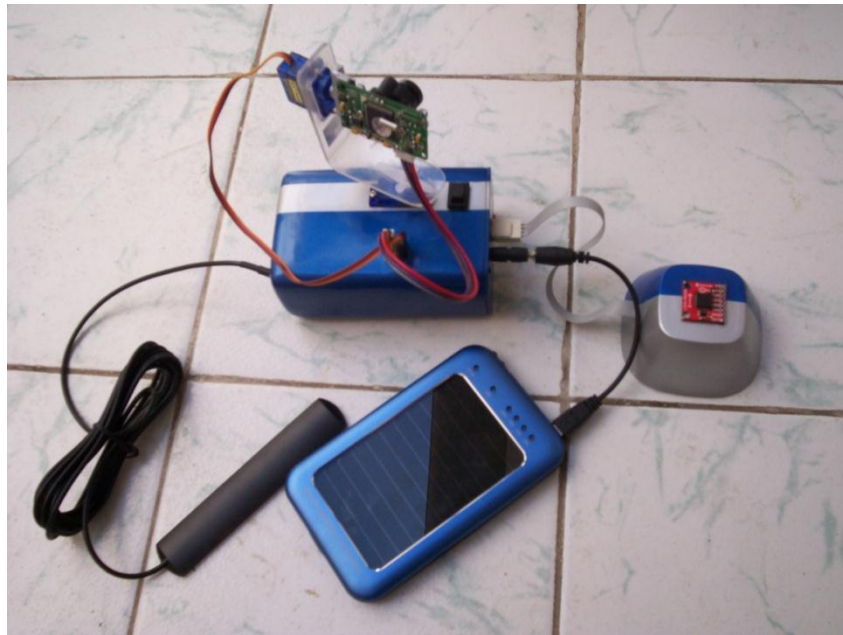


Figura 54 Dimensiones del soporte para el acelerómetro (vista lateral).



La siguiente figura ilustra una estación remota ensamblada con todos sus accesorios:

Figura 55 Estación remota.



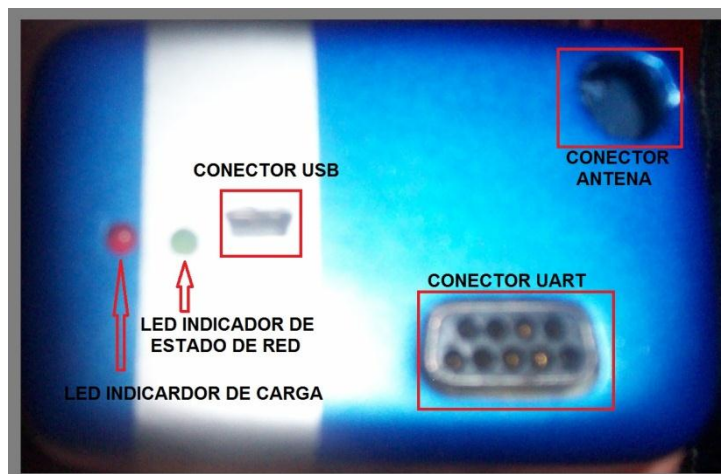
5.1.1 Descripción de la Estación Remota

Una de las partes importantes dentro de la estación remota es la caja donde se alojan la tarjeta de control, modem, baterías, memoria, entre otros.

En la figura siguiente se ilustra la parte frontal de la caja, en ella se observan:

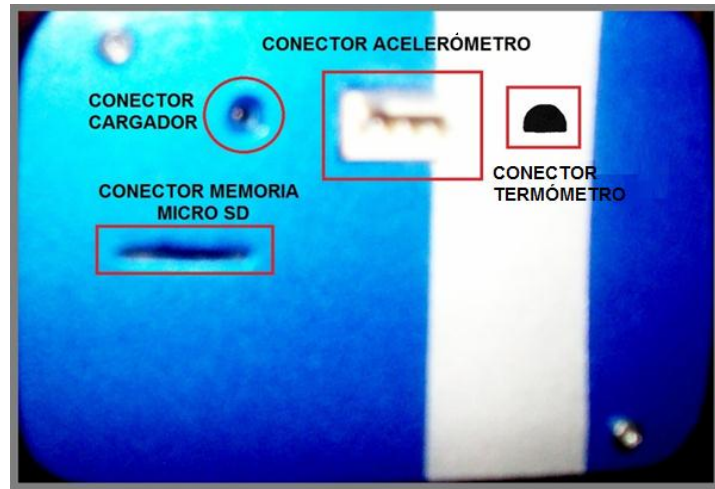
- El **conector antena**, la cavidad por donde la antena del modem tiene su lugar nombrado.
- El **conector UART**, a través de esta interfaz se accede al sistema para consultar los estados de operación.
- El **conector USB**, este es una conexión directa hacia la interfaz USB del modem, también se utiliza como conector de carga de batería.
- El **LED indicador de estado de red**, este indica el estado de enlace con la red de telefonía móvil. Si el LED parpadea indica enlace con la red GPRS/EDGE.
- El **LED indicador de carga**, indica el estado cargando o no, según si esta prendido o apagado respectivamente.

Figura 56 Conectores de la cara frontal de la caja.



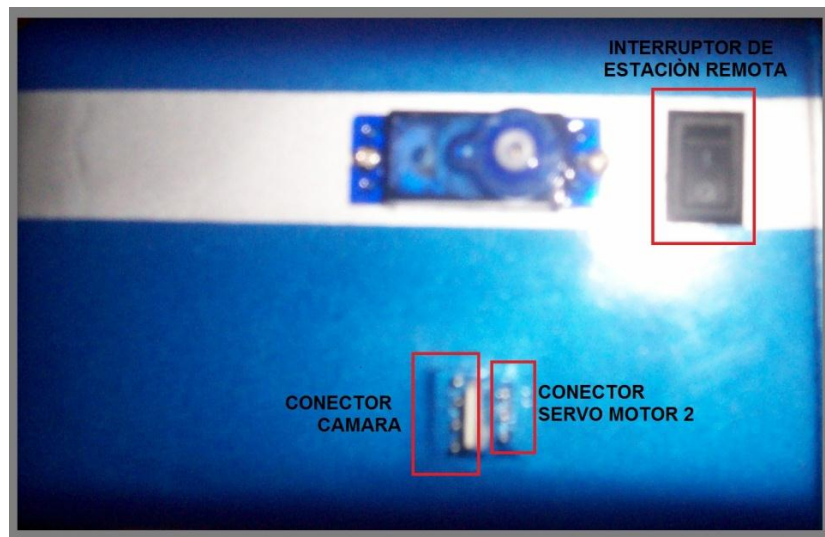
En la cara posterior de la caja se dispone de cuatro conectores tal como se muestra en la figura.

Figura 57 Conectores de la cara posterior de la caja.



