

UNIVERSIDAD

Galileo

Guatemala, C. A.

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS, INFORMÁTICA Y
CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

**DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN
SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE BAJO
COSTO POR INUNDACIONES, AL HACER USO DE
TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS PARA LA
TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN Y EMISIÓN
DE ALERTAS**

Esteban Daniel González Marroquín
Juan Pablo de la Cruz Revolorio

Trabajo de graduación presentado previo a optar a los grados académicos de
Ingeniero en Electrónica e Ingeniero en Telecomunicaciones y Redes
Teleinformáticas respectivamente.

Ciudad de Guatemala, agosto de 2012.


Ciudad de Guatemala, 23 de agosto de 2013

Ingeniero
José Eduardo Suger Castillo
Decano FISICC
Universidad Galileo
Presente:

Señor Decano:

Le informo que la tesis: **DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE BAJO COSTO, POR INUNDACIONES, AL HACER USO DE TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS PARA LA TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN Y EMISIÓN DE ALERTAS**, de los estudiantes *Esteban Daniel González Marroquín* y *Juan Pablo de la Cruz Revolorio*, ha sido objeto de revisión gramatical y estilística, por lo que pueden continuar con el trámite de graduación.

Atentamente.



Lic. Edgar Lizardo Porres Velásquez
Asesor Lingüístico
Universidad Galileo

Guatemala, 13 de junio de 2012

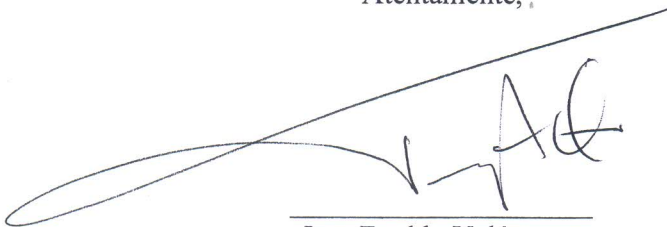
Ing. Oscar Rodas
Director Ingeniería en Electrónica
Universidad Galileo
Presente

Estimado Ingeniero Rodas:

Por medio de la presente, me dirijo a Ud. Para informarle que he brindado asesoría a el estudiante Esteban Daniel González Marroquín, con carné No. 20072712 en la realización de la tesis: " Desarrollo e implementación de un Sistema de Alerta Temprana de bajo costo para inundaciones, al hacer uso de tecnologías inalámbricas para la transmisión de información y emisión de alertas" Después de una evaluación y revisión del trabajo final en mi criterio el trabajo ha sido completado en forma satisfactoria.

Por lo anteriormente expuesto, someto a Ud. En mi calidad de Asesor, el presente proyecto para su aprobación.

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'F. Velásquez', is written over a horizontal line. The signature is stylized and includes a long, sweeping underline that extends to the left.

Ing. Freddy Velásquez
Colegiado 4263

Guatemala, 13 de junio de 2012

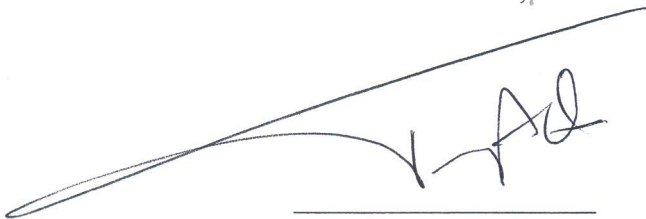
Ing. Alberto Marroquín
Director Ingeniería en Telecomunicaciones
Universidad Galileo
Presente

Estimado Ingeniero Marroquín:

Por medio de la presente, me dirijo a Ud. Para informarle que he brindado asesoría a el estudiante Juan Pablo De La Cruz Revolorio, con carné No. 08000248 en la realización de la tesis: " Desarrollo e implementación de un Sistema de Alerta Temprana de bajo costo para inundaciones, al hacer uso de tecnologías inalámbricas para la transmisión de información y emisión de alertas" Después de una evaluación y revisión del trabajo final en mi criterio el trabajo ha sido completado en forma satisfactoria.

Por lo anteriormente expuesto, someto a Ud. En mi calidad de Asesor, el presente proyecto para su aprobación.

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'FV', is written over a long, thin horizontal line that extends from the left margin towards the center of the page.

Ing. Freddy Velásquez
Colegiado 4263

Guatemala 27 agosto de 2012

Ing. José Eduardo Suger Castillo
Decano FISICC
Universidad Galileo
Presente.

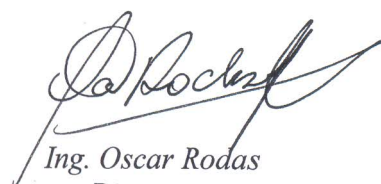
Estimado Ing. Suger:

Por medio de la presente nos permitimos presentar el proyecto de tesis de los alumnos: Esteban Daniel González Marroquín con número de carné 20072712, de la carrera de Ingeniería en Electrónica Informática y Ciencias de la Computación, y de Juan Pablo de la Cruz Revolorio con número de carné 08000248 de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones y Redes Teleinformáticas, titulada:

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE BAJO COSTO, POR INUNDACIONES, AL HACER USO DE TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS PARA LA TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN Y EMISIÓN DE ALERTAS.

Después de haber leído y revisado el proyecto en mención, consideramos que este trabajo ha sido completado en forma satisfactoria, atendiendo a los criterios que rigen esta facultad.

Atentamente,



Ing. Oscar Rodas
Director
Ingeniería en Electrónica.



Ing. Alberto Marroquín
Director
Ingeniería en Telecomunicaciones



Guatemala, 08 de mayo de 2012

Señores
Esteban Daniel González Marroquín
Juan Pablo de la Cruz Revolorio
Presente


Estimados alumnos:

Tengo mucho gusto en informarles que ha sido aprobado su punto de Tesis, previo a optar al diploma de **Ingeniero en Electrónica e Ingeniero en Telecomunicaciones** respectivamente, cuyo título es **“DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE BAJO COSTO, POR INUNDACIONES, AL HACER USO DE TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS PARA LA TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN Y EMISIÓN DE ALERTAS”**.

Al mismo tiempo les informo que ha sido aprobada la designación del **Ingeniero Freddy Velásquez**, como asesor de su trabajo de graduación.

Atentamente,

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS,
INFORMATICA Y CIENCIAS DE LA COMPUTACION


Ing. José Eduardo Suger Castillo
Decano FISICC
Universidad Galileo



Ing. Rodrigo Baessa
Vice-Decano FISICC

vl.



Guatemala, 08 de mayo de 2012

Señores
Esteban Daniel González Marroquín
Juan Pablo de la Cruz Revolorio
Presente

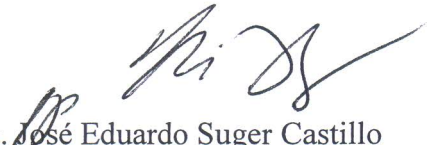
Estimados alumnos:

Tengo mucho gusto en informarles que ha sido aprobado su punto de Tesis, previo a optar al diploma de **Ingeniero en Electrónica e Ingeniero en Telecomunicaciones** respectivamente, cuyo título es **“DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE BAJO COSTO, POR INUNDACIONES, AL HACER USO DE TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS PARA LA TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN Y EMISIÓN DE ALERTAS”**.

Al mismo tiempo les informo que ha sido aprobada la designación del **Ingeniero Freddy Velásquez**, como asesor de su trabajo de graduación.

Atentamente,

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS,
INFORMATICA Y CIENCIAS DE LA COMPUTACION


Ing. José Eduardo Suger Castillo
Decano FISICC
Universidad Galileo



Ing. Rodrigo Baessa
Vice-Decano FISICC

vl.

AGRADECIMIENTOS

De: Juan Pablo

A Dios, Por darme ese aliento y apoyo imposible de describir con palabras.

A mis padres: Mauricio y Antonia, por su amor, apoyo incondicional y sacrificios. Por creer en lo importante que es la educación para el futuro de sus hijos y Guatemala.

A mis hermanos, Mario y Mauricio. Por tantos momentos apreciados y su apoyo incondicional en los buenos y malos momentos.

A mis amigos y amigas cercanos, que gracias a Dios no los puedo contar con los dedos de mis manos. Ocupan un lugar especial en mi corazón.

A mis compañeros de trabajo del proyecto SATGAL, Alberto Marroquín, Freddy Velásquez, Esteban González, Juan René Chacón, Milton Trujillo, Julio Chicas, Marco Luther, Amílcar Veliz y Marvin Rabanales. Por enseñarme lo importante que es el trabajo en equipo y a aplicar mis conocimientos para ayudar a Guatemala.

A los Ingenieros, Alberto Marroquín, Freddy Velásquez, Óscar Rodas y Rodrigo Baessa por su gran apoyo en el desarrollo de la presente investigación.

A mis catedráticos, por dar su mejor esfuerzo y transmitirme sus conocimientos y valores.

A todo el personal de Universidad Galileo, que hacen un excelente trabajo para brindar educación de calidad.

De: Esteban González.

A Dios: Por darme la vida, inteligencia y ayudarme a sobrepasar los momentos difíciles con victoria. Si no fuera por Él, no hubiera sido posible realizar nada.

A mis padres: Sergio y Mary, por estar siempre a mi lado, por sus palabras de ayuda y su amor incondicional.

A mis hermanas Sara y Débora: Por estar conmigo en todo momento y por ser un ejemplo en mi vida.

A mis amigos y amigas: Por su apoyo en situaciones adversas, por sus consejos en momentos oportunos y por sus palabras de aliento.

A cada uno de los antes mencionados, les doy gracias por su apoyo, ya que todos fueron los que le dieron fuerza al motor que me ayudó a terminar esta carrera.

A mis catedráticos: Por toda su dedicación, orientación y consejo.

A al Licenciado Lizardo Porres y a los Ingenieros Alberto Marroquín, Freddy Velásquez, Marvin Rabanales, Óscar Rodas y Rodrigo Baessa, por su persistente guía, confianza y apoyo. Sin su consejo y orientación no hubiera sido posible culminar esta investigación que fue la base de este documento.

ÍNDICE

CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	
SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA POR INUNDACIONES.....	2
2.1 CONRED Y LOS SAT'S EN GUATEMALA	3
2.2 UNIVERSIDAD GALILEO Y LOS SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA.....	5
2.2.1 SAT - VERSIÓN I	5
2.2.2 SAT – VERSIÓN II – SATGAL.....	6
2.3 BENEFICIARIOS DEL SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA	7
CAPÍTULO III	
TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS	9
3.1 RED INALÁMBRICA DE ÁREA LOCAL	9
3.2 GSM Y UMTS CON ENFOQUE AL USO DE SMS.....	12
3.2.1 HISTORIA	12
3.2.2 FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA GSM	12
3.2.3 CODIFICACIÓN PDU EN SMS	13
3.3 COMANDOS AT.....	16
3.4 TECNOLOGÍA ZigBee	16
3.5 FUNDAMENTOS DE ANTENAS.....	18
CAPÍTULO IV	
INTRODUCCIÓN AL SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA EN UNIVERSIDAD GALILEO.	20
CAPÍTULO V	
ESTACIÓN DE MONITOREO LOCAL	22
5.1 ESTRUCTURA PARA LA Sonda DE INMERSIÓN	23
5.2 Sonda DE INMERSIÓN.....	27
5.3 LÍNEA DE TRANSMISIÓN	29
5.4 ALIMENTACIÓN	30
5.4.1 PANEL SOLAR.....	30
5.4.2 BATERÍA DE CICLO PROFUNDO.....	31
5.5 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.	33
5.6 PANTALLA SH-300	35

5.7 DATALOGGER 504.....	37
5.8 GSM RTU-5011	38
5.9 CONSUMO DEL SISTEMA	39
5.10 NI WSN STARTER KIT	41
CAPÍTULO VI	
OFICINA DE MONITOREO Y PRONÓSTICO	43
6.1 GT-530	45
6.2 MÓDULO TRANSMISOR GPRS.....	46
6.3 LabVIEW	47
6.4 SOFTWARE DE MONITOREO	48
6.4.1 HIDROGRAMAS	49
6.4.2 BOLETINES	50
6.4.3 HISTORIAL	51
6.4.4 AJUSTES	52
6.4.5 ESTRUCTURAS Y ARQUITECTURAS	54
6.4.6 MAPEO DE MEDICIÓN A NIVEL DE ALERTA.....	61
6.4.7 ENVÍO DE MENSAJE DE ALARMA.....	63
CAPÍTULO VII	
METODOLOGÍA SUGERIDA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA.	65
CAPÍTULO VIII	
OBSERVACIONES Y SUGERENCIAS	69
8.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA AL UTILIZAR LA RED MÓVIL CELULAR.....	69
8.2 PROPUESTAS.....	69
8.2.1 GSM/SMS S140.....	69
8.2.2 ARDUINO y ICOMSAT SIM900 GSM/GPRS SHIELD.....	70
8.2.3 PORTÁTILES ROBUSTAS.....	71
8.2.4 VARIANTES PARA LA ESTACIÓN DE MONITOREO LOCAL	72
8.2.6 OBSERVACIONES RESPECTO DE LA Sonda DE INMERSIÓN	75
8.2.7 MÓDULOS DE CAPACITACIÓN VIRTUAL.....	76
8.2.8 MÓDULO ARRAY SMS	76

CAPÍTULO IX

9.2 CONCLUSIONES	77
9.2 RECOMENDACIONES	78
9.3 BIBLIOGRAFÍA.....	79
9.4 ANEXOS.....	81

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Este documento presenta el desarrollo e implementación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) en el campus de la Universidad Galileo, ubicado en el Laboratorio de Mecatrónica de la Facultad de Ingeniería de Sistemas, Informática y Ciencias de la Computación (FISICC). Es una réplica del SAT por inundaciones desarrollado en la Universidad Galileo, SATGAL, implementado en la cuenca del río Coyolate, Escuintla, a través del proyecto DIPECHO VII que se llevó a cabo en el año 2011 en conjunto con la organización no gubernamental Fundación Internacional Acción Contra el Hambre, con el apoyo de la Comisión Nacional para la Reducción de Desastres y el Instituto del Cambio Climático. Proyecto que fue fruto de los estudios que Universidad Galileo ha realizado desde el año 2009.

Este proyecto propone un enfoque tecnológico innovador para los SAT's en Guatemala, el cual se caracteriza por ser el primero en implementar tecnologías inalámbricas para el envío de información de monitoreo, emisión de alertas en tiempo real a ubicaciones remotas, centralización en el análisis y almacenamiento de la información. La tecnología inalámbrica que utiliza este SAT es la red móvil celular, en específico el servicio de mensajes de texto.

Este SAT por inundaciones se presenta por medio de dos grandes elementos que la conforman, las estaciones de monitoreo local y la oficina de monitoreo y pronóstico. La comunicación que se lleva a cabo entre las distintas estaciones de monitoreo local con la oficina de monitoreo y pronóstico, junto con el software de monitoreo, a través de mensajes de texto son algunas de las funciones que permite a este SAT informar en tiempo real a los involucrados el estado de la cuenca.

Además de explicar a fondo el funcionamiento, la instrumentación, la lógica y el software de monitoreo de la réplica del SATGAL en Universidad Galileo, este documento presenta dos secciones de gran importancia, la primera de ellas es una metodología sugerida para la implementación de un SAT, la cual presenta los pasos a seguir para una correcta incursión de este SAT a una cuenca y la metodología realizada con base en las experiencias de proyectos realizados en el pasado.

Finalmente se presenta observaciones y sugerencia que con base en la experiencia de los autores de este documento de Tesis, que fueron parte del equipo de desarrollo e implementación del SATGAL en la cuenca del río Coyolate, creen serán útiles para la continuación en la investigación y desarrollo del sistema y su expansión a múltiples cuencas.

CAPÍTULO II

SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA POR INUNDACIONES.

Un Sistema de Alerta Temprana (SAT) tiene como objetivo informar a las personas involucradas acerca de cambios en las mediciones de las variables que se monitorean, conocidas como amenazas, con suficiente anticipación para que dichos involucrados tomen las medidas necesarias de prevención y mitigación.

El Dr. Juan Carlos Villagrán De León define un Sistema de Alerta Temprana en su documento "Sistemas de Alerta Temprana para emergencias de inundaciones en Centroamérica" de la siguiente manera:

"Los sistemas de alerta temprana tienen como objetivo alertar a la población en caso de un fenómeno natural de proporciones tales que pueda causar daños. Cualquier Sistema de este tipo debe satisfacer el criterio operativo de brindar una alerta con suficiente anticipación para que la población pueda tomar las precauciones mínimas necesarias en relación al fenómeno que se aproxima."

La Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED) define un Sistema de Alerta Temprana como:

"Un medio de generación y comunicación de información que permite a una estructura comunitaria organizada, tomar la decisión de evacuar de forma preventiva, a las autoridades Municipales, Departamentales y de Gobierno, brindar los medios para albergar dignamente a las personas mientras permanecen las condiciones de inundación en sus comunidades."

"Guatemala es uno de los diez países más vulnerables al cambio climático del planeta, por lo que es indispensable crear conciencia en la ciudadanía de su impacto y tomar acciones en el corto plazo" Indico el premio nobel de la paz 2007, Rajendra Pachauri, en un acto oficial que se realizó en la ciudad capital.

Los sistemas de alerta temprana por inundaciones buscan reducir la exposición a amenazas y vulnerabilidades naturales en base a la prevención y mitigación, las cuales se fortalecen en base a las tres funciones que un Sistema de Alerta Temprana debe de cumplir:

- Monitoreo de los caudales del río.
- Análisis de las muestras obtenidas para obtener un pronóstico.
- Emisión de alertas.

Cabe resaltar que no basta con realizar estas tres funciones importantes, para que un Sistema de Alerta Temprana emita una alerta efectiva y anticipada. Este sistema debe cumplir la característica de realizar las tres funciones en un tiempo menor al tiempo de concentración de la cuenca. Para mejor comprensión de este concepto, a continuación se presenta una ecuación que el Dr. Villagrán utiliza en una de sus publicaciones.

$$T_c > T_a = t_1 + t_2 + t_3$$

En donde:

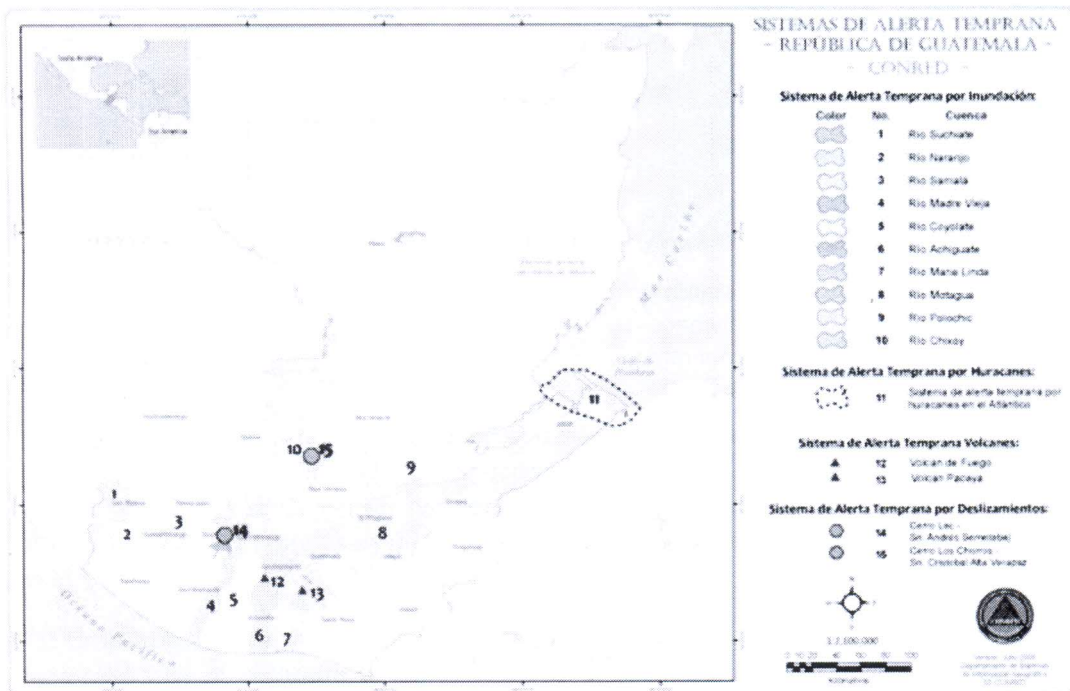
- Tc = Tiempo de concentración de la cuenca.
- Ta = Tiempo total requerido para emitir la alerta.
- t1 = Tiempo para registrar y transmitir los datos.
- t2 = Tiempo para realizar la evaluación y cálculos.
- t3 = Tiempo de envío de información.

Los objetivos principales que un Sistema de Alerta Temprana para inundaciones debe cumplir son:

- Minimizar las pérdidas de vidas humanas.
- Impulsar una cultura de prevención de desastres por medio de la educación y divulgación.
- Reducir el impacto de las inundaciones y desbordamiento de cuencas.
- Alertar a los involucrados con tiempo suficiente para una reacción adecuada, es decir de manera temprana.

2.1 CONRED Y LOS SAT'S EN GUATEMALA

Actualmente la Coordinadora Nacional Para la Reducción de Desastres (CONRED), cuenta con diez sistemas de alerta temprana por inundaciones en todo el país. Estos sistemas de alerta temprana se encuentran instalados en los siguientes lugares:



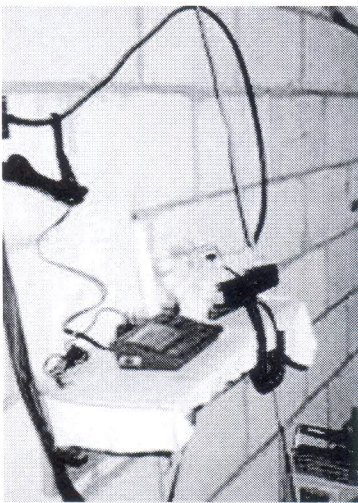
Fotografía 2-1: Mapa de Guatemala y ubicación geográfica de los SAT's.

Estos ríos tienden a desbordarse en época de invierno provocando pérdidas en cosechas, infraestructuras y, en el peor de los casos, vidas humanas.

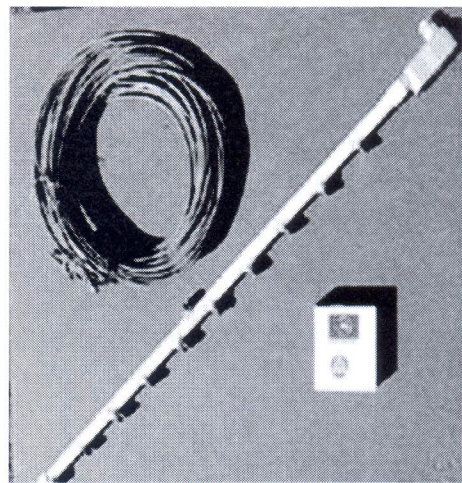
La cuenca del río Coyolate es la cuenca modelo para la implementación de SAT's. Esto debido a la extensión que posee, la cercanía que tiene con la ciudad capital y el acceso que existe hacia la misma. En este lugar se ha logrado implementar versiones previas al SAT que se describe en este documento.

Actualmente el Sistema de Alerta Temprana que se supone se encuentra en las diez ubicaciones, es el desarrollado por el Dr. Juan Carlos Villagrán De León. Este sistema utiliza sondas de inmersión de bajo costo. Para tomar las mediciones del nivel del río, estas sondas de inmersión cuentan con pares de electrodos separados a una distancia establecida. Estos electrodos al hacer contacto con el agua cierran un circuito que permiten el flujo de una señal eléctrica a través de una línea de transmisión, la cual haciendo uso de indicadores LED's, despliegan el nivel actual del río. Estos sistemas están calibrados para que una alarma sonora se active en el momento en el cual el nivel del río represente un nivel de peligro y obligue a las personas a desalojar sus viviendas debido a un posible desbordamiento.

Este sistema de alerta temprana cuenta con los siguientes elementos:



Fotografía 2-1: Base de radio de CONRED ubicada en el hogar de un voluntario.



Fotografía 2-2 Línea de transmisión, sonda de Inmersión e indicador lumínico.

Este SAT lleva en operación más de 15 años en más de 10 cuencas y ha sido de gran beneficio para las personas que habitan a las orillas del río. Gracias a este sistema se ha salvado una gran cantidad de vidas y se ha evitado desastres. Es importante resaltar que este sistema es la base del que se describe en esta tesis y de los prototipos que se mencionarán posteriormente.

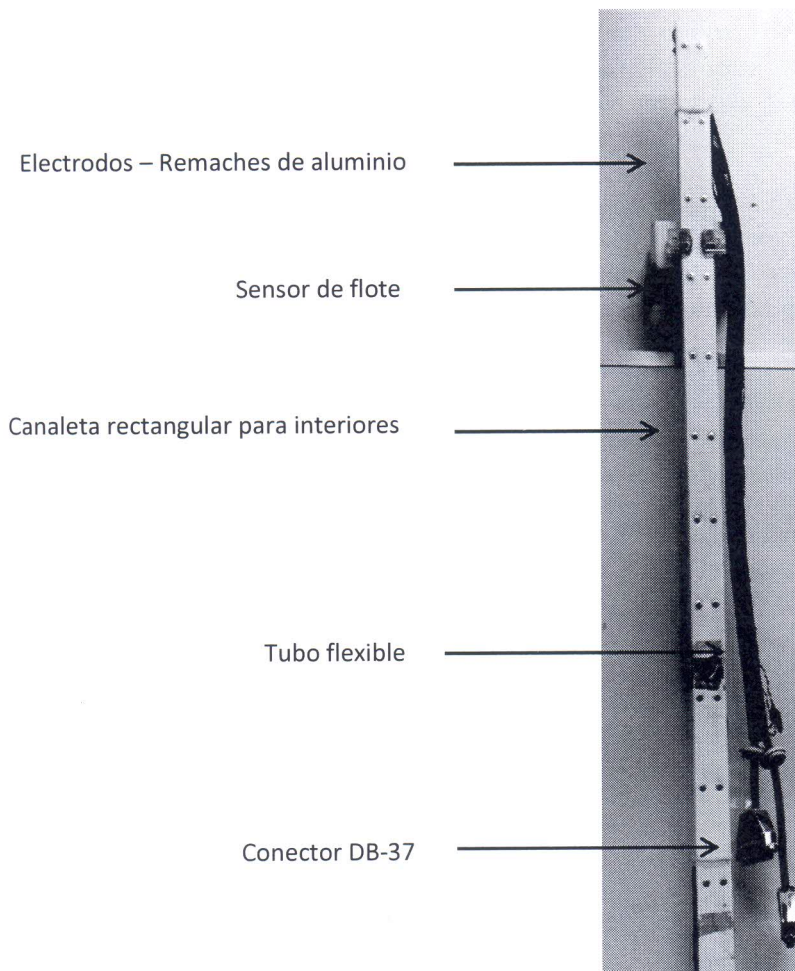
Debido a que este SAT se diseñó en la década de los 90's el método utilizado para registrar la información es en base a plantillas, en las que se registra: fecha, hora, nivel del río, condición ambiental y si se encuentra lloviendo o no. El método que se escogió para transmitir la información acerca de las condiciones del río fue el utilizar bases de radio, las cuales no dependen de ninguna infraestructura adicional. Esta comunicación se realiza a través de voluntarios que han sido capacitados por CONRED para ser operadores de bases de radio, que a su vez reportan a las oficinas de CONRED las condiciones del río.

2.2 UNIVERSIDAD GALILEO Y LOS SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA

2.2.1 SAT - VERSIÓN I

En el año 2009 la Facultad de Ingeniería de Sistemas, Informática y Ciencias de la Computación, FISICC, de Universidad Galileo, decidió involucrarse en los Sistemas de Alerta Temprana, a cargo del Ingeniero Freddy Velásquez, siendo este un tema de gran importancia para la nación debido a que Guatemala es uno de los países más vulnerables al cambio climático.

Los ingenieros Eduardo Corpeño, Amílcar Veliz y Cristian Aguilar decidieron involucrarse y aplicar sus conocimientos para desarrollar e implementar un SAT para inundaciones de bajo costo. Los ingenieros desarrollaron lo que fue la primera versión funcional de la sonda de inmersión, sonda que a grandes rasgos, detecta el nivel del río con base en electrodos. Cada uno de estos niveles discretos son analizados por un circuito que utiliza un microprocesador para el control de alarmas de sonido e indicadores locales de alarmas con LED's.



