

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electrónica



**Sistema de monitorización remota de la calidad de agua de los
acueductos rurales de la zona Huetar Norte**

Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de
Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura

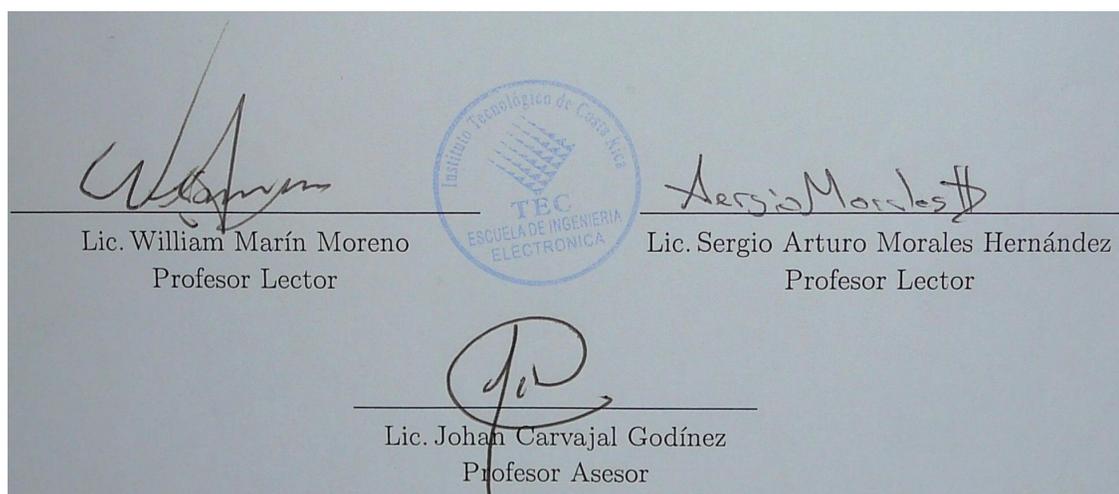
Mario Alfaro Ortega

Cartago, 3 de noviembre de 2011

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Electrónica
Proyecto de Graduación
Tribunal Evaluador

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica.

Cartago, 3 de noviembre de 2011

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas. En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

A handwritten signature in black ink on a light-colored background. The signature is written in a cursive style and appears to read "Mario Alfaro Ortega".

Mario Alfaro Ortega

Cartago, 3 de noviembre de 2011

Céd: 1-1170-0218

Resumen

En el presente informe se explicará el desarrollo de una herramienta tecnológica para observar y medir remotamente la calidad del agua. Este proyecto se desarrolló para las ASADAS de la zona Huetar Norte.

La contaminación de los acueductos se da por actividades como son la agricultura, la ganadería, el vandalismo, las granjas avícolas, la construcción, industria, inundaciones, erupciones volcánicas, lluvia ácida, sismos o bien por coladas de lava. Para poder realizar estudios de contaminación, hoy en día las ASADAS deben de solicitar un equipo del AyA que se trasladen al lugar y realicen la toma de datos.

Actualmente, existen problemas de accesibilidad a la naciente de agua o a los acueductos, debido a que no cuentan con transporte propio, no hay fácil acceso a la naciente de agua por el tipo de terreno montañoso, además la red de distribución pasa por propiedades privadas, condicionando el acceso. Estos aspectos dificultan la medición de los parámetros de calidad del agua directamente en el sitio.

Para contrarrestar lo mencionado, se usó el equipo especializado de la Compañía Global Water Inc. Este equipo es el grabador de datos modelo GL500-7-2, encargado de tomar medidas y procesar los datos de los sensores. Además con la ayuda de los trancceptores AC4490 de la empresa Laird Technologies se creó un enlace punto a punto entre la computadora, encargada de visualizar los datos y el GL500-7-2, encargado de tomar las muestras de los sensores. Este enlace de comunicación permitió medir en tiempo real los parámetros de la calidad del agua.

Para el software desarrollado en este proyecto se implementó el lenguaje de programación JAVA, en él se crearon las rutinas capaces de configurar los parámetros internos del grabador de datos y de los trancceptores, con la ayuda de comandos AT, además se habilitaron las funciones de tomar datos con un tiempo de muestreo mínimo de un segundo y transmisión de los datos guardados en el grabador de datos. Los datos se pueden visualizar al final en un archivo tipo csv (archivo plano que organiza los datos en matrices, utilizando un carácter especial para separar las columnas), el cual se puede abrir desde Excel, Matlab, editores de texto, etc.

Palabras clave: calidad de agua, comandos AT, comunicación inalámbrica, Java.

Abstract

This report shows the development of a technological tool to observe and measure the water quality. This project was developed for ASADAS Huetar North area.

Contamination of water supply is taken for activities such as agriculture, livestock, vandalism, poultry farms, construction, industry, floods, volcanic eruptions, acid rain, earthquakes or by lava flows. To carry out studies of pollution nowadays ASADAS must apply a team of the AyA company, who go to the place and perform the data collection.

Currently, there are problems of accessibility to the water source or water systems, because they do not have their own transport, there is no easy access to spring water because the mountainous terrain, the distribution network also passes through private property, so the access is conditional. These aspects hinder the measurement of water quality parameters directly on the site.

To counter the above, specialized equipment is used from the Global Water Company Inc. This equipment is the data logger model GL500-7-2, responsible for taking measures and process the sensor data. And with the help of the AC4490 transceivers of the company Laird Technologies, a point to point link was created between the computer in charge of displaying the data and GL500-7-2, responsible for taking samples from the sensors. This communication link in real time allowed us to measure two parameters of water quality.

For software developed in this project was implemented in JAVA programming language, the routines were created able to configure the internal parameters of the data logger and the transceivers, with the help of AT commands, also functions were fitted well to take data with a minimum sampling time of a second and transmit the data stored in the data logger. The data can be viewed at the end in a csv file (flat file that organizes data into arrays, using a special character to separate columns), which can be opened from Excel, Matlab, text editors, etc.

Keywords: AT commands, Java, water quality, wireless communication. .

A Dios, mi familia y mi novia

Agradecimientos

Agradezco al Lic. Johan Carvajal Godinez por la oportunidad y Asesoría brindada en estos años y específicamente en este proyecto.

Agradezco al Dr. Carlos Meza por su aporte económico al proyecto, sin tener una participación directa en él.

Agradezco a familiares, a mi novia, amigos, compañeros, profesores y todas las personas que me ayudaron a alcanzar esta meta y que me ayudaron a reconocer mis capacidades como futuro Ingeniero.

Mario Alfaro Ortega

Cartago, 3 de noviembre de 2011

Índice general

Índice de figuras	iv
Índice de tablas	vi
Lista de símbolos y abreviaciones	vii
1 Introducción	1
1.1 Entorno del proyecto	1
1.2 Antecedentes	3
1.3 Problema existente e importancia de su solución	6
2 Meta y Objetivos	7
2.1 Meta	7
2.2 Objetivo General	7
2.3 Objetivos Específicos	7
3 Marco Teórico	8
3.1 Modelo de comunicación digital.	8
3.2 Comunicación de datos punto a punto	9
3.3 Transmisión de datos análogos y digitales.	9
3.4 Comunicación asincrónica.	9
3.5 Comunicación serial.	10
3.5.1 Estándar RS-232.	10
3.6 Virtual COM.	12
3.7 Ondas electromagnéticas.	12
3.8 Transmisión inalámbrica.	12
3.9 ISM	12
3.10 Comandos AT	13
3.11 Lenguaje de programación JAVA	13
3.12 Tarjeta de desarrollo para el trancceptor AC4490	13
3.13 Trancceptor AC4490	17
3.14 Grabador de datos GL-500-7-2	23

4	Metodología	28
4.1	Implementación de la solución	28
4.2	Descripción de rutinas	29
4.2.1	Objeto ATComandoInfo	29
4.2.2	Buscar COM	30
4.2.3	RdTranceiver	31
4.2.4	WrTranceiver	34
4.2.5	InicializarComunicacionDL	36
4.2.6	RdWrDL	38
4.2.7	enviarComandoMenuGeneral	40
4.2.8	enviarComandoCanalA	42
4.2.9	enviarComandoLecturaMenuGeneral	44
4.2.10	enviarComandoLecturaCanalA	46
4.2.11	enviarComandoSolicitud	48
4.2.12	enviarComandoLecturaRecords	49
4.2.13	enviarHoraFecha	50
4.2.14	enviarResetHistorial	50
4.2.15	enviarTrama	51
4.2.16	construirYanalizarTrama	51
4.2.17	procesoCalibracion	51
4.2.18	extraerDatosTramaTR	52
4.2.19	analisisGuardadoTrama240B	52
4.2.20	codificarFlotante	53
4.2.21	decodificarFlotante	54
5	Resultados y análisis	56
5.1	Interconexión entre la tarjeta inalámbrico y el grabador de datos <i>GL500-7-2</i>	56
5.2	Entorno de visualización remota	57
5.2.1	Menú principal	57
5.2.2	Menú de la sección Inalámbrico	58
5.2.3	Menú general de la sección Inalámbrico	58
5.2.4	Menú de la sección DataLogger	58
5.2.5	Menú general de la sección DataLogger	59
5.2.6	Menú analógico de la sección DataLogger	60
5.2.7	Menú historial de la sección DataLogger	60
5.2.8	Menú de la sección Comunicaciones	60
5.2.9	Menú E-mail de la sección Comunicaciones	61
5.2.10	Menú SMS de la sección Comunicaciones	61
5.2.11	Menú FTP de la sección Comunicaciones	62
5.2.12	Menú de la sección Gráfica	62
5.2.13	Menú general de la sección Gráfica	63

5.3	Pruebas del equipo	63
5.3.1	Búsqueda de dispositivos en el puerto USB	63
5.3.2	Configuración del trceptor	64
5.3.3	Conexión con el grabador de datos a diferentes velocidades	65
5.3.4	Prueba de distancia del enlace de comunicación	66
5.3.5	Prueba de corrupción de datos	67
5.3.6	Graficar los datos obtenidos desde el programa	76
5.3.7	Ejecución del programa desde el navegador de Internet	76
6	Conclusiones y Recomendaciones	78
6.1	Conclusiones	78
6.2	Recomendaciones	79
	Bibliografía	80

Índice de figuras

1.1	Región Huetar Norte. [5]	2
1.2	Cuencas hídricas de la Región Huetar Norte de Costa Rica. [3]	3
1.3	Ríos en la zona Huetar Norte de Costa Rica.	3
1.4	Contaminación en la Región Huetar Norte de Costa Rica. [1]	4
1.5	Contaminación y cuencas hídricas de la Región Huetar Norte de Costa Rica. [2]	4
3.1	Modelo de comunicación. [17]	8
3.2	Conectores DB9[13].	11
3.3	Conexión entre dos dispositivos DCE[13].	11
3.4	Tarjeta de desarrollo AC4490[8].	14
3.5	Tabla de comandos para la configuración del trancceptor. [9]	21
3.6	Tabla de comandos para la configuración del trancceptor. [9]	21
3.7	Tabla de comandos para la configuración del trancceptor. [9]	22
4.1	Algoritmo del programa <i>buscarCOM()</i> .	30
4.2	Algoritmo del programa <i>RdTransceiver()</i> .	31
4.3	Algoritmo del programa <i>RdTransceiver()</i> .	32
4.4	Algoritmo del programa <i>RdTransceiver()</i> .	33
4.5	Algoritmo del programa <i>WrTransceiver()</i> .	35
4.6	Algoritmo del programa <i>WrTransceiver()</i> .	36
4.7	Algoritmo del programa <i>InicializarComunicacionDL()</i> .	37
4.8	Algoritmo del programa <i>InicializarComunicacionDL()</i> .	38
4.9	Algoritmo del programa <i>RdWrDL()</i> .	39
4.10	Algoritmo del programa <i>enviarComandoMenuGeneral()</i> .	41
4.11	Algoritmo del programa <i>enviarComandoCanalA()</i> .	44
4.12	Algoritmo del programa <i>enviarComandoLecturaMenuGeneral()</i> .	45
4.13	Algoritmo del programa <i>enviarComandoLecturaCanalA()</i> .	48
4.14	Algoritmo del programa <i>enviarComandoSolicitud()</i> .	49
4.15	Algoritmo del programa <i>enviarComandoLecturaRecords()</i> .	50
4.16	Algoritmo del programa <i>procesoCalibracion()</i> .	52
4.17	Algoritmo del programa <i>analisisGuardadoTrama240B()</i> .	53
4.18	Algoritmo para codificar un numero flotante en 3 bytes. [15]	54

5.1	Imagen del menú principal del programa.	57
5.2	Imagen del menú de la sección Inalámbrico del programa.	58
5.3	Imagen del menú de la sección Inalámbrico del programa.	58
5.4	Imagen del menú de la sección DataLogger del programa.	59
5.5	Imagen del menú general de la sección DataLogger del programa.	59
5.6	Imagen del menú analógico de la sección DataLogger del programa.	60
5.7	Imagen del menú historial de la sección DataLogger del programa.	60
5.8	Imagen del menú de la sección Comunicaciones del programa.	61
5.9	Imagen del menú E-mail de la sección Comunicaciones del programa.	61
5.10	Imagen del menú SMS de la sección Comunicaciones del programa.	61
5.11	Imagen del menú FTP de la sección Comunicaciones del programa.	62
5.12	Imagen del menú de la sección Gráfica del programa.	62
5.13	Imagen del menú general de la sección Gráfica del programa.	63
5.14	Tarjeta de desarrollo AC4490 conectada a un puerto USB.	63
5.15	Tarjeta de desarrollo AC4490 conectada a otro puerto USB.	64
5.16	Tarjeta de desarrollo AC4490 y otro dispositivo conectados a diferentes puertos.	64
5.17	Imagen de los diferentes puntos dónde se establecieron las conexiones.	67
5.18	Imagen de los diferentes puntos donde se establecieron las conexiones.	68
5.19	Imagen al ejecutar el applet.	76
5.20	Imagen del applet desde el navegador de Internet.	77

Índice de tablas

3.1	Descripción de pines del conector DB9.	10
3.2	Niveles de tensión de las señales.	11
3.3	Descripción de los estados de los LEDs de la tarjeta de desarrollo.	14
3.4	Descripción de los conectores de la tarjeta de desarrollo.	15
3.5	Formatos soportados en la interfaz serie.	19
3.6	Configuración del canal RF.	20
3.7	Mapeo de la memoria del tranceptor AC4490.	22
3.8	Comandos especiales del protocolo de comunicación del grabador de datos.	23
3.9	Protoco de comunicación del grabador de datos.	24
3.10	Comandos del protocolo de comunicación del grabador de datos.	24
3.11	Mapeo de la memoria del grabador de datos.	26
4.1	Comandos enviados por la rutina <i>RdTransceiver</i>	32
4.2	Comandos enviados por la rutina <i>WrTransceiver</i>	34
4.3	Rutinas del programa <i>RdWrDL</i>	38
4.4	Parámetros que se configuran por el programa <i>enviarComandoMenuGeneral()</i>	40
4.5	Parámetros del grabador de datos que se configuran con el programa <i>enviarComandoMenuGeneral()</i>	42
4.6	Parámetros que se leen por el programa <i>enviarComandoLecturaMenuGeneral()</i>	45
4.7	Parámetros que lee el programa <i>enviarComandoLecturaMenuGeneral()</i>	46
5.1	Resultados de configuración a diferentes velocidades.	65
5.2	Resultados de conexión del grabador de datos, a diferentes velocidades.	65
5.3	Resultados de conexión a diferentes distancias.	66
5.4	Resultados de conexión a diferentes distancias.	68
5.5	Historial del software propietario Global Water después de las pruebas.	69
5.6	Historial guardado en el punto A con el software desarrollado.	71
5.7	Historial en tiempo real en el punto A con el software desarrollado.	72
5.8	Historial guardado en el punto B con el software desarrollado.	73

Lista de símbolos y abreviaciones

Abreviaciones

ASADAS	Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios
Baudrate	Velocidad de transmisión de la interfaz serial.
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum.
Hop	Frecuencia de operación.
host	Dispositivo que se conecta con el transceiver.
ISM	Industrial, scientific and medical radio bands.
MAC	Media Access Control.
RS-232	Recommended Standard 232.
RS-485	Recommended Standard 485.
USB	Universal Serial Bus.
VCP	Virtual COM port.