A la cara superior de la caja le corresponde alojar dos conectores pertenecientes a la cámara y el servo motor 1. También se aloja el interruptor y la cavidad para el motor1. En la figura se muestra la cara superior de la caja.

Figura 58 Conectores de la cara superior de la caja.



La tarjeta de control, tiene montaje superficial de doble capa. En la capa superior figura 50 se destacan las siguientes partes:

- El **conector modem**, como su nombre lo indica aloja al modem Q2687, corresponde a un conector p5k de 100 pines.

- El **conector de programación**, la función de éste es la de permitir la entrada de las señales de programación a los controladores.
- El **dispositivo de 6 interruptores**, a cada par de interruptores se les ha dado un nombre dependiendo de la función que realiza:

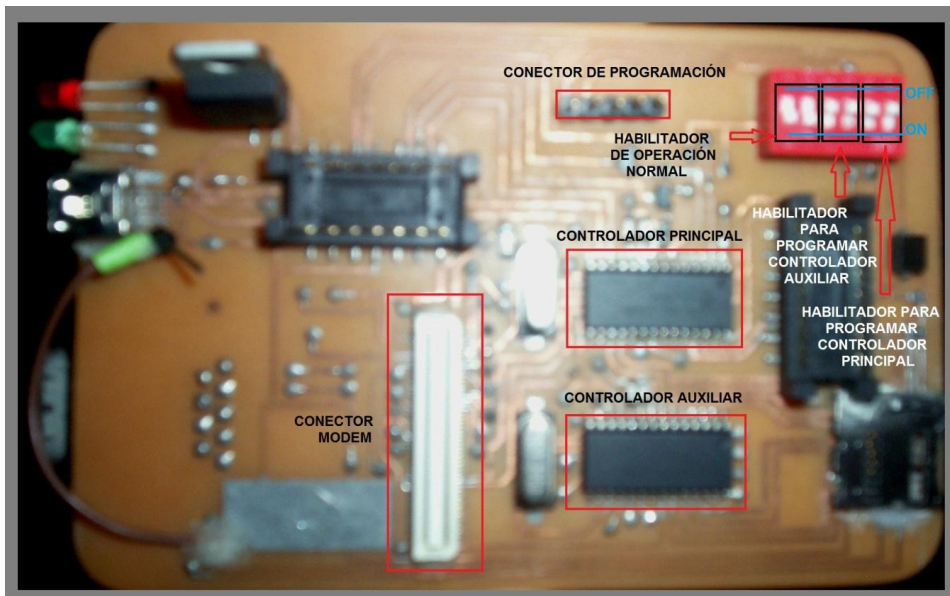
Habilitador de operación normal: debe estar en estado “ON” para funcionamiento normal y en estado “OFF” para programación de cualquier controlador.

Habilitador para programar controlador auxiliar: se debe llevar al estado “ON” si y solo si se desea programar el controlador auxiliar.

Habilitador para programar controlador principal: se debe llevar al estado “ON” si y solo si se desea programar el controlador principal.

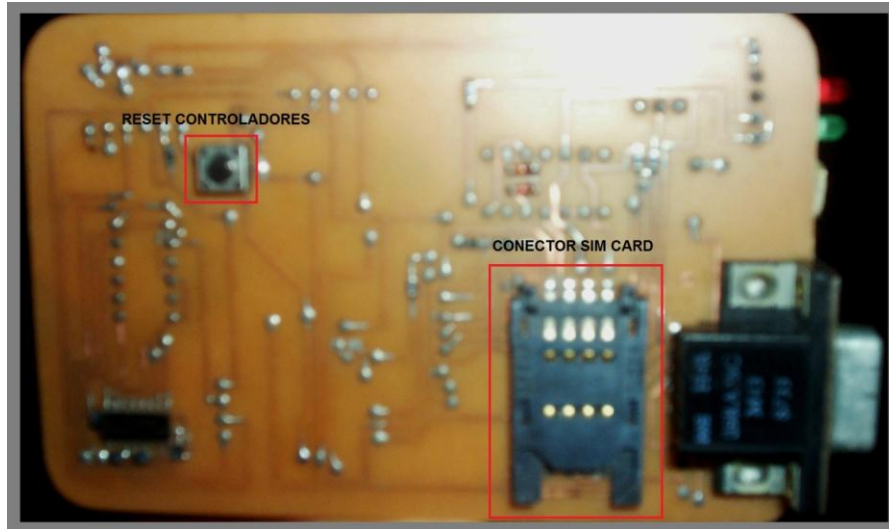
Los controladores principal y auxiliar también se ilustran.

Figura 59 Conectores y elementos de la cara superior de la tarjeta de control



A la capa posterior de la tarjeta de control le corresponde tanto el conector donde se aloja la SIM card (Para esta aplicación se dispone de una SIM card de Movistar activada en un plan de datos) como el pulsador de reset de los controladores.

Figura 60 Conectores y elementos de la cara superior de la tarjeta de control.



5.2 ESTACIÓN CENTRAL

La estación central consiste básicamente en un ordenador equipado con un software diseñado y compilado en MATLAB. Las características básicas de este software son:

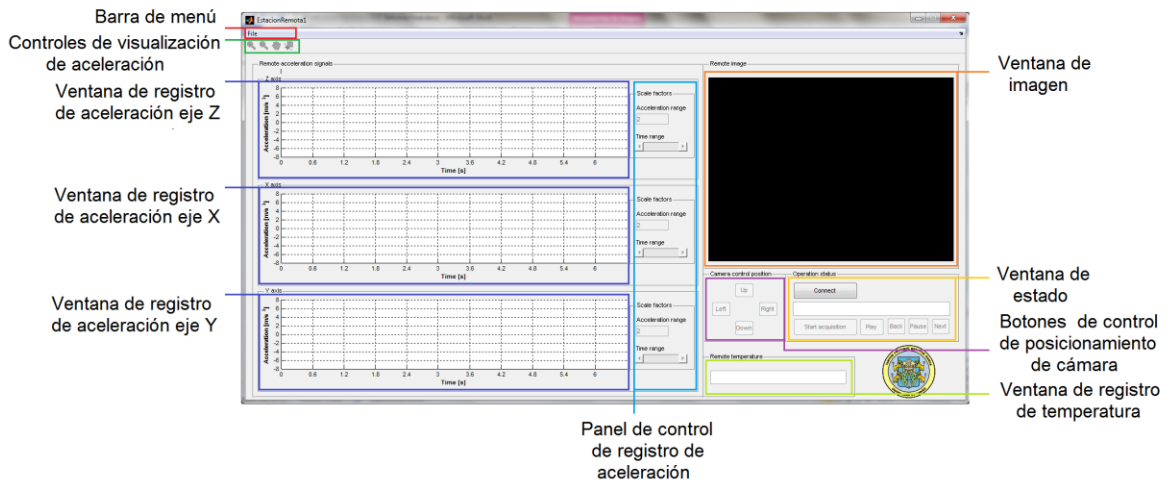
Características:

- Desarrollo MATLAB.
- Conexión con protocolo de capa de transporte TCP y UDP.
- Representación visual de los datos de temperatura, aceleración e imagen monitoreados en tiempo real por medio de una interfaz gráfica amigable.
- Opción de almacenamiento de la información de imagen en una base de datos de archivos jpg.
- Opción de almacenamiento de la información de aceleración y temperatura en una base de datos como un archivo de texto.
- Presentación de información del estado de la conexión del sistema.
- Reconexión automática del enlace tras una falla en la red.
- Presentación de la imagen y aceleración monitoreadas en tiempo real en la página web <http://em.dyndns-server.com>.
- Control de posición de motores desde interfaz de usuario.
- Control de posición de motores desde la página web.