Fotografía 2-3: Sonda de inmersión - Versión 1.

2.2.2 SAT – VERSIÓN II – SATGAL

Los esfuerzos y logros del Dr. Villagrán y los ingenieros de la Universidad Galileo dieron origen a un nuevo proyecto en el año 2011, en el que la Universidad Galileo en conjunto con la Organización No Gubernamental, ONG, Acción Contra el Hambre, decidieron que era el momento de desarrollar un nuevo Sistema de Alerta Temprana con enfoque tecnológico. Se involucró a jóvenes estudiantes de último año de las Ingenierías en Electrónica y Telecomunicaciones, Esteban Daniel González Marroquín y Juan Pablo de la Cruz, respectivamente, autores de esta tesis. Asimismo, los estudiantes de Ingeniería en Electrónica Milton Steven Trujillo González y Juan Rene Chacón Chacón, quienes investigaron la integración de un pluviómetro automatizado al SAT. A continuación una breve reseña histórica de la versión II del SAT.

En el año 2011 se definieron las siguientes premisas básicas, las cuales fueron la base de investigación, desarrollo e implementación:

- Medir el nivel del río en cinco puntos estratégicos.
- Informar localmente y en tiempo real el nivel del río a los voluntarios.
- Informar vía mensaje de texto a los voluntarios y a entidades responsables del nivel del río y del tipo de alarma en el que se encuentra cada uno de los puntos.
- Documentar los cambios de nivel de las cinco ubicaciones.
- Almacenar información local y centralizada en una oficina de monitoreo.
- Utilizar tecnologías inalámbricas.

Asimismo se realizaron viajes de análisis de campo, los cuales permitieron tener mejor noción de cómo implementar el SAT en la cuenca del río Coyolate. En los meses posteriores se inició la investigación de la instrumentación que se utilizó para tomar mediciones del nivel del río y de las tecnologías inalámbricas que se implementaron para la transmisión de las mediciones y la emisión de alertas.

Posteriormente, en el mes de marzo, en Universidad Galileo, se construyó una estructura de medición para el nivel del río, estructura similar a las utilizadas en los puntos de medición del río Coyolate, este fue un aporte muy importante para el desarrollo y prueba de prototipos.

Después de varios prototipos se logró diseñar una sonda de inmersión funcional, de bajo costo, fácil de remplazar y de construir. También se lograron resultados positivos en el diseño del software de monitoreo y la comunicación inalámbrica.

En el mes de junio se obtuvo una excelente aproximación de lo que sería el proyecto definitivo. Se procedió a solicitar el equipo necesario para la instalación del sistema en cinco puntos de medición y una estación de monitoreo, ubicada en el centro de reducción de desastres de la municipalidad de Santa Lucía Cotzumalguapa. Paralelamente se continuó la investigación para optimizar el sistema.

En el mes de septiembre se obtuvo todo el equipo e instrumentación necesaria para la implementación del sistema. A partir de estas fechas se realizaron los viajes de instalación del sistema y equipos.

En el mes de octubre sucedió una fuerte tormenta tropical, ocasión en que se evaluó el sistema en circunstancias reales. Durante la tormenta el sistema emitió las alarmas esperadas y documento el comportamiento de algunos puntos de medición. En efecto, el sistema funcionó, sin embargo hacían falta ciertos ajustes en la instrumentación, el software de monitoreo y anomalías que las pruebas en condiciones reales permiten detectar.

En el mes de noviembre se procedió a ajustar el sistema y darle mantenimiento, actividad que se recomienda realizar antes y después de las épocas de lluvia.

En diciembre de 2011 finalizó el proyecto, y se espera la continuación del mismo en el año 2012 con el trabajo en conjunto de Universidad Galileo, Acción Contra el Hambre, el Instituto del Cambio Climático y la Municipalidad de Santa Lucia Cotzumalguapa.

2.3 BENEFICIARIOS DEL SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA

Los beneficiarios son todas aquellas personas o entidades con las que se comparte la información recopilada por este SAT, adicionalmente es posible que los involucrados reciban un mensaje de texto, enviados desde la oficina de monitoreo. El SAT que expone este documento es una réplica del que se encuentra en el río Coyolate, sin embargo es importante conocer a quiénes beneficia un SAT, para inundaciones. El Diagrama 2-1 muestra a los beneficiarios en este SAT de manera jerárquica, desde CONRED como ente coordinador nacional hasta los voluntarios como miembros de la red de monitoreo local.

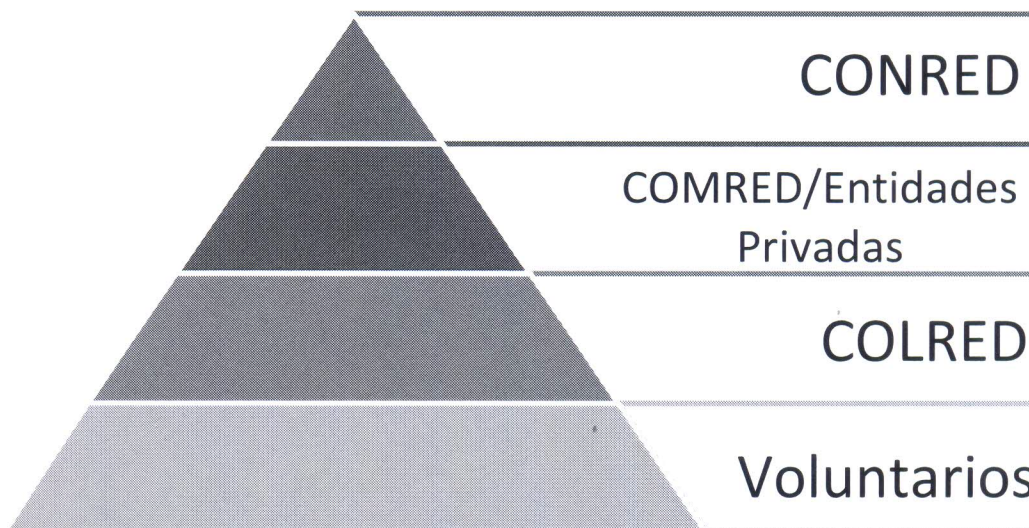


Diagrama 2-1: Beneficiarios del SAT-GAL

A continuación se describe cada uno de los beneficiarios que se mencionan en el diagrama 2-1:

- **CONRED**
Entidad gubernamental que tiene como objetivo prevenir los desastres y reducir su impacto en la sociedad. El personal de esta entidad está capacitado para rescate, coordinar la rehabilitación y reconstrucción de los daños causados por los desastres.
- **Coordinadora Municipal para la Reducción de Desastres (COMRED)**
Encargados de coordinar a todos los COLRED, son capaces de manejar desastres a nivel municipal para brindar ayuda inmediata y reducir riesgos ante desastres de gran magnitud.
- **Entidades públicas y privadas:**
Entidades que pueden o no ser afectados pero poseen los medios para ayudar y auxiliar a las personas que son afectadas por la inundación. Al recibir un mensaje de texto estas pueden llegar a actuar con mayor prontitud. En esta categoría se toman en cuenta entidades como el Ejército de Guatemala, Policía Nacional, Policía Militar de Tránsito, Bomberos Voluntarios, Ingenios, etc.
- **Coordinadora Local para la Reducción de Desastres (COLRED)**
Personas capacitadas para realizar acciones de plan de respuesta para evacuar. Cuenta con equipo de búsqueda y rescate, en caso de que sea necesario utilizarlo. Estas personas son capaces de organizar a los habitantes de la comunidad y proceder con planes de prevención antes que la crecida del río llegue a su ubicación
- **Voluntarios**
Personas que habitan dentro de las comunidades que se localizan a las orillas del río o en lugares que se pueden ver afectados por el crecimiento del mismo. Ellos deben recibir el mensaje de alerta acerca de las condiciones del río en cada uno de los puntos de medición.

CAPÍTULO III

TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS

El Sistema de Alerta Temprana presentado en esta tesis hace uso de dos grandes tecnologías inalámbricas utilizadas hoy en día, Wireless Local Area Network (WLAN) y la red móvil celular. El sistema originalmente utilizaba solamente la red móvil celular, sin embargo se decidió integrar una alternativa inalámbrica para la comunicación a menores distancias. A continuación se presenta información y conceptos básicos de ambas tecnologías.

3.1 RED INALÁMBRICA DE ÁREA LOCAL

Hoy en día el uso la tecnología WLAN es utilizada por muchas personas para diversidad de actividades, desde conectividad básica al internet hasta monitoreo con cámaras inalámbricas. Los dos componentes indispensables para que un equipo pueda comunicarse en una WLAN son:

- Access Point (AP): Dispositivo que brinda conectividad inalámbrica a una red, es decir que proporciona conectividad sin necesidad de que el cliente se encuentre comunicado por medio de un cable con el equipo.
- Wireless Network Interface Controller (WNIC): Equipo capaz de conectar a un cliente a un dispositivo que proporciona conectividad inalámbrica a través de una antena.

Las WLAN utilizan un protocolo para evitar colisiones llamado CSMA/CA Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, a diferencia de algunas redes Ethernet que utilizan un protocolo de detección de colisiones. Básicamente este protocolo utiliza un algoritmo que espera a que el medio no esté en uso, luego espera un tiempo aleatorio para reducir la posibilidad que otros equipos transmitan información al mismo tiempo, esperar nuevamente un tiempo aleatorio, a continuación la información es enviada y se espera el acuse de recibido. Si el acuse de recibida falla, la trama es reenviada.

Las WLAN's pueden trabajar de dos modos, no simultáneamente. El modo ad-hoc es el modo en el que un dispositivo inalámbrico usa cuando desea comunicarse con uno o pocos dispositivos directamente, usado comúnmente en periodos cortos de tiempo.

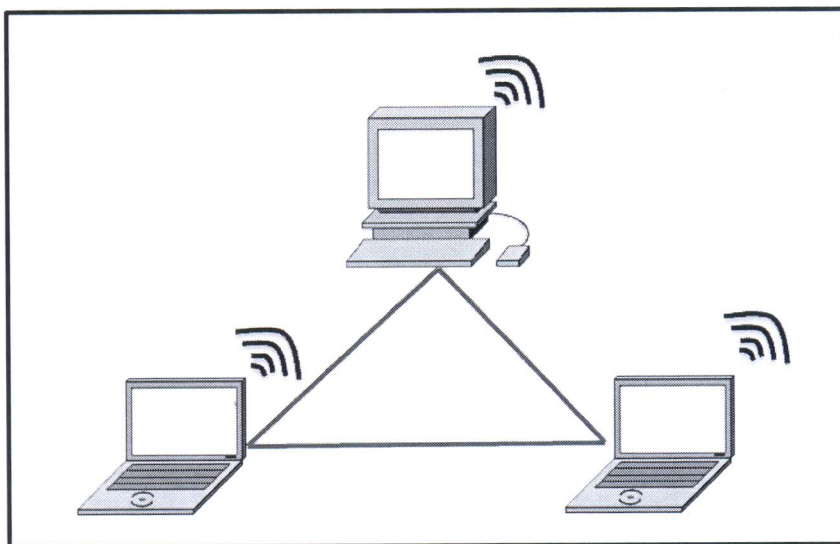


Diagrama 3-1: Topología WLAN en modo ad-hoc

El segundo modo llamado modo de infraestructura se divide en dos ramas Basic Service Set (BSS) y Extended Service Set (ESS). El modo de infraestructura de tipo BSS hace uso de un punto de acceso, el cual se muestra en el diagrama 3-2, para brindar conectividad a los usuarios en el área de cobertura.

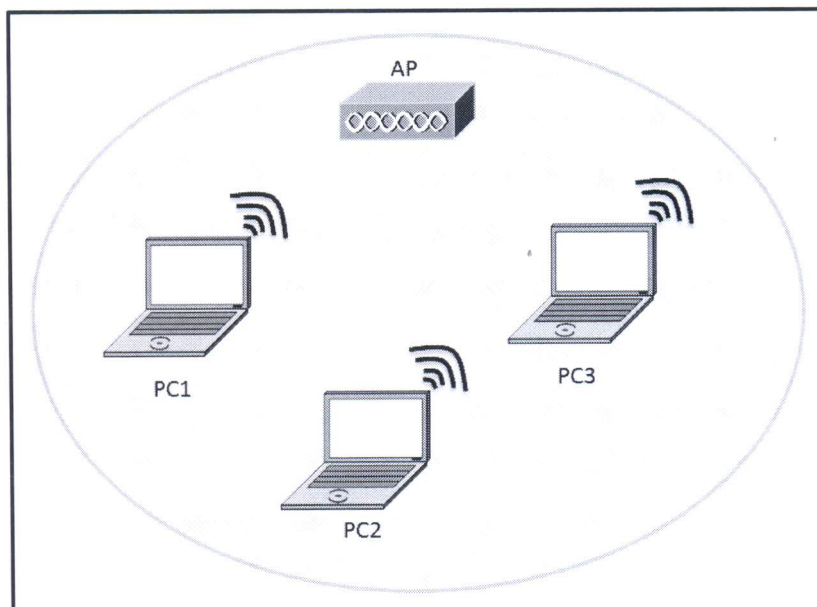


Diagrama 3-2: Topología de una WLAN en modo de infraestructura tipo BSS

En el Diagrama 3-3 se muestra el modo de infraestructura de tipo ESS, el cual brinda conectividad inalámbrica a través de dos o más puntos de acceso. El usuario se conecta a la red inalámbrica a través del punto de acceso que le proporcione una mejor señal.

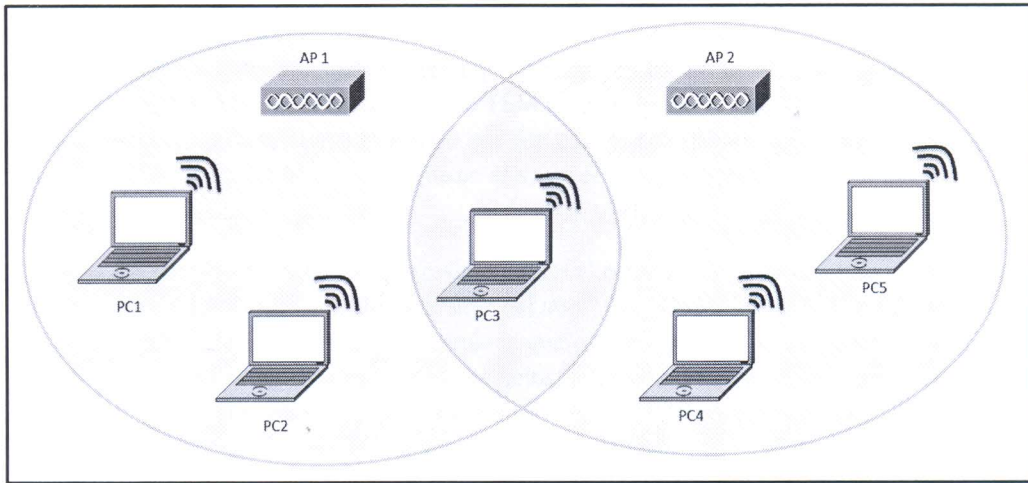


Diagrama 3-3: Topología de una WLAN en modo de infraestructura tipo ESS

Es común el usar el término Wi-Fi como sinónimo de una WLAN, este define toda WLAN que usa la familia de estándares 802.11 de la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), que son los de mayor uso hoy en día. Los estándares 802.11 más comunes se muestran en la tabla 3-1.

Característica	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n
Máxima velocidad	54Mbps	11Mbps	54Mbps	300Mbps
Frecuencia	5GHz	2.4GHz	2.4GHz	5Ghz/2.4GHz
Canales sin traslape	12	3	3	12

Tabla 3-1: Estándares 802.11 comunes

Actualmente la IEEE trabaja en el desarrollo de nuevos estándares 802.11, los cuales vale la pena mencionar debido a que en el futuro pueden llegar a ser útiles en distintas aplicaciones inalámbricas y posiblemente para el proyecto SATGAL.

- IEEE 802.11ac: Estandar para redes inalámbricas de área local que proporciona alto rendimiento en la banda de 5GHz con posibilidad de trabajar velocidades teóricas de 1Gbps.
- IEEE 802.11ad: Estandar que propondrá hacer uso de las bandas de 2.4GHz, 5Ghz y 60GHz para proporcionar velocidades de trasferencia de hasta 7Gbps.
- IEEE802.11aa: Aborda específicamente la transmisión de datos multimedia. Básicamente su objetivo es optimizar la confiabilidad la transmisión inalámbrica del audio sin afectar otros servicios.
- IEEE 802.11af: Este estándar propone utilizar partes del espectro de frecuencias que aún no están en uso, es por eso que también se conoce como “White-Fi”, refiriéndose a las partes “en blanco” del espectro de frecuencias.

3.2 GSM Y UMTS CON ENFOQUE AL USO DE SMS

El Sistema de Alerta Temprana descrito en este documento utiliza la red móvil celular para la comunicación de estaciones de monitoreo local con una oficina de monitoreo y pronóstico. La red móvil celular también es utilizada para la emisión de alertas las cuales reciben los beneficiados en sus teléfonos celulares.

En ambos tipos de comunicación el servicio de mensajes cortos es utilizado, conocido por su nombre en inglés Short Message Service (SMS). Por lo tanto, es importante conocer las distintas tecnologías de telefonía móvil, lo que fue y lo que ha llegado a ser hasta hoy en día. Se enfatiza en el estándar GSM debido a que en él surge el servicio SMS.

3.2.1 HISTORIA

El origen del servicio SMS reside originalmente en el estándar de telefonía móvil digital GSM (Group Special Movil) oficializado alrededor del año 1992. GSM define la segunda generación en telefonía móvil debido a varias limitaciones que presentaba la primera generación. En esta segunda generación se integraron nuevos servicios, tales como la capacidad de transmitir tanto datos como voz a una velocidad de 9.6kbps, el uso de SMS, manejo de correo electrónico, desvío de llamadas, restricción de llamadas, llamadas tripartitas, entre otros.

En el año 2001 surge la tecnología GPRS (General Packet Radio Service) también conocida como generación 2.5 en la cual se obtiene tasa de transmisión entre 56kbps y 114kbps, servicios tales como Wireless Aplicación Protocol (WAP), Multimedia Messagin Service (MMS) y conectividad a internet. Posteriormente surge la tecnología de tercera generación, 3G, regida por el estándar UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) el cual se dice que soporta una velocidad teórica de 42Mbps, que permite utilizar aplicaciones como videoconferencias, es decir la transmisión de video y audio en tiempo real.

3.2.2 FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA GSM

En la telefonía móvil se presenta una limitación respecto del rango de frecuencias. No es posible utilizar una sola antena para recibir las señales de varios usuarios a la vez, debido a que el espectro de frecuencias es finito y el ancho de banda asignado a cada proveedor de servicio no sería suficiente, por lo que los conceptos de reutilización de frecuencias, estación base y celdas son importantes para comprender el funcionamiento de tecnologías de segunda generación GSM y posteriores.

Reutilización de frecuencia se refiere al uso de varias antenas, en la que se usan distintas frecuencias para antenas vecinas pero las mismas para antenas no vecinas, por lo tanto los canales utilizados por cada antena son distintos a los utilizados por las antenas adyacentes. De esta manera se optimiza la banda asignada a cada operador.

Una estación base también conocida como Base Station (BS) consiste de una o varias antenas con la capacidad de proporcionar cobertura de telefonía móvil a un área geográfica, esta área se conoce como celda, su diagrama pictográfico es un hexágono.

En GSM se incorpora el controlador de estación base o BSC (Base Station Cotroller) el cual se encarga de funciones como el reparto de frecuencias y control de potencia, este actúa como intermediario entre el núcleo de la red móvil y las estaciones base.

Con la reutilización de frecuencias entre estaciones base es posible cubrir una alta demanda de tráfico en una red de telefonía móvil. El ente que realiza el análisis lógico, enrutamiento de llamadas, es el núcleo de red también conocido como NSS (Network and Switching System), este permite establecer la comunicación entre dos usuarios o terminales. A continuación se presenta una topología básica de la red celular

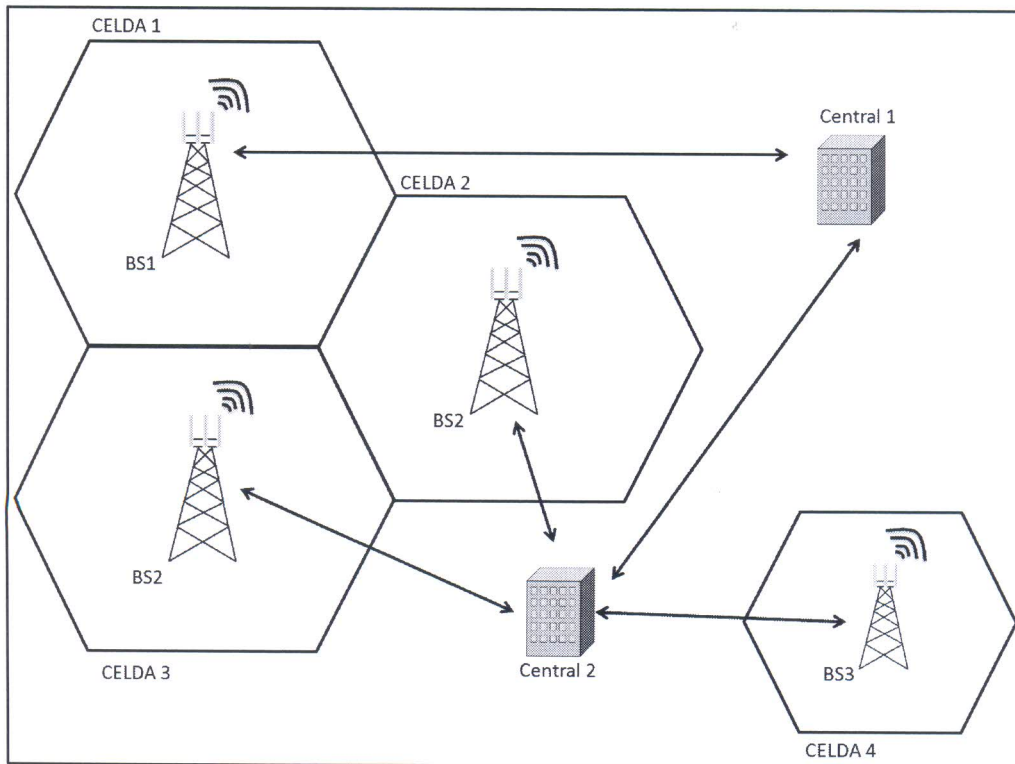


Diagrama 3-4: Topología básica de la red celular

En el diagrama 3-4 es posible apreciar los conceptos mencionados en esta sección. El diagrama presenta cuatro celdas con sus respectivas estaciones bases conectadas a dos centrales en donde se encuentran switches de distribución que conectan las estaciones base y sus respectivos servicios a la red celular. Los enlaces de las estaciones base a las centrales comúnmente son de fibra óptica. Un ejemplo de reutilización de frecuencia se puede apreciar en la celda y estación base cuatro, la cual se encuentra geográficamente alejada de las celdas y estaciones base uno, dos y tres.

3.2.3 CODIFICACIÓN PDU EN SMS

El servicio corto de mensajería puede ser manejado en pleno texto y en formato Protocol Description Unit (PDU). La transmisión en pleno texto ya no es utilizada hoy en día, incluso la mayoría de teléfonos actuales ya no permiten el uso de este servicio.

Un SMS puede constar de una cadena de hasta 140 caracteres alfanuméricos de 7 bits. GSM introduce el centro de mensajes cortos (SMSC) para hacer posible el uso del servicio SMS. El centro de mensajes cortos funciona como intermediario en el momento de un intercambio de mensajes de texto entre usuarios. Este se encarga de guardar el mensaje y direccionarlo al destinatario en el momento que se encuentre en el área de cobertura.

Las funciones de un SMSC son:

- Recepción y almacenamiento del SMS.
- Revisar si el usuario destino se encuentra operativo, es decir, si está en el área de cobertura.
- Verificar periódicamente los mensajes pendientes de enviar.

La codificación PDU divide una cadena de caracteres SMS en octetos hexadecimales, utilizando un alfabeto de 7 bits, es decir se pueden representar 256 caracteres distintos siendo 0x7F la última representación hexadecimal del alfabeto.

La trama de un SMS en formato PDU está definida de la siguiente manera.

DCS	TIPO DE PDU	DE	DD	PID	NR	COD	PV	LD	DATOS
-----	-------------	----	----	-----	----	-----	----	----	-------

DCS: Dirección de Centro de Servicio, en este campo se define el tipo de centro de servicio y si la llamada es nacional (81) o internacional (91). El número de centro de servicio se invierte por pares, es decir si el número de SMSC es 40744946000, en la trama se escribe el número 0447946400F. La "F" se añade cuando la longitud del número es impar.

TIPO DE PDU: Sus campos definen la estructura de la trama PDU.

DD: Campo de Dirección Destino, similar al campo dirección de centro de servicio, que define el usuario destino al que se desea enviar el SMS. En este campo se aplica el mismo formato que en el campo DCS.

Protocolo de Identificación (PID) y Número de referencia (NR) Son campos utilizados para control interno del SMSC.

COD: La codificación trama de datos indica el tipo de alfabeto con el que se codifica la trama, existe la opción de 7bits y 8 bits. Este campo también indica el tipo de SMS, si es ME, SIM o TE.

PV: Campo que define el periodo de vigencia, las opciones que presenta es desde 5 minutos hasta 1 semana. Esto es debido a que, por ejemplo, es posible que el usuario destino no se encuentre en el área de cobertura.

LD: Indica la longitud de la cadena de caracteres que se envía. Este indica el número de octetos que conforma la cadena de caracteres hexadecimales.

DATOS: En este campo se define la cadena de caracteres en sí que se desea enviar u otro usuario. A continuación se presenta un ejemplo de la codificación de 7 bits de la palabra ALERTA.

1. La representación hexadecimal de los la cadena según el alfabeto GSM de 7 bits es:

A	L	E	R	T	A
0x41	0x4C	0x45	0x52	0x54	0x41

2. Para comprender mejor la codificación se presentan los caracteres en binario.

A	L	E	R	T	A
100 0001	100 1100	100 0101	101 0010	101 0100	10 <u>0</u> 0001

3. Nótese que cada carácter está representado por 7 bits, ahora se busca transformar a octetos cada uno de los caracteres tomando los bits necesarios de derecha a izquierda para completar el octeto. Los bits que se toman del siguiente carácter ya no se contemplan en los pasos posteriores.

A	L
0x41	0x4C
100 0001	100 1100
0 100 0001	0 110 0110 <u>0</u>

El bit en negrilla del carácter A representa el bit que fue tomado del carácter L que en su casilla se presenta subrayado.

4. El mismo procedimiento se realiza para los caracteres restantes.

A	L	E	R	T	A
100 0001	100 1100	100 0101	101 0010	101 0100	10 <u>0</u> 0001
0 100 0001	0 110 0110 <u>0</u>	0 101 0001 <u>0</u> 1	0 100 1010 <u>0</u> 10	0 000 1101 <u>0</u> 100	10

5. Al finalizar el algoritmo se tiene la cadena de caracteres codificada y separada en octetos.

A	L	E	R	T	A
0x41	0x4C	0x45	0x52	0x54	0x41
100 0001	100 1100	100 0101	101 0010	101 0100	10 <u>0</u> 0001
0 100 0001	0 110 0110 <u>0</u>	0 101 0001 <u>0</u> 1	0 100 1010 <u>0</u> 10	0 000 1101 <u>0</u> 100	10
41	66	51	4A	0D	02

La siguiente cadena de números hexadecimales representa toda la trama de un SMS con el texto "ALERTA" enviado al número 4768-9386 y con número de SMSC 40744946000

07910447946400F011000891748639680000AA064166514A0D02

 ↑ ↑ ↑

SMSC Destinatario Mensaje

Imagen 3-1: Codificación PDU para los caracteres "ALERTA"

3.3 COMANDOS AT

Utilizados normalmente para el control de MODEM's. Las siglas AT significan Attention Telephone o Attention Terminal.