Notación general

<i>CTS</i>	Clear To Send.
<i>DCD</i>	Data Carrier Detect.
<i>DCE</i>	Data Circuit-terminating Equipment.
<i>DSR</i>	Data Set Ready.
<i>DTE</i>	Data Terminal Equipment.
<i>DTR</i>	Data Terminal Ready.
<i>GND</i>	Common Ground.
<i>RD</i>	Received Data.
<i>Records</i>	Es la trama de las muestras del ADC de todos los canales, incluyendo la hora y la fecha.
<i>RI</i>	Ring Indicator.
<i>RTS</i>	Request To Send.
<i>TD</i>	Transmitted Data.
<i>V_{CC}</i>	Tensión de alimentación.

Capítulo 1

Introducción

1.1 Entorno del proyecto

Actualmente el crecimiento de la población, el incremento en la actividad económica y la necesidad de una mejor calidad de vida llevan a conflictos y a una creciente competencia por los recursos de agua dulce, causando una escasez de este recurso.

Otro factor importante que afecta este recurso es la contaminación dado está conectada inherentemente a las actividades humanas. Además de servir para los requerimientos básicos de los seres vivos y los procesos industriales, el agua también actúa como un medio de transporte de desechos domésticos, agrícolas e industriales causando la contaminación de la misma y de los alrededores.

En Costa Rica son varias identidades gubernamentales y no gubernamentales que comparten las responsabilidades en materia de gestión del recurso hídrico, tales como:

- Ministerio del Ambiente y Energía (MINAE).
- Ministerio de Salud.
- Servicio Nacional de Aguas Subterráneas.
- Riego y Avenamiento (SENARA).
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA).
- Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).
- Municipalidades.

- Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (ASADAS).

Las ASADAS tienen un gran papel y responsabilidades sobre los recursos hídricos, estas se encargan de brindar el servicio de suministro de agua potable y de alcantarillado sanitario en diversas comunidades rurales. Son asociaciones que fueron creadas por la misma comunidad y dirigidas por el Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados (AyA) [12].

El prototipo que se desarrolló como proyecto de graduación, lo coordinó directamente la Escuela de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica por el profesor Ing. Johan Carvajal Godínez. El trabajo propuesto es una etapa del proyecto “*Modelo de gestión ambiental para acueductos rurales y red de monitoreo de la calidad del agua*” [11], este proyecto está coordinado por la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica sede San Carlos e inicio sus labores desde febrero del 2009.

La localización donde se desea implementar el trabajo es en los acueductos de la Región Huetar Norte de Costa Rica, en la figura 1.1 se observa el área geográfico de la zona. “*El país está dividido en 34 grandes cuencas hidrográficas, 7 de las cuales se ubican total o parcialmente dentro de la Región Huetar Norte. Las cuencas del Río Frío, Pocosol y Cureña están completamente circunscritas dentro de la Región y las cuencas de los ríos San Carlos, Zapote, Sarapiquí y Chirripó extiende sus límites más allá de los de la Región*” [19], esto se puede observar en la figura 1.2.



Figura 1.1: Región Huetar Norte. [5]



Figura 1.2: Cuencas hídricas de la Región Huetar Norte de Costa Rica. [3]

Para darse una idea gráfica de la cantidad de ríos que se encuentran en la zona, en la figura 1.3 [4], se muestran los arroyos y lagos que se encuentran en la región.

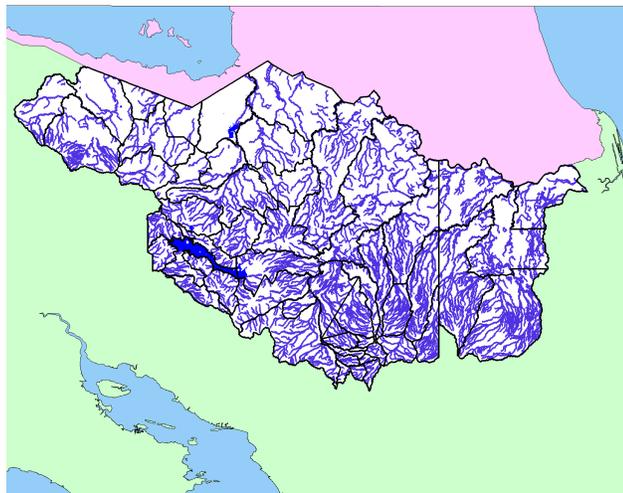


Figura 1.3: Ríos en la zona Huetar Norte de Costa Rica.

1.2 Antecedentes

Un grupo del proyecto “ *Modelo de gestión ambiental para acueductos rurales y red de monitoreo de la calidad del agua* ” [11], realizó un estudio general a veinticinco Juntas Administradoras de Acueductos Rurales de los cantones de Los Chiles, Guatuso y San Carlos que pertenecen a la provincia de Alajuela, Costa Rica.

En el trabajo se expuso que el 92% de las muestras no cuentan con un sistema diseñado para monitorear y controlar la contaminación del agua, por actividades como son la agricultura, la ganadería, el vandalismo, las granjas avícolas, la construcción e industria, entre otros. Una importante variable de contaminación expuesta en el estudio son las inundaciones, según la información suministrada, los sistemas se inundan en un 48% durante la época lluviosa. La actividad volcánica es otro aspecto relevante dado por el informe, ya que en la zona donde se está realizando el proyecto, algunos de los acueductos se encuentran cerca del volcán Arenal y del volcán Tenorio. El 20% de los acueductos en estudio manifiestan verse afectados por erupciones volcánicas, lluvia ácida, sismos o bien por coladas de lava.

Según los mapas suministrados por SIR-ZEE [6], en la figura 1.4 , se observa una escala de contaminación en el área y en la figura 1.5 , se muestra por donde pasan los arroyos y su posible intoxicación por el deterioro.

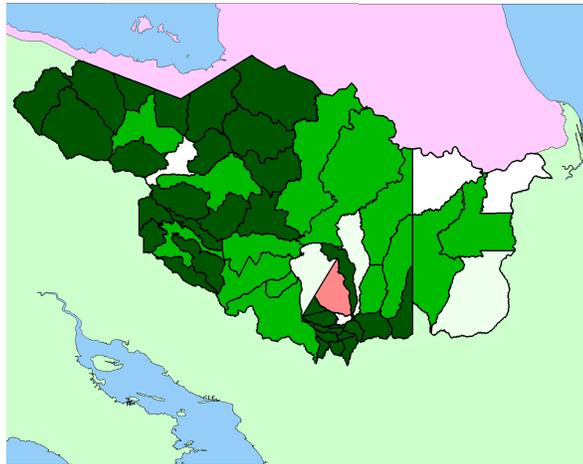


Figura 1.4: Contaminación en la Región Huetar Norte de Costa Rica. [1]

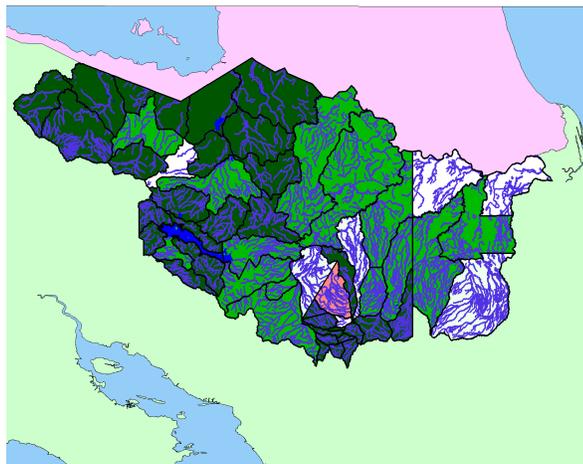


Figura 1.5: Contaminación y cuencas hídricas de la Región Huetar Norte de Costa Rica. [2]

El estudio realizado a las ASADAS también mostró resultados negativos propios de las identidades, estos aspectos se obtuvieron a partir de un análisis FODA aplicado a cada organización, del cual se deslumbro lo siguiente:

- Debilidades
 - No cuentan con transporte propio.
 - No hay fácil acceso a la naciente.
 - No hay tierras alrededor de la fuente de agua que estén a la venta.
 - La red pasa por propiedades privadas.
 - No están bien protegidos los tanques.
 - Hay problemas con los equipos de tratamiento de agua, como el de cloración y la bomba del pozo.
 - Existen fugas.
 - Recursos limitados para inversiones.
 - Desinterés del pueblo en valorar los recursos.
 - Los usuarios hacen mal uso del agua.

- Amenazas
 - Peligro por contaminación en fugas con tuberías que pasan por piñeras.
 - Acceso condicional por el propietario a nacientes y tanques de almacenamiento.
 - La propiedad de la naciente no pertenece a la ASADA.
 - Plantaciones de piña y ganadería cerca del tanque de almacenamiento.
 - Riesgos de contaminación en la red, por inundaciones, por las lluvias.
 - Mal uso del agua por los abonados.
 - Riesgo de contaminación en la red por lecherías.
 - Cañería vieja.
 - Vandalismo.
 - Desastres naturales.

Por último, si las ASADAS desean una muestra de la calidad del agua, cada una de las organizaciones deben solicitar un equipo de medición al AyA. Este lo conforman un grupo de personas encargadas de ir al acueducto a medir los parámetros de calidad de agua y son los que emiten los resultados a las ASADAS.

1.3 Problema existente e importancia de su solución

La contaminación en los acueductos es el aspecto más importante de monitorear y controlar, ya que puede producir un impacto directo en la salud en los habitantes de las comunidades, en los usuarios externos a la comunidad que podrían utilizar el recurso (turistas, la zona es una gran fuente de turismo) y en los productos que necesiten agua para su desarrollo que se producen en la zona y por último en el impacto negativo ambiental.

El prototipo de monitorización remota que se desarrollo debería evitar los problemas que actualmente afrontan las ASADAS, el primer aspecto es que no cuentan con un equipo propio que mida parámetros de la calidad del agua que están distribuyendo.

Una práctica para contrarrestar una posible epidemia o infección, es la acción proactiva. Estar a la espera de los resultados no es recomendable para aminorar las consecuencias de una posible catástrofe, por lo que el equipo debería ser capaz de medir en tiempo real los parámetros químicos y físicos del agua que determinan su calidad.

Debido a que muchas de las nacientes o partes del sistema del acueducto no cuentan con acceso y si lo tuvieran en ciertas partes, la distancia del recorrido y la carencia de un medio de transporte impediría la constante revisión del equipo, se debe acondicionar el dispositivo al ambiente y condiciones al que se irá a instalar. Otro aspecto con respecto a la distancia es el rango de alcance que debe tener el dispositivo de radiofrecuencia, ya que muchos de los acueductos o nacientes se encuentran en un rango entre los cinco y los doce kilómetros de distancia desde sus captaciones hasta la red de distribución.

La situación económica de muchas ASADAS es un tema a reflexionar, aunque muchas de ellas tienen solvencia económica, poca morosidad y una gran demanda por expandir el servicio, se debe diseñar un prototipo para las veinticinco instituciones y no todas tienen las mismas condiciones económicas; además se debe considerar la posibilidad de comprar un equipo de cómputo y equipo especializado para monitorear la calidad de agua.

En síntesis, el problema que existe en las ASADAS de la zona Huetar Norte, es que carecen de un equipo de transmisión y visualización para la medición en tiempo real de la calidad del agua en el sistema de distribución de sus acueductos.

Capítulo 2

Meta y Objetivos

2.1 Meta

Desarrollar un prototipo de un sistema de monitorización remoto para medir la calidad de agua de las ASADAS de la zona Huetar Norte.

2.2 Objetivo General

Integrar un conjunto de tecnologías para la monitorización de los parámetros de la calidad del agua de las ASADAS de la Zona Huetar Norte, capaces de funcionar como un sistema de monitorización y visualización remota.

2.3 Objetivos Específicos

1. Desarrollar un conjunto de algoritmos que permitan efectivamente la comunicación inalámbrica desde el punto de recolección de datos hasta el punto de visualización y almacenamiento. Usando para ellos los comandos soportados por los trancceptores.
2. Desarrollar un conjunto de rutinas de software que permitan la configuración y calibración adecuada del grabador de datos por medio del enlace inalámbrico.
3. Desarrollar un entorno de visualización remota de las variables de calidad de agua, capaz de realizar mediciones en tiempo real, escogiendo los sensores a observar y el tiempo de muestreo de al menos 1 segundo.