5.2.1 Descripción de la Interfaz Gráfica

El programa GUI (Guide User Interface) desarrollado con sus respectivas partes se muestra en la siguiente figura:

Figura 61 Interfaz gráfica del Software de adquisición de datos.



En esta figura, se muestran las partes principales del programa, cuya funcionalidad básica está descrita en seguida:

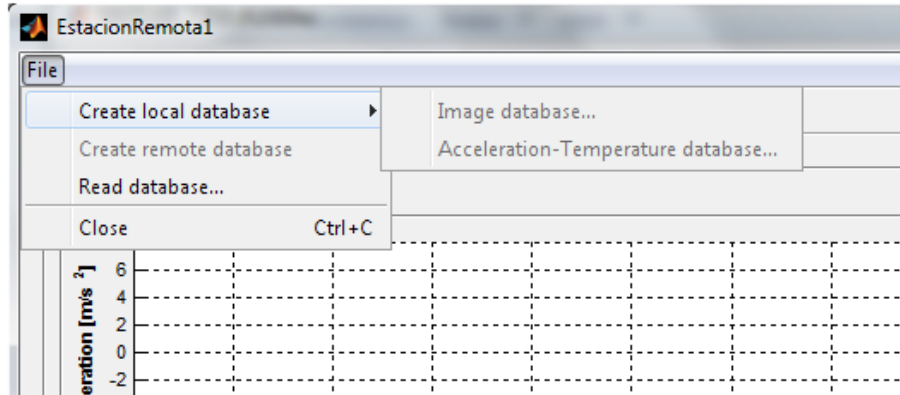
- La **Barra de menú**, En esta barra se ubica el menú **File**, el cual despliega las opciones de:

Create database / Imagedatabase...: esta opción permite habilitar la creación de una base de datos con la información de los archivos de imagen con extensión .jpg captadas por la estación remota.

Create database / Acceleration-Temperature database...: esta opción permite habilitar la creación de una base de datos de temperatura y aceleración en un archivo de texto.

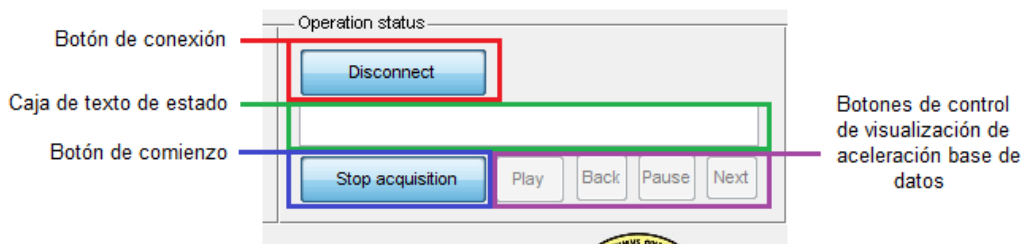
Read database...: esta opción provoca que la información almacenada en una base de datos de aceleración y temperatura se registre en las respectivas ventanas de visualización.

Figura 62 Barra de menú en la GUI Estación Remota 1.



- Los **controles de visualización de aceleración**, están debajo de la barra de menú y permiten manipular la forma de onda de aceleración para dar zoom de acercamiento y alejamiento así como un barrido en los valores de los ejes de abscisas y ordenadas.
- La **ventana de imagen**, se halla en la sección derecha superior de la ventana principal. En esta ventana se visualiza la imagen registrada por la cámara de la estación remota.
- La **ventana de conexión**, se ubica debajo de la ventana de imagen en el lado derecho. Esta indica información básica sobre el estado del sistema remoto, posee el botón de conexión "Connect" el cual se usa para abrir los sockets UDP y TCP, y el botón de comienzo "Start acquisition" que habilita al servidor para comenzar a adquirir datos. Esta ventana también posee un conjunto de cuatro botones "Pause", "Back", "Pause" y "Next" los cuales permiten realizar el control de la presentación gráfica de las ondas de aceleración que se leen desde una base de datos.

Figura 63 Ventana de Conexión.



- Los **botones de control de motores**, se ubican debajo de la ventana de imagen en el lado izquierdo. Son usados para posicionar la cámara.
- La **ventana de registro de temperatura**, se ubica en la parte derecha inferior de la ventana principal. En esta se registran los datos de temperatura adquiridos por la estación remota.
- Las **ventanas de registro de aceleración para los ejes Z, X, Y**, ubicadas en la parte izquierda de la ventana principal. En estas se dibujan los registros de aceleración.
- El **panel de control del registro de aceleración**, se ubican exactamente al lado derecho de cada ventanas de registro de aceleración. Se encargan de adecuar el entorno gráfico para la observación de las señales de aceleración (Amplitud y tiempo de visualización).

5.2.2 Descripción de la Página Web

El sitio web posee tres ambientes: el de inicio, el de usuario y el de invitado. A continuación se ofrece una breve descripción de cada uno de estos.

La URL de este sitio web es *http//em.dyndns-server.com*. Con esta se puede acceder desde cualquier navegador. La siguiente figura muestra la página principal cuando el servidor web está activo:

Figura 64 Página principal del sitio web del sistema.