El propósito de estos comandos es para controlar MODEM's utilizando como interfaz una computadora. Estos comandos son usados en módulos GSM que se explicarán posteriormente. Los comandos AT se utilizan para verificar la conexión de un módulo a la red celular, envía mensajes de texto, leer y borrar mensajes de texto almacenados entre otras funciones.

Todos los comandos que se encuentran disponibles se pueden categorizar del siguiente modo:

- Comandos para pruebas.
- Comandos de lectura.
- Comandos de configuración.
- Comandos de ejecución.

No todos los módulos soportan todos los comandos AT que se pueden encontrar por lo cual es necesario consultar con el fabricante qué comandos son los que soporta cada uno de los MODEM's, esto es debido a que no existe un estándar oficial para el uso de los mismos y también es debido a que fue necesario programar funciones especiales, según el fabricante y las funciones de cada uno de los módulos.

Los comandos más utilizados en los módulos usados para el desarrollo de este proyecto son:

- AT
Permite verificar si el módulo se está comunicando con la computadora.
- AT+CREG?
Permite verificar si el módulo se encuentra conectado con alguna proveedor de red celular.
- AT+CMGS="NUMERO"
Permite enviar un mensaje de texto al número de teléfono que se encuentra dentro de "NUMERO".

3.4 TECNOLOGÍA ZigBee

ZigBee estándar IEEE 802.15.4 está definido por un conjunto de protocolos para la comunicación inalámbrica de bajo consumo. Esta tecnología inalámbrica comúnmente es utilizada en el área de domótica debido a su fácil integración y bajo consumo, sin embargo los productos electrónicos compatibles con esta tecnología se encuentran en áreas de salud, automatización de hogares, automatización de edificios, telecomunicaciones, entre otros. Zigbee utiliza la frecuencia de 2.4Ghz para comunicarse con otros equipos compatibles, capaz de soportar más de 64,000 dispositivos en una misma red. En las topologías Zigbee existen tres tipos de roles importantes:

- Coordinador ZigBee: Controla la red y rutas que deben seguir los dispositivos para comunicarse, es necesario que exista por lo menos un coordinador por red.
- Enrutador ZigBee: Interconecta dispositivos en una red ZigBee y permite extender el área de cobertura.
- Dispositivo final ZigBee: Su función es transmitir la información hacia el coordinador, posee la capacidad de entra en estado de pausa o también llamado dormido para optimizar el consumo y la longevidad de las baterías.
-

El diagrama 3-5 presenta una topología común de dispositivos ZigBee. Esta topología consta de un coordinador, tres enrutadores y dos dispositivos finales. Los objetivos principales de los enrutadores son incrementar el radio de cobertura y brindar rutas redundantes, de ser posible, hacia el coordinador que centraliza y manipula la información, mientras que los dispositivos toman las lecturas del paramento que se esté monitoreando y envían la información.

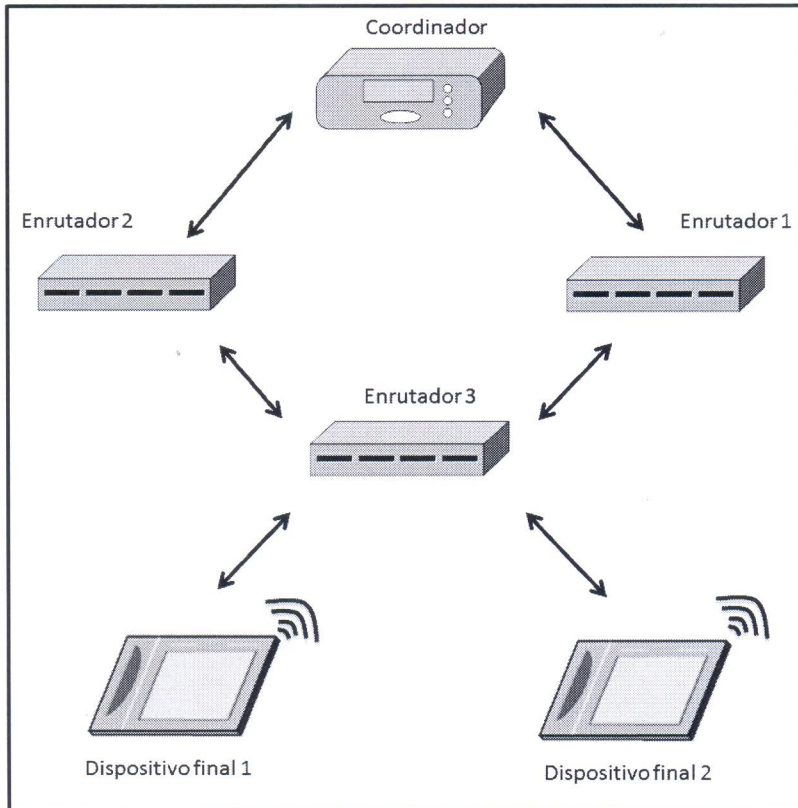


Diagrama 3-5: Topología inalámbrica básica con tecnología ZigBee

3.5 FUNDAMENTOS DE ANTENAS

Una antena es un componente indispensable en sistema inalámbrico, es un dispositivo pasivo que no añade potencia a la señal, más bien, redirige la energía que recibe del transmisor. A continuación algunos conceptos fundamentales:

Patrón de radiación: Gráfica que indica las características de propagación de las ondas electromagnéticas emitidas por las antenas. Con base en los patrones de radiación de los planos horizontales y verticales es posible obtener una representación en tercera dimensión de las características de propagación de la antena. En algunos casos también se refiere al patrón de radiación como diagrama polar.

Ganancia: Es la concentración de la potencia que se da en la dirección de la máxima radiación.

Polarización: Es la orientación física del elemento de la antena que emite las ondas electromagnéticas. Los dos patrones de polarización más comunes son verticales y horizontales.

Ancho de haz: Característica del patrón de radiación que se define con base en los patrones de radiación en los planos horizontal y vertical. En cada plano es posible apreciar la separación angular entre los puntos de potencia media, 3dB.

Las antenas pueden ser clasificadas como direccionales y omnidireccionales.

- **Antena direccional:** Antena que concentra la mayor parte de la energía irradiada en una dirección específica. Un ejemplo de una antena direccional es la antena tipo Yagi.

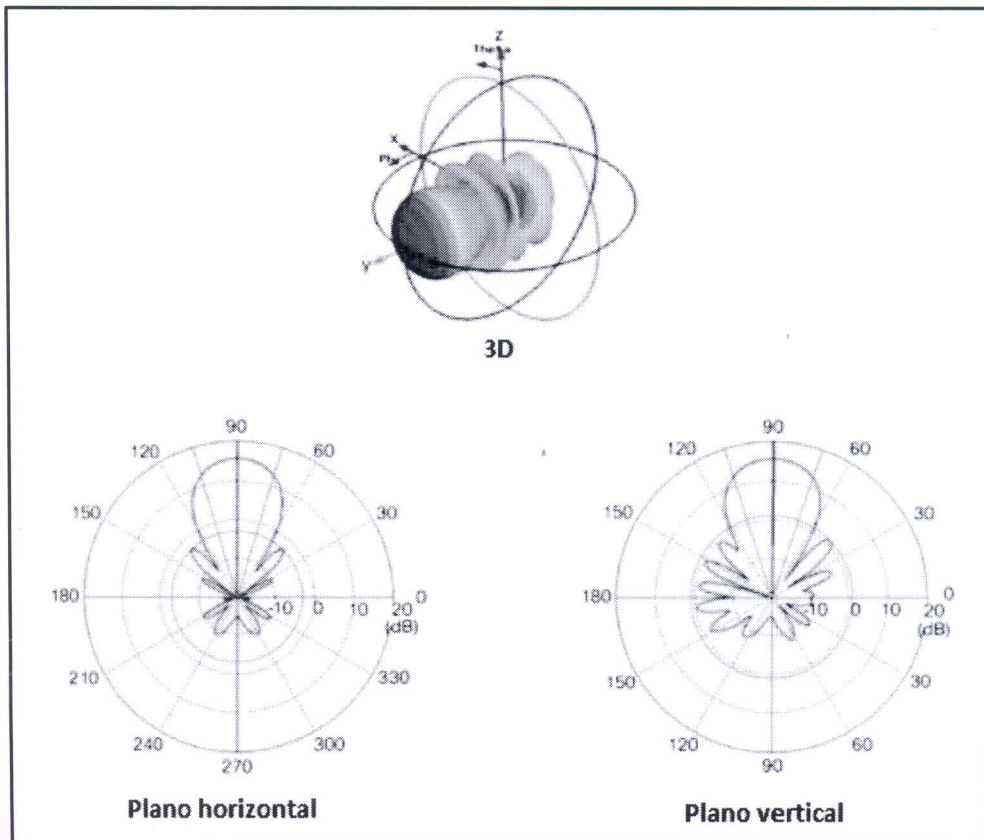


Imagen 3-2: Patrón de radiación de una antena direccional

- **Antena omnidireccional:** Antena que irradia la energía de manera uniforme en el plano horizontal. En el plano vertical presenta disminución en la potencia a medida que se acerca al centro de los ejes. La forma de su patrón de radiación ideal comúnmente se compara con la forma de una dona.

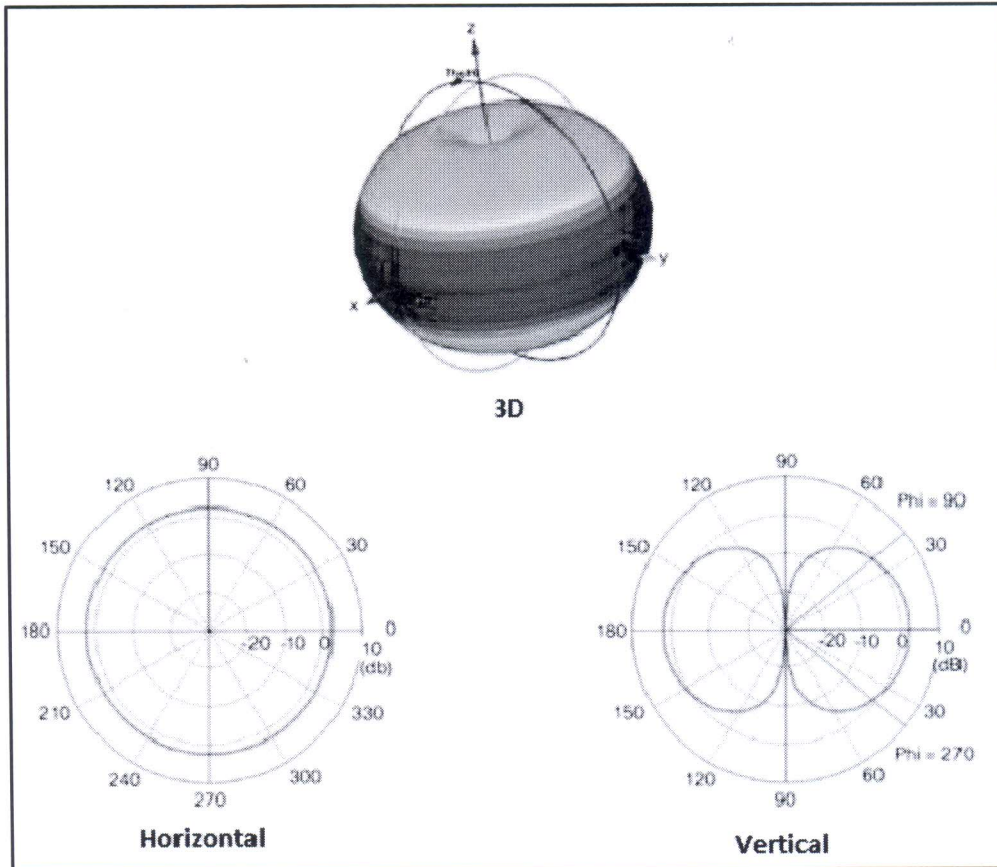


Imagen 3-3: Patrón de radiación de una antena omnidireccional

La mayoría de antenas son comparadas con las antenas isotrópicas o de tipo dipolo.

Antena isotrópica: Es una antena teórica, es decir, esta posee un patrón de radiación perfecto de 360 grados, es una antena ideal que irradia en todas direcciones con una ganancia de 1 (0dB) y sin pérdidas.

Antena dipolo: Es una antena real, la cual posee comúnmente un patrón de radiación de 360 grados en el plano horizontal y 75 grados en el plano vertical.

Las imágenes 3-2 y 3-3 fueron obtenidas del enlace que se especifica como Cisco Systems. (2007). *Antenna patterns and their meaning* en la sección de bibliografía.

CAPÍTULO IV

INTRODUCCIÓN AL SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA EN UNIVERSIDAD GALILEO.

El Sistema de Alerta Temprana que se desarrolló para este proyecto de tesis fue instalado en el campus de la Universidad Galileo y cuenta con los siguientes bloques principales:

- Estación de monitoreo local.
- Oficina de monitoreo y pronóstico.

El proyecto cuenta con la misma instrumentación que se utilizó en el SAT implementado en el río Coyolate en el año 2011. Adicionalmente se realizaron mejoras al mismo las cuales se describirán posteriormente. Cabe resaltar que, los autores de esta tesis, fuimos integrantes del equipo que desarrolló e implementó del sistema antes mencionado.

El primer gran componente de este SAT, la estación de monitoreo local es capaz de indicarle a las personas que se encuentren en la localidad a través el panel indicador el nivel del río en tiempo real, el tipo de alarma en el que se encuentra y también se encarga del envío de mensajes automáticos a la oficina de monitoreo y pronóstico, instalada en el Laboratorio de Mecatronica de la Universidad Galileo.

La oficina de monitoreo y pronóstico en la Universidad Galileo cuenta con una versión similar a la desarrollada para la oficina en la municipalidad de Santa Lucía Cotzumalguapa cumpliendo las mismas funciones. Adicionalmente esta versión incluye equipos WLAN, que proponen otra alternativa tecnológica para casos especiales.

A continuación se presentan las características y funciones principales de este SAT.

Medición de niveles.

Se utiliza la sonda de inmersión para tomar mediciones del nivel del río, esta sonda cuenta con niveles discretos. Dicha sonda es instalada dentro de la obra civil que se encuentra a la orilla del afluente que pasa por la Universidad Galileo. La información obtenida por la sonda de inmersión viaja a través de una línea de transmisión hasta la estación local de monitoreo, paralelamente el equipo WSN 3202 transmite inalámbricamente la diferencia de potencial al equipo WSN Gateway.

Análisis y despliegue local de la información.

En la estación de monitoreo local, ubicada en el Laboratorio de Mecatronica, a una distancia aproximada de 60 metros se encuentra la instrumentación necesaria para interpretar la información recibida a través de la línea de transmisión y la enviada por el módulo WSN 3202, la cual despliega la información de dos maneras, a través de un Interfaz Máquina Humano (HMI) con una gráfica de tanque, textos variables y a través de un semáforo que muestra los cuatro colores de alerta que maneja CONRED.

Registro local

Otra de las funciones de la estación de monitoreo local es el registro de las variaciones de corriente de la sonda de inmersión, estas variaciones son guardadas localmente. Es posible configurar la frecuencia de muestreo, con el objetivo de optimizar la memoria y el ciclo de vida de la batería del instrumento. Posteriormente las muestras pueden ser descargadas en una

computadora para interpretar los cambios de nivel de la sonda de inmersión. Esto proporciona redundancia en el sistema, debido a que si existe algún problema con la red celular, la continuidad de las muestras no se pierde.

Reporte a oficina de monitoreo.

La comunicación en tiempo real con la oficina de monitoreo y pronóstico se logra a través de un módulo inalámbrico que es capaz de enviar información a través de mensajes de texto en periodos configurables de tiempo. La información que se envía es el parámetro de corriente.

Análisis centralizado de la información.

En la réplica de la oficina de monitoreo y pronóstico ubicada en el mismo laboratorio de mecánica se reciben los mensajes de texto a través de un equipo inalámbrico GSM que se encuentra conectado vía puerto serial a una computadora, en la cual está instalado el software de monitoreo. Este software de monitoreo se encarga de presentar la información de manera amigable para el usuario, a través de hidrogramas, tablas, reportes, entre otros. También es posible visualizar páginas de internet que indican el estado del clima en la región a través del software de monitoreo.

Emisión de alertas en tiempo real.

Una de las características más importantes del software de monitoreo es la emisión de alertas a través de mensajes de texto. En cuestión de segundos una o varias personas pueden recibir un mensaje de texto en su celular con información relevante de la condición del río. Estos mensajes son enviados a través de un módulo inalámbrico GSM conectado vía puerto serial a la computadora, equipo distinto al que recibe el mensaje de la estación de monitoreo local.

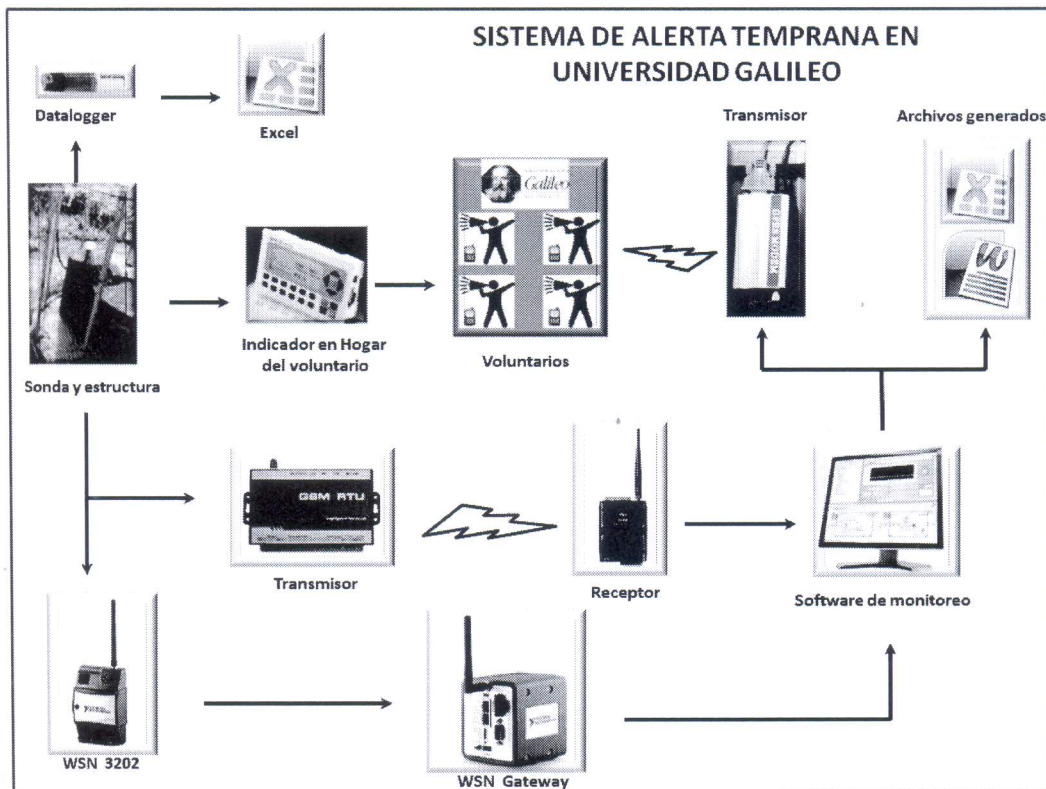
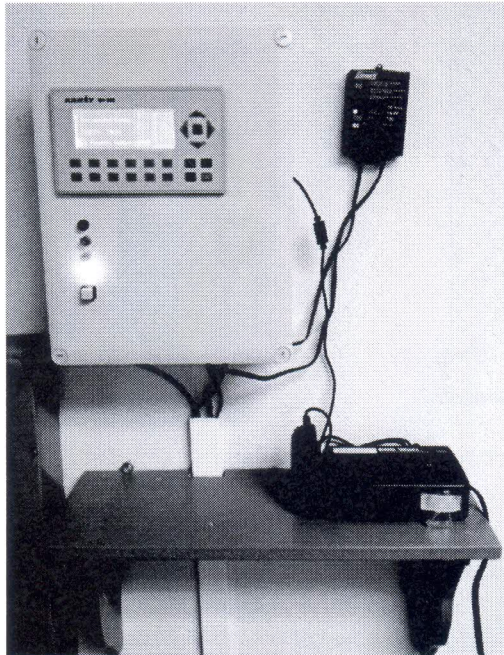


Diagrama 4-1: Diagrama del funcionamiento de la réplica del SAT en Universidad Galileo.

CAPÍTULO V

ESTACIÓN DE MONITOREO LOCAL

Su propósito es medir el nivel del río, recopilar información de manera centralizada, enviar en forma de mensaje de texto acerca del nivel del río y alertar al voluntario en tiempo real acerca de la condición en la que se encuentra el río. Esto se realiza a través de una interfaz de usuario la cual es fácil de interpretar. Esta cuenta con indicadores lumínicos que indican el tipo de alarma en la que se encuentra el río, los cuales se activan conforme incrementa el nivel del río, tal y como se muestra en la fotografía 5-1.



Fotografía 5-1: Instrumentación de la estación de monitoreo local.

En el diagrama 5-1 que se presenta a continuación es posible apreciar todos los componentes que conforman a la estación de monitoreo local

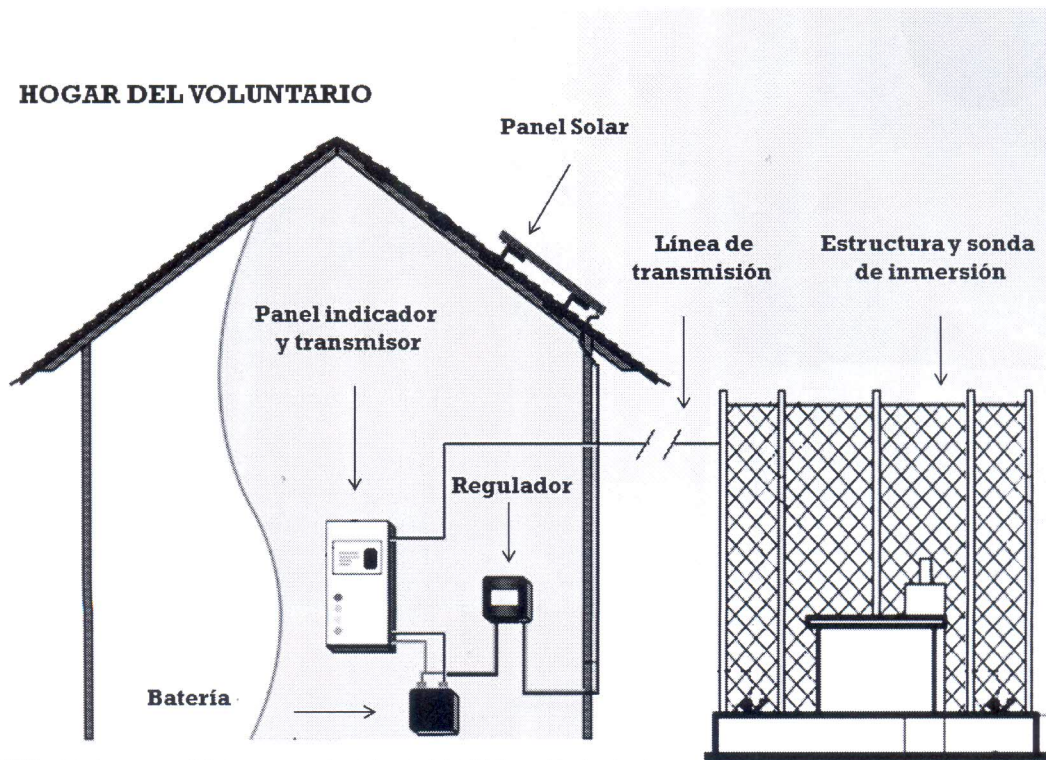
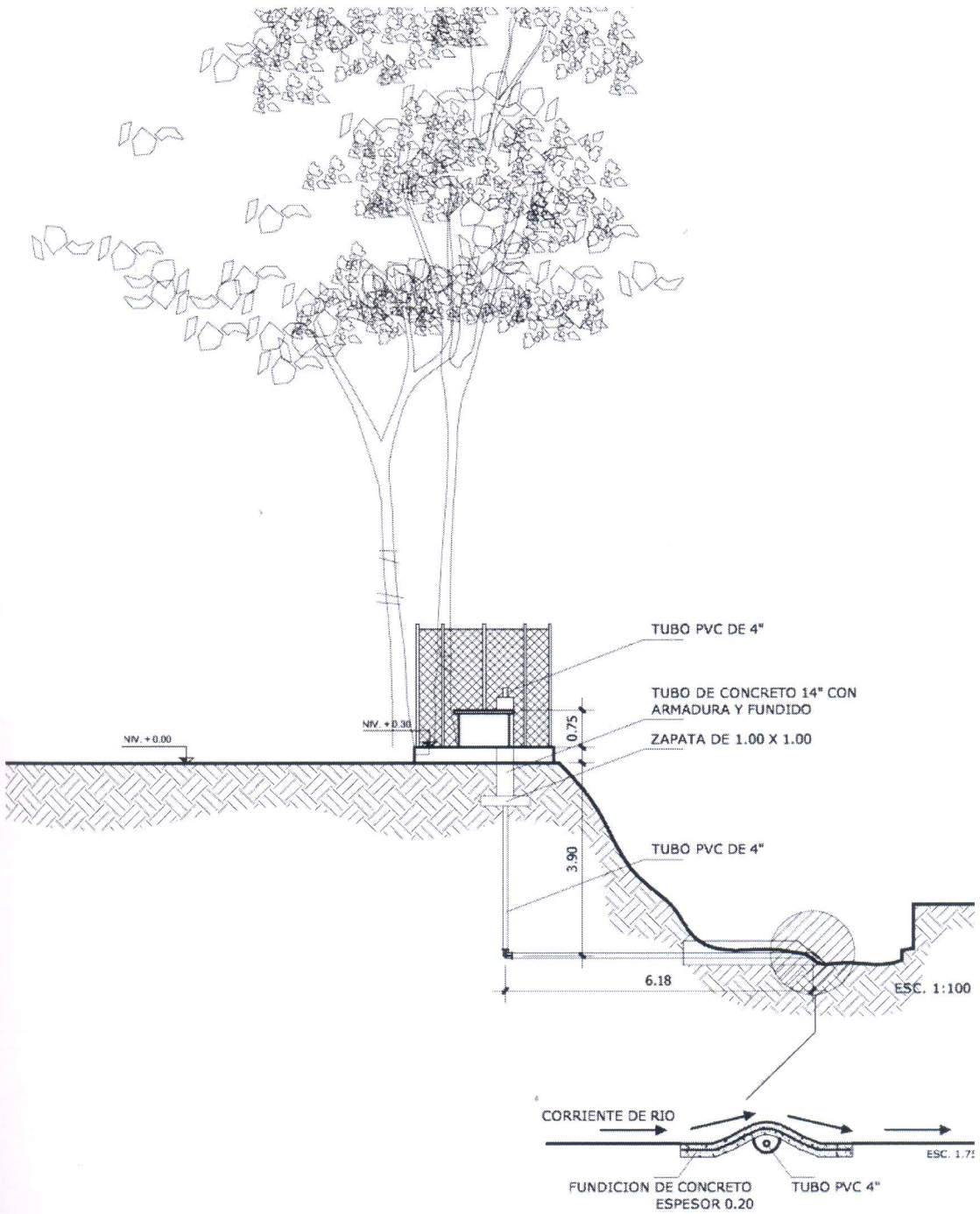


Diagrama 5-1: Diagrama general de la estación de monitoreo local

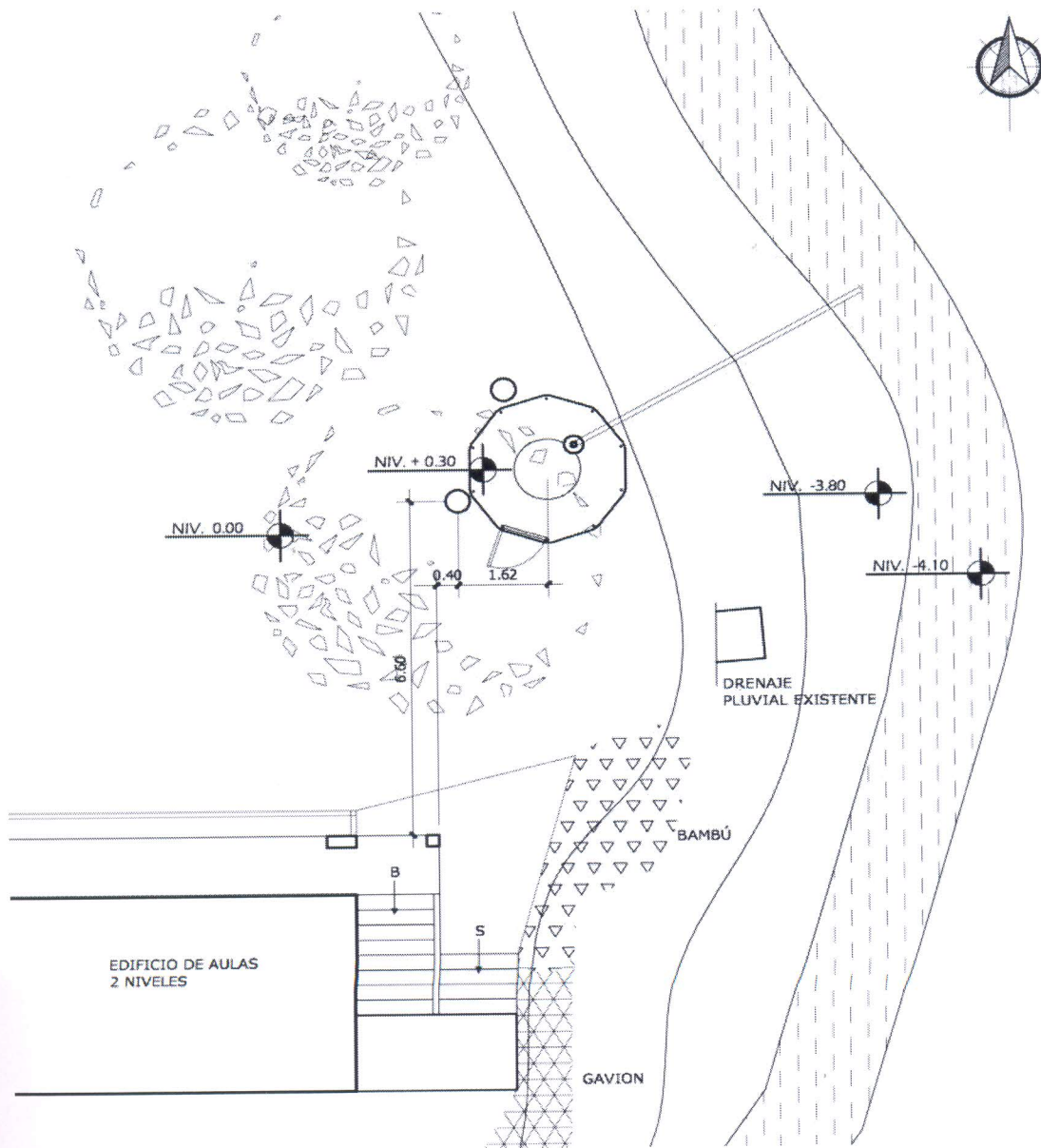
5.1 ESTRUCTURA PARA LA SONDA DE INMERSIÓN

La estructura está diseñada para ser ubicada a la orilla de un río y puede tener uno o varios accesos de agua. Debido a que la corriente del río tiende a crecer en invierno, es necesario que sea una estructura sólida, capaz de resistir la corriente del río sin que sea arrastrada o desnivelada. Estas estructuras están hechas con toneles metálicos llenos de cemento en los que en su centro contienen un tubo de 3.5 pulgadas y dentro del cual se debe colocar la sonda de inmersión que se encarga de medir el nivel del río. Los accesos con los que cuenta dicha estructura permiten que el agua suba de nivel dentro de la misma, mientras sube el nivel en el río.