Capítulo 3

Marco Teórico

3.1 Modelo de comunicación digital.

El objetivo de un sistema de comunicación es intercambiar información entre las partes que realizan la actividad [17]. Para transmitir la información se efectuarán alteraciones a la información, a la cual, al ser recibida se le aplicarán las operaciones inversas para restaurar el mensaje [18]. En la figura 3.1 se puede observar un modelo de comunicación.

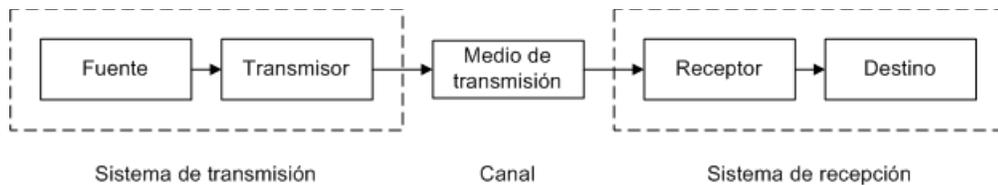


Figura 3.1: Modelo de comunicación. [17]

- Fuente: genera la información codificada digitalmente para ser transmitida.
- Transmisor: codifica y transforma la información para ser enviada al medio de transmisión.
- Medio de transmisión: es por donde se desplaza la información; es el factor limitante del rendimiento del sistema de comunicación.
- Receptor: recibe la información del medio para descodifica y restaurar el mensaje del transmisor.
- Destino: capta la información del receptor.

Las señales eléctricas se utilizan para la transmisión a largas distancias debido a su fácil control, para transmitir en el aire se utilizan ondas electromagnéticas.

3.2 Comunicación de datos punto a punto

La comunicación de datos se lleva a cabo entre dos dispositivos que se encuentran directamente conectados con algún tipo de medio de transmisión punto a punto. En la práctica si el medio es cableado, este tipo de comunicación tiene su desventaja económica, ya sea porque el enlace recorre grandes distancias o además la fuente tiene más de un enlace punto a punto con otros destinos. Por eso se utilizan redes de comunicación inalámbricas.

Tipos de transmisión:

- Transmisión simplex (SX): transmisión en un sentido.
- Transmisión semiduplex (HDX): transmisión en ambos sentidos.
- Transmisión duplex completo (FDX): transmisión en ambos sentidos al mismo tiempo.

3.3 Transmisión de datos análogos y digitales.

Los datos analógicos toman valores continuos en un intervalo. Por ejemplo, la voz es continuo con diferentes patrones de intensidad. La mayoría de los datos recogidos por los sensores, tales como la temperatura. Los datos digitales son discretos en el tiempo.

Para la comunicación digital se usan datos binarios, donde una serie de códigos está representado por una secuencia de bits. Para representar un bit generalmente se utiliza una señal que se compone de dos niveles de tensión equivalentes a los dos valores binarios. Por lo que a grandes distancias, esta señal se atenúa y se requiere repetir la señal para aumentar los niveles de tensión, esto perjudica la transmisión de la señal al agregarle un retraso por el proceso de restauración de la onda.

La comunicación puede ser asincrónica o sincrónica, donde la diferencia radica en que la primera no se utiliza una señal de referencia temporal que indica el valor real del bit.

3.4 Comunicación asincrónica.

La estrategia de este esquema es evitar el problema de tiempo al no enviar flujos largos, ininterrumpidos de bits. En cambio, los datos se transmiten un carácter a la vez, donde cada carácter codificado es una trama de cinco a ocho bits de longitud. El tiempo o sincronización sólo se necesita en cada carácter, el receptor tiene la oportunidad de volver a sincronizar al principio de cada nueva trama.

La técnica de transmisión es muy sencilla, primero la línea entre el transmisor y el receptor se encuentra en inactividad. La transmisión empieza por un bit de inicio con un valor de un 0

lógico. Esto es seguido por la trama de 5-8 bits que en realidad constituyen el carácter. Los bits de los caracteres se transmiten a partir del bit menos significativo. Existe la posibilidad de usar un bit de paridad que se utiliza para identificar si hay un error en la trama y por último se envía el bit de parada que indica la finalización de la transmisión, este tiene una duración del doble que el resto de los bits enviados y es un 1 lógico.

3.5 Comunicación serial.

Un puerto serial es un conector que utiliza la comunicación asíncrona para comunicar dispositivos *DCE* y *DTE* [13], una computadora se clasifica como un dispositivo *DTE*. Existen varios estándares de comunicación serial, ejemplo: RS-232, RS-485 y al USB.

3.5.1 Estándar RS-232.

Las especificaciones fueron escritas por Electronic Industries Alliance en conjunto con Telecommunications Industry Association. El estándar define el tipo de equipo y las señales, características eléctricas y mecánicas. Como se mencionó los dispositivos se definen como *DCE* y *DTE*, lo que les diferencia es la asignación de pines. Usualmente se usa un conector tipo DB9 (9 pines), pero existe el conector DB25 (25 pines). En la tabla 3.1 [7] se pueden observar los pines más comunes del conector DB9.

Tabla 3.1: Descripción de pines del conector DB9. [7]

Señal	Pin DB9	Descripción
GND	5	Tierra.
TD	3	Salida de datos Serie.
RD	2	Entrada de datos Serie.
DTR	4	Con un 1 lógico se puede comenzar a enviar y recibir datos. En nivel de 0 lógico, el DCE terminará la comunicación.
DSR	6	En 1 lógico indica al DTE que el DCE está listo para enviar datos.
RTS	7	El DTE envía una señal cuando está listo para recibir datos del DCE. El DCE analiza el estado del DTE con este pin y saber si puede enviar datos.
CTS	8	DCE envía una señal cuando está listo para recibir datos del DTE.
DCD	1	Con esta señal el DCE indica al DTE que ha establecido una línea portadora (una conexión) con un dispositivo remoto.
RI	9	Esta línea es utilizada comúnmente por el software de comunicaciones cuando el dispositivo no está en modo de autor responder para indicarle que un dispositivo remoto está llamando.

El conector hembra debe se asocia con el dispositivo DCE y el conector macho con el equipo DTE. en la figura 3.2

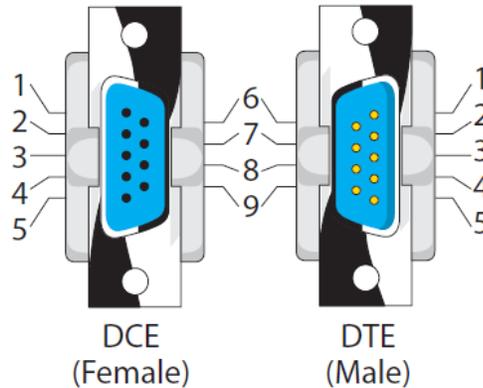


Figura 3.2: Conectores DB9[13].

Para poder conectar dos dispositivos del mismo tipo se necesita de un cable cruzado, el cual cambia la conexión de pines. en la figura 3.3 se muestra este tipo de conexión.

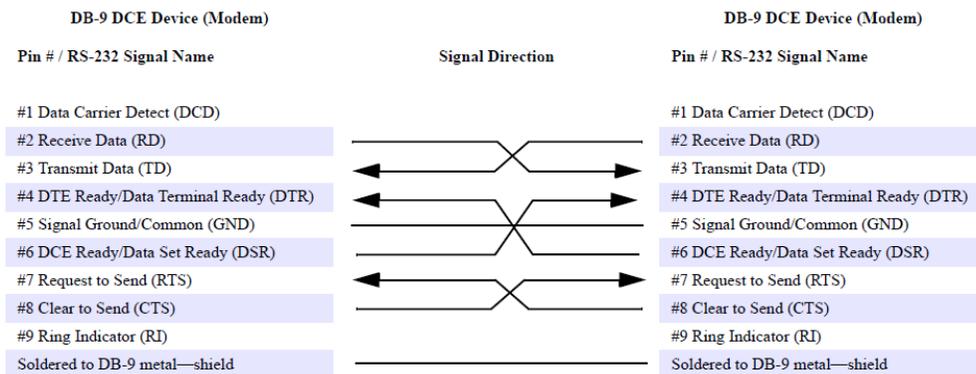


Figura 3.3: Conexión entre dos dispositivos DCE[13].

Para generar los valores de los bits en la tabla 3.2 se tienen los niveles de tensión

Tabla 3.2: Niveles de tensión de las señales.

Tensión	Nivel lógico
+3 a +15	0
-3 a -15	1

Dependiendo de la velocidad de transmisión empleada, es posible comunicar equipos hasta 15m de distancia.

3.6 Virtual COM.

El controlador de puerto serial Virtual COM permite que la computadora reconozca y se comunique con el dispositivo como un puerto COM sin tener en cuenta la conexión de hardware entre el PC y el sistema de destino [16]. De esta forma se pueden conectar dispositivos con una interfaz USB y ser reconocidos como puertos seriales que usan el estándar RS-232C.

3.7 Ondas electromagnéticas.

Las señales electromagnéticas se utilizan como elemento de transmisión de datos. Las señales son una función del tiempo, pero pueden ser también expresadas en función de la frecuencia. La frecuencia es la velocidad (en ciclos por segundo (Hertz)) en el que la señal se repite, por lo que el espectro de una señal es el rango de frecuencias que contiene.

3.8 Transmisión inalámbrica.

Para la transmisión, se utiliza una la antena, la cual irradia energía electromagnética en el medio (normalmente aire), y para la recepción, la antena capta electromagnéticamente las ondas del medio [17]. Hay básicamente dos tipos de configuraciones para la transmisión inalámbrica: direccional y omnidireccional. En donde la primera, la antena de transmisión emite un campo electromagnético enfocado, por lo que las antenas de transmisión y recepción deben ser cuidadosamente alineadas. En el caso omnidireccional, la señal transmitida se propaga en todas direcciones y puede ser recibida por varios tipos de antenas.

Para la transmisión de datos a mayor frecuencia utilizada, mayor será el ancho de banda y por lo tanto mayor es la velocidad de datos posible.

Para formar una red se necesita de un identificador único en el protocolo de comunicación, para esto se utiliza la MAC, se define como la dirección física del dispositivo, cada dispositivo inalámbrico contiene su propia MAC. Lo que permite que un dispositivo de RF se comunique únicamente punto a punto con otro.

3.9 ISM

ISM (siglas en español : industrial, científica y médica) es la banda de radio que están reservadas originalmente a nivel internacional para el uso de radiofrecuencia en aplicaciones industriales, científicas y médicas.

3.10 Comandos AT

Los comandos AT fueron desarrollados originalmente por *Hayes Microcomputer Products*. El objetivo de estos comandos es controlar y configurar módems [14]. El conjunto de comandos AT Hayes es el estándar de la industria para la comunicación y configuración de un módem. Prácticamente todos los módems fabricados hoy en día son compatibles con este estándar de comunicación.

Un aspecto importante en el desarrollo del estándar fue que Dennis Hayes logró utilizar un solo canal de comunicación para su Smartmodem, mediante la definición de un modo de datos y un modo de comando. Para entrar al modo comando se definió "+++", tres signos más, sin perder comunicación con el módem. En el modo de datos el módem recibía datos de la computadora para transmitirlos a otro módem, en cambio en el modo de comando recibía datos de la computadora para configurarse.

3.11 Lenguaje de programación JAVA

Java es un lenguaje de programación de alto nivel orientado a objetos, fue desarrollado por la empresa Sun Microsystems a principios de los 90, su sintaxis se basa en los lenguajes C y C++. Un objeto es un modelo de un elemento real, el cual contiene estado (variables) y comportamiento (métodos), esto permite la reutilización del software. Para crear un objeto se utiliza el comando new.

El proceso de creación de un programa en JAVA es similar a otros lenguajes de programación, se escribe el código fuente y se compila para generar un binario (Byte-Code). Una ventaja de este tipo de archivos es que pueden ser ejecutados en diversas plataformas, tales como: Sistemas Operativos Linux, Solaris, Windows, HP-UX hasta productos como Bases de Datos Oracle y Servidores de Aplicaciones BEA. Esta característica de multiplataforma es gracias a que el programa es corrido en una maquina virtual llamada "Java Virtual Machine".

3.12 Tarjeta de desarrollo para el trancceptor AC4490

La información suministrada se toma del manual de usuario de la tarjeta de desarrollo[8] de la empresa Laird Technologies Inc.

La tarjeta de desarrollo, tiene la capacidad de trabajar con un trancceptor, con el objetivo de interactuar con una computadora para pruebas de rendimiento, o comunicarse con cualquier otro dispositivo que soporta tensiones desde 3,3V hasta 5V TTL, RS-232, RS-485 o comunicación por el puerto USB. En la figura 3.4 se ilustra la tarjeta de desarrollo.

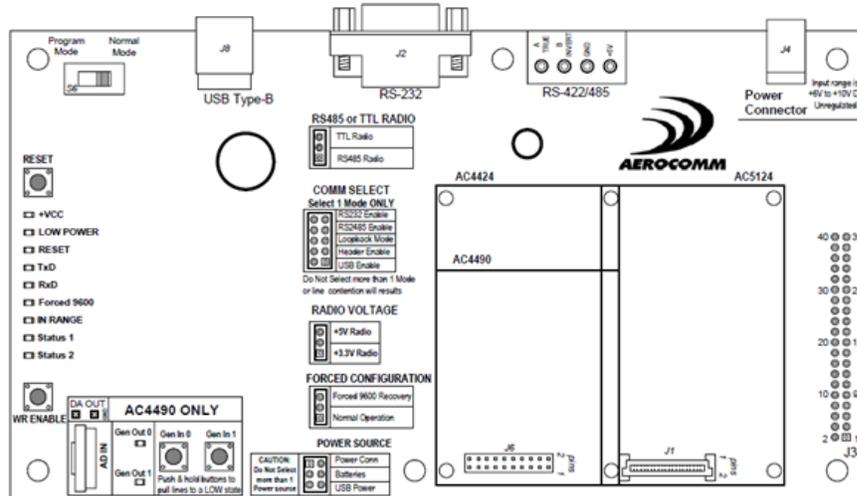


Figura 3.4: Tarjeta de desarrollo AC4490[8].