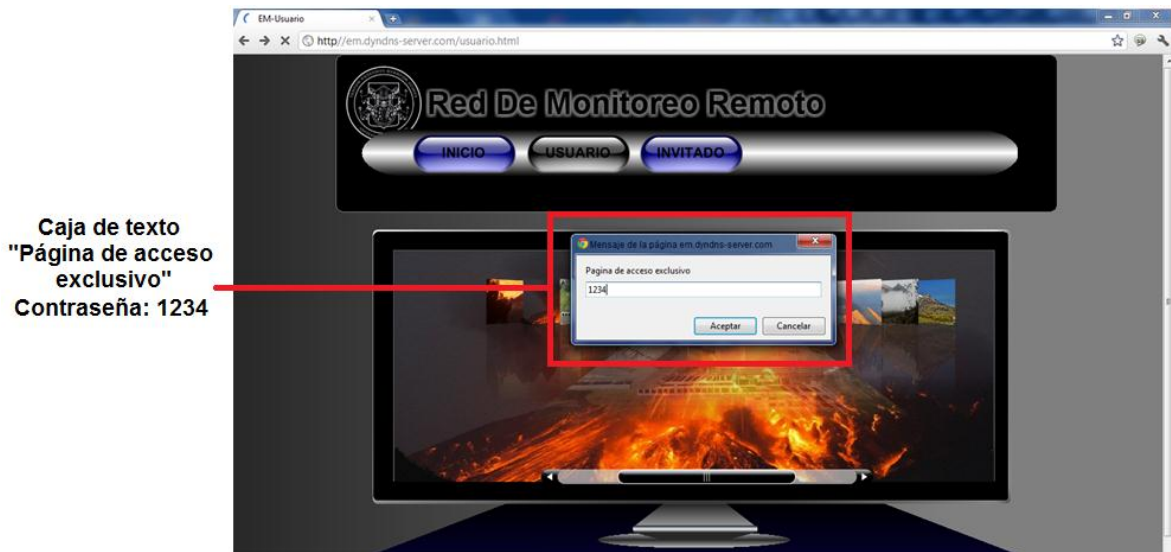
En la parte superior se tiene el nombre del sitio “Red De Monitoreo Remoto”. Exactamente debajo de este, se ha dispuesto tres **botones de acceso**:

- El botón **INICIO**, realiza la petición al servidor web para acceder a la página principal.
- El botón **USUARIO**, este hace la petición por la página Usuario.
- El botón **INVITADO**, peticiona por la pagina Invitado.

Nota: Estos botones están en todas la páginas web publicadas por el servidor.

Al hacer la petición por la página USUARIO se despliega una caja de texto con el nombre “Página de acceso exclusivo” solicitando una contraseña, para el caso “1234”. Tal como se observa en la siguiente figura.

Figura 65 Acceso como usuario en el sitio web.



Si la contraseña es la correcta, el servidor web atiende a la petición con la página mostrada a continuación.

Figura 66 Página de ingreso a una estación remota.



La página de USUARIO se ha bloqueado con contraseña puesto que posee links de acceso a páginas con información exclusiva y botones de control. Como se muestra en la figura 67. Para poder hacer la petición de cualesquier página publicadora de información correspondiente a una estación, se debe girar las imágenes presentes (**Botón de giro**) y seguir la instrucción. Cada página correspondiente a una estación remota está diseñada para la publicación de información captada (imágenes y aceleración en los tres ejes) y control de posición de motores.

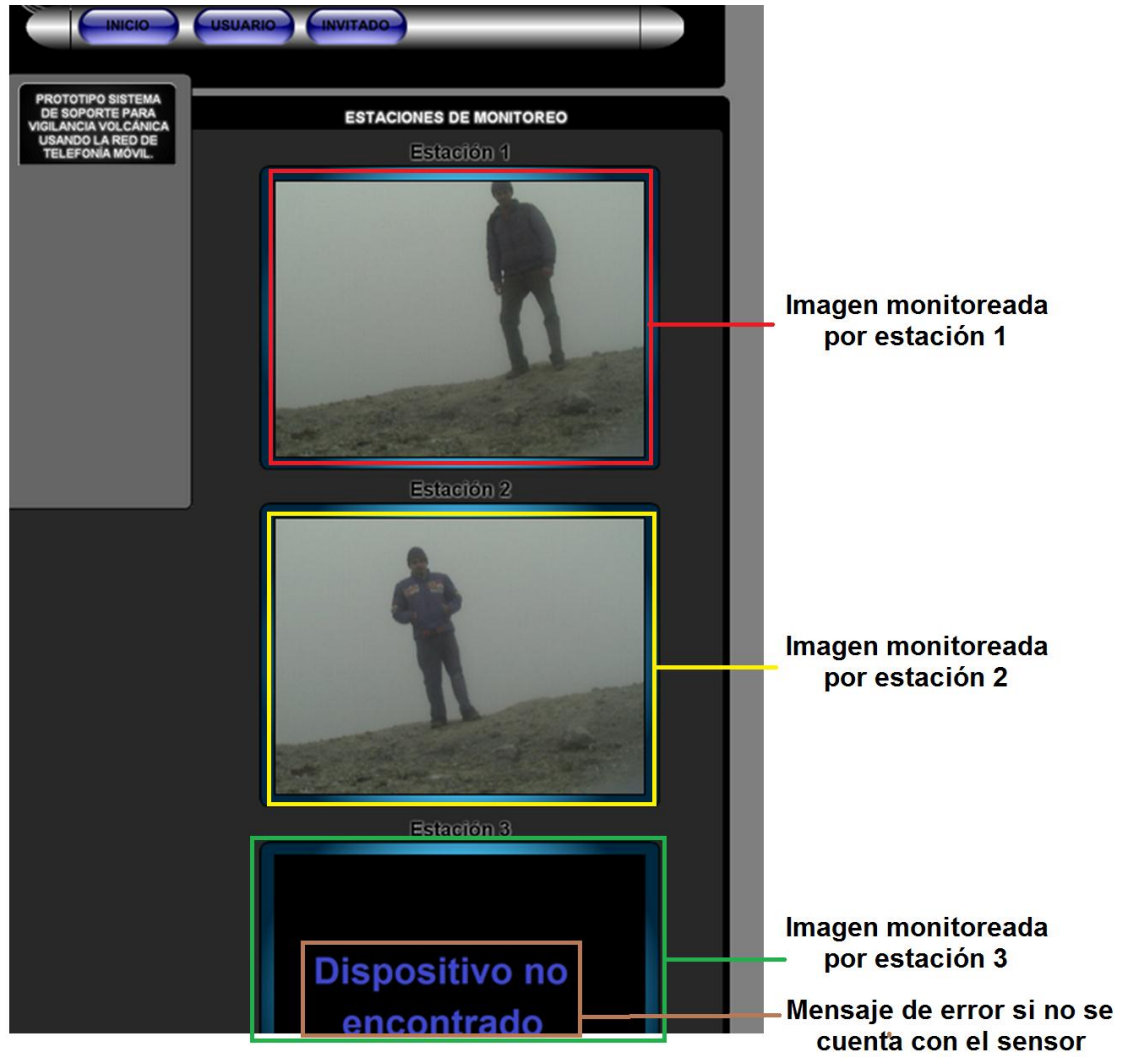
Figura 67 Página de monitoreo de una estación remota.



Cuando la petición se hace como INVITADO, el servidor solo proporciona la información correspondiente a imágenes captadas en cada estación remota tal como lo ilustra la siguiente figura.

Nota: Si la estación remota no cuenta con el respectivo sensor, en la parte donde se publica su información aparece la ventana en fondo negro con el mensaje de error "Dispositivo no encontrado".