El propósito de esta estructura es proteger la sonda de inmersión de cualquier material que pueda llegar a dañarla al perjudicar así las mediciones que se puedan llegar a tomar. A diferencia de las estructuras que se encuentran ubicadas a lo largo de la cuenca del río Coyolate, esta que posee una mesa de trabajo de cemento, solo cuenta con un acceso de agua en la base y está directamente insertada en la tierra. A continuación se presentan los planos de la estación de monitoreo local del SATGAL



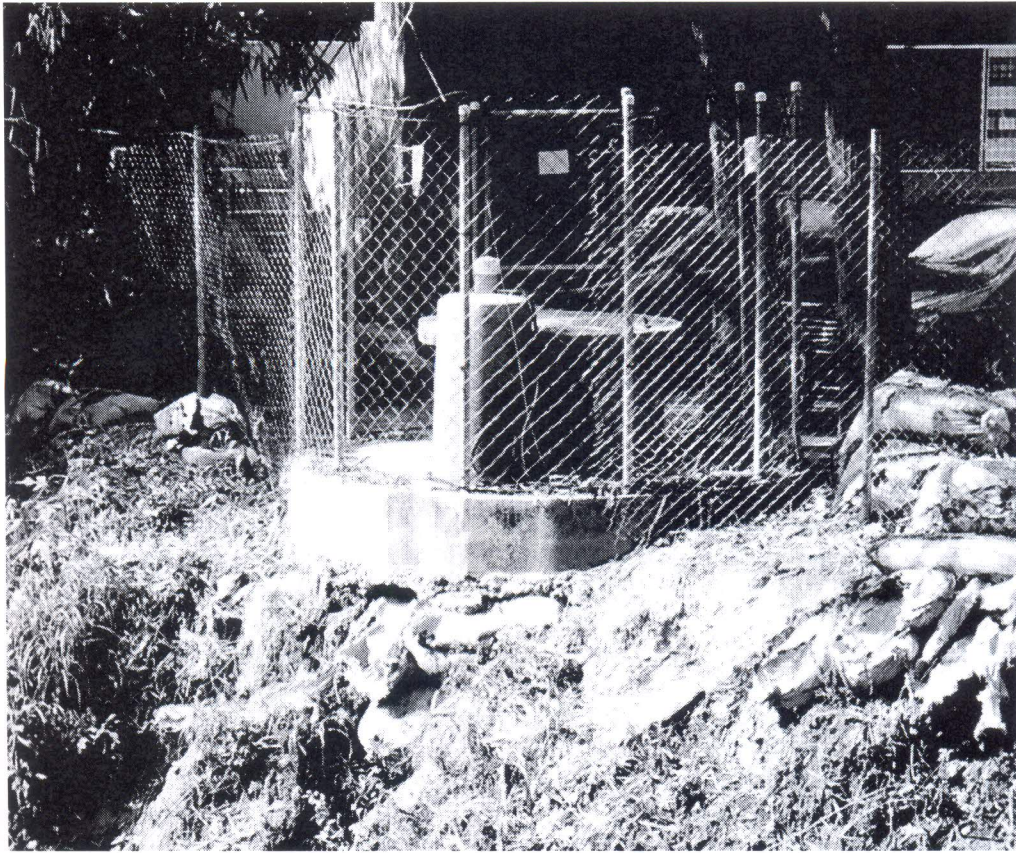
Plano 5-1: Vista de elevación de la estructura civil para la sonda de inmersión.



Plano 5-2: Vista de planta de la estructura civil para la sonda de inmersión.

Los Planos 5-1 y 5-2 fueron diseñados por el Arquitecto Obregón.

La fotografía 5-2 presenta la estructura de la estación de monitoreo local del SATGAL, en donde se encuentra introducida la sonda de inmersión.



Fotografía 5-2: Estructura para la sonda de inmersión en Universidad Galileo.

5.2 SONDA DE INMERSIÓN.

Fue construida utilizando un tubo de PVC de 3 metros de largo, 3 pulgadas de diámetro y 160psi. Estos tubos de PVC fueron cortados por la mitad a lo largo, de ambos lados, haciendo dos partes de un tubo. En una mitad del tubo se colocan en la parte interna, 20 sensores de flote que funcionan como un interruptor en un circuito eléctrico. Cada uno de estos flotes representa un nivel, estos flotes fueron alineados, orientados en la misma dirección y separados 14 centímetros, uno del otro, a lo largo de dicha mitad.

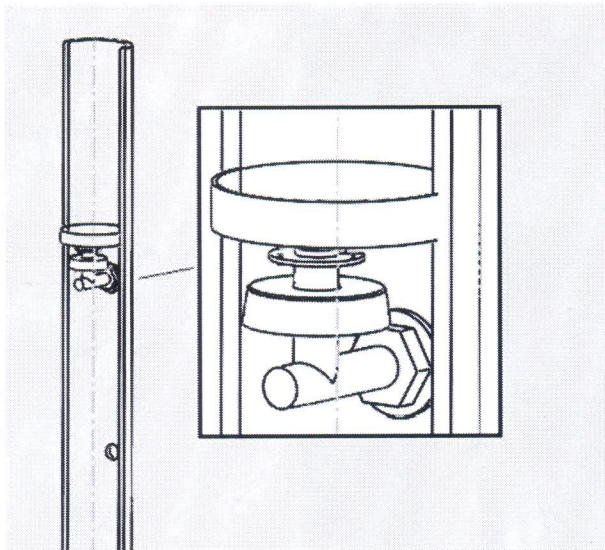


Diagrama 5-2: Montaje de un sensor de flote en el tubo PVC

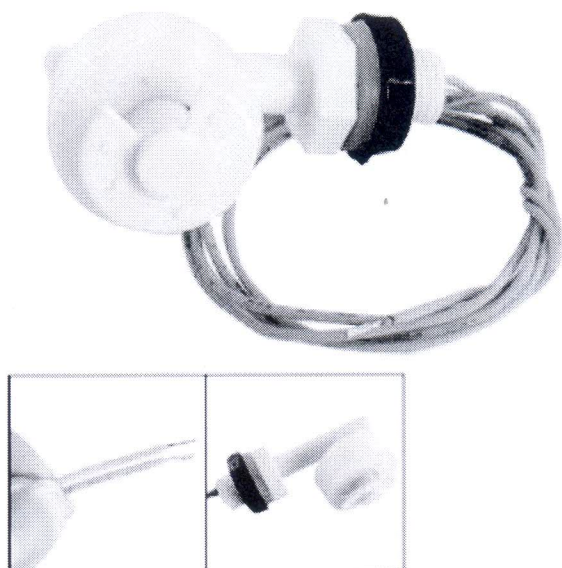
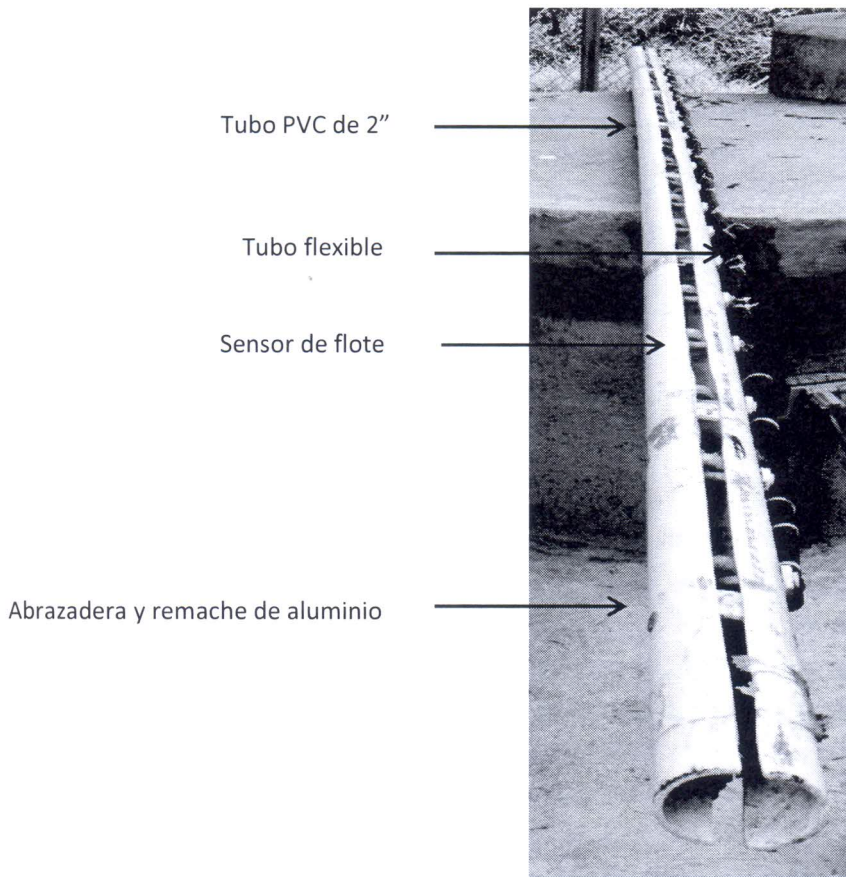


Imagen 5-1: Interruptor de flote.

Esta sonda de inmersión fue desarrollada para ser de bajo costo debido a que es el único instrumento que se encuentra expuesto a las condiciones del río y en una crecida es posible que llegue a ser arrastrado por las fuertes corrientes del río. La separación que se maneja entre flotes fue definida por el Ing. Marvin Rabanales, jefe de proyecto DIPECHO VII en ACH, debido a experiencias previas que tuvo con SAT's.



Fotografía 5-3: Sonda de inmersión de bajo costo.

La sonda de inmersión cuenta con un circuito eléctrico serie-paralelo que fue distribuido a lo largo de toda la sonda de inmersión para poder simplificar la construcción de dicha sonda. El circuito consta de componentes eléctricos básicos tales como interruptores y resistencias. Los equivalentes en paralelo que se forman, al momento de conmutar los interruptores (Sensores de flote) hacen variar los parámetros eléctricos de voltaje y corriente. Estos parámetros son analizados por ciertos instrumentos que se explicarán posteriormente en este capítulo.

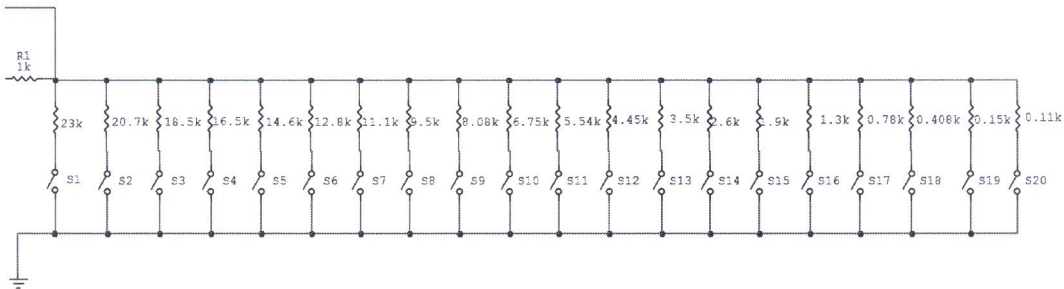


Diagrama 5-3: Circuito que se encuentra distribuido en la sonda de inmersión.

El propósito de la sonda de inmersión es tomar mediciones del nivel del río para alertar a las personas que habitan en las cercanías del mismo, sin que exista la necesidad de que tengan que acercarse al río, poniendo en riesgo sus vidas.

5.3 LÍNEA DE TRANSMISIÓN

Se utilizó una línea de transmisión de cuatro hilos para exteriores con un forro externo de plástico que recubre un forro interno de aluminio. La línea de transmisión es utilizada para:

- Alimentar la sonda de inmersión con 12 voltios.
- Medir el nivel de corriente que consume la sonda, varía aproximadamente 0.5mA cada vez que cambia un nivel.
- Medir el nivel de voltaje que consume la sonda, varía aproximadamente 0.5V cada vez que cambia un nivel.
- Línea de tierra o de retorno

La línea es conocida como Foiled Twisted Pair (FTP), debido a las condiciones adversas que se pueden presentar en exteriores. Se recomienda no sobrepasar los 500 metros con este tipo de líneas de transmisión si es que se transmiten datos o una señal eléctrica debido a las pérdidas que se presentan a distancias mayores a 500 metros.

Debido a que la línea de transmisión transporta corriente eléctrica directa, de frecuencia cero, es posible modelar las pérdidas en la misma como una resistencia en serie al circuito de la sonda de inmersión. La resistencia medida en una bobina de 300m es de 16 Ohm.

5.4 ALIMENTACIÓN

En los sistemas de alerta temprana es importante contemplar que muchas ubicaciones en donde se instalan es posible que no tengan acceso a energía eléctrica. Por lo que una fuente de alimentación de energía renovable es la indicada para alimentar el sistema.

5.4.1 PANEL SOLAR

Los paneles solares consisten de un conjunto de celdas, que normalmente están hechas de silicio, una base semiconductor. Fotones inciden en el panel solar en donde los electrones cargados negativamente se desprenden de sus átomos y fluyen en una dirección a través de un material conductor, produciendo electricidad de corriente directa. Un sistema que hace uso de paneles solares comúnmente se le refiere como un sistema fotovoltaico, sistema que consta de cinco componentes importantes:

- Arreglo de celdas: Convierten la luz solar en electricidad de corriente directa.
- Controlador de carga: Regula la corriente y el voltaje que proporciona el arreglo de celdas.
- Inversor: Convierte la electricidad de corriente directa en electricidad de corriente alterna.
- Batería: Elemento que almacena energía y la suple bajo demanda del sistema.
- Carga: Consta de la cantidad de energía que consumen los distintos dispositivos eléctricos que se conectan al sistema fotovoltaico.

Los paneles solares deben ser orientados hacia el sur, el criterio para la orientación es el siguiente:

- En el hemisferio norte del planeta, los paneles solares son orientados hacia el sur.
- En el hemisferio sur del planeta, los paneles solares son orientados hacia el norte.

Estos criterios se deben cumplir debido a que la mayor incidencia de rayos de sol ocurre en la línea ecuatorial, la energía solar es mejor aprovechada cuando los rayos inciden de manera perpendicular a la superficie de los paneles.

El propósito del panel solar es crear un sistema autosostenible capaz de funcionar independiente del suministro de energía eléctrico y a su vez cargar una batería de ciclo profundo, la cual puede ser un respaldo al sistema de alimentación en el caso de que llegaran a ocurrir temporales de lluvia demasiado extensos al provocar que exista una mínima cantidad de rayos de sol o en casos que el panel solar sea dañado.

La imagen 5-2 presenta el panel utilizado en el SATGAL y sus componentes.

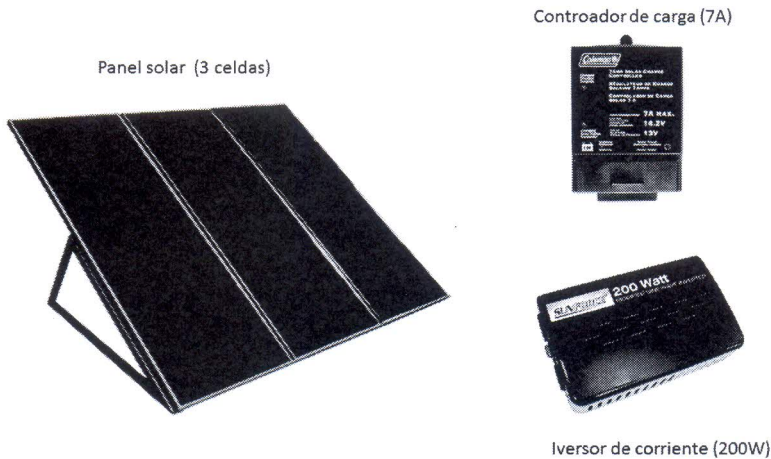


Imagen 5-2: Kit Panel Solar COLEMAN de 55W

A continuación se presenta una serie de pasos que indican cómo dimensionar un sistema fotovoltaico. (En la sección 4.10 se realiza el cálculo del sistema fotovoltaico para el SATGAL)

1. Determinar el consumo total de potencia por día:
Es la suma de todas las cargas que se conectarán al sistema fotovoltaico. Es una buena práctica considerar 30% de carga adicional.
2. Determinar la cantidad paneles fotovoltaicos:
Se determina con base en el parámetro de Watts pico (WP) que se refiere a la máxima potencia que el panel entrega y las horas de sol pico que se refiere a la cantidad de horas por día en las que se irradia una potencia de 1000Watts en un área de 1 metro cuadrado.
3. Dimensionamiento del inversor:
Consiste en determinar la potencia de los equipos que se conectarán al mismo y considerar un consumo adicional de 20% a 30%
4. Dimensionamiento de la batería:
La batería debe ser elegida según los días de autonomía que sean requeridos para que el sistema se encuentre en funcionamiento.

5.4.2 BATERÍA DE CICLO PROFUNDO

Una batería de ciclo profundo es generalmente utilizada en vehículos marinos. Este tipo de baterías son capaces de soportar ciclos de carga y descarga completos aunque se recomienda que no se permita que la carga de la batería llegue a descender a más del 70% de la capacidad total de la batería. Estas baterías no fueron diseñadas para entregar picos altos de corriente como las baterías de carro debido a que estas baterías deben ser capaces de entregar cantidades de carga homogéneas por un mayor tiempo, a diferencia que las que utilizan los vehículos.

La capacidad de estas baterías la proporciona el fabricante en unidades de Amperios-hora. Esta medida nos indica cuántos amperios pueden entregar en un ciclo de 20 horas, por lo que una batería de 600Ah, como la que fue utilizada al instalar el sistema en la Universidad Galileo, es capaz de entregar 30A durante 20 horas continuas.

$$\frac{600Ah}{20h} = 30A$$

Este es un estándar establecido para baterías marinas, sin embargo existen otros tipos de estándares utilizados por otros proveedores de baterías de ciclo profundo, las cuales no son marítimas. El propósito de esta batería es alimentar el sistema durante un periodo largo si es que en algún caso llegara a ocurrir un temporal que no permitiera que el sistema fuera alimentado con energía solar, proveyendo así la energía necesaria para que el sistema se mantenga funcionando la mayor cantidad de tiempo posible.



Imagen 5-3: Batería de ciclo profundo instalada en el laboratorio de Mecatrónica, vista de elevación.

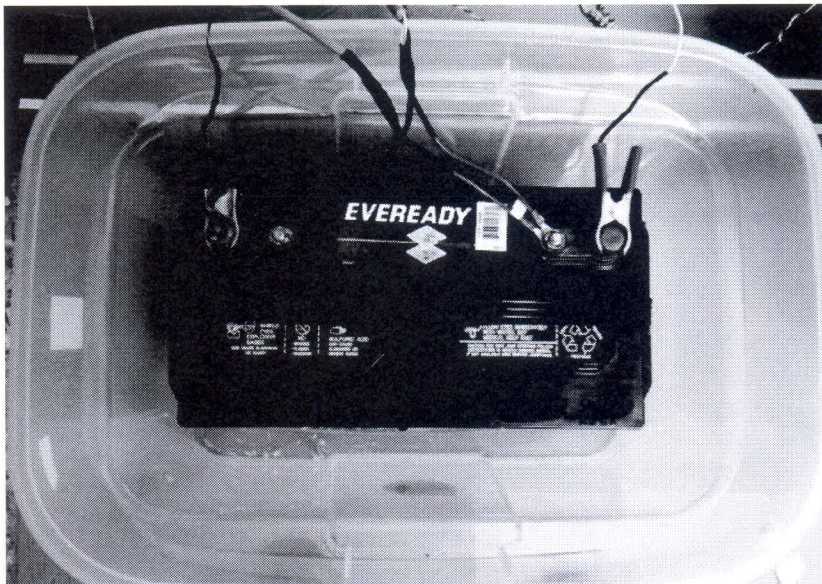


Imagen 5-4: Batería de ciclo profundo instalada en el laboratorio de Mecatrónica, vista de planta.

5.5 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.

Controlador lógico programable (PLC) es un instrumento industrial dedicado al control y monitoreo de señales eléctricas y de otros instrumentos al utilizar protocolos como MODBUS y PROFIBUS los cuales son comúnmente utilizados en la industria. Estos instrumentos fueron diseñados específicamente para uso industrial por lo que fueron soportan condiciones adversas tales como: humedad, interferencias electromagnéticas, vibraciones, temperaturas extremas, etc. Estos controladores cuentan con entradas y salidas tanto digitales como análogas para el análisis de señales y el control de otros dispositivos.

El PLC utilizado para la implementación de este sistema es el APB-24MRDL de la compañía Array. Este módulo utiliza un lenguaje de programación gráfico, similar a LabVIEW. A continuación se presenta el diagrama de bloques del programa desarrollado, el cual controla el funcionamiento del APB-24MRDL utilizado en el SATGAL.

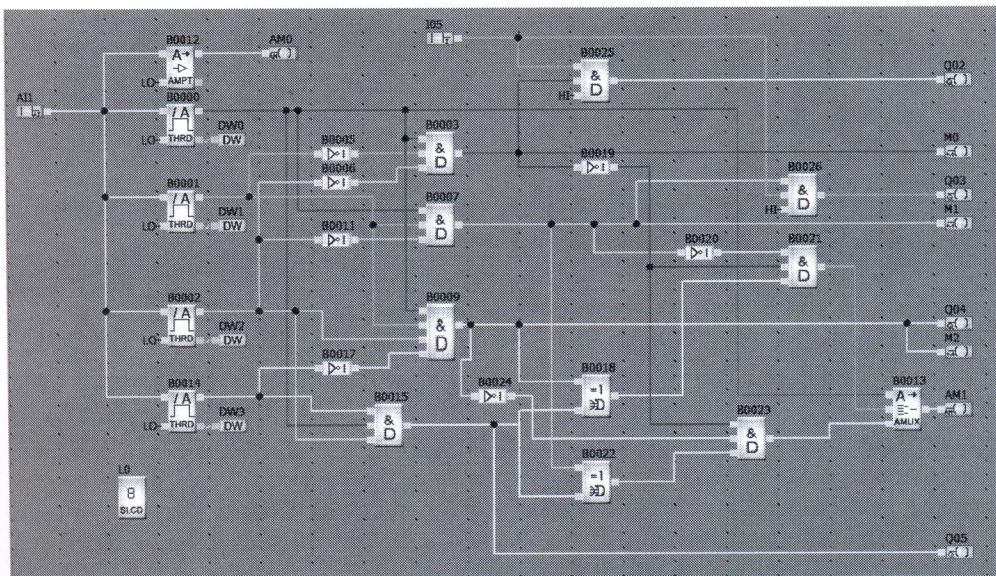


Imagen 5-5: Software programado en el ARRAY APB-24MRDL

La imagen 5-6 presenta los bloques de funciones más importantes utilizados para desarrollar el programa de control del equipo Array APB-24MRDL.

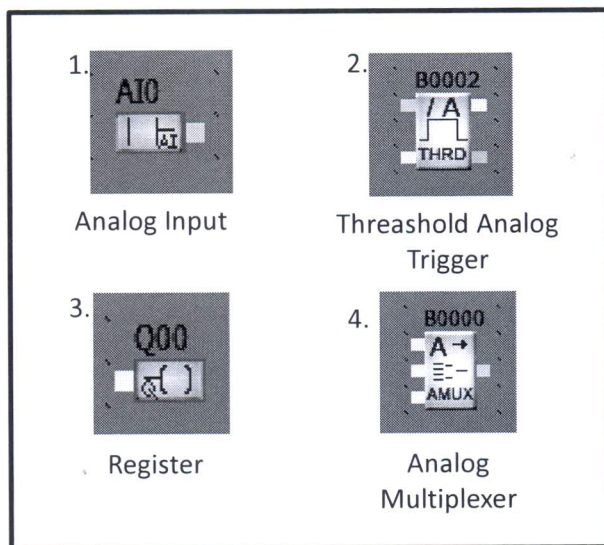


Imagen 5-6: Bloques de programación importantes utilizados para desarrollar el software del equipo Array APB24MRDL

1. La entrada analógica toma lecturas del consumo de voltaje de la sonda de inmersión. El ADC con el que cuenta este módulo es de 8 bits de 10 voltios, por lo que se pueden representar 256 valores diferentes con una resolución de $\frac{10V}{256} = 0.04V$. El ADC cuenta a su vez con error de 0.04V.
2. Función que tiene la característica de cambiar el estado lógico en su salida de cero a uno en el momento en el que la entrada análoga supera el valor configurado para la entrada análoga. Se utilizan cuatro de estos bloques en el software desarrollado para el APB-24MRD debido a que se utilizan cuatro niveles de alarma para alertar al voluntario. Cada uno de estos bloques se encarga de activar cada uno de los distintos niveles de alarma.
3. Se utilizan salidas de relay para controlar los indicadores lumínicos, alimentados con 12 voltios. Los registros Q son los que controlan las salidas de relay. Los registros M son utilizados para hacer la comunicación con la pantalla SH300, la cual se uso como interfaz gráfica para el usuario.
4. El multiplexor análogo cuenta con tres entradas y una salida. Una entrada de enable y dos entradas digitales. Las entradas digitales permiten seleccionar que valor análogo se mostrará en la salida del multiplexor análogo dependiendo de la combinación que se encuentre en la entrada. En la tabla 5-1 se presenta la tabla de verdad del multiplexor análogo, que indica las combinaciones lógicas que se deben de cumplir en las entradas Bit 1 y Bit 2 para obtener las salidas respectivas, que se configuran en la ventana de propiedades de dicho multiplexor análogo, imagen 5-7.