Estados de los LEDs

Tabla 3.3: Descripción de los estados de los LEDs de la tarjeta de desarrollo.

Nombre	Descripción
+ VCC	Se enciende cuando se aplica energía a la tarjeta, existen 3 formas de energizar la placa: por medio de un adaptador eléctrico, conectando al puerto USB o por baterías.
LOW POWER	Supervisa la fuente, cuando está por debajo de 4,8V se enciende.
RESET	Se ilumina cuando el botón de reset de la placa se presiona, reiniciando el tranceptor.
TxD	Se iluminará cuando la línea TXD está en bajo; parpadeará rápidamente cuando se transmiten datos desde el tranceptor al equipo conectado por alguna de las interfaces.
RxD	Se iluminará cuando la línea RXD está en bajo; parpadeará rápidamente cuando los datos enviados por el equipo son recibidos por el tranceptor.
Forced 9600 Recovery	Se ilumina para indicar que el puente de FORCED CONFIGURATION está activado para que el tranceptor trabaje a 9600bps. El tranceptor debe reiniciarse antes de que se obligue a trabajar a 9600bps.

Continúa en la siguiente página

Tabla 3.3 – Continuación

Nombre	Descripción
IN RANGE	En el modo de conexión servidor-cliente, si el tranceptor está configurado como cliente, el LED se encenderá si este está en el rango de comunicación con el tranceptor como servidor y si ambos tienen el System ID y el número del canal iguales. Si el tranceptor se utiliza como servidor, el LED siempre se ilumina cuando se energiza la tarjeta.

Conectores

Tabla 3.4: Descripción de los conectores de la tarjeta de desarrollo.

Conector	Nombre	Descripción
S6	Program Mode/Normal Mode	Cuando éste interruptor se mueve a la posición de modo de programación, el pin RTS del conector DB9/USB está conectado al pin Comandos/Datos del tranceiver. El pin RTS del tranceptor también está conectado a GND. Esto permite que el programa SDK controle estos pines con RTS siempre activado. Cuando el interruptor se mueve a la posición de modo normal, el pin RTS en el conector DB9/USB está conectado al pin RTS del tranceptor y el Comando/Datos se deja desconectado. Las familias AC4490 soportan comandos AT para realizar cambios en los parámetros de la EEPROM, por lo que el interruptor se puede dejar en modo normal.
	RS485 o TTL Radio	Se debe seleccionar Rs-485 si se utiliza un tranceptor equipado con un chip de interfaz RS-485. Esto convierte la interfaz RS-485 del tranceptor a serie, que luego se convierte en protocolo de la interfaz seleccionada por el puente COMM SELECT. Si no se utiliza un tranceptor equipado con un chip de RS-485 interfaz, se debe seleccionar Radio TTL.

Continúa en la siguiente página

Tabla 3.4 – Continuación

Conector	Nombre	Descripción
J12	COMM SELECT	<p>Cuando este puente se mueve a RS-232, se activa la comunicación través del conector DB9 (J2). Cuando este puente se mueve a la posición RS485 Activa, la comunicación RS-485 se activa a través de los pines RS-485.</p> <p>Si esta en la posición de modo de bucle (Loopback Mode), el pin TxD del transceptor se conecta al pin RxD del transceptor. El modo RTS debe estar deshabilitado en el transceptor si el modo de bucle está activado. Este modo no es compatible con la selección RS-485 Radio.</p> <p>Cuando este puente se mueve a la posición 40 Pin Header, la comunicación serial es posible gracias al conector de 40 pines (J3).</p> <p>Cuando este puente se mueve a la posición USB Enable, la comunicación USB se encuentra activada a través del conector USB tipo B (J8).</p>
J9	RADIO VOLTA- GE	<p>Cuando este puente se mueve a la posición de Radio 3.3V, el transceptor se alimenta con 3.3V. El transceptor AC4x90-1000 debe tener este puente establecido en 3,3V.</p>
J11	FORCED CONFI- GURA- TION	<p>Cuando este puente se mueve a la posición de funcionamiento normal, el transceptor se comunicará a la velocidad de transmisión configurada en la EEPROM.</p> <p>Cuando el puente se mueve a la posición de la recuperación por 9600bps, la velocidad de transmisión de la interfaz del transceptor se verá obligada a trabajar a 9600bps después de reiniciarse. Esto es para la recuperación de EEPROM y no debe ser utilizado en la operación normal.</p>

Continúa en la siguiente página

Tabla 3.4 – Continuación

Conector	Nombre	Descripción
J7	POWER SOURCE	<p>Cuando este puente se mueve a la posición de Power Conn, la energía se suministra a la placa SDK a través del conector de alimentación (J4).</p> <p>Cuando este puente se mueve a la posición de Batteries, la energía se suministra a la placa SDK través de las dos tomas de corriente de los conectores para baterías AA en la parte inferior de la tarjeta.</p> <p>Si USB Power está seleccionado, el tranceptor y la tarjeta recibirá la energía del puerto USB. La mayoría de los puertos USB sólo puede suministrar 500mA de potencia máxima, por lo tanto, se recomienda que la alimentación por USB sólo se puede utilizar con transceivers que consumen menos de 300mA como máximo. A pesar de que las computadoras deben tener protección por sobre consumo de corriente en los puertos USB, suministrar demasiada corriente a través del puerto USB puede causar daños al computador.</p>

3.13 Tranceptor AC4490

La información suministrada se toma del manual de usuario del tranceptor AC4490[9] del la empresa Laird Technologies Inc.

Arquitectura RF

El AC4490 utiliza una red cliente-servidor, donde todos los clientes sincronizan su hop con el servidor. El servidor transmite una señal al principio de cada hop (20ms). Los transceivers clientes reciben esta trama, indican que están al alcance del servidor y sincronizan sus hops con el servidor.

Cada red debe consistir en un solo servidor y nunca debe de haber dos servidores en el mismo canal de RF en la misma área de cobertura, sino se producirá interferencia entre los dos servidores dificultando gravemente las comunicaciones de RF. Para aquellas aplicaciones que requieren varios servidores, se recomienda utilizar la opción de Sync-to-Channel.

Modos de funcionamiento

El AC4490 tiene tres modos de funcionamiento: recibir, transmitir, y modo de comando. Si el tranceptor no se comunica con otro radio, estará en modo de recepción tratando de recibir la trama del servidor. Un tranceptor entrará en el modo de transmisión o Comando, cuando el equipo conectado al radio envía datos a través de la interfaz serial. El estado del pin CMD/Datos (Pin 17) determina cuál de los dos modos será establecido.

Modo de transmisión

Todos los paquetes enviados a través de RF son paquetes direccionados o de tipo broadcast, estas transmisiones pueden ser controladas de forma dinámica con el byte de control de la API. Para prohibir la recepción de paquetes de tipo broadcast, se habilita la opción de Unicast en la EEPROM.

- Los paquetes dirigidos

El paquete de RF sólo se envía al receptor especificado en la dirección de destino. Para aumentar las probabilidades de éxito de la entrega, se reintentará transmitir la trama, esto es transparente para el host. Si el receptor recibe el paquete libre de errores, devolverá una trama de reconocimiento en los mismos 20ms del hop. Si se dio algún error, el receptor envía una trama de no reconocido y el transmisor reintentará enviar la trama.

Modo de recepción

Cuando un tranceptor no está en modo de transmisión o de comando, estará en modo de recepción de datos, tratando de escuchar por los mensajes del servidor.

Modo de comando

Una radio entrará en modo de comando cuando se reciben datos a través del interfaz serial del computador y el pin Comando/Data (pin 17) tiene un cero lógico en su entrada o la información recibida contiene la trama "AT + + +". Una vez en modo de comando, todos los datos recibidos por la radio se interpretarán como datos de los comandos.

Velocidad de datos en la interfaz

Esta es la tasa con la que la computadora y el tranceptor se comunican a través de la interfaz serial. Esta tasa es independiente de la tasa de transmisión de RF, que esta fija en 76,8Kbps. Los valores posibles van desde 1200bps hasta 115.200bps.

Tabla 3.5: Formatos soportados en la interfaz serie.

Número de bits	Paridad	Bits de parada	Requerimientos de programación
8	N	1	Paridad deshabilitada
7	N	2	Paridad deshabilitada
7	E, O, M, S	1	Paridad deshabilitada
9	N	1	Paridad deshabilitada
8	N	2	Paridad habilitada
8	E, O, M, S	1	Paridad habilitada
7	E, O, M, S	2	Paridad habilitada

Tiempo de espera de la interfaz / Tamaño del paquete de RF

Ambos parámetros determinan cuando una trama de datos se envía a través de la RF como un paquete completo de RF.

- Tiempo de espera de la interfaz

Especifica un espacio máximo entre bytes consecutivos. Cuando esa brecha se supera, los bytes en la trama de transmisión se envían a través de la RF como un paquete completo. El valor predeterminado de tiempo de espera de la interfaz es 0x04 (2ms) y debe ajustarse cuando se cambia la velocidad de transmisión de la interfaz.

- Tamaño de paquetes de RF

Cuando el número de bytes en la trama de transmisión es igual al tamaño de paquetes de RF, los bytes son enviados como un paquete completo de RF. El tamaño de paquetes de RF se puede configurar con un máximo de 0x50 (80bytes) y se debe establecer en un mínimo de 0x06 (6bytes).

Red

- Identificación del sistema - System ID

Es similar a un contraseña o número de red y hace más difícil el espionaje en la red. Los trancptores no forman un enlace si la identificación del sistema y el número de canal RF no son iguales.

- Número de canal RF - RF channel

Es la frecuencia de operación del trancptor.

Tabla 3.6: Configuración del canal RF.

Canal	Rango del número de canal RF (Hex)	Detalles de frecuencia	Países
1	0x10 - 0x2F	902MHz - 928MHz (50 frecuencias)	US / Canadá
2	0x30 - 0x37	915MHz - 928MHz (22 frecuencias)	Australia

- Canal de sincronización - Sync Channel

Es un hop de frecuencia del tranceptor con una secuencia fija de salto. Sin sincronizar el hop de frecuencia, instalar sistemas en diferentes canales pueden interferir unos con otros. Para evitar esto, se usa el canal de sincronización, principalmente cuando dos servidores se encuentran al alcance de cada uno.

Configuración del AC4490

El AC4490 se puede configurar mediante los comandos de configuración CC (comandos de configuración propietarios de Laird Technologies). Los comandos CC se pueden usar ya sea para configuración por hardware o por software. Para utilizar la configuración por hardware, el pin 17 debe tener un cero lógico. La configuración por software puede ser utilizada por medio de comandos AT. En las figuras 3.5, 3.6 y 3.7 se presentan todos los comandos y los valores que se deberían enviar.

Cuando se usan los comandos AT en modo de comando CC, la interfaz de RF del transceiver está activo, pero los paquetes enviados desde otros radios no serán recibidos. El tranceptor utiliza *Tiempo de espera de la interfaz / Tamaño del paquete de RF* para determinar cuando un Comando de CC se ha completado. Por lo tanto, no debe haber demora entre cada carácter que se envía desde el computador al tranceptor o este no reconocerá el comando.

Si el computador ha enviado un comando de CC al tranceptor y un paquete de RF es recibido por el receptor, el transmisor envía el comando de respuesta CC a la computadora antes de enviar el paquete. Sin embargo, si un paquete de RF se recibe antes el tranceptor envía el paquete al computador antes de enviar el comando de respuesta CC.

Si se envía un comando válido, pero esta seguido de bytes no asociados al comando, el radio descarta los bytes no válidos y acepta el comando. Pero si se envía un comando no válido, el tranceptor devuelve el primer byte al computador.

Command Name	Command (All Bytes in Hex)						Return (All Bytes in Hex)			
AT Enter CommandMode	0x41	0x54	0x2B	0x2B	0x2B	0x0D	0xCC	0x43	0x4F	0x4D
Exit AT Command-Mode	0xCC	0x41	0x54	0x4F	0x0D	-	0xCC	0x44	0x41	0x54
Status Request	0xCC	0x00	0x00	-	-	-	0xCC	Firmware Version	0x00: Server 0x01: Client in range 0x03: Client out of range	
Change Channel	0xCC	0x02	New Channel		-	-	0xCC	New Channel		-
Change Server/Client	0xCC	0x03	0x00: Server 0x03: Client		-	-	0xCC	Firmware Version	0x00: Server 0x03: Client	
Change Sync Channel	0xCC	0x05	New Sync Channel		-	-	0xCC	New Sync Channel	-	-
Sleep Walk Power Down	0xCC	0x06	-	-	-	-	0xCC	Channel	-	-
Sleep Walk Wake Up	0xCC	0x07	-	-	-	-	0xCC	Channel	-	-
Broadcast Packets	0xCC	0x08	0x00: Addressed 0x01: Broadcast			-	0xCC	0x00 or 0x01	-	-
Write Destination Address	0xCC	0x10	Byte 4 of Dest. MAC		Byte 5	Byte 6	0xCC	Byte 4 of Dest. MAC	Byte 5	Byte 6
Read Destination Address	0xCC	0x11	-	-	-	-	0xCC	Byte 4 of Dest. MAC	Byte 5	Byte 6
Forced Calibration	0xCC	0x12	0x00	0x00	-	-	0xCC	Firmware Version	0x00: Server in Normal Operation 0x01: Client in Normal Operation 0x02: Server in Acquisition Sync 0x03: Client in Acquisition Sync	

Figura 3.5: Tabla de comandos para la configuración del tranceptor. [9]

Command Name	Command (All Bytes in Hex)						Return (All Bytes in Hex)			
Auto Destination	0xCC	0x15	bit-0: Auto Destination bit-1: Auto Channel bit-4: Enable Auto Destination bit-5: Enable Auto Channel				0xCC	bit-0: Auto Destination bit1: Auto Channel bits-2-7: 0		
Read Digital Inputs	0xCC	0x20	-	-	-	-	0xCC	bit-0: GI0 bit-1: GI1	-	-
Read ADC	0xCC	0x21	0x01: AD In 0x02: Temp 0x03: RSSI		-	-	0xCC	MSB of 10 bit ADC	LSB of 10 bit ADC	
Report Last Valid RSSI	0xCC	0x22	-	-	-	-	0xCC	RSSI	-	-
Write Digital Outputs	0xCC	0x23	bit-0: GO0 bit-1: GO1		-	-	0xCC	bit-0: GO0 bit-1: GO1	-	-
Write DAC	0xCC	0x24	Update Period	Duty Cycle	-	-	0xCC	Update Period	Duty Cycle	-

Figura 3.6: Tabla de comandos para la configuración del tranceptor. [9]

Command Name	Command (All Bytes in Hex)						Return (All Bytes in Hex)			
	0xCC	0x25	New Max Power			-	0xCC	Max Power	-	-
Report Last Packet RSSI	0xCC	0x26	-	-	-	-	0xCC	RSSI	-	-
Long Range Mode ¹	0xCC	0x27	0x00: Normal Mode (Disabled) 0x01: Long Range Mode (Enabled)			-	0xCC	0x00: Normal Mode (Disabled) 0x01: Long Range Mode (Enabled)		
Transmit Buffer Empty	0xCC	0x30	-	-	-	-	0xCC	0x00	-	-
Disable Sync to Channel	0xCC	0x85	-	-	-	-	0xCC	Channel	-	-
Deep Sleep Mode	0xCC	0x86	-	-	-	-	0xCC	Channel	-	-
Enter Probe	0xCC	0x8E	0x00: Enter Probe 0x01: Exit Probe			-	0xCC	0x00 or 0x01		
Read Temperature	0xCC	0xA4	-	-	-	-	0xCC	Temp (C)	-	-
Read Temperature at last calibration	0xCC	0xA5	-	-	-	-	0xCC	Temp (C)	-	-
EEPROM Byte Read	0xCC	0xC0	Start Address		Length		0xCC	Starting Address	Length	Data
EEPROM Byte Write	0xCC	0xC1	Start Address		Length	Data	Starting Address		Length	Data written
Soft Reset	0xCC	0xFF	-	-	-	-	-	-	-	-

Figura 3.7: Tabla de comandos para la configuración del tranceptor. [9]

Mapeo de memoria del tranceptor

Tabla 3.7: Mapeo de la memoria del tranceptor AC4490.