Figura 68 Acceso como invitado en el sitio web.



CONCLUSIONES

- El sistema prototipo desarrollado puede aportar información útil en la prevención de desastres ocasionados por la actividad volcánica, permitiendo salvaguardar la vida.
- El protocolo desarrollado cumple con la fiabilidad que exige un sistema de monitoreo volcanológico en sus comunicaciones.
- Con el desarrollo del proyecto se abre la posibilidad de prestar un servicio tecnológico para la región con alta fiabilidad, un buen grado de integración, a un costo aceptable y que además puede ser orientado a cualquier área de aplicación en la que se requiera la transmisión de datos en forma remota.
- En el proyecto se logra la transmisión de fotogramas, señales sísmicas y de temperatura a partir de elementos electrónicos de hardware de bajo nivel con una mínima inversión.
- La solución tecnológica propuesta tiene la propiedad de ser versátil y flexible, con la gran ventaja de no necesitar la implementación de una infraestructura adicional a las ya consolidadas redes GSM/GPRS/EDGE e internet de amplia cobertura en el país.
- Gracias a los grandes avances de la telefonía móvil, las tecnologías inalámbricas se proyectan como los medios de transmisión de datos del futuro.
- El presente proyecto se convierte en un aporte desde la Universidad de Nariño para el desarrollo endógeno de la región con la generación de conocimiento propio.

RECOMENDACIONES

- La construcción de los diferentes circuitos electrónicos se llevó a cabo por medio de métodos artesanales. Por este motivo, se tuvieron dificultades en los montajes finales con el funcionamiento de algunos dispositivos. Es recomendable realizar la fabricación por métodos industriales.
- Existe un cuello de botella en la transferencia de datos de imagen en la interfaz serial de la cámara. Esta interfaz tiene una máxima velocidad de 115.2 kbps, la cual se traduce en una transmisión aproximada de una imagen de 320*240 píxeles en un segundo. No será posible transmitir video por medio de la cámara serial LSY 201. Para aplicaciones futuras en las que se requiera la transmisión de video se recomienda usar otro tipo de cámaras seriales, en las que se encuentran comercialmente disponibles las cámaras JPEG con puertos SPI estándar.
- En trabajos futuros para los cuales se necesite una transmisión remota de datos a velocidades superiores que las obtenidas en este proyecto (es decir, varias veces mayores a los 100 kbps), se recomienda hacer uso de módems de datos que operan dentro de las nuevas tecnologías de comunicación móvil como UMTS, HSDPA y otras de tercera y cuarta generación.

BIBLIOGRAFÍA

Mishra, A. R. *Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimisation 2G/2.5G/3G... Evolution to 4G*. Inglaterra: John Wiley & Sons, LTD. 2004. p. 286.

Ortiz, R., Garcia, A., & Astiz, M. *INSTRUMENTACIÓN EN VOLCANOLOGÍA*. Islas Canarias: Casa de los Volcanes. p. 344.

Stallings, W. *Data and Computer Communications Ninth Edition*. New Jersey: Prentice Hall. 2011. p. 864.

_____ *Comunicaciones y Redes de Computadores Sexta Edición*. New Jersey: Prentice Hall. 2000. p. 764.

Steele, R., & Hanzo, L. *Mobile Radio Communications Segunda edición*. New York: John Wiley & Sons, LTD. 2000. p. 1053.

Cisco Networking Academy. CCNA Exploration 4.0 Acceso a la WAN. [CD-ROM]. 2008. 1 CD-ROM.

Electro-device. LM35 [en línea].

<<http://electro-devices.com/view.php?id=721901235&NumCat=72>>. [Citado 23 de agosto de 2011].

Findchips. PIC18F2550 [en línea].

<<http://www.radiolocman.com/datasheet/data.html?di=72681&/pic18f2550-i>>. [Citado 15 de mayo de 2011].

Grupo Eidos. *Lenguaje HTML* [en línea]. <<http://www.LaLibreriaDigital.com>>. [Citado 5 de septiembre de 2011].

kotear.pe. Memoria Micro SD Scan Disk 1GB [en línea].

<<http://kotear.pe/aviso/256771-memoria-micro-sd-sandisk-1gb>>. [Citado 6 de octubre de 2011].

Link sprite. JPEG Color Camera Serial UART Interface with infrared [en línea].

<<http://www.linksprite.com/upload/file/1274419957.pdf>> [Citado 10 de enero de 2011].

MERCOSURTIME Diario del Paraguay. *Se cumplen 20 años de la primera llamada comercial con telefonía GSM* [en línea].

<<http://www.mercosurtime.com/2011/07/se-cumplen-20-anos-de-la-primera-llamada-comercial-con-tecnologia-gsm>> [Citado el 1 de Julio de 2011].

Microchip. PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet [en línea].
<<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632D.pdf>>. [Citado 15 de mayo de 2011].

National Semiconductor. LM35. [en línea].
<<http://www.national.com/ds/LM/LM35.pdf>>. [Citado 13 de septiembre de 2011].

Sparkfun. LIS3LV02DQ [en línea].
<<http://www.sparkfun.com/datasheets/IC/LIS3LV02DQ.pdf>>. [Citado Febrero de 2011].

_____ LIS3LV02DQ [en línea]. <<http://www.sparkfun.com>>. [Citado 7 de febrero de 2011].

Sierra Wireless Airprime. Q2687 [en línea].
<<http://www.g4soft.net/productsandservices/Q2687.htm>>. [Citado 10 de mayo de 2011].

ServoDatabase. Hextronik HXT 900 – 9g Micro Servo [en línea].
<<http://www.servodatabase.com/servo/hextronik/hxt900>>. [Citado agosto 10 de 2011].

Wikipedia. Micro SD [en línea].
<es.wikipedia.org/wiki/MicroSD>. [Citado 12 de julio de 2011].

_____ Servidor Web [en línea]. <http://es.wikipedia.org/wiki/Servidor_web>
[Citado 3 septiembre de 2011].

Wireless. CPU Quik Q2687 Product Technical Specification. [en línea].
<http://common.leocom.jp/datasheets/160228_79416.pdf>. [Citado 10 de mayo de 2011].

ANEXOS

Anexo A: CD ROM

Se anexa un CD que contiene las siguientes carpetas:

- Carpeta PROGRAMAS MATLAB, con los códigos fuente del software de adquisición y del servidor web desarrollados en MATLAB,
- Carpeta PROGRAMAS CCS, con el programa de los controladores (principal y auxiliar) desarrollado en CCS C Compiler,
- Carpeta FOTOS, con algunas fotografías del proceso de construcción del sistema,
- Carpeta VIDEOS, con algunos videos del proceso de construcción del sistema,
- Carpeta DIAGRAMAS, con los esquemas de los circuitos del sistema.