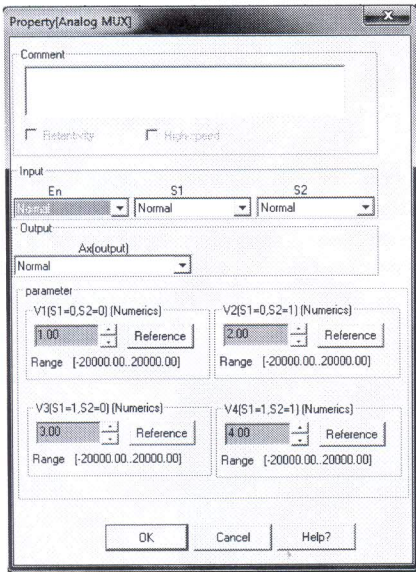


Imagen 5-7: Configuración del multiplexor análogo

Enable	Bit 1	Bit 2	Out
0	x	x	0
1	0	0	1
1	0	1	2
1	1	0	3
1	1	1	4

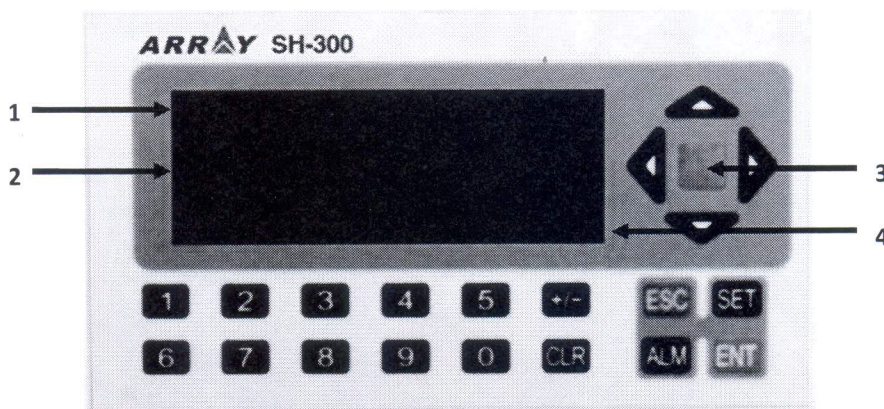
Tabla 5-1: Tabla de verdad del multiplexor análogo

Este bloque, multiplexor análogo, es utilizado para controlar un texto dinámico que es visualizado por los voluntarios en la pantalla SH-300. Cada uno de los valores de 1 a 4 corresponde a un texto que se muestra en la pantalla SH-300.

El propósito del ARRAY 24-MRDL en este SAT es estar conectado a la línea de transmisión para tomar las mediciones del parámetro de voltaje y controlar la pantalla SH-300, la cual se comunica con este módulo al utilizar un protocolo propio de la compañía ARRAY.

5.6 PANTALLA SH-300

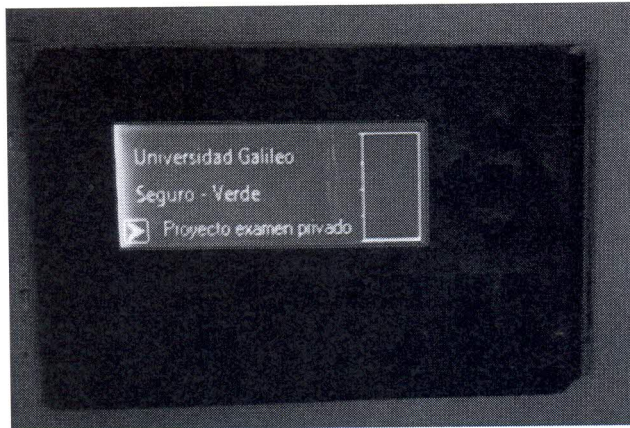
Esta pantalla es capaz, de manera gráfica, de indicar al voluntario el nivel en el que se encuentra el río y el tipo de alarma en el que se encuentra. Esta interfaz cuenta con un “tanque” que se llena conforme incrementa el nivel del río y un texto dinámico que cambiará cada vez que el nivel del río alcanza uno de los cuatro niveles de alerta.



Fotografía 5-4: Pantalla SH-300

1. Ubicación en la que se encuentra el sensor de nivel.
2. Estado de alerta (Verde, Amarillo, Naranja o Rojo).
3. Botones para moverse entre los diferentes modos de la pantalla.
4. Gráfica que muestra el nivel del río.

Para comunicar la pantalla SH-300 con el PLC APB-24MRD se utiliza un protocolo propio de la compañía manufacturera, pero es necesario hacer una correspondencia entre los registros del PLC y los de la pantalla para hacer que ambos módulos interactúen entre sí. Esta pantalla cuenta con indicadores de tipo tanque los cuales varían con un valor análogo, por lo que este elemento debe tener asignado el mismo registro que se utiliza en el PLC para tomar mediciones de la entrada análoga.



Fotografía 5-5: Pantalla SH-300 Instalada en la estación de la Universidad Galileo.

El multiplexor análogo utilizado en el PLC es capaz de controlar el texto dinámico que se muestra a los voluntarios, dependiendo del valor lógico que esté mostrando en la salida, los textos que un voluntario puede visualizar son:

- Seguro – Alarma verde.
- Precaución – Alarma amarilla.
- Peligro – Alarma naranja.
- Peligro – Alarma roja.

5.7 DATALOGGER 504

Instrumento capaz de almacenar periódicamente mediciones de corriente, las cuales posteriormente pueden ser descargadas en formato Excel. Los periodos de muestreo pueden ser configurados de tal modo para que el equipo tome mediciones en intervalos 1s, 2s, 5s, 10 s, 30s, 1min, 5min, 15min, 30min, 1h, 2h, h y 12 h. Según el periodo de muestreo que se configure, así será la longevidad de su batería. Asimismo este equipo puede guardar un máximo de 32,000 muestras.



Imagen 5-8: Datalogger 504

El Datalogger 504 es utilizado en el SAT como un dispositivo redundante, este se encuentra conectado en serie al sistema al tomar mediciones de corriente en intervalos configurables. Se decidió implementar este dispositivo debido a que es posible que se dé el caso en el que la tecnología celular falle, lo que implicaría que se detuviera la comunicación con la oficina de monitoreo y pronóstico, en la cual se almacena la información de todos los puntos de medican entre otras funciones. Esto resultaría en un lapso en el que se perdería la información medida. Es por lo anterior que el Datalogger se incluyó en este sistema. Basta con extraer el equipo de la estación de monitoreo local, conectarlo en una computadora, descargar la información y mapear los valores de corriente a los niveles de río correspondientes.

5.8 GSM RTU-5011

Dispositivo diseñado para el monitoreo remoto de señales eléctricas a través del envío de mensajes de texto. Este equipo es configurable vía puerto serial, a través de una interfaz gráfica amigable para el usuario, se configuran parámetros tales como la banda en la que trabajará, números telefónicos, umbrales de alerta, entre otras. En el momento que se cumpla una condición de alarma predefinida, el equipo procede a enviar uno o varios mensajes de texto.



Imagen 5-7: GSM RTU-5011 Vista planta

Las características más importantes de este equipo son:

- 8 entradas digitales.
- 4 entradas análogas.
- Envío de mensajes de texto periódicos.
- Envío de mensajes de texto activados por flancos.
- Hasta 10 números telefónicos configurables.
- Soporta las bandas 850/900/1800/1900 MHz.
- Funcional con los proveedores de servicio TIGO y CLARO de Guatemala.

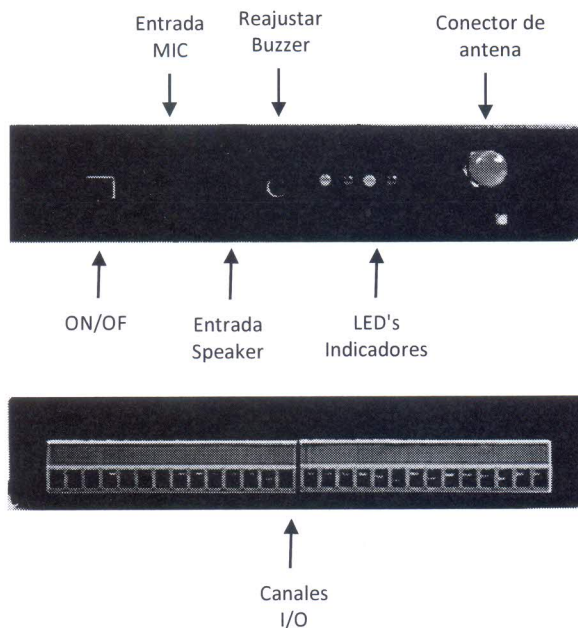


Imagen 5-8: Características físicas del equipo RTU-5011. Vista elevación de dos perfiles.

Este Sistema de Alerta Temprana utiliza el dispositivo RTU-5011 para el monitoreo de la corriente que pasa a través de la sonda de inmersión por medio de una entrada análoga, es decir que, se encuentra conectado en serie a la sonda de inmersión.

El equipo se configuró de tal modo que siempre se encuentra en el umbral de alerta. Por lo tanto se activa el envío de mensajes periódicos según la frecuencia configurada. De este modo por ejemplo, el equipo es capaz de reportar a través de mensajes de texto cada cuatro horas la corriente que se está midiendo en la sonda de inmersión.

El formato del mensaje de texto que envía el equipo RTU-5011 es "Sensor X Current is Y", en donde X representa el número de estación de monitoreo local y Y representa la corriente que el equipo midió en el instante de haber enviado el mensaje. La estación en Universidad Galileo está identificada con los números cinco y seis, el cinco pertenece a la réplica del SAT como tal y el seis a las mediciones tomadas con los equipos NI WSN Starter Kit

Nótese que las únicas partes del mensaje que varían son el número de sensor y la corriente medida. Con estos dos parámetros es posible diferenciar la ubicación del sensor y el nivel en que se encuentra. Funciones que el software de monitoreo realiza, entre otras.

5.9 CONSUMO DEL SISTEMA

Debido a que es un sistema que se diseñó con el objetivo de ser independiente al servicio de energía eléctrica, a sus posibles fallas y a que no se desea cargar a los voluntarios con el pago del consumo eléctrico que tiene el sistema, se convierte en un tema de suma importancia la utilización de equipos de bajo consumo con sistema de alimentación y respaldo de energía que fuera capaz de mantener al sistema activo por un largo periodo de tiempo. En la tabla 5-2 se presenta el consumo de energía de cada dispositivo de la estación de monitoreo local del SATGAL.

Equipo	Consumo en Whr
Array APB 24MRDL	3.5 Whr
Array Text Panel SH-300	3.6 Whr
RTU 5011	6 Whr
Datalogger 504	No tiene ningún consumo.
Sonda de inmersión	0.2 Whr
TOTAL	13.3 Whr

Tabla 5-2: Consumo de la instrumentación de estación de monitoreo local

Este sistema es capaz de funcionar por un largo periodo debido al respaldo que proporciona la batería. Utilizando la serie de pasos que se describen en la sección 4.4.1, a continuación se presenta el cálculo para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico del SATGAL.

Conociendo el consumo total del sistema, la carga de la batería y el voltaje de la batería es posible deducir el consumo de potencia diario:

$$\text{Consumo de potencia por día} = 13.3W * 24hr = 319.2 \frac{Whr}{dia}$$

Considerando que el sistema puede llegar a incrementar en 30% de potencia, se estima que el consumo de potencia diario es:

$$\text{Consumo del sistema} = 319.2 \frac{Whr}{dia} * 1.3 = 414.96 \frac{Whr}{dia}$$

Esta es la cantidad de potencia que necesita ser suministrada cada día al sistema.

Suponiendo la utilización de paneles de 35 Watts pico (Wp), se debe determinar la cantidad necesaria de paneles que se utilizarán para mantener el sistema funcionando durante un día completo, tomando en cuenta la cantidad horas de sol pico al día.

Las horas de sol pico representa la cantidad de horas en el día que producen una irradiación de 1000 Watts en un área de 1 metro cuadrado ($1000 \frac{W}{m^2}$). En Guatemala es posible contar con 4 a 5 de sol pico al día, esta información es de mucha utilidad debido a que este es el tiempo que debe tomarle a los paneles solares cargar la batería y alimentar al sistema, por lo cual es necesario recolectar:

$$Wp \text{ necesarios} = \frac{414.96 \frac{Whr}{dia}}{4hr} = 103.74 Wp$$

Para recolectar esta cantidad de watts pico es necesario utilizar tres paneles de 35Wp cada uno. Estos valores es posible deducirlos utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Número de paneles} = \frac{\text{Watts pico por hora}}{\text{capacidad de cada panel}} = \frac{103.74 Wp}{35 Wp} = 2.96 \cong 3$$

Debido a que este sistema cuenta con una fuente de energía limitada, es necesario tomar en consideración el inversor necesario para alimentar los equipos que lo requieran, en el SATGAL sistema es necesario alimentar únicamente un dispositivo de 6W. Debido a que existen pérdidas entre la conversión de energía directa a alterna, es recomendable usar un inversor de 20% a 30% adicional al consumo total requerido, por lo cual es recomendado usar un inversor de potencia de 8W.

La batería debe ser elegida según los días de autonomía que sean requeridos para que el sistema se encuentre en funcionamiento. Debido a la ubicación del sistema y a que pueden llegar a ocurrir temporales que no permiten que los paneles reciban la cantidad de watts pico necesario por día, se recomienda considerar una autonomía de 20 días, por lo cual la capacidad de la batería requerida debe ser:

$$\text{Capacidad de la batería} = 20 \text{ dias} * \frac{13.3 Wh}{0.5 * 12 V} = 44.33Ah$$

Entonces, el valor mínimo de capacidad de la batería debe ser de 44.33 Ah con un voltaje de 12V para una autonomía de 20 días.

La batería de ciclo profundo utilizada en el SATGAL es de 600Ahr. A continuación se presenta el cálculo para estimar el tiempo de autonomía del SATGAL:

$$\begin{aligned} \text{Voltaje de la batería} &= 12V \\ \text{Consumo del sistema} &= 13.3Whr \\ \text{Carga de la batería} &= 600Ahr \\ \text{Potencia} &= \text{Voltaje} * \text{Corriente} \end{aligned}$$

$$\text{Corriente} = \frac{\text{Potencia}}{\text{Voltaje}}$$

$$\text{Corriente} = \frac{13.3\text{Whr}}{12\text{V}}$$

$$\text{Corriente} = 1.10 \text{ A}$$

$$\text{Duracion del sistema} = \frac{600\text{Ah}}{1.10\text{A}} = 545.45\text{Hrs}$$

Por lo cual es posible determinar que el sistema, de manera independiente al panel solar, cuenta con una autonomía de aproximadamente 545 horas en condiciones ideales

5.10 NI WSN STARTER KIT

Dispositivo de la compañía National Instruments capaz de tomar mediciones y enviar la información de manera inalámbrica. Con estos equipos es posible implementar lo que NI llama una Wireless Sensor Network (WSN), la cual consiste en un conjunto de diferentes nodos distribuidos en un área específica para la toma de mediciones. El WSN de NI se comunica al utilizar el estándar de la IEEE 802.15.4 el cual es la base de la tecnología inalámbrica ZigBee utilizada para redes de área personal. Las mediciones tomadas por los distintos equipos de la WSN se le comunican a un nodo central que se comunica con el computador, la red alámbrica o ambos.

Por lo tanto, una WSN puede tener tres tipos de dispositivos:

- End Node: Modo configurado para tomar mediciones a través de sus distintas entradas. Tiene la característica de entrar en un estado de reposo en el cual tiene un bajo consumo para preservar la batería, despertando solo para tomar la muestra y enviar la información.
- Router: En este modo el equipo está siempre despierto debido a que puede recibir información de otros nodos y retransmitirlos al Gateway, claro está que el consumo de batería es mayor. Cabe resaltar que es posible cargar un programa en los end nodes y routers para el control específico de las entradas y salidas.



Imagen 5-9: Equipo NI WSN 3202, capaz de ser configurado en modo End Node o modo Router

- Gateway: Es el dispositivo central al cual todas las mediciones deben ser transmitidas para ser tratadas por un ordenador con su respectivo software o ser enviadas a la red interna.



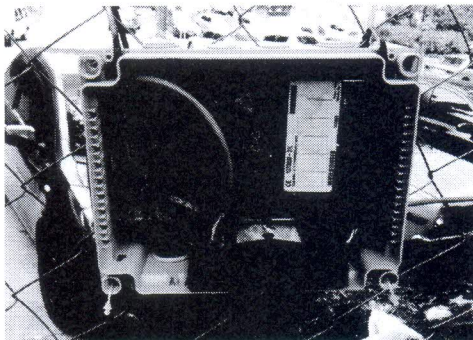
Imagen 5-10: Equipo NI WSN Gateway 9791

EL WSN starter kit es utilizado para medir el parámetro de voltaje de la sonda de inmersión y transmitir la información a una frecuencia configurable. Las mediciones son tomadas a través del equipo WSN 3202 y una de sus entradas análogas. La información es transmitida al WSN Gateway 9791 el cual a su vez se comunica con el software instalado en el ordenador de la oficina de monitoreo y pronóstico.

Las características más importantes del equipo WSN 3202 son:

- Durabilidad de batería de hasta 3 años.
- 4 entradas análogas
- 4 I/O canales digitales.
- Rango de temperatura de operación: -40 a 70 °C

Esta es una tecnología costosa, sin embargo el propósito principal de integrarla en esta réplica del SATGAL en Universidad Galileo es promover el uso de tecnologías inalámbricas y mostrar lo útiles que pueden llegar a ser. Tecnologías como esta pueden llegar a sustituir la línea de transmisión. Por lo tanto, se eliminan problemas tales como el corte de la línea de transmisión y el gasto que esta conlleva.



Fotografía 5-5: Equipo WSN 3202 instalado en la estructura de monitoreo.

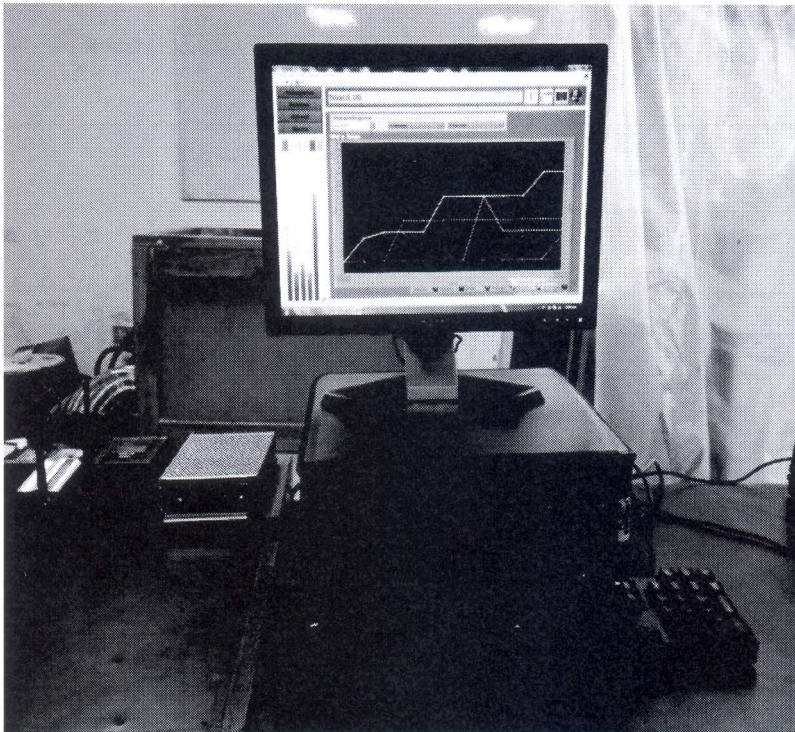
CAPÍTULO VI

OFICINA DE MONITOREO Y PRONÓSTICO

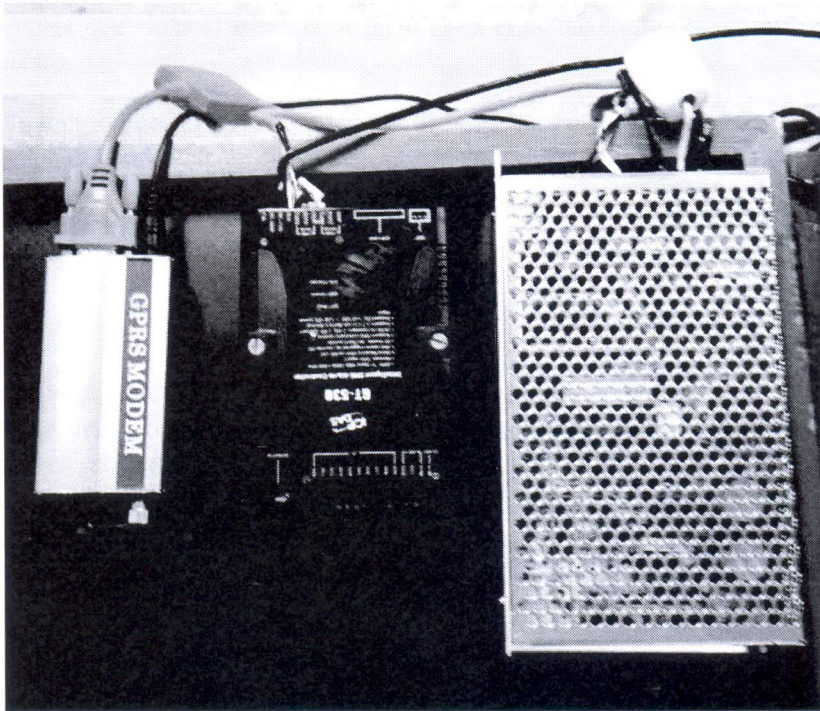
La oficina de monitoreo y pronóstico es el punto donde se centraliza la información enviada por las estaciones de monitoreo local. Esta es una réplica de la instalada en el centro de reducción de desastres de la municipalidad de Santa Lucía Cotzumalguapa, por lo que actualmente solo la estación de monitoreo local de Universidad Galileo se reporta. La estación consta con los siguientes equipos:

- MODEM GPRS genérico.
- Equipo GSM GT-530.
- Fuente de corriente directa.
- Computadora.
- Software de monitoreo.

Cabe resaltar que esta es una réplica de la primera oficina de monitoreo y pronóstico para SAT's ante inundaciones en Guatemala. Anteriormente no se poseían tecnologías para registrar y almacenar la información de una o varias cuencas. Utilizando las tecnologías que se presentan en este documento ahora es posible almacenar la información de los cambios de nivel en formato Excel, desplegar hidrogramas en tiempo real, emitir alertas en tiempo real, entre otras. Se espera que sistemas como este mejoren el tiempo de respuesta de las comunidades y lograr un registro de crecidas para futuros análisis.



Fotografía 6-1: Instrumentación de la oficina de monitoreo y pronóstico, computadora con software de monitoreo.



Fotografía 6-2: Instrumentación de la oficina de monitoreo y pronóstico, fuente de poder y equipos inalámbricos

La tabla que se aprecia a continuación muestra los tiempos de mediciones de la réplica SATGAL.

Ubicación	Estación Universidad Galileo (Tiempo mínimo)	Estación Universidad Galileo (Tiempo máximo)
t1	0.06 min	240 min
t2	0.3 min	1 min
t3	1 min	5 min
Ta	1.36 min	246 min

Tabla 6-1: Instrumentación de la oficina de monitoreo y pronostico, fuente de poder y equipos inalámbricos

La variable t1 contempla la frecuencia de muestreo configurada en el RTU-5011 para el envío de mensajes de texto más el tiempo que toma el mensaje en llegar a la oficina de monitoreo y ser detectado por el equipo GT-530, lo que se puede apreciar a través de la información publicada por el puerto serial.

La variable t2 contempla el tiempo que toma el software de monitoreo en procesar y analizar el mensaje de texto. Este tiempo puede ser medido en momento que la información es publicada en el puerto serial hasta el momento en que el bloque de código encargado del envío de mensaje de texto se ejecute, lo cual puede ser fácilmente detectado con una “sonda” o más conocida como “probe” en LabVIEW.

La variable t3 contempla el tiempo desde el momento en que la “probe” detecta la ejecución del bloque de código que envía el mensaje de texto hasta el momento que el voluntario recibe el mensaje de texto.

La tabla 6-1 también muestra la suma de los tres tiempos antes mencionados, este debe ser menor al tiempo de concentración de la cuenca.

Cabe resaltar que el tiempo mínimo de muestreo que se puede configurar en el RTU-5011 para el envío de mensajes a la oficina de monitoreo y pronóstico, es decir t1, puede ser de 30 segundos.

6.1 GT-530

El GT-530 es un controlador SMS para aplicaciones industriales. Comúnmente utilizado para monitoreo de equipos remotos y control de alarmas. Este equipo es configurable a través de una computadora y un software predeterminado, adicionalmente publica a través del puerto serial el estado en el que se encuentra y actividades tales como el envío y recepción de mensajes de texto.

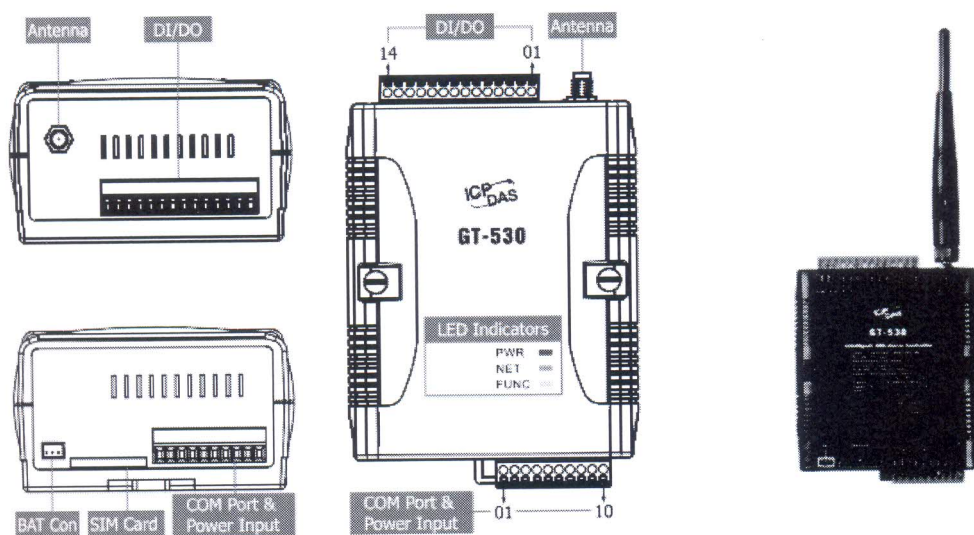


Imagen 6-2: Equipo GSM GT-530 y sus características. Conectores, puertos de comunicación, entradas analógicas y digitales.

A continuación se presentan especificaciones técnicas del GT-530

- Soporta las bandas 900/1800/1900 MHz
- Capacidad de configurar hasta 10 números de teléfono.
- Envío de mensajes de texto SMS.
- 10 entradas digitales
- 2 salidas digitales

La función que desempeña El GT-530 en la oficina de monitoreo y pronóstico es la de recibir los mensajes de texto de las estaciones de monitoreo local. Estos mensajes son publicados en el puerto serial y analizados por el software de monitoreo descrito más adelante.