Parámetro	Dirección (Hex)	Tamaño (Bytes)	Programación
Product ID	0x00	40	No
Range Refresh	0x3D	1	No
Stop Bit Delay	0x3F	1	No
Channel Number	0x40	1	Sí
Server/Client Mode	0x41	1	Sí
Baud Rate Low	0x42	1	No
Baud Rate High	0x43	1	No
Control 0	0x45	1	Sí
Frequency Offset	0x46	1	No
CMD/Data RX Disable	0x4B	1	No
Transmit Retries	0x4C	1	No
Broadcast Attempts	0x4D	1	No
API Control	0x56	1	No
Interface Timeout	0x58	1	No

Continúa en la siguiente página

Tabla 3.7 – Continuación

Parámetro	Dirección (Hex)	Tamaño (Bytes)	Programación
Sync Channel	0x5A	1	Sí
RF Packet Size	0x5B	1	No
CTS On	0x5C	1	No
CTS Off	0x5D	1	No
Max Power	0x63	1	Sí
Modem Mode	0x6E	1	No
Parity	0x6F	1	No
Destination ID	0x70	6	Sí
System ID	0x76	1	Sí
Long Range Mode	0x7D	1	No
RS-485 DE	0x7F	1	No
MAC ID	0x80	6	No
Original Max Power	0x8E	1	No
RS485 Modem Mode	0x8F	1	No
Product ID	0x90	15	No
Protocol Status/Receive ACK	0xC0	1	No
Receive API	0xC1	1	No
Enhanced API Ctrl.	0xC6	1	No
Auto Calibrate	0xCC	1	No
DES Key	0xD0	7	No

3.14 Grabador de datos GL-500-7-2

La información suministrada se toma del manual del protocolo de comunicación[15] del la empresa Global Water Inc.

Comandos especiales

Tabla 3.8: Comandos especiales del grabador de datos.

Comando	Dato (Hex)	Descripción
SOT	0xF8	Inicio de transmisión
EOT	0xF9	Fin de transmisión

Continúa en la siguiente página

Tabla 3.8 – Continuación

Comando	Dato (Hex)	Descripción
ACK	0xFA	Acknowledge
NAK	0xFB	Acknowledge negativo
IDLE	0xFC	Mensaje recibido
ERROR	0xFD	Ocurrió un error
ESCAPE	0xFE	Se usa para codificar el mensaje. 0xFE + 0x00H codifica 0xF8 en dato 0xFE + 0x01H codifica 0xF9 en dato . . 0FEH + 006H codifica 0FEH en dato

Protocolo de comunicación

El grabador de datos responde ya sea con un carácter ACK o NAK carácter después recibir el EOT en función de si el CRC es correcto y el número del comando es válido.

Después de que el mensaje se procesa, el grabador de datos emitirá una respuesta ya sea de un Error de carácter, o en espera, o un mensaje de respuesta de varios bytes si los datos se transmiten de vuelta al servidor.

Tabla 3.9: Protocolo de comunicación del grabador de datos.

Comando	Cont (Hex)	Mensaje			crc		Comando
SOT	Mensaje con crc	1 Byte	. . .	n Byte	byte bajo	byte alto	EOT

Comandos para la comunicación con el grabador de datos

Tabla 3.10: Comandos del grabador de datos.

Comando	Dato (Hex)	Descripción
GetTime	0	Leer hora y fecha del grabador de datos.
SetTime	1	Escribir hora y fecha del Data-Logger.
	2	-

Continúa en la siguiente página

Tabla 3.10 – Continuación

Comando	Dato (Hex)	Descripción
	3	-
ResetHistory	4	Reiniciar los datos históricos del Data-Logger.
	5	-
EraseBlocks	6	Borrar uno o todos los bloques de la memoria flash.
WriteFlash	7	Escribir en la memoria flash.
ReadFlash	8	Leer en la memoria flash.
RequestSample	9	Solicitar una muestra del grabador de datos.
SendSample	10	Solicitar al grabador de datos devolver el dato de la anterior muestra.
StartUp	11	Encender el grabador de datos con su programación.
GetStatus	12	Solicitar al grabador de datos las muestras tomadas, más información del estado.
GetRecords	13	Solicitar al grabador de datos enviar los 240bytes de los datos grabados.
ResetPulsesAccs	14	Restablece el contenido actual del pulso acumuladores.
GetVersion	15	Devuelve el número versión, número de canales analógicos y digitales, y si el registrador apoya la muestra-en- la demanda.
GetNRecords	16	Solicitar al grabador de datos transmitir un número específico de registros históricos.

Formato de una muestra

Una muestra es una trama de 24bytes:

- 4 bytes fecha y hora.
- 8 palabras sin signo de medición analógicas, 12bits significativos justificados a la izquierda.
- 2 palabras número de impulsos digitales.

La fecha y la hora se codifica en cuatro Bytes (B0, B1, B2 y B3) de la siguiente forma:

Segundos en un rango de 0-59

$$\text{Segundos} = B0 [05 : 00] \quad (3.1)$$

Minutos en un rango de 0-59

$$\text{Minutos} = B1[03 : 00] * 4 + B0[07 : 06] \quad (3.2)$$

Hora en un rango de 0-23

$$\text{Hora} = B2[0] * 16 + B1[07 : 04] \quad (3.3)$$

Días en un rango de 0-31

$$\text{Días} = B2[05 : 01] \quad (3.4)$$

El año y mes se almacena como un número de 10bits que van desde 0 hasta 1023 que es el número de meses desde enero de 2000.

$$\text{Meses} = B3[07 : 00] * 4 + B2[07 : 06] \quad (3.5)$$

Mes en un rango de 12

$$\text{Mes} = \text{Mod}(\text{Meses}, 12) + 1 \quad (3.6)$$

Mapeo de memoria del grabador de datos

En la tabla 3.11 se describe como se organiza la información en la EEPROM de la memoria interna del grabador de datos y se presentan los valores internos que se configuran con el programa desarrollado.

Tabla 3.11: Mapeo de la memoria del grabador de datos.

Dirección (Hex)	Descripción	Tamaño (Bytes)	Flotante	Programación
0x00000	Logger ID	3	No	No
0x00008	Nombre del grabador de datos	32	No	Sí
0x00028	Intervalo de la muestra	3	No	No
0x0002A	Unidad del tiempo de la muestra	2	No	Sí
0x0002B	No se usa			

Continúa en la siguiente página

Tabla 3.11 – Continuación

Dirección (Hex)	Descripción	Tamaño (Bytes)	Flotante	Programación
0x0002D	Banderas de habilitación los canales Análogos	1	No	Sí
0x0002E	Banderas de habilitación los canales Digitales	1	No	Sí
0x0002F	Velocidad de la interfaz	1	No	Sí
0x00030	Tiempo de calentamiento de los sensores	2	No	Sí
0x00032	Bandera de la alarma 1	1	No	Sí
0x00033	Bandera de la alarma 2	1	No	Sí
0x00034	Bandera de muestreo por demanda	1	No	No
0x00035	Configuración del formato del muestreo	1	No	Sí
0x00036	Modo Exception	1	No	No
0x00038	Nombres de las Unidades de ingeniería de los canales	3 por canal	Sí	Sí
0x00092	Tiempo de la alarma 1	1	No	Sí
0x00096	Tiempo de la alarma 2	1	No	Sí
0x0009A	Presición de despliegue	2 por canal	No	Sí
0x000A4	Valor Raw bajo	2 por canal	No	Sí
0x000B4	Valor Raw alto	2 por canal	No	Sí
0x000C4	Factor de escala del pulso digital	3 por canal	No	No
0x000CA	Valor EU bajo	3 por canal	Sí	Sí
0x000E2	Valor EU alto	3 por canal	Sí	Sí
0x000FA	No se usa			
0x00100	Display min	3 por canal	Sí	Sí
0x00118	Display max	3 por canal	Sí	Sí

Capítulo 4

Metodología

4.1 Implementación de la solución

El tema de una posible contaminación en los acueductos es muy delicado, para operar los sensores y obtener datos precisos, se debe trabajar con un equipo de medición de alto rendimiento y calidad, de esta forma se garantizará su funcionamiento correcto bajo las posibles condiciones de trabajo y a la precisión y exactitud de los datos.

Para el proyecto se facilitaron los sensores de conductividad y turbidez de la empresa Global Water Instrumentation Inc. Estos sensores se adquirieron gracias a la investigación de Sofía Ortiz Argüello , *"La elección de estos sensores se debe a que a pesar de no ser los de menor costo, son los que poseen características tanto eléctricas como de funcionamiento que permiten acoplar los sensores con las otras etapas de trabajo de la estación, además de que están diseñados para el trabajo en campo, orientados a procesos y de tamaño apropiado para ajustar dentro un área de medición requerida."* [10]. Además de los sensores se suministro el equipo GL-500 grabador de datos de la misma compañía que los sensores, el cual es un dispositivo electrónico especializado en la adquisición de muestras.

Para poder enviar la información continuamente a través del área geográfica en que se encuentran los acueductos y considerando la falta de red eléctrica y telefónica, se debió utilizar comunicación inalámbrica. Donde el alcance del enlace de comunicación es una variable sumamente considerable, además la fiabilidad de la información. Para mitigar dichas dificultades la Escuela de Ingeniería en Electrónica suministró tarjetas de desarrollo con los tranceptores AC4490 de la empresa AEROCOMM, actualmente la compañía Laird Technologies. La tarjeta de desarrollo es una herramienta que contempla el uso de todos los módulos del chip, lo que favorece al progreso del prototipo.

Con el presente equipo inalámbrico se creo un enlace de comunicación punto a punto para poder transmitir los datos de los sensores a la computadora. El kit de desarrollo contienen 3 tipos de interfaces de comunicación con otros equipos, RS-232, RS-485 y USB.

Para controlar las condiciones de calidad del agua y poder tener una respuesta rápida de control, divulgación y mantenimiento de la red hídrica, se debió de acoplar el equipo GL-500 con el dispositivo de RF, de esta forma la información de los sensores se transmitirá en tiempo real e inalámbricamente.

El programa creado para la computadora se desarrolló con *Netbeans 6.9 IDE*, este entorno de desarrollo facilitó enormemente la creación de la interfaz gráfica, debido a que cualquier adición de botones, etiquetas, listas, casillas de selección, casillas de textos, etc, el propio programa generó el código necesario para su uso. La interfaz gráfica se desarrolló para trabajar con una computadora táctil con una resolución de 1376x776 píxeles.

Para poder reconocer el trancceptor en el puerto USB de la computadora se necesitó primero instalar el controlador de la tarjeta, pero también se utilizó la biblioteca Java Comm, esta librería permitió buscar dispositivos en los puertos seriales de la computadora, configurar el puerto con el formato de trama y la velocidad deseadas.

También se usó la biblioteca *jFreechart*, la cual ayudó a graficar las muestras en tiempo real de los sensores seleccionados por el usuario.

Por último se crearon las rutinas necesarias para poder comunicarse, configurar con los dispositivos. En el caso de grabador de datos se crearon las rutinas para poder usar la mayor cantidad de funciones que se pueden realizar, estas son: sincronizar hora y fecha, leer y escribir todos los parámetros, solicitar muestras, solicitar y borrar historial.

4.2 Descripción de rutinas

4.2.1 Objeto ATComandoInfo

Cada comando AT tiene su propia información y características, para manipular dichos aspectos de los comandos se creó un objeto con todas las posibles características del comando AT y rutinas, las cuales son:

- Variables del objeto
 1. Comando AT
 2. Tamaño del comando
 3. Respuesta del comando AT
 4. Tamaño de la respuesta del comando AT
- Clases del objeto
 1. Enviar comando()

2. Mostrar()
3. Cambiar comando()

4.2.2 Buscar COM

Es la rutina que busca equipos en los puertos de la computadora, en la figura 4.1 se observa el algoritmo del código. Primero se busca un dispositivo conectado sin importar el tipo de puerto en que se encuentra, si encuentra un dispositivo se analiza en que puerto se encuentra, si no hay más elementos en los puertos se termina la búsqueda.

Una limitación en el proceso de búsqueda es que si se quiere tener certeza de la identificación del dispositivo no se debe tener ningún otro dispositivo conectado anteriormente, sino ambos equipos serán descubiertos, ya que no se encontró una forma de seleccionar únicamente la SDK AC4490, el usuario no sabrá cual escoger.