Anexo B: Manual De Usuario

Anexo C. Manual De Programación De La Tarjeta De Control

Anexo B. Manual De Usuario

Puesta En Marcha Del Sistema:

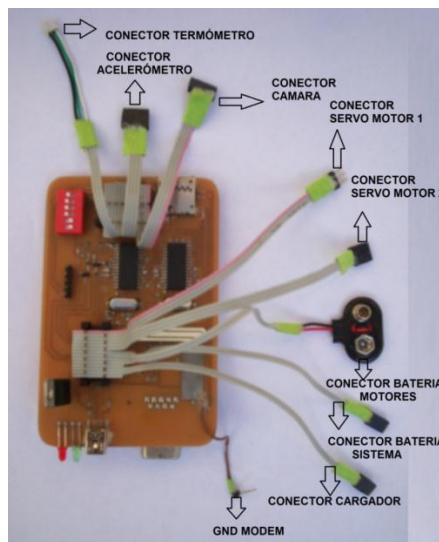
En las siguientes páginas se describe de manera breve como poner en funcionamiento el sistema completo a partir de la manipulación del equipamiento de las estaciones remotas y el software en la estación central.

La explicación se realiza a modo de ejemplo con la puesta en marcha de una de las estaciones remotas:

Procedimiento En La Estación Remota:

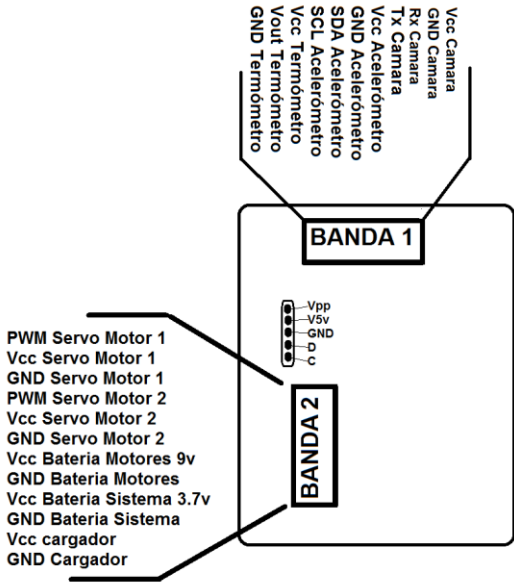
Paso 1: Verificar la conexiones de las bandas. Se debe tener que las bandas de los diferentes conectores se encuentren bien ubicadas en la tarjeta de control. La forma de hacerlo se muestra en la figura:

Figura 1 Disposición de bandas en la tarjeta de control.



Paso 2: Verificar las conexiones de los dispositivos. Se debe revisar el esquema de configuración de cada banda junto con el “pin out” de cada dispositivo a ser conectado. En la siguiente figura se muestra las conexiones de los periféricos, fuentes e interruptor según su ubicación en la tarjeta de control.

Figura 2 Configuración de Conexión de bandas.



El "pin out" de los dispositivos periféricos es:

Figura 3 Pin out de la cámara.

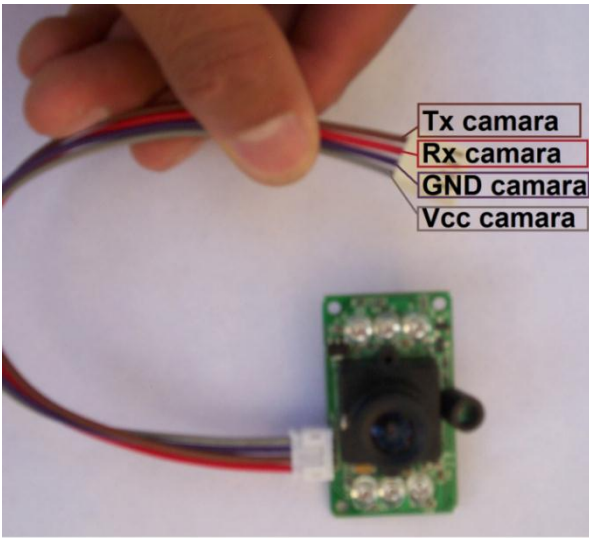


Figura 4 Pin out del acelerómetro.

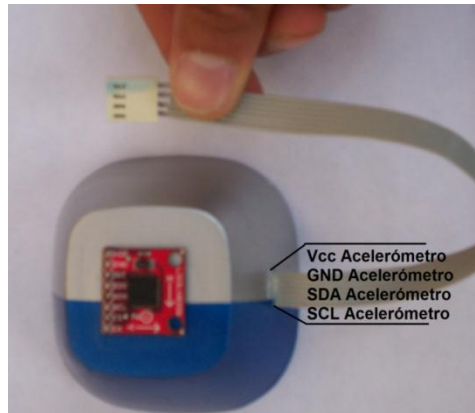


Figura 5 Pin out del servo motor.

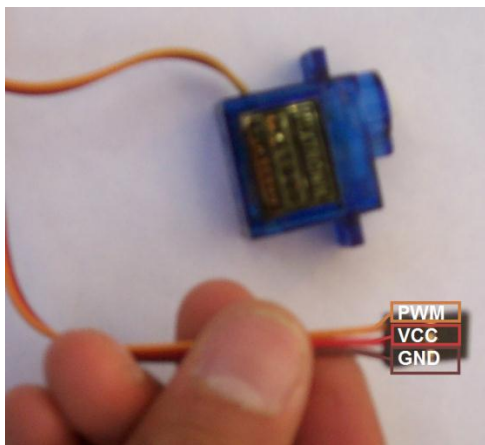


Figura 6 Pin out del sensor de temperatura.

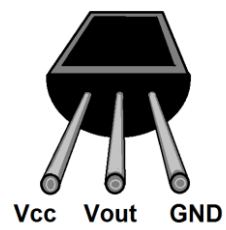
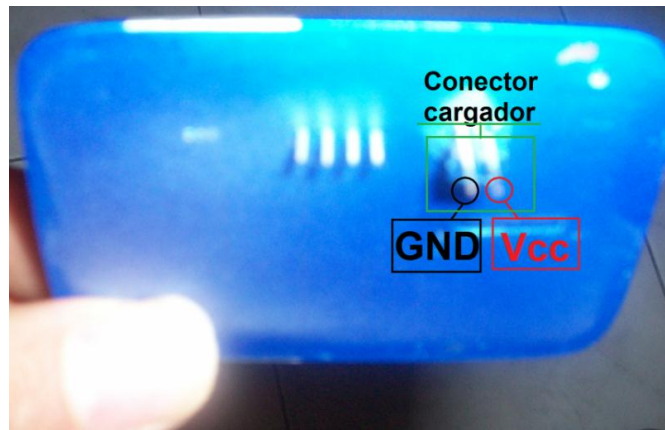
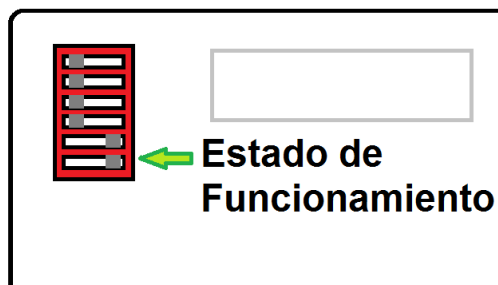


Figura 7 Configuración de conectores para cargador.