6.2 MÓDULO TRANSMISOR GPRS

Equipo genérico de bajo costo para el envío de mensajes de texto el cual realiza funciones con base en comandos AT y conectado al puerto serial de una computadora. Debido a la característica de manejar comandos AT es posible enviar mensajes de texto a una cantidad indefinida de destinatarios al enviar los comandos correspondientes, característica que lo hace indispensable para la emisión de alertas en la oficina de monitoreo y pronóstico.

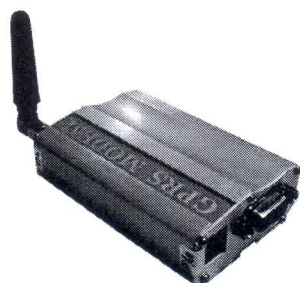


Imagen 6-2: Modem genérico GPRS.

Por medio del software de monitoreo es posible definir la lista de números telefónicos a los cuales se transmite el respectivo mensaje de alerta. En caso de que la emisión de alertas esté activada, el software envía los comandos AT necesarios, a través del puerto serial, para transmitir el mensaje de alerta a cada uno de los involucrados. A continuación se indica como enviar un mensaje utilizando Comandos AT.

```
> AT+CMGS="47689386"  
> = "Sensor Universidad Galileo, Alarma Naranja, El nivel del río es 6"  
>
```

Imagen 6-3: Comandos AT necesarios para enviar mensajes de texto con el modem genérico GPRS

6.3 LabVIEW

La plataforma en la que fue desarrollado el software de monitoreo es la plataforma LabVIEW, Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench, que utiliza un entorno gráfico en el cual se desarrolla toda la programación del software de monitoreo. Esta plataforma fue desarrollada por National Instruments, NI.

El entorno de desarrollo cuenta con dos ventanas principales las cuales se describen a continuación:

- **Panel frontal**
En esta ventana es posible realizar el HMI (Human Machine Interface) del software que se desea desarrollar. El propósito del HMI es interactuar con el usuario, para que el mismo sea capaz de manipularlo y así obtener información relevante del software que sea de su utilidad. En esta ventana es posible incluir distintos tipos de elementos gráficos que tengan como propósito desplegar información relevante y hacer más sencilla la utilización de dicho software haciendo usos de menús, tablas, listas desplegables, graficas, botones y distintas pantallas dentro del mismo software. Estos elementos es posible visualizarlos en una ventana adicional que consta con todos estos elementos. Es importante resaltar que en esta ventana no se visualiza ninguna parte del código que fue desarrollado.
- **Diagrama de bloques**
En esta ventana es posible desarrollar la componente lógica del programa, definiendo el comportamiento, lógica y funciones de un programa.
Se encuentra una gran cantidad de bloques disponibles que provee LabVIEW, cada uno con una función específica. Estos bloques se encuentran disponibles únicamente en la ventana del diagrama de bloques y se separan por categorías las cuales tienen una colección de bloques los cuales pueden ser utilizados para el desarrollo del programa. Haciendo una interconexión de bloques es posible desarrollar los programas, debido a que hay una gran variedad de tipos de datos y bloques para la manipulación de todos los tipos de datos.

Existen dos maneras de desarrollar programas utilizando esta plataforma:

- **Virtual Instruments,(VI's):**
Los VI's se utilizan normalmente cuando se desean desarrollar programas cuya complejidad sea baja y no se requiera hacer uso de hardware. Es posible hacer uso de estos VI's dentro de otros VI's, cuando se realiza esto se hacen llamar subVI's y estos deben contar con entradas y salidas definidas.
- **Proyectos:**
Cuando se necesita utilizar más de un VI y algún componente de hardware es necesario crear un proyecto, este nos permite agrupar una gran cantidad de VI's y subVI's para hacer usos de los mismos dentro del proyecto y dentro de los distintos VI's que se encuentran en el proyecto. De igual modo, si es necesario hacer uso de algún tipo de hardware es posible emparejarlo con el proyecto y utilizar sus entradas y salidas.

Como todo entorno de desarrollo existen diferentes tipos de estructuras, ciclos, tipos de datos, operaciones, funciones, etc. Todos en forma de bloques.

6.4 SOFTWARE DE MONITOREO

Consiste de un proyecto que contiene un panel frontal principal, una variedad de subVI's y controladores especiales que se desarrollaron para el manejo de alarmas. Este software posee una interfaz amigable para el usuario, por lo que una persona con conocimientos básicos de computación puede manejarlo.

EL software presenta los siguientes indicadores que se encuentra siempre visibles independientemente a qué pestaña ingrese.

- Indicadores en forma de focos que muestran el color de la alarma en el que se encuentra cada ubicación. Los colores de alarma que se manejan son verde, amarillo, naranja y rojo, los rangos de las alarmas son configurables.
- Indicadores de tipo tanque que muestran el nivel actual del río en sus diferentes puntos de monitoreo.
- Indicador de texto dinámico en la parte superior de la pantalla el cual varía cada 5 segundos. El formato del texto que se muestra es: "Ubicación Nivel, Alarma". Donde Nivel es el nivel actual del río y donde Alarma indica el color de la alarma en la que se encuentra.

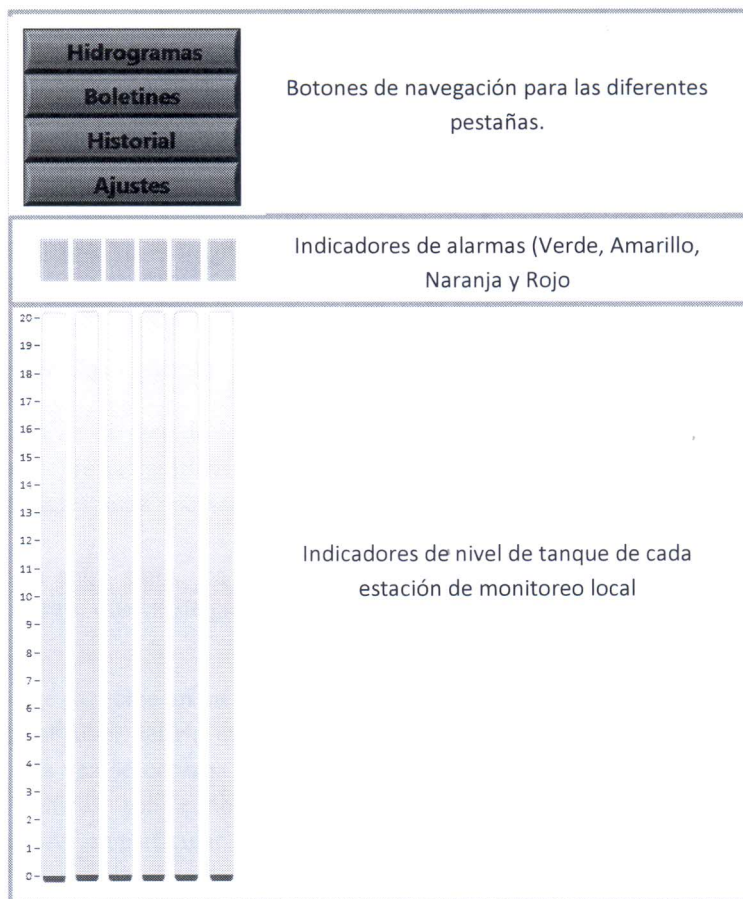


Imagen 6-4: Indicadores generales y botones de navegación del panel frontal ubicados en la parte izquierda del software de monitoreo.



Imagen 6-5: Indicador de texto dinámico y logotipos de entidades involucradas, ubicado en la parte superior del software de monitoreo.

6.4.1 HIDROGRAMAS

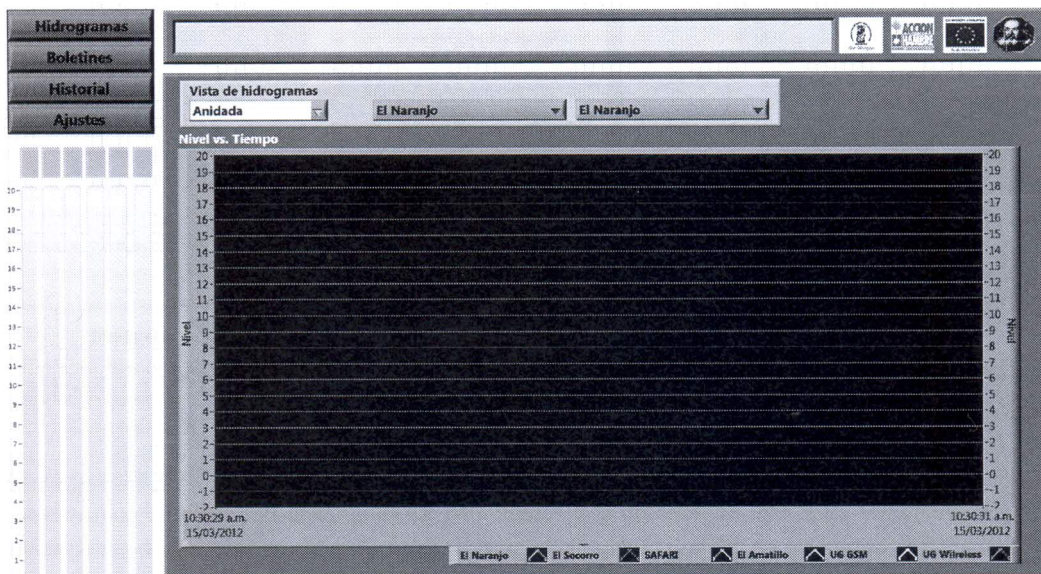


Imagen 6-6: Pestaña de hidrogramas del software de monitoreo. Visualización de hidrogramas anidados e individuales.

Esta pestaña desempeña las siguientes funciones:

- Visualización de niveles de los ríos respecto del tiempo. Además, es posible agregar anotaciones sobre las gráficas por si existieran eventos adicionales al comportamiento del río, los cuales fuera necesarios registrar.
- Comparación entre sitios. La comparación de las gráficas nos permite visualizar el tiempo de retraso que existe para que llegue una crecida del río de un lugar a otro

En el momento en que se recibe un mensaje de texto, con el formato establecido, el programa se encarga de graficar el nivel del río en la pestaña de hidrogramas en donde se encuentra una gráfica anidada y a la vez se encarga de presentar gráficas individuales correspondientes a su ubicación, estas graficas son conocidas como hidrogramas que muestran información hidrológica, en este SAT en particular el nivel del río, respecto del tiempo.

Entre las posibles opciones de visualización de hidrogramas es posible seleccionar entre dos tipos de vista: Anidadas e Individual. Cuando se decide visualizar gráficas individuales es posible seleccionar entre la visualización de una ubicación o dos.

6.4.2 BOLETINES

Imagen 6-7: Pestaña de boletines del software de monitoreo, visualización de boletines de diferentes entidades dedicadas a la meteorología.

En la pestaña que se puede visualizar en la imagen 6-7 se puede observar dos navegadores de internet, dos botones con la etiqueta de principal y dos botones de tipo lista, los cuales tienen únicamente dos opciones de selección. Estos navegadores tienen como propósito visualizar únicamente páginas dedicadas al monitoreo de las condiciones climáticas de la costa sur de México y Centroamérica. Estas páginas se actualizan cada cinco minutos con animaciones de imágenes satelitales, las cuales son publicadas por la entidad National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Esta información es de suma importancia debido a que es posible visualizar las condiciones climáticas, las cuales pueden ser sistemas de baja y alta presión, que pueden llegar a provocar lluvias de proporciones significativas para un posible desbordamiento. Haciendo uso de esta información es posible alertar a las personas que se encuentran en la costa sur de Guatemala acerca de posibles precipitaciones que puedan llegar a presentarse, esto tiene como propósito incrementar la ventana de tiempo que existe para emitir una alarma y que se tome acción preventiva.

Adicional a las páginas de internet de NOAA que se pueden llegar a visualizar, también es posible visualizar los boletines que publica el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, INSIVUMEH durante el transcurso de la semana. Estos boletines cuentan con información específica para el área de Guatemala en los que, pronostican las temperaturas máximas y mínimas y las condiciones climatológicas que afectarán al país.

Las páginas que se pueden visualizar al usar la pestaña de boletines son:

- The National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)
Agencia federal de Estados Unidos de América, enfocada en la condición de los océanos y la atmosfera. Monitoreo del sector tropical.
<http://www.goes.noaa.gov/g8hu.html>

- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH)
Pronóstico del día para toda la región de Guatemala.
<http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/bolpro.htm>
- Sitio informativo de servicio público con información en tiempo real sobre el tiempo, el clima, temblores o sismos y demás amenazas naturales. (ClimaYa)
<http://www.climaya.com>

6.4.3 HISTORIAL

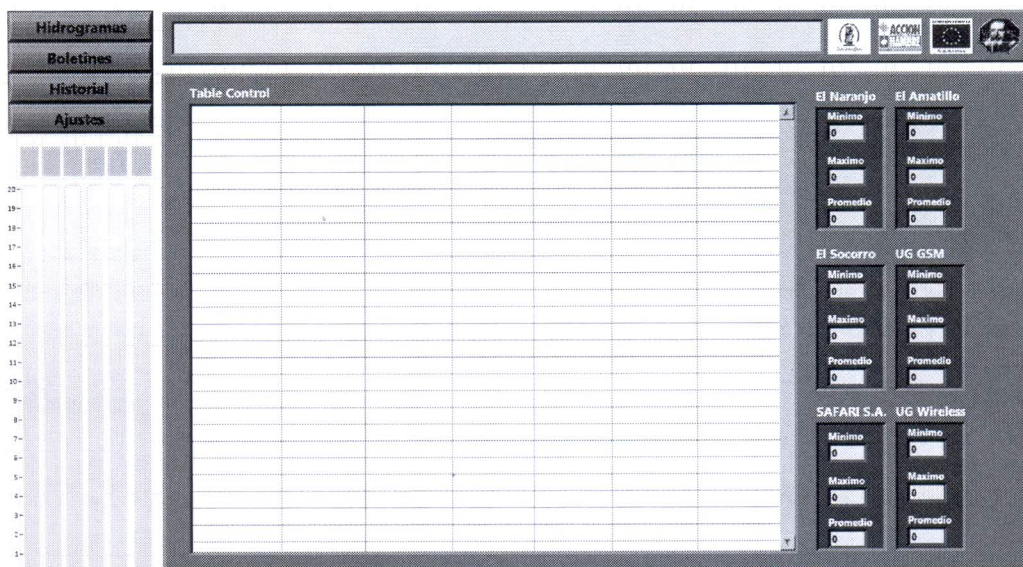


Imagen 6-8: Pestaña de historial del software de monitoreo, tabla de las ultimas lecturas registradas y datos estadísticos.

El propósito de esta pestaña es mostrar el registro de la información que se almacena desde el momento en el que se inicia el software de monitoreo. En esta pestaña se cuenta con una tabla, similar a una hoja de cálculo, la cual contiene información acerca de las ubicaciones que se están monitoreando. También cuenta con un encabezado, por cada columna, en la primera columna se puede visualizar la hora y la fecha en la que entró cada uno de los mensajes recibidos. En las siguientes columnas, cada una corresponde a una ubicación, y se puede visualizar el nivel del río en el que se encontraba dicha ubicación cuando se recibió el último mensaje de texto. Esta pestaña tiene como propósito mostrar la hoja de cálculo que se está generando de manera automática, cada vez que se recibe un mensaje de texto. Con esta información es posible realizar cálculos estadísticos y a la vez utilizar esta información para la modelación de una cuenca.

Los cálculos estadísticos que se realizan en esta pestaña son de utilidad para determinar el comportamiento normal de una cuenca y obtener un promedio acerca del comportamiento del río en cada uno de sus puntos durante el periodo en el que se mantuvo operando el software de monitoreo y pronóstico. A la vez, tener un registro de los niveles máximos y mínimos de dicho punto es necesario para así conocer en qué momento se alcanza un nivel de alta peligrosidad, el cual puede llegar a provocar desastres en las ubicaciones habitadas cercanas a la cuenca y así determinar los diferentes umbrales que corresponden a cada uno de los niveles de alarma que se mencionaron anteriormente.

adicional, ya que se comunica directamente con un Gateway y este módulo provee la misma información que sería recibida en forma de mensaje de texto.

El listado de números telefónicos contiene todos los números de teléfono de las personas que serán alertadas en el momento que se envíe un mensaje de texto. Esta lista es posible actualizarla en cualquier momento y se enviará el mensaje de texto a todas las personas que se encuentren en dicha lista.

El indicador en tipo de texto con la etiqueta "SERIAL" que se puede visualizar en la imagen 6-9 nos permite corroborar si el módulo, GT-530, que se encarga de recibir los mensajes de texto se encuentra comunicado con el software de monitoreo. En este indicador se puede visualizar el comportamiento del módulo y el tipo de comunicación que utiliza, adicional a que nos permite visualizar si el módulo se está comunicando con el software también es posible detectar si este módulo se encuentra conectado a la red y si están ingresando mensajes de otras ubicaciones que no sean los centros de monitoreo local.

Debido a que en época de verano no es necesario el envío de mensajes de texto en todo momento es también posible desactivar el envío de los mismos a través de un combo box. Es importante mandar periódicamente mensajes de texto a las personas que se encuentran en esta lista debido a que deben tener presente el funcionamiento de la herramienta y su utilidad.

6.4.5 ESTRUCTURAS Y ARQUITECTURAS

A continuación se presentan las estructuras y arquitecturas utilizadas para el desarrollo del software de monitoreo del SATGAL, así como SubVI's y bloques de programación importantes.

6.4.5.1 Comunicación serial

La recepción de un mensaje de texto se realiza a través del módulo GT-530 explicado anteriormente, que publica todos los mensajes de texto vía puerto serial. Para utilizar el puerto serial en LabVIEW es necesario:

- Tener instalado el paquete de National Instruments Virtual Instrument Software Architecture, VISA.
- Incluir antes de la ejecución del ciclo el bloque de inicialización del puerto serial con los parámetros correspondientes para la comunicación.
- Utilizar bloque de VISA de lectura o escritura del puerto serial dentro del ciclo.
- Utilizar el bloque de VISA para terminar la comunicación con el puerto que se utilizó previamente.

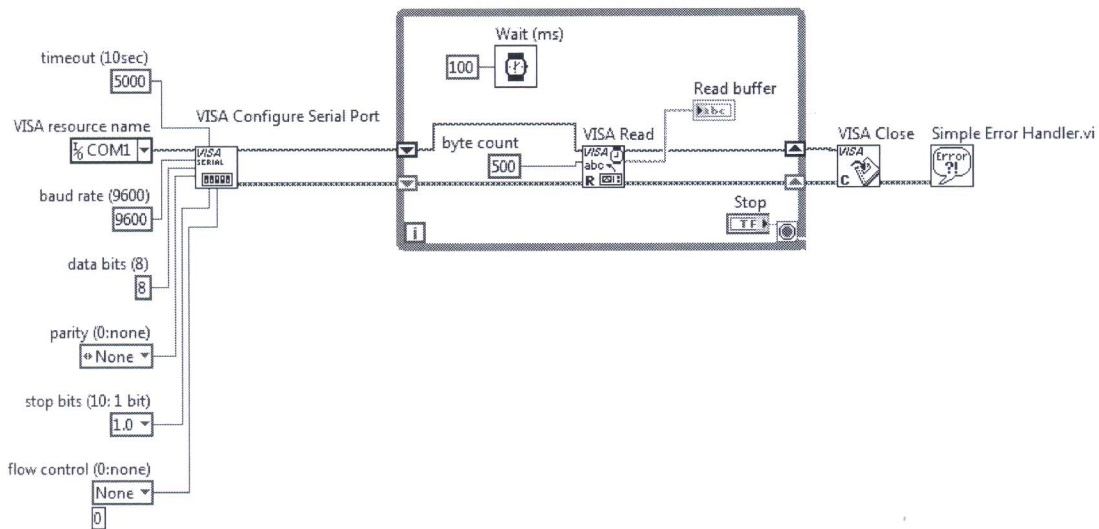


Imagen 6-10: Ejemplo de configuración e inicialización de una sesión utilizando el puerto serial en LabVIEW.

En la imagen 6-10 es posible visualizar el bloque de VISA que se utiliza para iniciar la comunicación con el puerto serial, VISA Configure Serial Port. En este bloque es posible definir el puerto en donde se toman las lecturas de la información que estará siendo publicada en el puerto serial por el dispositivo que se encuentre conectado. Es también posible definir el tiempo de espera el cual es utilizado para determinar si el dispositivo que está conectado en dicho puerto tiene comunicación con el software, la tasa de baudios, los bits de data por trama, la utilización de paridad o no para la detección de errores, el bit que indica el fin de la trama y el control de flujo.

Dentro del ciclo es posible visualizar un bloque con la etiqueta VISA Read. Este bloque permite leer en formato de texto toda la información que está siendo publicada por el puerto serial que ha sido configurado anteriormente. Es posible también definir la cantidad de información que se desea visualizar en el indicador titulado "Read buffer" cada vez que exista una publicación de información en el puerto serial.

Cuando termina la ejecución del ciclo se procede a ejecutar el último bloque, VISA Close, el cual se utiliza para terminar la comunicación con el puerto serial que ha sido configurado previamente.

Se incluye, de manera adicional, un módulo con la etiqueta Simple Error Handler.vi. Este módulo es utilizado para evitar que ventanas emergentes se muestren en caso de que llegara a haber un error en la comunicación. Es importante mencionar que no es un bloque obligatorio para el funcionamiento de la comunicación con el puerto serial.

Cabe resaltar que para que esta configuración de bloques se ejecute adecuadamente, es necesario que todos los bloques estén alambrados tanto en las salidas como en las entradas con el nombre "VISA resource name"

La información que se puede leer en el indicador Read buffer es la que publica el módulo GT-530 la cual necesita ser procesada para que sea información adecuada para que el software la interprete. Los pasos para la validación de un mensaje de texto recibido en el módulo GT-530 son:

- Verificación de que el número de teléfono de donde fue enviado el mensaje de texto se encuentre en la base de datos de número aceptados por el software de monitoreo.
- Verificación de que el mensaje de texto haya sido escrito en el formato estandarizado para el envío de información.
- Registro y almacenamiento de la información recibida dependiendo de la ubicación de donde fue recibido cada mensaje.

6.4.5.2 Máquina de estados finitos

Una máquina de estados o autómata finito es un modelo que se utiliza para representar estados y las transiciones entre estados. Se utilizan aristas para modelar las transiciones de un estado a otro y solo es posible ir de un estado a otro si se cumple la condición que se requiere para hacer la transición a través de la arista.

Una máquina de estados en LabVIEW es una estructura muy útil debido a que nos permite ejecutar porciones de código en diferentes secuencias, a través de transiciones entre estados que contienen porciones de código dependiendo del estado en el que se encuentre.

Una máquina de estados es implementada al utilizar los siguientes componentes:

- Ciclo: Cada ejecución del mismo permite hacer la transición de un estado a otro o permanecer en el mismo.
- Estructura "case": Dentro de cada "case" se encuentra la porción de código que corresponde a dicho estado que se ejecutara.
- Shift register: Nos permite pasar el estado actual de la ejecución del ciclo al siguiente ciclo. Puede verse como las aristas en un modelo que utiliza estados finitos.

La máquina de estados es utilizada para generar y guardar reportes los cuales contienen la información que ha ingresado de las estaciones de monitoreo local acerca de los niveles de los

ríos. Estos reportes, además de utilizar una máquina de estados utilizan VI's que se encarga de almacenar imágenes en el disco y adjuntarlas a un reporte en formato HTML para que pueda modificarse

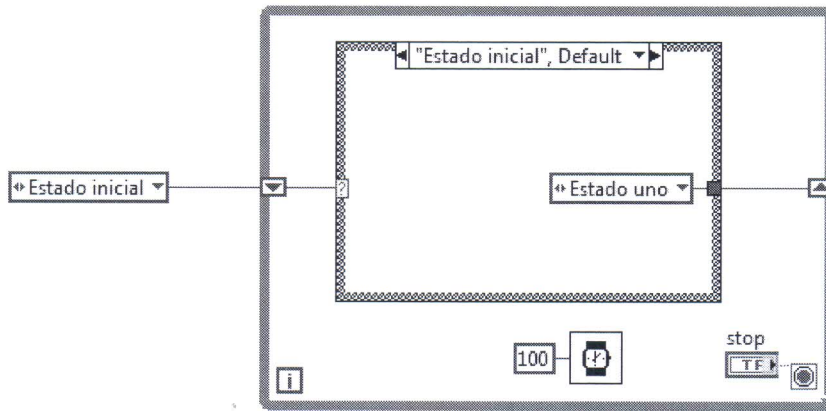


Imagen 6-11: Ejemplo de una máquina de estados finitos en LabVIEW.

6.4.5.3 Estructura de eventos

Una estructura de eventos es utilizada para detectar los eventos que pueden llegar a ocurrir cuando un usuario interactúa con el programa desarrollado, a través de periféricos. Estas acciones pueden ser:

- Presionar una tecla del teclado.
- Presionar el botón “cerrar” de una ventana.
- Mover el mouse.
- Mover el mouse sobre un controlador o indicador.

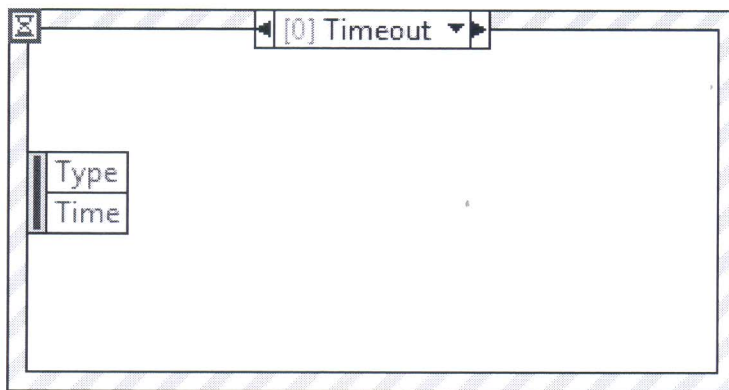


Imagen 6-12: Estructura event case, estado de Timeout en LabVIEW.

La ventana de configuración que se muestra en la imagen 6-13 se ve cada vez que se desea manejar un nuevo evento. En esta ventana es posible visualizar todos los elementos que se

encuentran en el panel frontal y los posibles eventos que pueden afectar dicho elemento, los cuales pueden ser capturados.

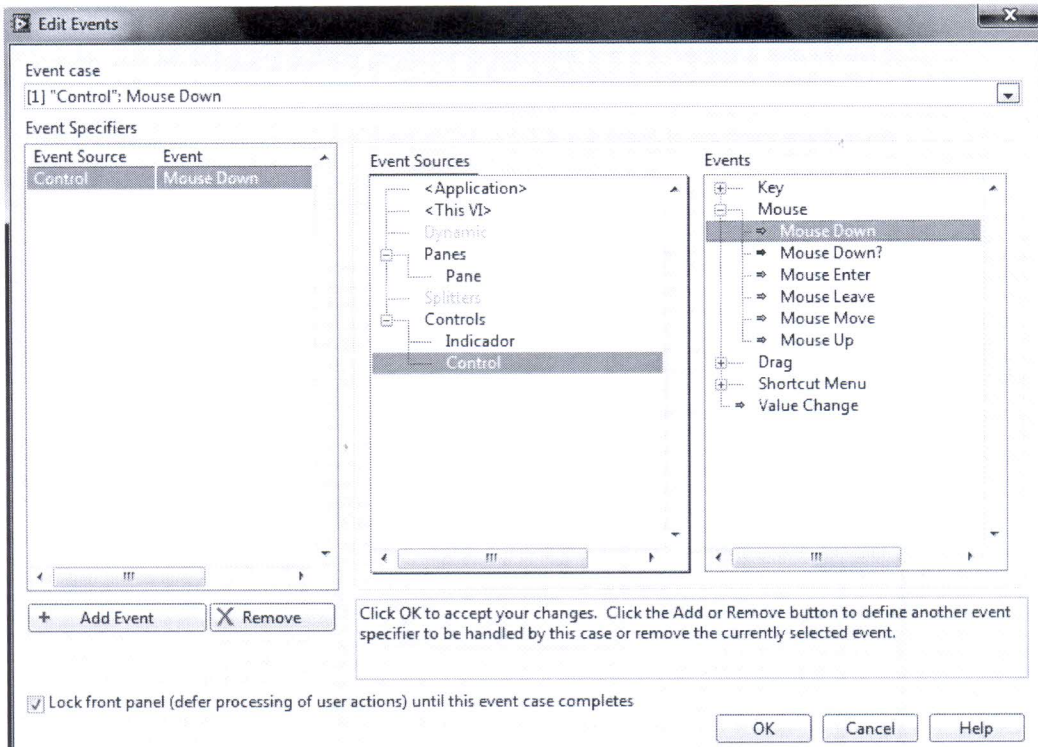


Imagen 6-13: Ventana para agregar y modificar los eventos manejados por la estructura de eventos event case. Agregando el caso cuando se presiona el botón del mouse sobre un control específico.