Luego se guarda el puerto, este proceso cargar el nombre del puerto en una lista para que el usuario escoja el COM con el que desea trabajar. La variable *puertoEncontrado* se utiliza para indicar que se encontró un dispositivo en un puerto serie.

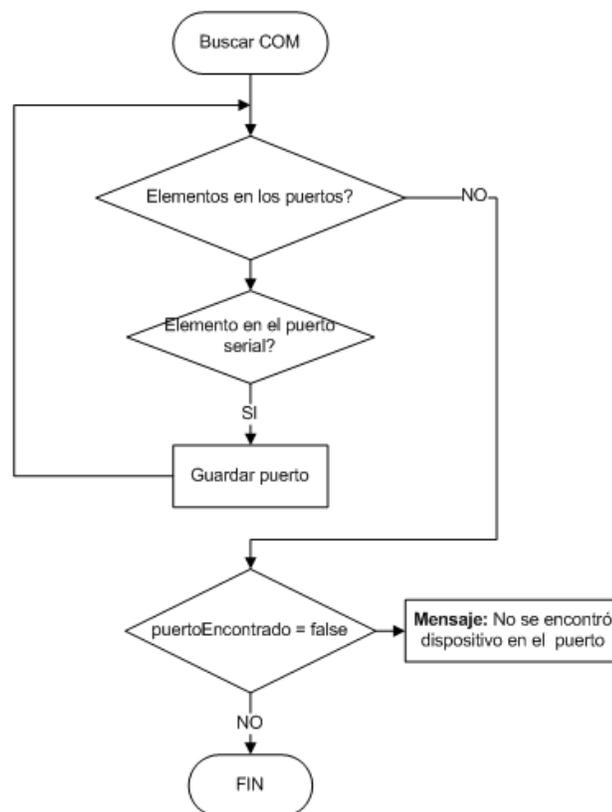


Figura 4.1: Algoritmo del programa *buscarCOM()*.

4.2.3 RdTransceiver

El objetivo principal es leer los datos de configuración del transceiver, para visualizarlos en el programa.

El programa recibe el puerto y la velocidad de comunicación seleccionados por el usuario, esto para confirmar que el puerto existe y que está en uso, una vez confirmado, se procede a inicializar el puerto. Por último se envía el comando AT para inicializar la comunicación entre el transceptor y la computadora, en la figura 4.1 se observan los pasos mencionados.

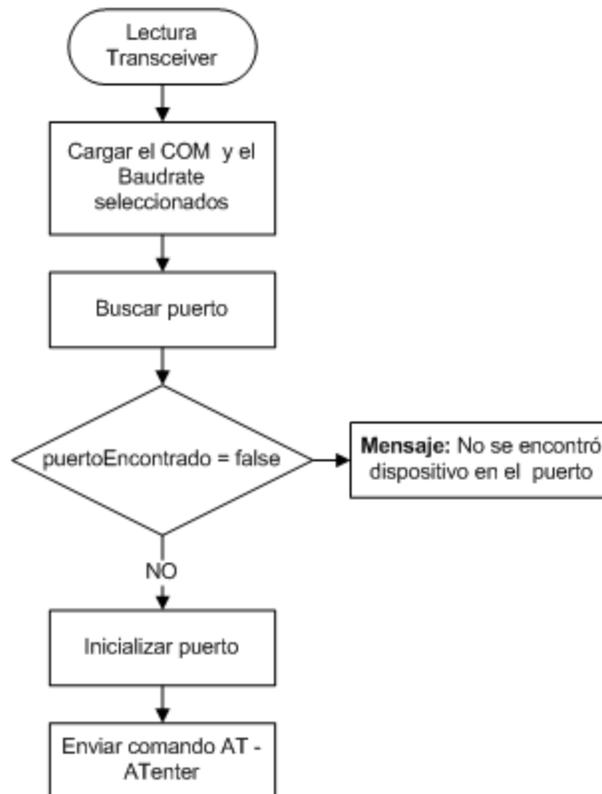


Figura 4.2: Algoritmo del programa *RdTransceiver()*.

El puerto serie trabaja por interrupciones, por lo tanto cuando existe una, se usa la variable *DATA_AVAILABLE* para confirmar si existe datos en el puerto, si es verdad, se guardan los datos en un arreglo llamado *arregloTramaRecibida*, esto se muestra en la figura 4.3.

Como se tiene el tamaño de la respuesta al comando, se verifica que la cantidad de datos recibidos sea la misma que el tamaño de la respuesta del código, en ese momento se procede a desglosar la información recibida del comando que se envió. Para poder llevar el control de los comandos, la variable *contATcomandos* lleva el orden de cual caso que se está procesando y por ende cual se envió o se enviara, en la tabla 4.1 se muestran los comandos que se envían en la máquina de estados.

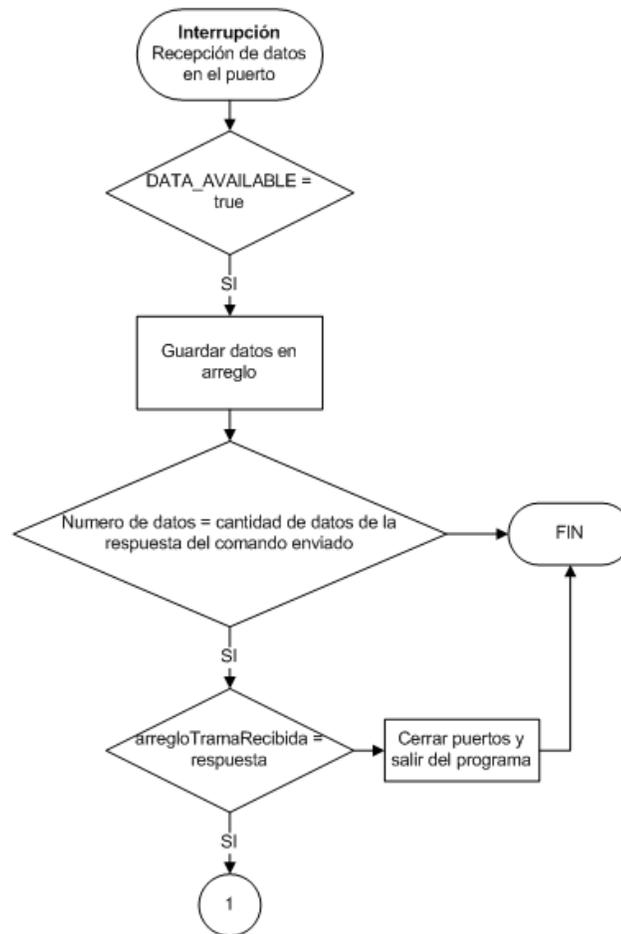


Figura 4.3: Algoritmo del programa *RdTransceiver()*.

Tabla 4.1: Comandos enviados por la rutina *RdTransceiver*.

Caso (contATcomandos)	Comando
0	AT enter
1	Lectura del modo
2	Lectura del canal RF
3	Lectura del poder de la antena
4	Lectura del ID del sistema
5(*)	Lectura de la MAC 4 destino
6(*)	Lectura de la MAC 5 destino
7(*)	Lectura de la MAC 6 destino

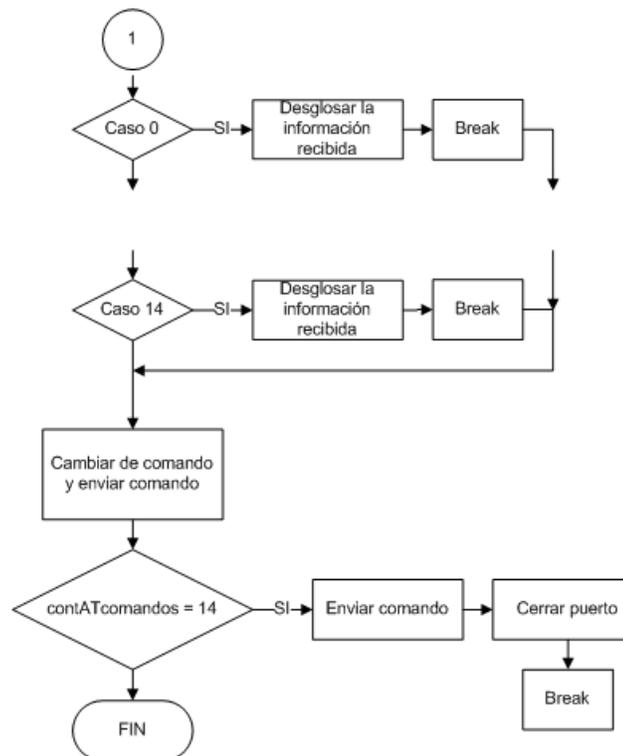
(*) los casos 5,6 y 7 se leen y se escriben únicamente los últimos 3 bytes de la MAC, porque la empresa compro las direcciones MAC de 00:55:67:xx:xx:xx, así que los 3bytes primeros nunca cambian.

Continúa en la siguiente página

Tabla 4.1 – Continuación

Caso (contATcomandos)	Comando
8	Lectura del control 0
9	Lectura del canal Sync
10	Lectura del Baudrate
11	Lectura del MAC 4
12	Lectura del MAC 5
13	Lectura del MAC 6
14	Reset / AT exit

Una vez decodificada la información, se escribe en la casilla específica de la interfaz gráfica los datos recibidos. Posteriormente se cambia la variable *contATcomandos* para poder cambiar el comando AT y poderlo enviar. Para verificar que todos los comando se enviaron se verifica que la variable *contATcomandos* sea igual a 14, si es verdad se cierra el puerto y se reinician las variables pertinentes para llamar de nuevo al proceso, en la figura 4.4, se muestra en el proceso mencionado.

Figura 4.4: Algoritmo del programa *RdTransceiver()*.

4.2.4 WrTranceiver

El objetivo es escribir los datos de configuración de los trancceptores, al igual que la rutina *RdTransceivers*, esta recibe el puerto y el Baudrate seleccionado por el usuario, para confirmar que el puerto existe y que está en uso, uno vez confirmado, se procede a inicializar el puerto serie. Por último se envía el comando AT para inicializar la comunicación entre el trancceptor y la computadora, el proceso es el mismo que se presenta en la figura 4.2.

De nuevo se usa la variable *DATA_AVAILABLE* para confirmar si existen datos en el buffer del puerto, si es verdad, se guardan los datos en el arreglo llamado *arregloTramaRecibida*. Nuevamente se tiene el tamaño de la respuesta al comando, se verifica que la cantidad de datos recibidos es la misma que el tamaño de la respuesta del código, si se cumple la condición se cambia el comando, este proceso se muestra en la figura 4.5; la información de estos comandos son diferentes a los comandos usados en la rutina *RdTransceiver* pero se mantiene el concepto del objeto que se creó.

En la tabla 4.2 se presentan los comandos y los parámetros que enviaron al programa para cambiar sus valores.

Tabla 4.2: Comandos enviados por la rutina *WrTransceiver*.

Caso (contATcomandos)	Comando
0	AT enter
1	Escritura del modo
2	Escritura del canal RF
3	Escritura del poder del la antena
4	Escritura del ID del sistema
5(*)	Escritura de la MAC 4
6(*)	Escritura de la MAC 5
7(*)	Escritura de la MAC 6
8	Escritura del control 0
9	Escritura del canal Sync
10	Escritura del Baudrate
11	Escritura del Timeout
12	Escritura del Stop Bit Delay
13	Reset / AT exit

Al igual que en *RdTransceiver* la variable *conATcomandos* es la que controla el proceso de envió de comandos y cuál caso se está realizando. En cada caso se analiza si la casilla

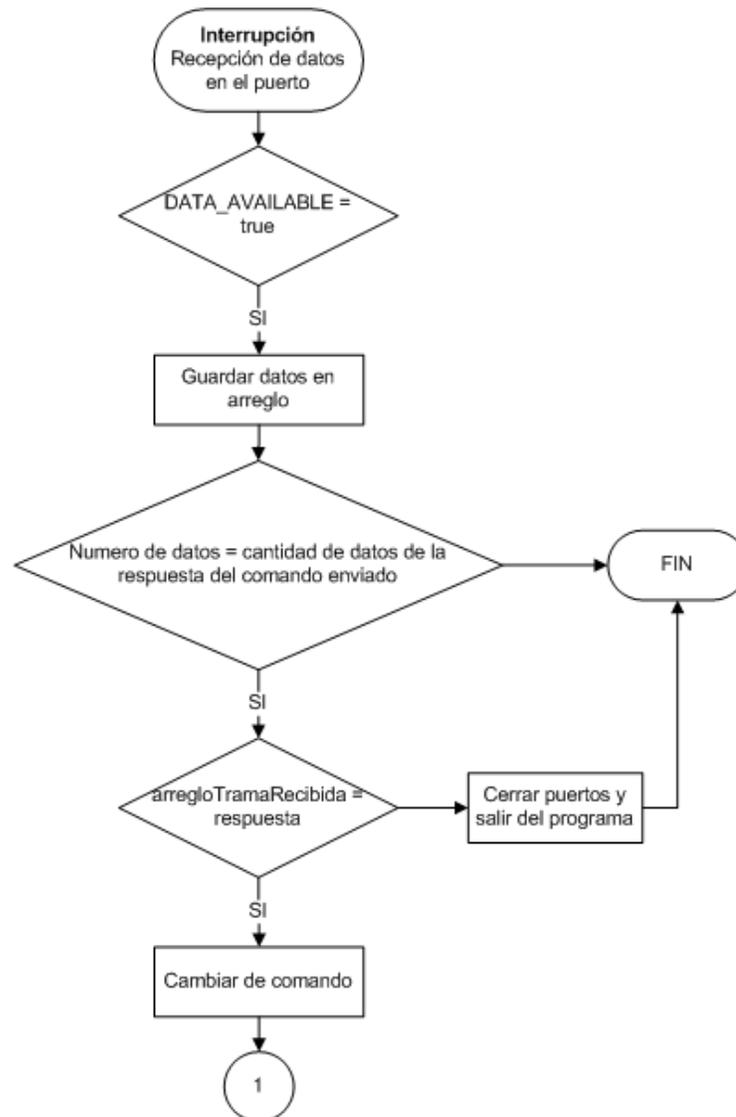


Figura 4.5: Algoritmo del programa *WrTransceiver()*.

del parámetro que se quiere cambiar esta vacía o contiene un dato, únicamente si el usuario escribió un dato se envía el comando para cambiar la configuración y se espera por la respuesta del trancceptor, si está vacía se omite y se cambia al siguiente comando y si en la lista de la velocidad de interfaz se seleccionó un valor se envía el dato. Se continúa con el ciclo hasta enviar el comando de Reset / At exit con lo que se finaliza con el proceso de escritura y se cierra el puerto, en la figura 4.6 se muestra el algoritmo descrito en este párrafo.