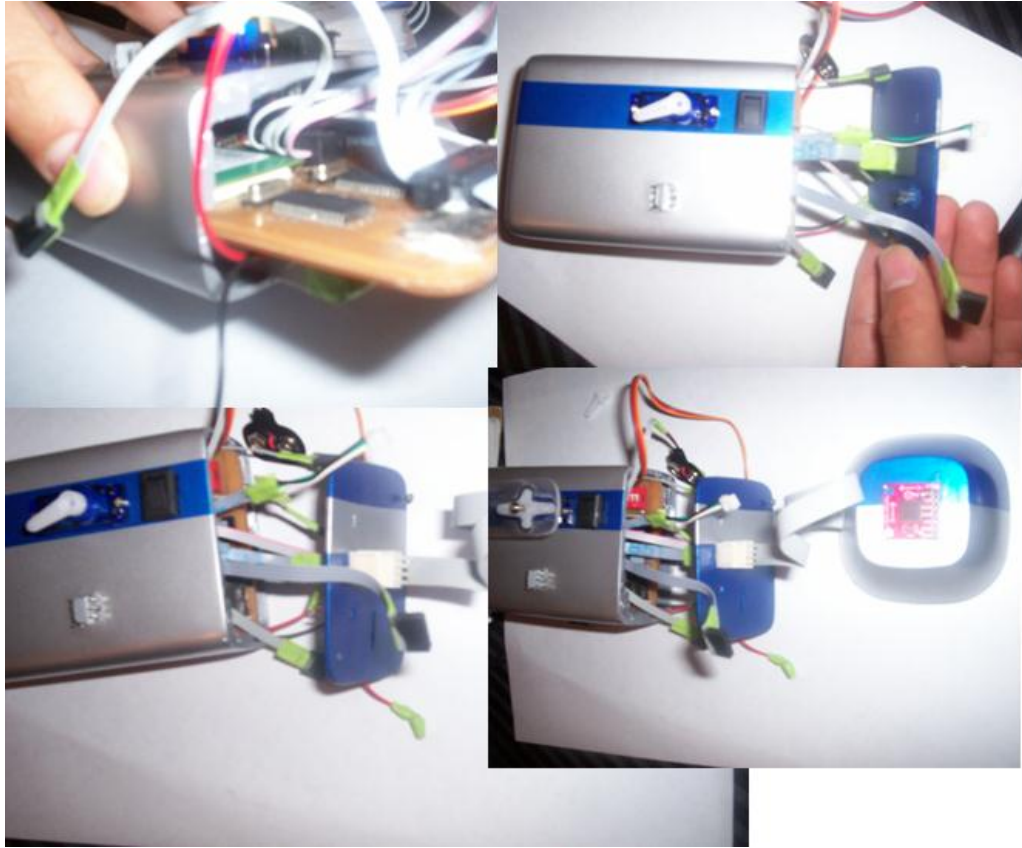
Paso 3: Verificar el estado del dip switch. El funcionamiento de la estación remota no se efectúa si la disposición de los interruptores del dip switch de la tarjeta de control no se realiza como lo muestra la siguiente figura:

Figura 8 Disposición de los interruptores para estado de funcionamiento.



Paso 4: Ubicar la tarjeta de control. Se debe introducir la tarjeta de control dentro de su respectiva caja. Una figura ilustrativa del proceso se indica a continuación:

Figura 9 Ubicación de la tarjeta de control dentro de su respectiva caja.



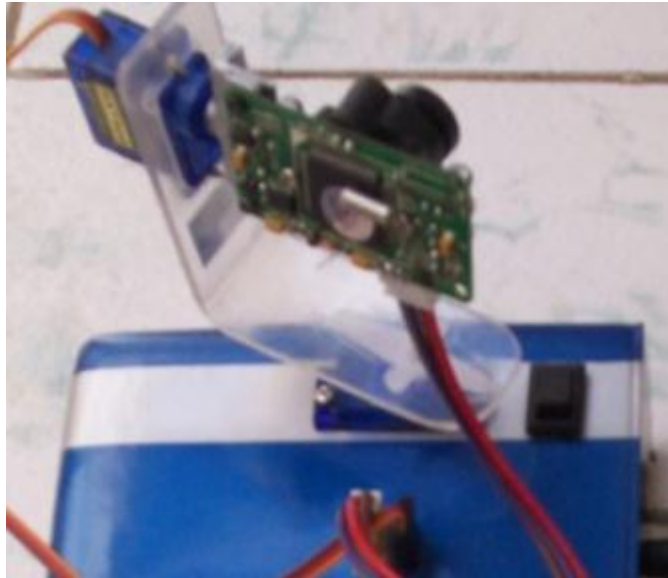
En este proceso, se debe poner mucho cuidado a las conexiones descritas en los pasos anteriores.

Nota: La fuente de Li-ion se ubica debajo de la tarjeta de control en la cavidad inferior y la batería de 9 V sobre la tarjeta de control (encima del modem).

Recomendación: Ubicar la batería de 9 V antes de introducir la tarjeta de control.

Paso 5: Sellar la caja. Después de realizar todas las conexiones pertinentes se sella la caja por medio de su tapa posterior y se ubica los mecanismos de posicionamiento de la cámara tal como se muestra en la figura:

Figura 10 Ubicación para el mecanismo encargado del posicionamiento de la cámara.



Paso 6: Encender la estación remota. Se activa la estación remota por medio del interruptor de encendido.

Procedimiento En La Estación Central:

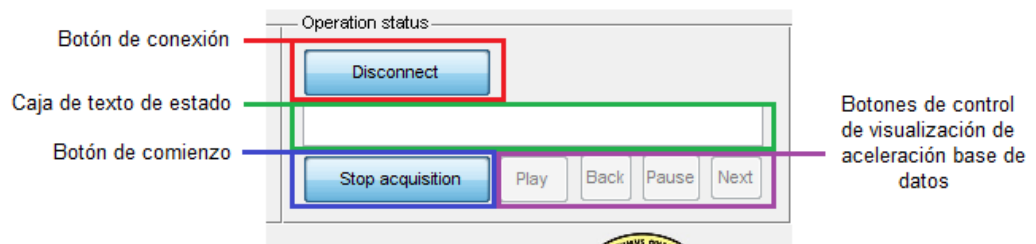
La puesta en marcha de la estación central se divide en dos partes: manipulación de la interfaz GUI y manipulación del sitio web.