La captura de eventos es de suma importancia debido a que existen aplicaciones en las cuales es necesario una operación continua y la detección de acciones. La estructura de eventos permite diferenciar varios eventos dependiendo de que parte del código se desee monitorear, tales como eventos en indicadores, controles, panel, etc.

6.4.5.4 Estructura productor consumidor

Es una estructura utilizada cuando se necesita realizar procesamiento de alta velocidad. Se compone de dos ciclos paralelos conocidos como: productor y consumidor, el ciclo del consumidor tiene la característica de no poseer ningún VI que controle el tiempo de ejecución del ciclo, esto se debe a que debe procesar la información que reciba a alta velocidad.

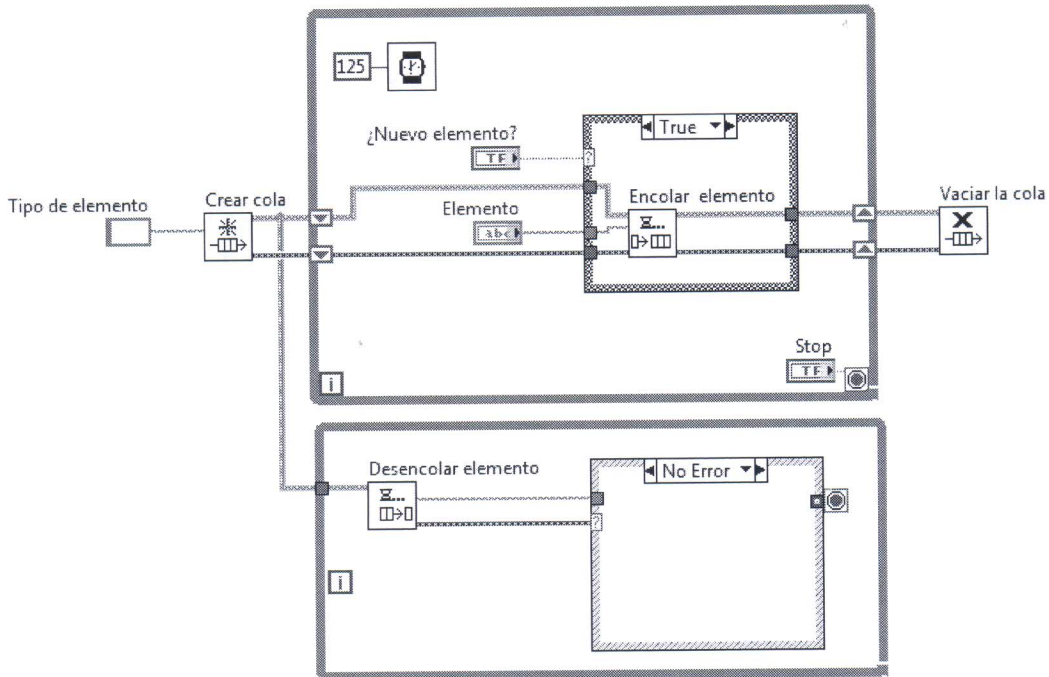


Imagen 6-14: Ejemplo de una estructura productor consumidor en LabVIEW.

Para trasladar los datos que se deben procesar del ciclo productor al ciclo consumidor se crea una cola. Esta cola se construye utilizando, un solo tipo de dato y cuando se desee encolar un nuevo elemento a la cola, esta no aceptará otro tipo de dato que no sea el que fue previamente establecido, esto es debido a que una cola solamente puede guardar un tipo de dato en cada una de las posiciones de la misma. Debido a que solamente se acepta un tipo de datos es posible definir el dato con el que se construye la cola como un clúster, aglomeración de distintos tipos de datos. De este modo es posible pasar distintos tipos de datos del productor al consumidor.

Una estructura de cola cumple con el requerimiento “FIFO”, que significa, “First In, First Out”, por lo cual, el ciclo consumidor se encargará de procesar el primer elemento que fue encolado en la cola, uno por uno, hasta concluir con el último elemento de la cola. Las operaciones que se puede realizar utilizando una cola son:

- Crear, crea una nueva cola vacía o con un tipo de dato definido.
- Encolar, ingresa un nuevo elemento a la cola posicionándolo en la última posición.
- Desencolar, obtiene el primer elemento en la cola.

Para pasar un elemento del ciclo productor al ciclo consumidor es necesario encolar el dato que se desea enviar. El dato que se debe encolar será del tipo de dato previamente definido cuando se crea la cola.

Para procesar un elemento de la cola es necesario desencolar los datos. Si estos datos son clusters es necesario obtener el dato y acceder a cada uno de los elementos que componen dicho cluster para procesarlo. Este dato es eliminado de la cola y queda en la primera posición, para ser atendido, el elemento que iba atrás del elemento que fue atendido.

Al finalizar el programa es necesario vaciar la cola y eliminarla para evitar ocupar espacio en memoria que no sea necesario.

6.4.5.5 Recepción y manipulación de un mensaje de texto entrante

En el momento en el que un mensaje de texto nuevo es recibido por el módulo GT-530, que cuenta con un watchdog el cual se activa en el momento de recibir un mensaje de texto nuevo, se encarga de hacer las consultas necesarias haciendo uso de comandos AT para publicar el mensaje que fue recibido a través del puerto serial, en forma de texto. Esta información que es publicada a través del puerto serial, además de contener el mensaje de texto, cuenta con todas las consultas y los procesos que ha realizado dicho módulo. Muchas de estas consultas, aunque parecen innecesarias es un proceso automático que realiza el módulo GT-530.

```
A0F41C5403
OK
-->STP_ACCESS_SMS :
SMS_Data.mode=0
SMS_Data.remote_phone=50247689386
SMS_Data.data=Sensor 2 current is 5
Phone Number don't been define!!
-->Delete SMS
AT Command:at+cmgda=1
-->Delete SMS Ack
dwRetval=1
Delete SMS successfully
-->STP_REQUEST_SMS :
-->STP_RECEIVE_SMS(TimeOut) :
AT+CMGR=2
OK
-->STP_ACCESS_SMS :
SMS_Data.mode=0
SMS_Data.remote_phone=
SMS_Data.data=
```

Imagen 6-15: Información publicada a través del puerto serial por el módulo GT-530. Es posible visualizarla utilizando el programa hyperterminal.

En la imagen 48 se puede visualizar el número del módulo que envió el mensaje de texto en SMS_Data.remote_phone y se observa el mensaje de texto que se recibió en SMS_Data.data.

De la información que es recibida a través del puerto serial, en forma de texto, solo se hace uso del número telefónico, el mensaje de texto y el contenido del mensaje de texto.

6.4.5.6 Parseo del mensaje de texto, proceso de verificación y validación de mensajes de texto.

La información que es recibida a través del puerto serial es obtenida por el software de monitoreo y pronóstico al configurar una sesión del puerto serial y un VI que se encarga de recibir toda la información que se publica en el puerto serial en forma de texto. En este bloque de texto se encuentra contenido el mensaje de texto recibido y el número telefónico del módulo, por lo cual es necesario procesar el mensaje de texto para obtener únicamente la información que es utilizada.

El proceso para obtener dicha información es segmentar el texto obtenido en el puerto serial, esto se logra haciendo uso de VI's que se dedican a buscar en el texto una expresión regular específica y luego es capaz de devolver el texto que lo precede. Este procedimiento se realiza dos veces dentro del código, una vez es para obtener el número telefónico y la segunda vez es utilizada para obtener el mensaje de texto.

La primera búsqueda en el bloque de texto es la expresión regular "SMS_Data.remote_phone" donde el texto que le precede es el número telefónico. Este es utilizado para verificar que el mensaje de texto fue enviado por uno de los módulos que fueron instalados y no de otro número telefónico. Si un mensaje de texto, aun con el mismo formato, fuera recibido y, no se contara con el número del remitente en la base de datos, el mensaje de texto sería descartado y no se procesaría. Este procedimiento se realiza para evitar un posible sabotaje que se pueda presentar y evitar que el mensaje de texto procese mensajes publicitarios los cuales son enviados de parte de los proveedores de servicios y otras compañías.

La segunda expresión regular que se busca en el bloque de texto es "SMS_Data.data", donde el texto que le precede a esta expresión regular es el mensaje de texto que cuenta con información de la ubicación y el nivel de corriente obtenida de la sonda de inmersión de dicha ubicación. La información con la que cuenta el mensaje de texto acerca de la ubicación es almacenada en una variable llamada "Ultimo sensor", esta información es utilizada para conocer la última ubicación de donde se recibió un mensaje de texto y a su vez es usada para procesar la información recibida de un forma ordenada.

La medición de corriente que se encuentra en el mensaje de texto, está en forma de texto, por lo cual es necesario convertir dicha información a un valor numérico, el cual es utilizado posteriormente.



Convertimos el texto que viene del transmisor a un número que representa el ultimo sensor del que recibimos dicho mensaje.

Imagen 6-16: Ejemplo de un subVI TextoToSensor

6.4.6 MAPEO DE MEDICIÓN A NIVEL DE ALERTA.

Asignación de nivel del río.

Luego de haber filtrado la información del mensaje de texto y convertir el valor de corriente y la ubicación que se encuentran en forma de texto a un tipo de dato numérico, inicia el proceso para mapear el valor de corriente a un nivel específico con el subVI llamado “Comparación Corriente”. Este subVI es capaz de determinar un nivel digital entre cero y veinte en base al valor de corriente análogo que recibe y haciendo uso de una regla de asignación. Este SubVI entrega un arreglo de valores digitales.

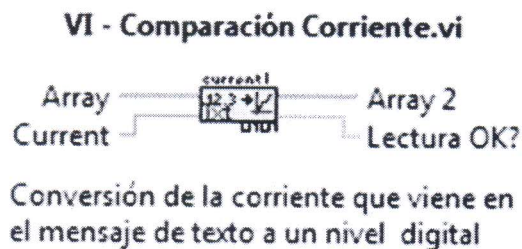


Imagen 6-17: Ejemplo de un subVI Comparación Corriente.

Determinación del nivel de alerta.

Lo que procede después de obtener un nivel discreto de la medición de corriente es determinar el nivel de alarma del río en base al nivel obtenido. El arreglo que entrega el SubVI “Comparación Corriente” es transformado al valor numérico que dicho arreglo representa en el sistema binario. Una vez obtenido a valor numérico que representa el nivel discreto del río este procede a ingresar al subVI “Valor a Nivel” que con base en las configuraciones de la pestaña de ajustes determina el tipo de alarma de la estación de monitoreo local que envió el mensaje de texto.

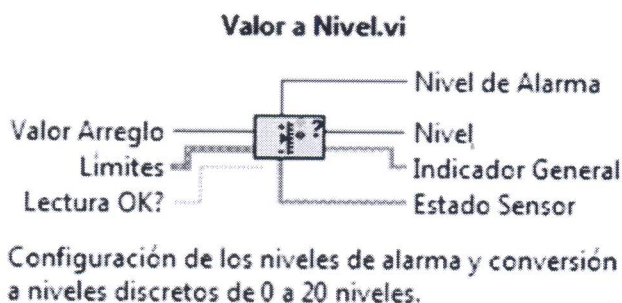


Imagen 6-18: Ejemplo de un subVI Valor a Nivel

Modificación de hidrogramas

La salida etiquetada Nivel que entrega el SubVI Valor a Nivel se comunica con el bloque de código, que modifica las gráficas que se visualizan en la pestaña de hidrogramas. El primer paso para realizar esta modificación es utilizar el VI express llamado colector, el cual colecciona señales de entrada y entrega el dato más reciente hasta un número específico de muestras por canal. Luego al utilizar la función de llamada merge signals se grafican todos los “niveles de río”, en el indicador de gráfica llamado Nivel vs Tiempo, proporcionados por la distintas estaciones de monitoreo y pronóstico.

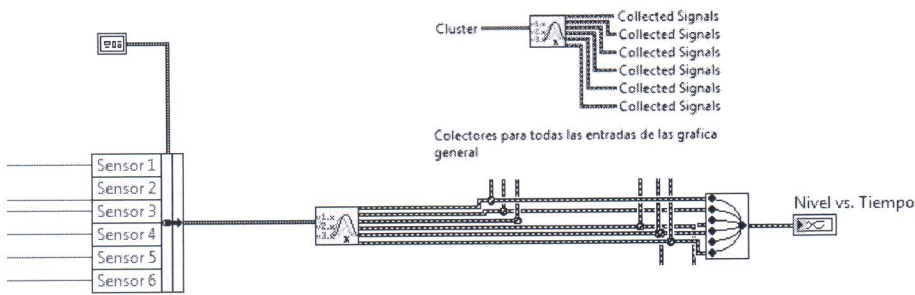


Imagen 6-19. Sección del diagrama de bloques del software de monitoreo. Se encarga de graficar todos los valores de los niveles del río en una sola grafica llamada Nivel vs. Tiempo

Actualización de historiales.

Además de modificar los hidrogramas, la salida etiquetada Nivel del SubVi Valor a Nivel también actualiza ambos historiales. La tabla que se muestra en la pestaña de historial y la tabla que se guarda en formato .xls. El SubVI llamado ClusterToText se encarga de transformar los valores numéricos correspondientes a cada sensor a un formato de texto ideal para ser introducido en las tablas.

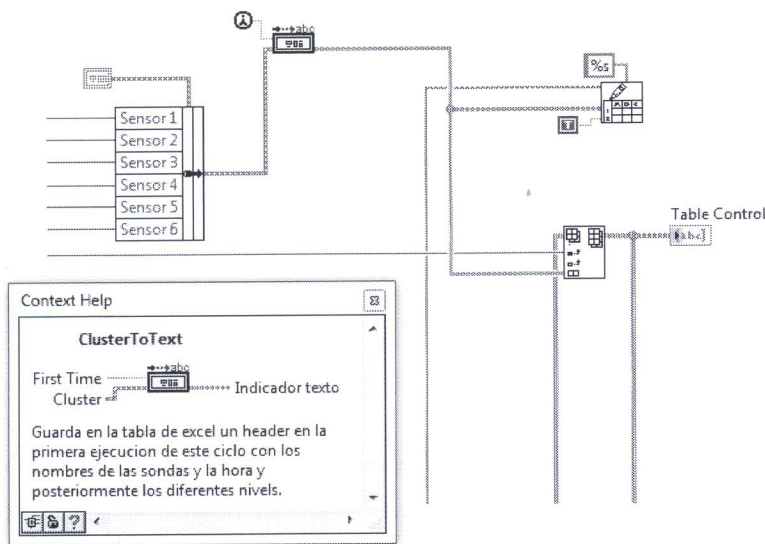


Imagen 6-21: Sección del diagrama de bloques del software de monitoreo. Se encarga de almacenar todos los valores de los niveles del río en una tabla al utilizar el subVI ClusterToText.

6.4.7 ENVÍO DE MENSAJES DE ALARMA.

Para enviar mensajes de texto es necesario configurar una sesión diferente para el puerto serial, en la cual se escribirá al puerto serial los mensajes de texto que se enviarán a los números de texto que se encuentran en la base de datos haciendo uso del módulo genérico GPRS y comandos AT.



Diagrama 6-1: Formato de un mensaje de texto enviado a los voluntarios.

Haciendo uso de la variable “último sensor”, es posible determinar el siguiente mensaje que debe ser enviado. Esto se hace para mantener un orden respecto al último mensaje entrante y el último mensaje que se debe enviar al listado de número telefónicos que se encuentra en la base de datos.

Debido a que el valor del nivel del río se encuentra en forma numérica es necesario convertirlo a formato de texto, para concatenarlo al mensaje de texto que será enviado.

Utilizando un texto base para el envío de mensajes de texto se concatenan las variables “último sensor” y los valores del nivel de río de la ubicación que indica el “último sensor” y el tipo de alarma. Este mensaje se envía a cada uno de los voluntarios cada vez que un mensaje de texto nuevo es procesado.

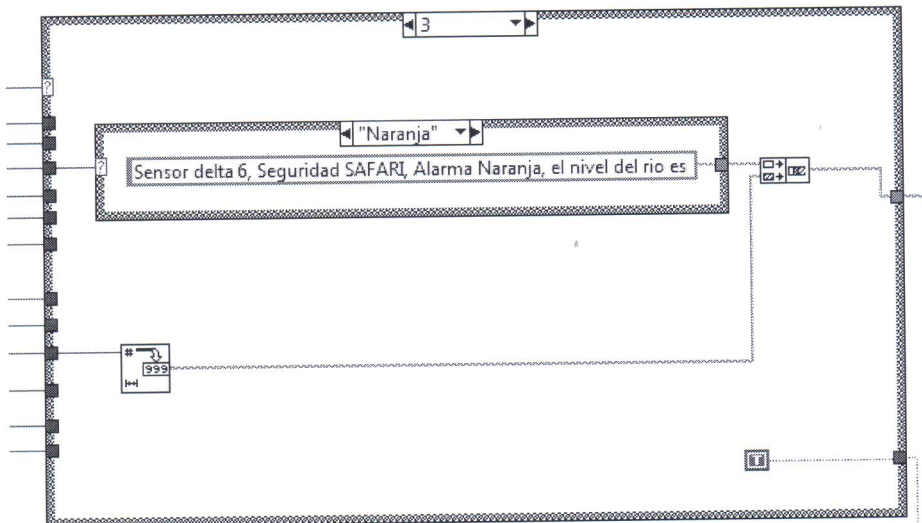


Imagen 6-22: Sección del diagrama de bloques del software de monitoreo. Se encarga de concatenar información de los niveles de río a un texto base para que sea enviado posteriormente en forma de mensaje de texto.

Debido a que en época de verano no es necesario el envío de mensajes de alerta, existe la opción de habilitar o deshabilitar el envío de mensajes, lo cual ayuda a su vez a bajar los costos de mantenimiento del sistema. Si está habilitada la opción del envío de mensajes se procede a utilizar el VI que permite la escritura a través del puerto serial. Al escribir una cadena de texto a través del puerto serial, que contenga comandos AT, es posible indicarle al módulo GPRS que se enviará una cadena de caracteres que se necesitan ser enviados en forma de mensajes de texto. El comando AT utilizado es “AT+CMGS= #número_telefónico” este comando es utilizado cada vez que se desea enviar un mensaje de texto, no es posible enviarle un mensaje de texto a más de un número telefónico a la vez, por lo que se debe enviar este comando al módulo GPRS genérico cada vez que se cambia de destinatario. Después de haber enviado este mensaje de texto utilizando el VI, que se encarga de escribir en el puerto serial, es necesario enviar el mensaje de texto correspondiente. Cuando se detiene del software de monitoreo es necesario cerrar la sesión del puerto serial.

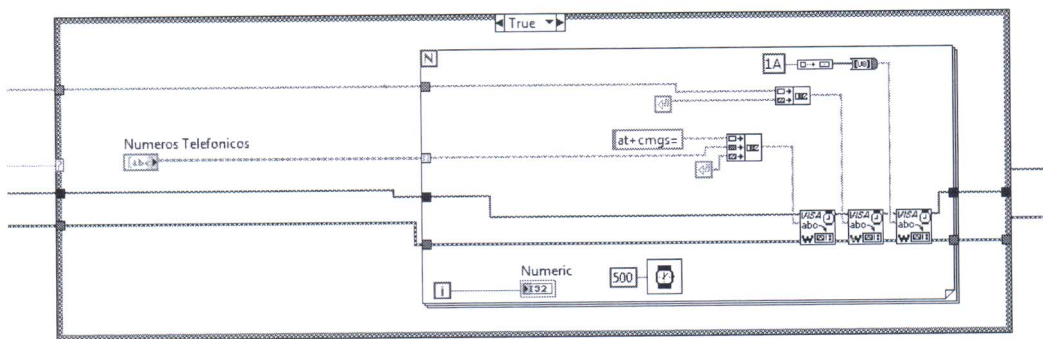


Imagen 6-23: Sección del diagrama de bloques del software de monitoreo. Se encarga de enviar a través del puerto serial comandos de configuración y el mensaje de texto que se enviará a todos los voluntarios.

CAPÍTULO VII

METODOLOGÍA SUGERIDA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA.

Fase 1: Pre-selección de sitios

Obtención de información bibliográfica primaria y secundaria acerca de la cuenca en la que se desea instalar el SAT. Investigaciones, análisis hidrológicos e hidráulicos, brindan información vital para determinar los puntos de medición, el posible acceso a hidrogramas de la cuenca también pueden ser de gran utilidad. Para este sistema en particular el nivel de señal de la red móvil celular debe ser óptimo en cada uno de los puntos visitados.

Fase 2: Viajes de reconocimiento.

Viajes que tiene como objetivo principal definir las ubicaciones de:

- Estaciones locales de monitoreo.
- Oficina de monitoreo y pronóstico.

Los parámetros necesarios para la aceptación de una ubicación para una estación local de monitoreo son:

- Nivel de la señal de la red celular: Debe existir una señal mínima de 80%, en condiciones de clima estables.
- Distancia de línea de transmisión: El sitio donde se propone realizar la instalación de la estación local de monitoreo debe estar ubicada a una distancia máxima de 500 metros de la estructura y la sonda de inmersión.
- Participación del voluntario: El voluntario debe estar de acuerdo en que se instale la instrumentación, preferiblemente dentro de su vivienda, y debe cumplir con las funciones de prevenir, informar y alertar a la comunidad respectiva. Así mismo, se estipulan futuras fechas para capacitaciones acerca de la utilización correcta de la instrumentación e interpretación de la información provista por el sistema.

La oficina de monitoreo y pronóstico es el punto donde se centraliza la información, a través de la red móvil celular, por las distintas estaciones locales de monitoreo. Se recomienda que la instalaciones donde sea instalada esta oficina sean un establecimiento privado que se dedique al monitoreo climático o una institución pública como una municipalidad, debido a que la misma se encarga del manejo y reducción de desastres a nivel municipal. Los parámetros que rigen la selección de una oficina de monitoreo y pronóstico son:

- Nivel de cobertura de la red celular: Debe existir una señal mínima de 80% en condiciones de clima estables.
- Espacio de trabajo: Se debe acordar la asignación de un área de trabajo en la que será instalada toda la instrumentación necesaria para instalar la oficina de monitoreo y pronóstico.
- Encargado de la oficina de pronóstico: Debe ser una persona con conocimientos del uso de una computadora debido a que hará uso del software de monitoreo, tenga un conocimiento de hidrogramas, capacitado para dar pronta respuesta si llegara a ocurrir un desastre y que se encuentre familiarizado con el uso de la base de radio.

Fase 3: Compra de Materiales

Debido a que el diseño de este Sistema de Alerta Temprana fue con el objetivo de escalar sus puntos de monitoreo locales, se recomienda considerar la compra de una cantidad mayor de elementos y considerar también el tiempo de entrega de los mismos, debido a que la mayoría de los componentes fueron comprados a través de internet.

Fase 4: Instalación del sistema.

El sistema es instalado en dos partes:

- Oficina de monitoreo.
- Puntos de medición.

La oficina de monitoreo debe ser el primer elemento a instalar del sistema y debe contar con la lista de contactos de las personas a las que se les enviará la alerta, esto es debido a que en el momento de funcione correctamente un punto de medición este se comunicará con la oficina de monitoreo y la oficina de monitoreo enviara un mensaje de vuelta con información de la ubicación, igual al mensaje que le llegará a los voluntarios en un futuro.

La oficina de monitoreo debe contar con energía eléctrica y un UPS para la protección del equipo. La computadora debe contar con el software de monitoreo de cuencas funcionando, con el transmisor y receptor conectados al computador.

La instalación del equipo necesario en los puntos de medición debe iniciarse tendiendo el cable. En un extremo debe conectarse la instrumentación y en el otro extremo debe conectarse la sonda de inmersión, debe procurarse que el cable se encuentre a una altura adecuada, para que las personas que habitan en la comunidad no puedan alcanzarlo.

La instrumentación y la sonda de alimentación deben de estar conectados al panel solar que provee energía eléctrica al sistema. Cuando el sistema esté conectado, todo en conjunto, debe comenzar el envío de mensajes y se debe recibir uno de vuelta desde la oficina de monitoreo. Esto indica que la ubicación de monitoreo local fue instalada satisfactoriamente.

Fase 5: Pruebas de campo y calibraciones.

Etapas en la que se realizaron pruebas del funcionamiento básico del sistema ya instalado en campo. Debido a las distintas condiciones en las que se instala una estación local de monitoreo es necesario realizar ciertos ajustes y calibraciones finales. Así mismo, se definen umbrales de alerta en cada punto de medición y se realizan pruebas de la comunicación inalámbricas.

Fase 6: Mantenimiento y análisis de funcionamiento.

Al finalizar las épocas de lluvia se realizaron viajes de mantenimiento del sistema. Se corrobora el estado del sistema, se arreglan ciertas anomalías y se instalan repuestos en las oficinas de monitoreo local que lo requieran. Esto con el propósito de dejar listo el sistema para la siguiente época de lluvias.

Además de las seis fases para la implementación de un Sistema de Alerta Temprana que se proponen en esta sección, también es importante tomar en cuenta sistemas de alerta temprana ya implementados, no solo en Guatemala sino en otros países. A continuación se mencionan algunas referencias útiles de Sistemas de alerta temprana y sus características principales.

Patente de estados unidos US4153881.

Dictamina que un Sistema de Alerta Temprana por inundaciones debe monitorear la cantidad de agua que cae en una precipitación y el flujo del río utilizando componentes electrónicos para tomar las mediciones y para el envío de información a una oficina de monitoreo. Conocida como la estación central de alerta de desastres.

El sistema de transmisión de información ubicado a las orillas del río debe contener los siguientes elementos:

- Medidores electrónicos de precipitación.
- Medidores electrónicos de flujo.
- Transmisores de la información recopilada.
- Receptor de las alertas emitidas.
- Instrumento para el despliegue local de la información.
- Contar con un sistema fotovoltaico con una batería de respaldo que sea capaz de alimentar todo el sistema.

La estación central de alerta de desastres debe contar con:

- Unidad lógica de control.
- Unidad de análisis de información
- Transmisor de alertas

Esta patente recomienda no hacer uso de ningún tipo de componente electrónico para tomar mediciones de variables eléctricas como conductancia, resistencia o inductancia para hacer la medición de flujo debido a que estos parámetros tienden a variar dependiendo de la temperatura. Así mismo, se recomienda no utilizar componentes mecánicos los cuales pueden llegar a dañarse por residuos que vayan en el río debido a la corriente del mismo y a que pueden verse dañados por las vibraciones que pueden llegar a provocar sobre el instrumento que se encarga de tomar las mediciones, por lo que se recomienda el uso de medidores de flujo.

Estrategia internacional para la Reducción de Desastres (EIRD), América Latina y el Caribe.

Es un movimiento de la ONU que promueve el fortalecimiento de la Reducción del Riesgo de Desastres (RRD) mediante el incremento de conciencia sobre la importancia de la reducción de desastres y un desarrollo sostenible. Esta entidad propone en su documento “Sistemas de alerta temprana operados por comunidades en América Central” las siguientes fases de implementación de un SAT:

- Etapa 1. Se investigan los patrones climáticos históricos de la localidad para determinar la recurrencia de inundaciones, el nivel de precipitación necesario para que se inunden las comunidades, y los niveles fluviales vinculados a inundaciones en diferentes puntos de la cuenca.
- Etapa 2. Se visita la cuenca para definir los lugares óptimos donde medir la precipitación y los niveles de río, tomando en cuenta tanto las condiciones hidrológicas como a los operadores potenciales de los instrumentos.
- Etapa 3. Se adquieren y despliegan los instrumentos en los sitios escogidos.
- Etapa 4. Se prueba y calibra la instrumentación.

Además, propone Etapas para la incursión y capacitación de un SAT en una comunidad.