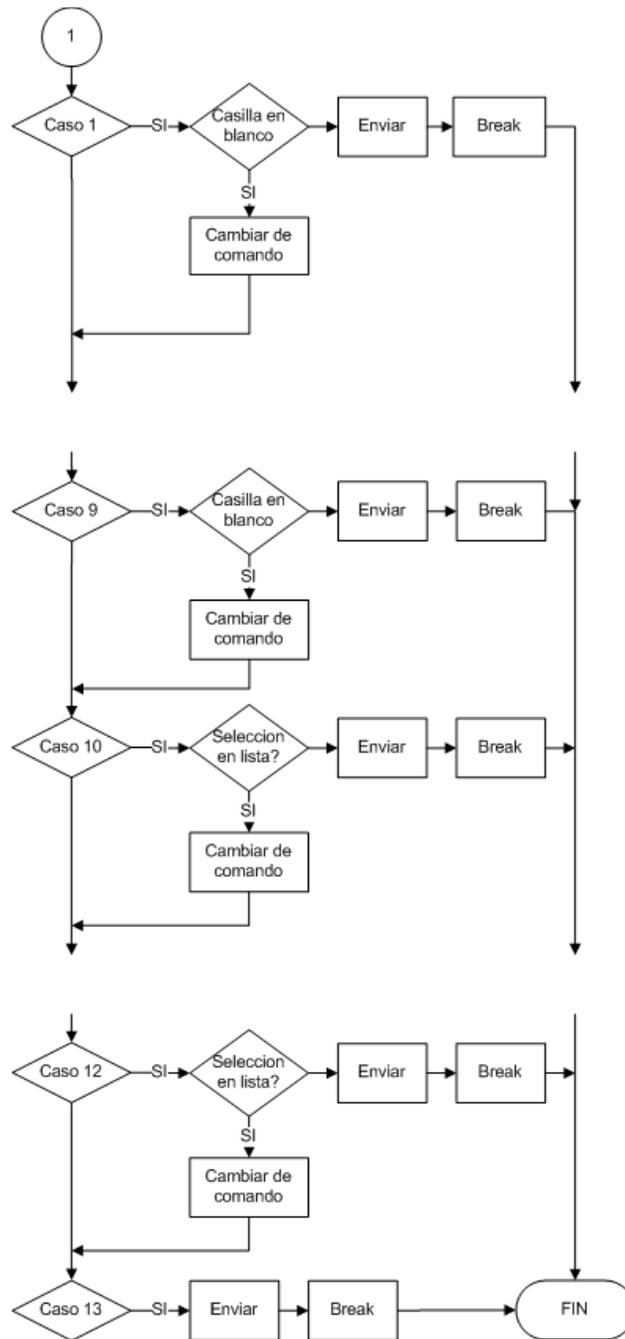


Figura 4.6: Algoritmo del programa *WrTransceiver()*.

4.2.5 InicializarComunicacionDL

Para poder comunicarse con el grabador de datos se debe realizar un algoritmo de comunicación, en la figura 4.7 se muestra el algoritmo, no antes se debe enviar el valor 0x55 varias veces. El valor de 0x55 es para que el grabador de datos calcule el Baudrate al que se está transmitiendo los datos, una vez reconocida la velocidad se envía un 0x47, el programa lo

recibe y lo envía de nuevo y el grabador de datos responde con un 0x57, el programa recibe y transmite de vuelta este dato y por último el grabador de datos envía un 0xfc con esto ya se inicializó la interfaz de comunicación del grabador de datos, cada vez que se quiera enviar un comando simplemente se escribe en el puerto.

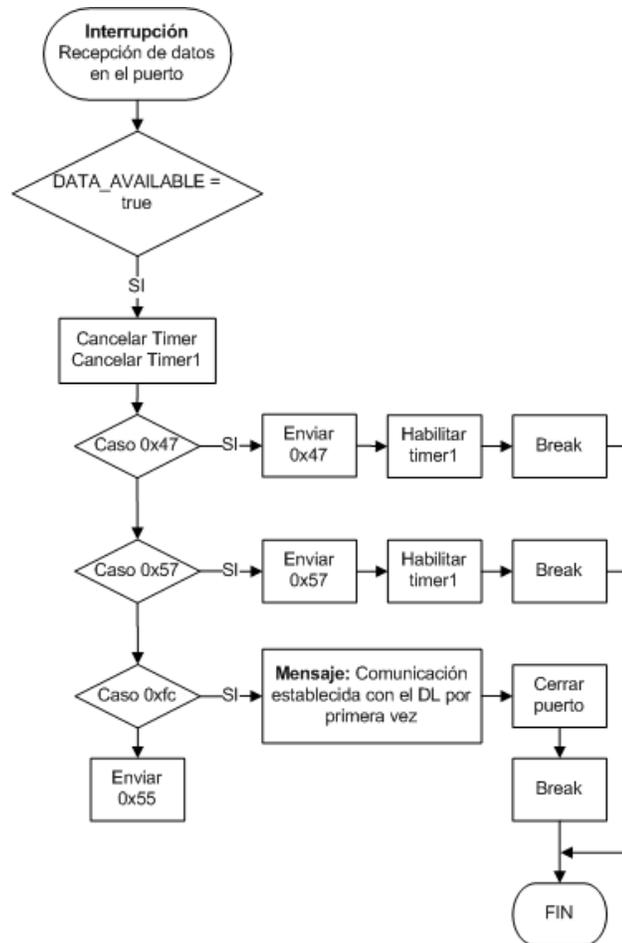


Figura 4.7: Algoritmo del programa *InicializarComunicacionDL()*.

Si se estableció la comunicación antes y se ejecuta esta rutina no afecta la interfaz o el desempeño del grabador de datos, pero al enviar el 0x55 al grabador de datos y este no responderá, por lo que se tiene una rutina de tiempo para cerrar el programa por si da este caso. El programa se ejecuta a partir de una interrupción de un temporizador, el tiempo de espera es de 8s suficiente para que el grabador de datos no esté enviando información de la inicialización del puerto, en la figura 4.8 se describe los pasos de ejecución de las interrupciones de los temporizadores.

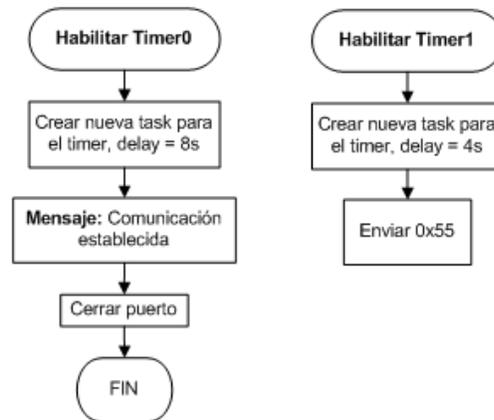


Figura 4.8: Algoritmo del programa *InicializarComunicacionDL()*.

4.2.6 RdWrDL

Este programa es el encargado de realizar las siguientes funciones:

- Lectura / Escritura de datos en la EEPROM.
- Solicitud de historial.
- Solicitud de muestra de los sensores.

Estas funciones se reparten en 7 rutinas, estas rutinas se controlan con la variable *casoATComandosDL*. En la tabla 4.3 se muestran estas rutinas.

Tabla 4.3: Rutinas del programa *RdWrDL*.

Caso (contATcomandos)	Rutina
1	enviarComandoMenuGeneral()
2	enviarComandoCanalA()
3	enviarComandoLecturaMenuGeneral()
4	enviarComandoLecturaCanalA()
5	enviarComandoSolicitar() - Calibración
6	Gráficar en tiempo real
7	Solicitar Historial
8	Reiniciar Historial
9	Sincronizar hora y fecha

En la figura 4.9 se muestra el algoritmo de esta rutina, donde al igual que otros, primero configura el puerto con los datos seleccionados por el usuario, una vez realizado esto se decide cual rutina ejecutar, en el caso de las rutinas *Gráficar Tiempo Real* y *Solicitar Historial* antes de iniciar con la comunicación, primero se crean los archivos tipo *csv* y se escriben los encabezados, los cuales definió el usuario. El nombre del archivo del historial es *DatosHistorialDelDL "fecha" a las "hora"* y para el archivo de los datos en tiempo real es *DatosTiempoRealDelDL "fecha" a las "hora"*.

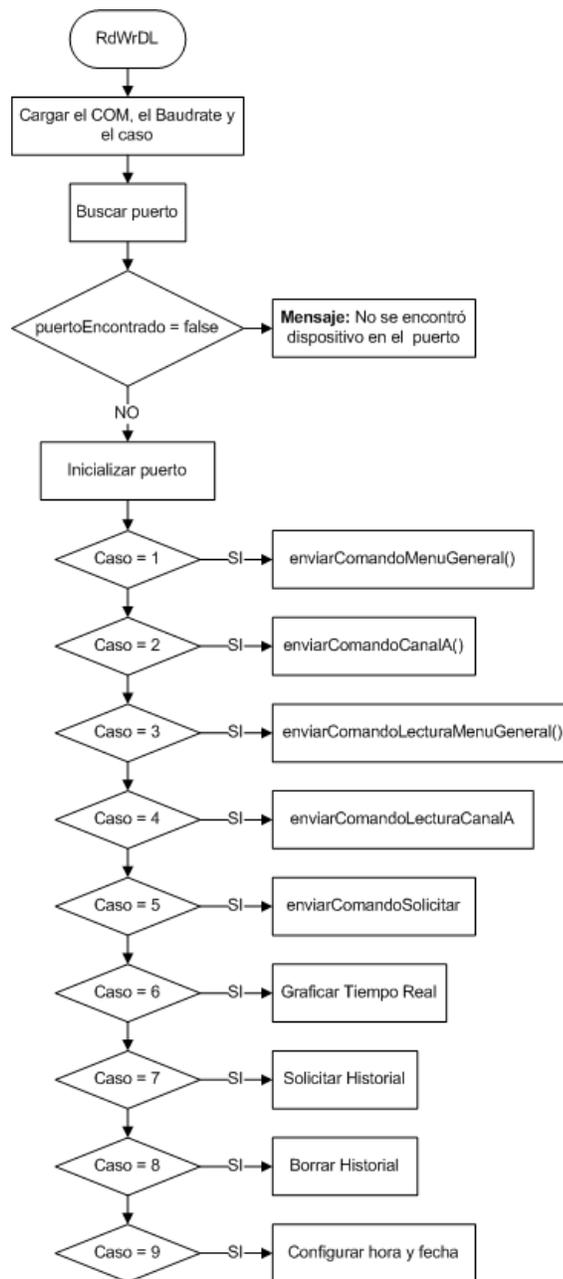


Figura 4.9: Algoritmo del programa *RdWrDL()*.

4.2.7 enviarComandoMenuGeneral

Esta rutina es la encargada de escribir todos los parámetros del menú general del programa al grabador de datos. En la tabla 4.4 se listan los estos valores y la figura 4.10 presenta el algoritmo.

Tabla 4.4: Parámetros que se configuran por el programa *enviarComandoMenuGeneral*.

Caso (contATcomandos)	Parámetro
1	Nombre del DL
2	Tiempo de muestreo
3	Unidad del tiempo
4	Tiempo de calentamiento de los sensores
5	Tipo de muestreo
6	Habilitación de alarma 1
7	Enviar hora de alarma 1
8	Habilitación de alarma 2
9	Enviar hora de alarma 2

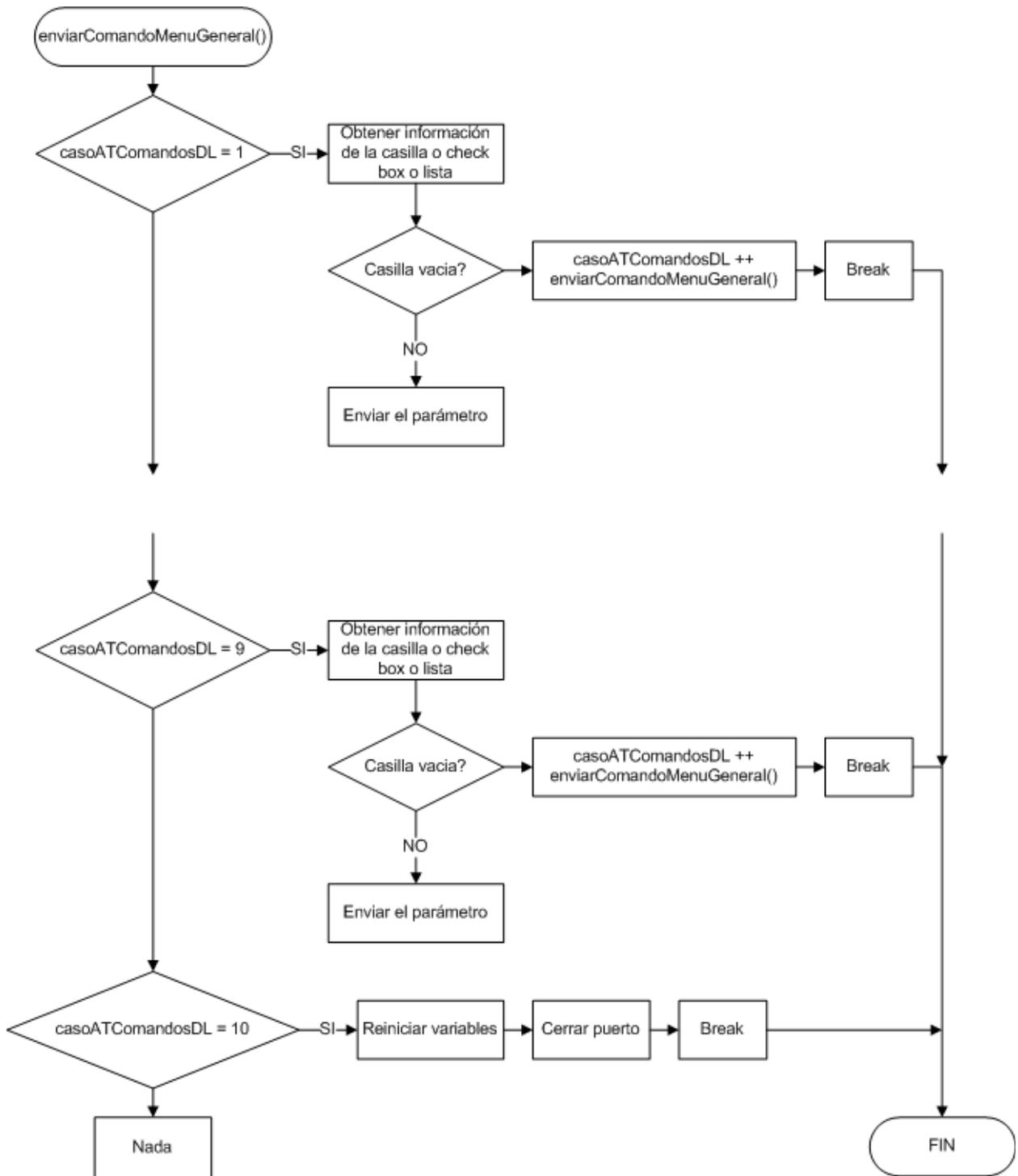


Figura 4.10: Algoritmo del programa `enviarComandoMenuGeneral()`.