Procedimiento De La Interfaz GUI

Paso 1: Iniciar una nueva conexión. Se inicia una nueva conexión entre la estación central y la remota pulsando el botón “Connect” de la respectiva GUI.

Se debe esperar un tiempo mientras se realiza conexión entre las estaciones. Una vez enlazadas, aparece un mensaje sobre la caja del texto de la ventana de conexión confirmando el estado de conexión.

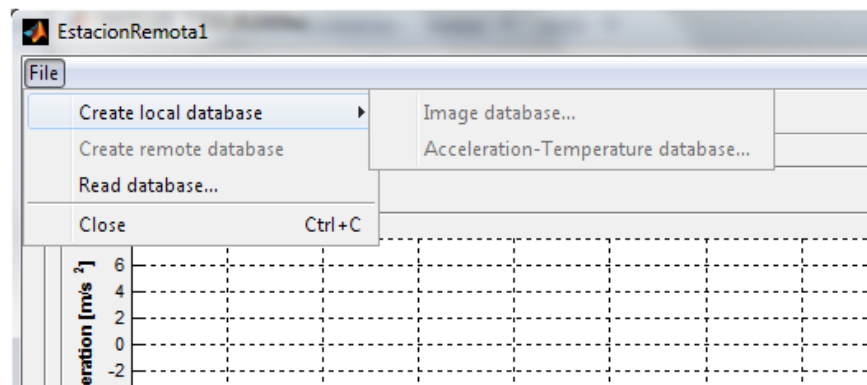
Figura 11 Ventana de Conexión.



Paso 2: Comenzar la adquisición. Se debe pulsar el botón “Start acquisition”. Esto comienza la adquisición y representación de los datos en las diferentes ventanas de la GUI.

Si se desea salvaguardar la información adquirida, se debe escoger las opciones del menú “File” (Create database) según se requiera.

Figura 12 Barra de menú en la GUI Estación remota 1



Si el sistema está en función es posible hacer uso de los recursos de posicionamiento de la cámara o recurrir al control de visualización de aceleración.

Procedimiento En La Página Web

Para acceder al sitio web basta con que el servidor web este habilitado en la estación central.

Paso 1: Descargar la página em.dyndns-server.com. Se debe ingresar la URL <http://em.dyndns-server.com> en cualquier navegador con servicio de internet. Esto provoca la descarga del sitio web diseñado para visualizar la información de las estaciones remotas. El procedimiento de ingreso y uso es intuitivo y se encuentra explicado en las páginas web.

Anexo C. Manual De Programación De La Tarjeta De Control

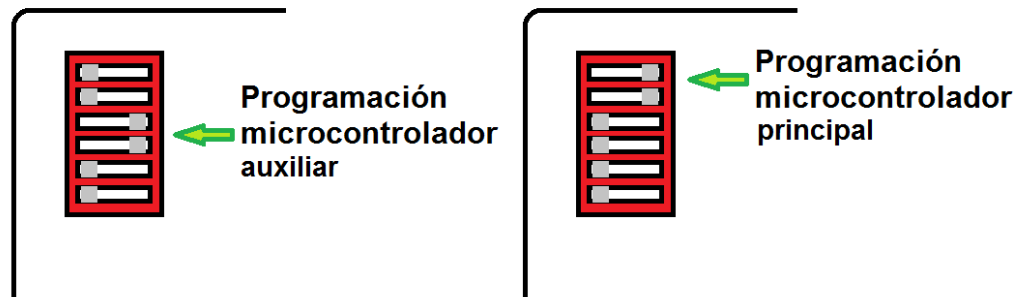
La tarjeta de control está diseñada para permitir la reprogramación de sus dos controladores, de tal forma que se puedan realizar mejoras o utilización de las estaciones remotas en proyectos futuros. A continuación se describen los pasos a efectuar para reprogramar los microcontroladores.

Programación De Controladores

Para programar los controladores es necesario tener en cuenta dos sencillos pasos:

Paso 1: Seleccionar las posiciones de los interruptores del dip switch. Se deben ubicar los interruptores del dip switch en la tarjeta de control dependiendo del controlador que se desea programar. La siguiente figura muestra las dos configuraciones de programación posibles:

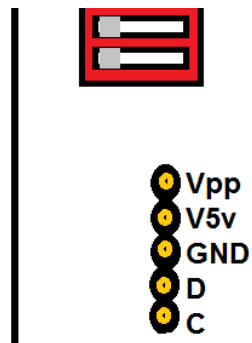
Figura 1 Ubicación de interruptores para programación de microcontroladores.



Paso 2: Conectar el programador de microcontroladores. Se debe realizar la conexión del programador a la tarjeta de control.

En la tarjeta de control, las señales del programador se disponen de la siguiente manera:

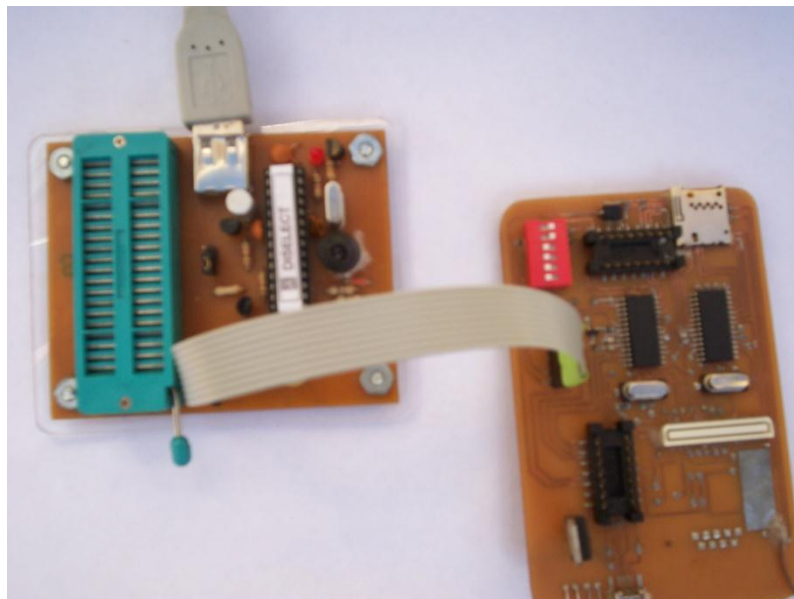
Figura 2 Disposición de señales de entrada para programación de microcontroladores.



A continuación se muestra un ejemplo de la conexión para programar el microcontrolador principal.

Nota: Es recomendable suspender la fuente de alimentación de la tarjeta mientras se realiza el proceso de programación.

Figura 3 Ejemplo de conexión para programar microcontrolador principal,



Paso 2: Programar el microcontrolador. Se debe ejecutar el programa quemador del controlador. Este permite descargar el programa sobre el controlador seleccionado.