- Etapa 1. Se establecen o fortalecen los lazos con la entidad nacional de emergencias, los líderes municipales y el personal voluntario para que el sistema pueda implementarse en forma coordinada.
- Etapa 2. Se crean comités para ejecutar las tareas requeridas de capacitación, organización comunitaria y respuesta.
- Etapa 3. Se realizan talleres para capacitar a los miembros del comité sobre los detalles de cómo operan los sistemas de alerta temprana.
- Etapa 4. Se aplican estrategias para informar al público sobre el sistema y fomentar vínculos con miembros de la comunidad, con el fin de crear conciencia social sobre los sistemas de alerta temprana y sus virtudes.
- Etapa 5. Se involucra a los líderes comunitarios y otros miembros de la comunidad en diversos comités dedicados a la planificación para emergencias.
- Etapa 6. Se realizan talleres para capacitar a miembros de la comunidad en las diversas tareas requeridas para completar los sistemas de alerta temprana, como el mapeo de riesgo y vulnerabilidad, la planificación y coordinación para emergencias, la identificación de rutas de evacuación, las actividades de búsqueda y rescate, la selección y manejo de albergues, la gestión de crisis y la coordinación interinstitucional.
- Etapa 7. Se somete a prueba el sistema por medio de pruebas de funcionamiento y simulacros.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos humanos (MARN).

Entidad gubernamental encargada de la gestión ambiental de El Salvador. Una de sus responsabilidades más importantes es la reducción de desastres ocasionados por fenómenos naturales. Esta entidad maneja un área específica de hidrología en la que presentan su esquema para el monitoreo hidrológico y específicamente para los SAT.

Para más información de los Sistemas de Alerta temprana de Patente de estados unidos US4153881, EIRD y MARN, consultar la sección de bibliografía, ejemplos de sistemas de alerta temprana.

CAPÍTULO VIII

OBSERVACIONES Y SUGERENCIAS

8.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA AL UTILIZAR LA RED MÓVIL CELULAR.

Las ventajas que presenta este tipo de sistema son:

- Costos reducidos, en comparación de otros sistemas de alerta temprana que existen en la actualidad como las estaciones satelitales.
- Registro de la información de modo local, en el hogar del voluntario y modo centralizado en una oficina de monitoreo y pronóstico.
- Monitoreo en tiempo real, dependiendo de las condiciones de la red celular.
- Envío de mensajes de alerta directa a los teléfonos celulares de los involucrados en el sistema.
- El sistema es alimentado con energía renovable a través de un panel solar, batería de ciclo profundo y regulador de carga.

Las desventajas que presenta este sistema son:

- La señal de la red celular y el tráfico de mensajes en ocasiones puede llegar a retrasar el envío de información.
- Para el envío de alertas en tiempo real a través de mensajes de texto, es necesario un gasto recurrente en la recarga tanto en las estaciones de monitoreo local como en las de monitoreo y pronóstico.
- Siendo este un sistema nuevo se debe contemplar una correcta capacitación para los voluntarios con el fin de una correcta incursión del mismo.

8.2 PROPUESTAS

Como miembros del equipo que desarrollo e implemento el SAT descrito en este documento, con base en las experiencias obtenidas, en esta sección se proponen alternativas de investigación con los objetivos de reducir costos, optimizar el sistema y promover la continuidad de los SAT en Universidad Galileo y Guatemala.

8.2.1 GSM/SMS S140

El GSM RTU-5011 es uno de los equipo de más alto costo de la estación de monitoreo local. Cabe resaltar que actualmente solo se utiliza una de las cuatro entradas análogas y ninguno de los ocho canales digitales. Por lo cual se proponen alternativas con una menor cantidad de entradas y de menor costo.

El módulo GSM/SMS S140 (Imagen 7-1) es una alternativa los mismos fabricantes del equipo GSM RTU-5011, King Pigeon. Este equipo posee las siguientes características:

- 4 entradas digitales.
- 1 salida de Relay
- Frecuencias 850/900/1800/1900Mhz
- Alimentación 12VDC
- GUI similar a que se utiliza con el RTU-5011

Este equipo puede ser utilizado para desarrollar una versión que cuente únicamente de cuatro niveles de medición en la sonda de inmersión, incluida en una estación de monitoreo local más sencilla. El precio de lista de este equipo es de 150\$.



Imagen 8-1: Equipo GSM/SMS S140. Propuesto para la estación de monitoreo local.

8.2.2 ARDUINO y ICOMSAT SIM900 GSM/GPRS SHIELD

Arduino está conformado por una plataforma de programación y una amplia gama de dispositivos electrónicos de bajo costo, para el desarrollo de distintas aplicaciones. Las tarjetas básicas de arduino poseen pines de entrada y salida tanto análogos como digitales para control de elementos como LED's, motores, entre otros. Estos dispositivos cuentan con otras características como son: salidas PWM, sensores de temperatura y conectores para acoplar otros shields tales como una pantalla o un módulo para el envío de mensajes de texto.

Se propone el uso del dispositivo "IComSat SUN900 GSM/GPRS shield" para arduino, como opción de bajo costo para el envío de mensajes de texto desde la estación de monitoreo local. El dispositivo tiene un precio de lista aproximado de \$70, sus especificaciones son las siguientes:

- Compatible con las bandas 850/900/1800/1900MHz
- Control vía comandos AT
- Servicio de mensajes cortos (SMS)
- Puerto serial
- Alimentación 9~20V DC
- Compatible con Arduino y Arduino Mega

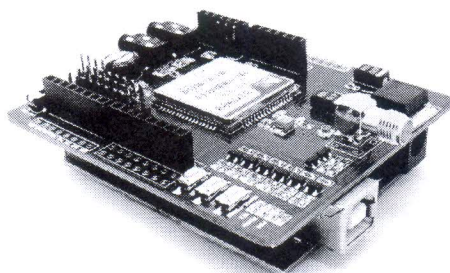


Imagen 8-2: Arduino y IComSat SIM900 GSM/GPRS shield. Propuesto para la estación de monitoreo local.

Los dispositivos arduino compatibles tienen un precio de lista aproximado de 20\$ a 50\$. Se debe considerar proteger de manera apropiada dispositivos como estos, debido a las condiciones en las que se instalaría el equipo. Se propone aislar este equipo electrónico en cajas de sistemas eléctricos para exteriores, como la utilizada para contener el equipo WSN 3202 que se muestra en la imagen 8-3, son cajas disponibles en diferentes dimensiones y son comunes en el mercado de Guatemala. Se aconseja utilizar este tipo de caja para todo equipo que se instale en el SAT, que no sea apto para exteriores o condiciones adversas como extremas temperaturas.

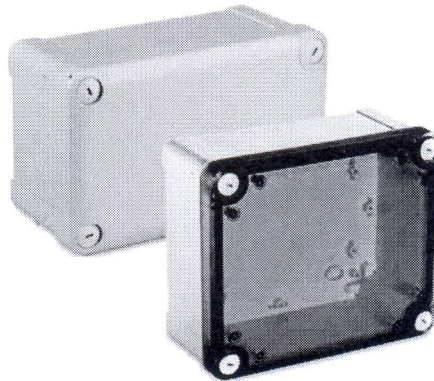


Imagen 8-3: Caja NEMA para exteriores propuesta para proteger el módulo Arduino.

8.2.3 PORTÁTILES ROBUSTAS.

Existe una gama de computadoras portátiles diseñadas para soportar ambientes industriales o de campo en condiciones adversas como: altas temperaturas o con altos índices de humedad, caídas, derrames de líquidos, entre otras. También poseen la característica de incluir una batería de alta duración. Este tipo de portátiles se encuentran entre los precios de \$1400 a \$2000.

Esta propuesta puede ser útil para el análisis de posibles puntos de monitoreo, con el fin de contar con una oficina de monitoreo local portátil, haciendo uso de dispositivos I/O de bajo costo.

A continuación se presentan algunos modelos de portátiles Robustas:

Modelo	Panasonic Toughbook 53 CF	Getac S400	RNB Falcon
CPU	Intel Core i5 2.5Ghz	Intel Core i3 2.26GHz	Intel Core i5 2.12GHz
Sistema Operativo	Windows 7 Professional 32bit	Windows 7 Professional 32bit	Windows 7 Professional 32bit
RAM	2GB	2 GB	2GB
Disco Duro	320GB SATA	320GB SATA	320GB SATA
Pantalla	14"	14"	12.1"
Precio de Lista	\$1,450	\$1,620	\$1,550

Tabla 8-1: Propuestas de computadoras para la creación de una oficina de monitoreo portátil.

Panasonic es la marca más reconocida en el ámbito de las computadoras portátiles robustas, por lo tanto, de las tres opciones que se presentan, la Panasonic Toughbook 53 CF es la opción recomendada.



Imagen 8-4: Propuesta de computadora para la creación de una oficina de monitoreo portátil marca Panasonic, modelo Toughbook 53.

Aunque esta propuesta no es de bajo costo, poseer una computadora con características robustas para ambientes exteriores o industriales puede ser muy útil, en especial con la posibilidad de que el SAT propuesto en este documento se expanda al monitoreo de múltiples cuencas en Guatemala y se requiera hacer mayor número de análisis en cada ubicación visitada.

8.2.4 VARIANTES PARA LA ESTACIÓN DE MONITOREO LOCAL

La estación de monitoreo local del SATGAL es una versión funcional, sin embargo, es de alto costo. A continuación se proponen algunas variantes de la misma, de menor costo y con diferente funcionalidad.

Se propone dos versiones adicionales al SATGAL, descrito en este documento. Una característica principal de estas dos versiones que se proponen a continuación es que sean compatibles con el SATGAL, con el objetivo de escalar de una estación de clase baja a una media y posiblemente a una de clase alta.

8.2.4.1 ESTACIÓN DE MONITOREO LOCAL DE CLASE BAJA.

Este tipo de estación propone realizar las funciones básicas de informar a diez personas a través de mensajes de texto. Ya sea utilizando equipos de bajo costo como el Arduino IComSat SUN900 GSM/GPRS shield descrito anteriormente o el mismo RTU-5011 que usa actualmente este SAT. Esta propuesta básicamente consiste en desarrollar una sonda de inmersión de tan solo 4 niveles discretos ajustables, los cuales estarían conectados directamente a las entradas digitales del módulo transmisor GSM.

Cabe resaltar que esta versión no contempla una oficina de monitoreo y pronóstico, los mensajes se enviarían solamente a 10 personas que se encuentren involucradas en este sistema.

De esta manera se obtendría una estación de monitoreo local de bajo costo, en comparación con la estación descrita en este documento a profundidad, debido a que esta estación de clase baja no contaría con: sonda de inmersión con 20 niveles diferentes, pantalla indicadora, PLC ni almacenamiento de información. Sin embargo, cumpliría con los objetivos importantes de alertar a las personas vía mensaje de texto de los cuatro niveles de alarma que podrían llegar a ocurrir.

Este tipo de estación de monitoreo local podría ser utilizada en ubicaciones que no requieran de un análisis meticuloso en el comportamiento de la cuenca.

El beneficio de una estación de monitoreo local de clase baja es que posteriormente puede llegar a ser una estación de monitoreo de clase alta.

8.2.4.2 ESTACION DE MONITOREO LOCAL DE CLASE MEDIA.

Esta estación contaría con:

- Sonda de inmersión con 10 niveles discretos para contar con mayor resolución en la toma de las mediciones.
- Semáforo en base a LED's que indicaría el tipo de alerta. Verde, amarillo, naranja y rojo en tiempo real.
- Almacenamiento de información del comportamiento del río de manera local, utilizando el Datalogger 504.
- Envío de mensajes de texto hacia una oficina de monitoreo y pronóstico.
- Análisis centralizado y envío de alertas a través de mensajes de texto desde la oficina de monitoreo y pronóstico a los voluntarios.

Esta versión no cuenta con el PLC ni la pantalla SH-300, esto con la finalidad de ahorrar en costos. Esta estación de monitoreo local aun cumple las funciones de informar localmente con indicadores LED, el tipo de alarma, informar de manera remota mediante mensajes de texto el nivel del río y mantener activa la comunicación con la oficina de monitoreo y pronóstico.

8.2.5 FINANCIAMIENTO DE MENSAJES DE TEXTO

En épocas de invierno la frecuencia de envío de mensaje de texto sugerida es de cuatro mensajes de texto por hora. Es decir que: la estación de monitoreo local se comunica con la oficina de monitoreo y pronóstico una vez cada veinte minutos.

Asumiendo que la oficina de monitoreo y pronóstico envía mensajes de alerta a diez personas. La cantidad de mensajes de texto enviados por día sería la siguiente:

Ubicación	Periodo de envío de mensajes	Mensajes enviados por día
Estación de monitoreo Local #1	20 minutos	72
Oficina de monitoreo y pronóstico.	20 minutos	720

Tabla 8-2: Detalle del envío de mensajes de texto por estación de monitoreo local y oficina de monitoreo y pronóstico promedio.

En el software de monitoreo es posible habilitar y deshabilitar el envío de mensajes de alarma, función que evita que los voluntarios reciban mensajes de texto en época de verano.

En la tabla 8-2 se puede apreciar que el número de mensajes de texto que se maneja por día es alto, en especial los enviados por la oficina de monitoreo y pronóstico. Un gasto de este tipo es posible que no sea posible cubrir por parte de una institución pública como una municipalidad, por lo que se propone realizar negociaciones con fundaciones para el financiamiento de los mensajes de texto. Adicional al mensaje de alerta es posible poner anuncio, promocionando productos o la marca de la empresa que financia el envío de mensajes, como se muestra en el siguiente ejemplo:

TIGO te informa: Sensor Universidad Galileo, Alarma Verde, el nivel del río es 2.

La compañía de telefonía CLARO ofrece los siguientes planes corporativos de mensajes:

Plan	SMS	Precio	Precio por SMS
G-SMRTTLK BOLSAS 5,000SMS	5000	Q1,500.00	Q0.30
G-SMRTTLK BOLSAS 10,000SMS	10000	Q2,800.00	Q0.28
G-SMRTTLK BOLSAS 15,000SMS	15000	Q3,900.00	Q0.26
G-SMRTTLK BOLSAS 25,000SMS	25000	Q4,800.00	Q0.24
G-SMRTTLK BOLSAS 50,000SMS	50000	Q5,500.00	Q0.22
G-SMRTTLK BOLSAS 100,000SMS	100000	Q9,000.00	Q0.18

Tabla 8-3: Detalle de las propuestas de planes de mensajes de texto propuestos por la empresa Claro.

Se recomienda investigar la posibilidad de obtener los servicios de mensajería de claro únicamente para la época de invierno, que es aproximadamente de 3 a 4 meses. Se obtendría el plan de mensajes según la necesidad del envío de mensajes de texto y del presupuesto que con el que se cuenta para este sistema.

8.2.6 OBSERVACIONES RESPECTO DE LA Sonda DE INMERSIÓN

Debido a que la sonda de inmersión original fue diseñada para tener un consumo de 0 a 12mA es complicado desarrollar un sistema para la detección de algún daño en la línea de transmisión con el circuito que posee actualmente dicha sonda. Para determinar si la línea de transmisión sufrió algún daño haciendo uso de la instrumentación con la que se posee en la estación de monitoreo local, es necesario hacer cambios en la línea de transmisión y en el circuito de la sonda de inmersión.

La propuesta que se realiza es:

- Diseñar un circuito que consuma de 4 a 20mA.
- Colocar una resistencia en paralelo al circuito que posee la línea de transmisión, para detectar una corriente de un valor nominal bajo y así detectar un fallo en la línea de transmisión lo cual puede incluir que se haya cortado la misma. (aunque si consume 0mA también se detecta si la sonda ya debe consumir de 4 a 20mA)

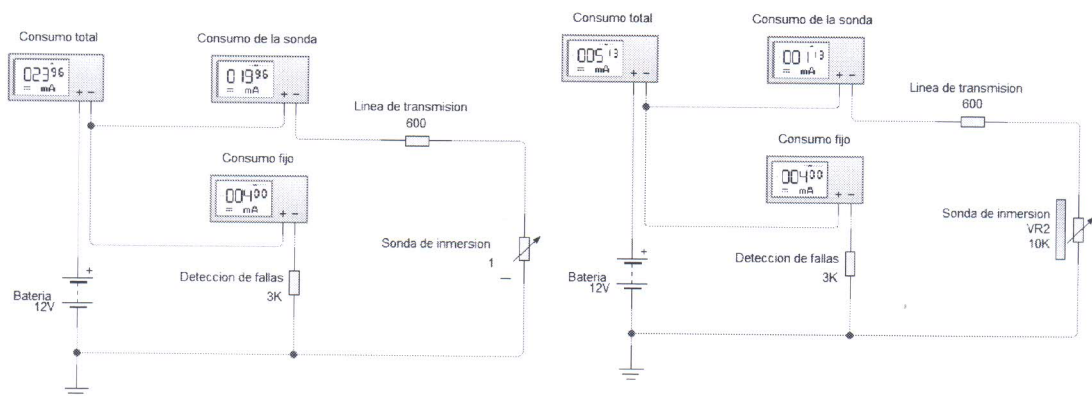


Diagrama 8-1: Simulación de la sonda de inmersión al implementar una resistencia para la detección de fallas por parte del módulo RTU5011.

8.2.7 MÓDULOS DE CAPACITACIÓN VIRTUAL

Se propone desarrollar una serie de videos que incluyan capacitación acerca de los temas fundamentales de un Sistema de Alerta Temprana.

- Equipo y componentes utilizados explicando su funcionamiento y propósito en el SATGAL.
- Tipos de alarma y alertas implementadas en el SATGAL.
- Medios que se usan para recibir las distintas alertas y alarmas.
- Manipulación de los componentes y equipo que se encuentran disponibles.
- Guía de mantenimiento de la sonda de inmersión.

8.2.8 MÓDULO ARRAY SMS

Es posible añadir al PLC desarrollado por la compañía Array, APB 24MRDL, módulos especiales. Se propone la investigación del módulo APB SMS-E desarrollado por la misma compañía. Este módulo cuenta con las siguientes especificaciones:

- Cuatro bandas 850/900/1800/1900 MHz.
- Capaz de funcionar de manera independiente al PLC utilizado por la compañía Array.
- Posee interfaz RS-232, para recibir y enviar mensajes de texto.
- No cuenta con pantalla.

CAPÍTULO IX

9.2 CONCLUSIONES

La segunda versión de la sonda de inmersión cumplió con los objetivos de ser de bajo costo, modular y de fácil construcción. Cumpliendo con la exigencias de desarrollar un sistema de bajo costo.

Con base en la experiencia que se obtuvo con el proyecto SATGAL que se instaló a lo largo de la cuenca del río Coyolate se concluye que el mantenimiento que se debe proporcionar a la sonda de inmersión debe ser, por lo menos, entre dos y tres veces al año. Asegurándose que se encuentre en condiciones plenas antes del inicio del invierno.

Particularmente esta réplica del SAT instalado en Universidad Galileo permite la continuidad en la investigación y prueba de prototipos. Permite realizar pruebas sin la necesidad de viajar a un río específico en el interior del país. Así mismo, promueve la participación de estudiantes en el proyecto y el interés en la investigación.

El software de monitoreo fue diseñado para ser escalable y así adaptarse a diferentes cuencas donde se requiera tener más estaciones de monitoreo local.

El software de monitoreo permite la integración de dos diferentes tecnologías inalámbricas, equipos que utilizan la red móvil celular y equipos que utilizan la red inalámbrica. Sin embargo, es posible concluir que los módulos que hacen uso de la red celular, cuando se requiere cubrir grandes áreas de terreno, son mejores que los equipos que utilizan la red inalámbrica.

9.2 RECOMENDACIONES

El SATGAL que se describe en esta tesis tiene como propósito principal salvar vidas haciendo uso de tecnologías innovadoras. Por lo cual es necesario capacitar a las personas que harán uso de este sistema, para que tengan plena comprensión de la información que estarán recibiendo y que puedan hacer uso de la misma.

Debido a la importancia y a que es un proyecto pionero en Guatemala, es necesario mantener al SATGAL en funcionamiento para que gane la credibilidad de las instituciones que aún lo ven como un prototipo, para lograr así expandir el SATGAL a otras cuencas.

Es importante divulgar el proyecto SATGAL a través de los distintos medios de comunicación y como actualmente ayuda a personas en Guatemala, en específico a lo largo de la cuenca del río Coyolate.

Es de gran importancia para Guatemala que su población aplique los conocimientos que se adquieren en resolver problemáticas que afecten al país. Es por eso que a través de este documento invitamos a más estudiantes de ingenierías en las distintas especialidades a involucrarse en proyectos tecnológicos que ayuden fortalecer el país.

9.3 BIBLIOGRAFÍA

Sistemas de Alerta Temprana (SAT).

CONRED. (2011, Febrero 03). *Sistemas de alerta temprana*. Obtenido de http://www.conred.gob.gt/index.php?option=com_content&view=section&layout=blog&id=4&Itemid=21

Villagrán, J.C. *Lineamientos básicos para el diseño y establecimiento de sistemas de alerta temprana*. Organization of american states. Obtenido de <http://www.oas.org/dsd/Forodebuenaspracticass/documentos/Notas basicas SATs.pdf>

Villagrán, J.C. (2003). *Registro de sistema de alerta temprana*. Obtenido de http://www.crid.or.cr/cd/CD_Alerta_Temprana/pdf/spa/doc14549/doc14549.pdf

Paneles solares

Stoffel, T., & Renné, D. (2010). *Concentrating solar power*. (Primera ed., pp. 1-7). Colorado: National Renewable Energy Laboratory. Obtenido de <http://www.nrel.gov/docs/fy10osti/47465.pdf>

Wikipedia. (2011, Noviembre 04). Obtenido de http://en.wikipedia.org/wiki/Theory_of_solar_cells

how to design solar pv system. (n.d.). Obtenido de http://www.leonics.com/support/article2_12j/articles2_12j_en.php

NI WSN Starter kit.

National Instruments (2011). *Getting started guide NI wireless sensor network devices*. National Instruments. GETTING STARTED GUIDE NI Wireless Sensor Network Devices. Obtenido de <http://www.ni.com/pdf/manuals/372781d.pdf>

National Instruments (2010). *User guide and specifications N wsn-3202*. National Instruments. Obtenido de <http://www.ni.com/pdf/manuals/372775e.pdf>

National Instruments (2010, Marzo 26). *Wireless Sensor Network Topologies and Mesh Networking*. Obtenido de <http://www.ni.com/white-paper/11211/en>

National Instruments (2008, Julio 27). *Wireless Networking Standards*. Obtenido de <http://www.ni.com/white-paper/7129/en>

Comandos AT

Parsel, I. (2007). *AT Commands*. Obtenido de http://www.developer.nokia.com/Community/Wiki/AT_Commands

Sony Ericsson. (2003). *AT commands online reference*. Sony Ericsson. Obtenido de http://www.daimi.au.dk/~jones/sms/packed/dg_at_r3a.pdf

Estándar GSM y servicio SMS.

GSM. (2012, Junio 28). Obtenido de <http://en.wikipedia.org/wiki/GSM>

Universal mobile telecommunications system. (2012, Junio 17). Obtenido de http://en.wikipedia.org/wiki/Universal_Mobile_Telecommunications_System

SMS. (2012, Junio 21). Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Servicio_de_mensajes_cortos

Tema: Codificación PDU

Blog electrónica (2008). *SMS en formato pdu*. Obtenido de <http://www.blogelectronica.com/sms-pdu/>

Pettersson , L. (n.d.). *SMS and the PDU format*. Obtenido de <http://www.dreamfabric.com/sms/>

Tema: Tecnologías inalámbricas

Zigbee Alliance. (2012). *Zigbee specifications*. Obtenido de <http://www.zigbee.org/Specifications.aspx>

Cisco Systems. (2007). *Antenna patterns and their meaning*. Cisco. Obtenido de http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/wireless/ps7183/ps469/prod_white_paper0900aecd806a1a3e.html

ieee.org. (2011). Obtenido de <http://ieeexplore.ieee.org>

Tema: Ejemplos de Sistemas de Alerta Temprana

MARN. (2009). Monitoreo hidrológico. MARN. Obtenido de <http://www.snet.gob.sv/ver/hidrologia/monitoreohidrologico//>

Villagrán De León, J. C. (2001). Estrategia internacional para la reducción de desastres américa latina y el caribe. EIRD. Obtenido de http://www.eird.org/esp/revista/No4_2001/pagina11.htm

Permut, A., Permut, A., & Permut, R. (1978). Early flood warning system. Colorado: Obtenido de <http://www.google.com/patents/US4153881?printsec=description&dq=Security+of+flood+early+warning+system#v=onepage&q&f=false>

9.4 ANEXOS

Costos de la estructura de obra civil de la estación de monitoreo local.

Descripción	Cantidad	Precio Unidad	Precio total
TUBO PVC 160psi DE 4" blanco	2	Q310.00	Q620.00
TAPON HEMBRA PVC DE 4" para agua	2	Q38.00	Q76.00
HIERRO DE 1/2" LEGITIMO	10	Q86.00	Q860.00
HIERRO DE 3/8" LEGITIMO	4	Q55.00	Q220.00
clavos de 3 pulgadas	3	Q9.50	Q28.50
Cemento	17	Q85.00	Q1,445.00
Alambre de amarre	5	Q9.50	Q47.50
Pomo de pegamento tangit pequeño	2	Q38.00	Q76.00
CODO A 90° PVC DE 4" para agua	2	Q65.00	Q130.00
Servicio albañil	1	Q3,000.00	Q3,000.00
Total			Q6,503.00

Costos de la sonda de inmersión

Descripción	Cantidad	Precio unidad	Precio total
3.5mts DE TUBO PVC 2" PSI 160	1	Q175.00	Q175.00
REMACHE TIPO POP LARGO 1" ANCHO 1/8"	20	Q1.50	Q30.00
METRO DE TUBO FLEXIBLE DE PLASTICO COLOR NEGRO 3/4 "	8	Q10.00	Q80.00
YARDA DE SEDASO METALICO	1	Q60.00	Q60.00
SENSORES DE FLOTE	20	Q25.00	Q500.00
RESISTENCIAS VARIAS	100	Q2.00	Q200.00
METRO DE TERMOENCOGIBLE 1/8"	2	Q10.00	Q20.00
CINTA DE AISLAR SCOTCH	1	Q30.00	Q30.00
MANO DE OBRA	1	Q300.00	Q300.00
Total			Q1,395.00

Costos de la estación local de monitoreo.

Descripción	Cantidad	Precio Unidad	Precio total
MODULO RTU-5011 (LBRTU315011) GSM REMOTE COTROL	1	Q5,650.00	Q5,650.00
CABLES APB-CP (CABLE DE COMUNICACIÓN RS 232) SERIE NO. A11 N UK 11 N UK 11 101)	1	Q255.00	Q255.00
CABLES APB-USB (CABLE DE COMUNICACIÓN USB) SERIE NO. A11N VK 12 020 Y A 11N VK 12 199	1	Q150.00	Q150.00
CAJA NEMA	2	Q150.00	Q300.00
CABLE AWG CALIBRE 24 (300 MTS CADA BOBINA)	1	Q3,283.00	Q3,283.00
ARRAY 24MRD	1	Q1,945.00	Q1,945.00
USB-504 DATALOGGER	1	Q1,260.00	Q1,260.00
PANTALLA HMI SH-300	1	Q1,338.00	Q1,338.00
COLEMAN SOLAR POWER KIT 55W BATERIA DE CICLO PROFUNDO EVEREADY	1	Q2,199.95	Q2,199.95
CHIP TIGO	1	Q819.95	Q819.95
		Q50.00	Q50.00
		Total	Q17,250.90

Costos de la oficina de monitoreo y pronóstico.

Descripción	Cantidad	Precio Unidad	Precio total
MODULO GT-530	1	Q6,275.00	Q6,275.00
COMPUTADORA ESTACION MONITOREO	1	Q7,500.00	Q7,500.00
MODULO GPRS MODEM 3031	1	Q1,544.00	Q1,544.00
CHIP CLARO	2	Q35.00	Q35.00
MOBILIARIO	1	Q600.00	Q600.00
CABLE USB-SERIAL	1	Q150.00	Q150.00
NI WSN Starter Kit	1	Q16,000.00	Q16,000.00
		Total	Q32,104.00

Diagrama de flujo del software de monitoreo.



Estructura general del software de monitoreo.