4.2.8 enviarComandoCanalA

Esta rutina es la encargada de escribir todos los parámetros del menú analógico del programa al grabador de datos. En la tabla 4.5 se presentan los parámetros en que se configura este programa y en la figura 4.11 se muestra el algoritmo.

Tabla 4.5: Parámetros del grabador de datos que se configuran con el programa *enviarComandoMenuGeneral*.

Caso (contATcomandos)	Parámetro
1	Banderas de habilitación
2	Unidades canal 1
3	High EU canal 1
4	Low EU canal 1
5	High Raw canal 1
6	Low Raw canal 1
7	Display max canal 1
8	Display min canal 1
9	Decimales canal 1
10	Unidades canal 2
11	High EU canal 2
12	Low EU canal 2
13	High Raw canal 2
14	Low Raw canal 2
15	Display max canal 2
16	Display min canal 2
17	Decimales canal 2
18	Unidades canal 3
19	High EU canal 3
20	Low EU canal 3
21	High Raw canal 3
22	Low Raw canal 3
23	Display max canal 3
24	Display min canal 3
25	Decimales canal 3
26	Unidades canal 4
27	High EU canal 4
28	Low EU canal 4
29	High Raw canal 4

Continúa en la siguiente página

Tabla 4.5 – Continuación

Caso (contATcomandos)	Parámetro
30	Low Raw canal 4
31	Display max canal 4
32	Display min canal 4
33	Decimales canal 4
34	Unidades canal 5
35	High EU canal 5
36	Low EU canal 5
37	High Raw canal 5
38	Low Raw canal 5
39	Display max canal 5
40	Display min canal 5
41	Decimales canal 5
42	Unidades canal 6
43	High EU canal 6
44	Low EU canal 6
45	High Raw canal 6
46	Low Raw canal 6
47	Display max canal 6
48	Display min canal 6
49	Decimales canal 6
50	Unidades canal 7
51	High EU canal 7
52	Low EU canal 7
53	High Raw canal 7
54	Low Raw canal 7
55	Display max canal 7
56	Display min canal 7
57	Decimales canal 7
58	Unidades canal 8
59	High EU canal 8
60	Low EU canal 8
61	High Raw canal 8
62	Low Raw canal 8
63	Display max canal 8
64	Display min canal 8
65	Decimales canal 8

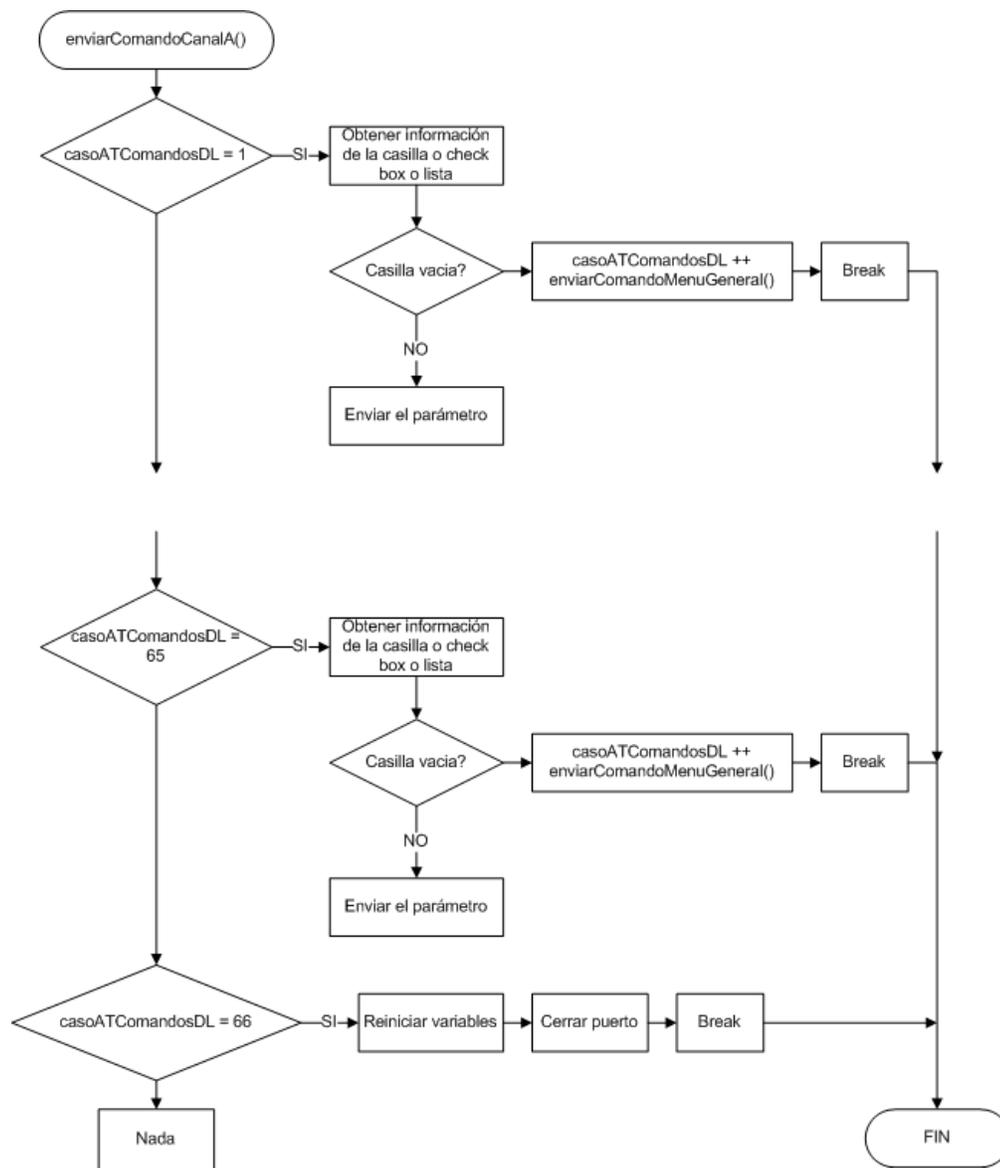


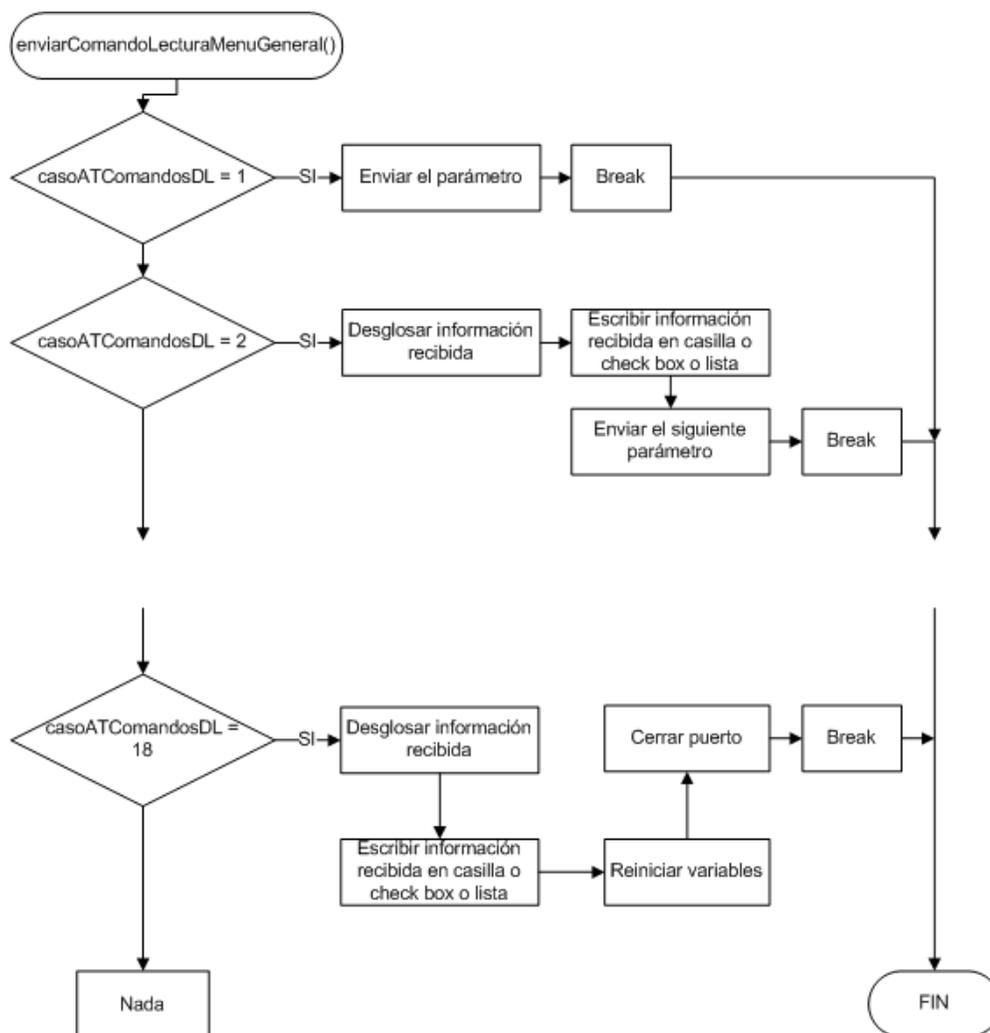
Figura 4.11: Algoritmo del programa *enviarComandoCanalA()*.

4.2.9 enviarComandoLecturaMenuGeneral

Esta rutina esta encargada de leer los parámetros del grabador de datos, los cuales serán escritos en el menú general del programa, en la tabla 4.6 se observan los parámetros que se leen y en la figura 4.12 se muestran los pasos del programa para realizar la tarea.

Tabla 4.6: Parámetros que se leen por el programa *enviarComandoLecturaMenuGeneral*.

Caso (contATcomandos)	Parámetro
1	Leer hora y fecha del grabador de datos
2 -12	Nombre del DL
13	Tiempo de muestreo y Unidad del tiempo
14	Tiempo de calentamiento de los sensores y Bandera de la alarma 1
15	Bandera de la alarma 2 y tipo de muestreo
16	Hora de alarma 1
17	Hora de alarma 2

**Figura 4.12:** Algoritmo del programa *enviarComandoLecturaMenuGeneral*().

4.2.10 enviarComandoLecturaCanalA

Esta rutina está encargada de leer los parámetros de los canales analógicos del grabador de datos, los cuales serán escritos en el menú analógico del grabador de datos del programa. En la tabla 4.7 se muestran los valores que se leen de la EEPROM del grabador de datos y en la figura 4.13 se observa el algoritmo del código de programación para realizar la tarea.

Tabla 4.7: Parámetros que lee el programa *enviarComandoLecturaMenuGeneral*.

Caso (contATcomandos)	Parámetro
1	Banderas de habilitación
2	Unidades canal 1
3	Unidades canal 2
4	Unidades canal 3
5	Unidades canal 4
6	Unidades canal 5
7	Unidades canal 6
8	Unidades canal 7
9	Unidades canal 8
10	Decimales canales 1, 2 y 3
11	Decimales canales 4, 5 y 6
12	Decimales canales 7 y 8
13	High EU canal 1
14	High EU canal 2
15	High EU canal 3
16	High EU canal 4
17	High EU canal 5
18	High EU canal 6
19	High EU canal 7
20	High EU canal 8
21	Low EU canal 1
22	Low EU canal 2
23	Low EU canal 3
24	Low EU canal 4
25	Low EU canal 5
26	Low EU canal 6
27	Low EU canal 7
28	Low EU canal 8
29	High Raw canal 1

Continúa en la siguiente página

Tabla 4.7 – Continuación

Caso (contATcomandos)	Parámetro
30	High Raw canal 2
31	High Raw canal 3
32	High Raw canal 4
33	High Raw canal 5
34	High Raw canal 6
35	High Raw canal 7
36	High Raw canal 8
37	Low Raw canal 1
38	Low Raw canal 2
39	Low Raw canal 3
40	Low Raw canal 4
41	Low Raw canal 5
42	Low Raw canal 6
43	Low Raw canal 7
44	Low Raw canal 8
45	Display max canal 1
46	Display max canal 2
47	Display max canal 3
48	Display max canal 4
49	Display max canal 5
50	Display max canal 6
51	Display max canal 7
52	Display max canal 8
53	Display min canal 1
54	Display min canal 2
55	Display min canal 3
56	Display min canal 4
57	Display min canal 5
58	Display min canal 6
59	Display min canal 7
60	Display min canal 8

Al terminar de leer toda la información de los sensores se calcula la ecuación lineal de los sensores con los parámetros de EU y Raw para obtener una ecuación característica del sensor para cada canal y de esta forma convertir los valores del ADC en valores punto flotante.

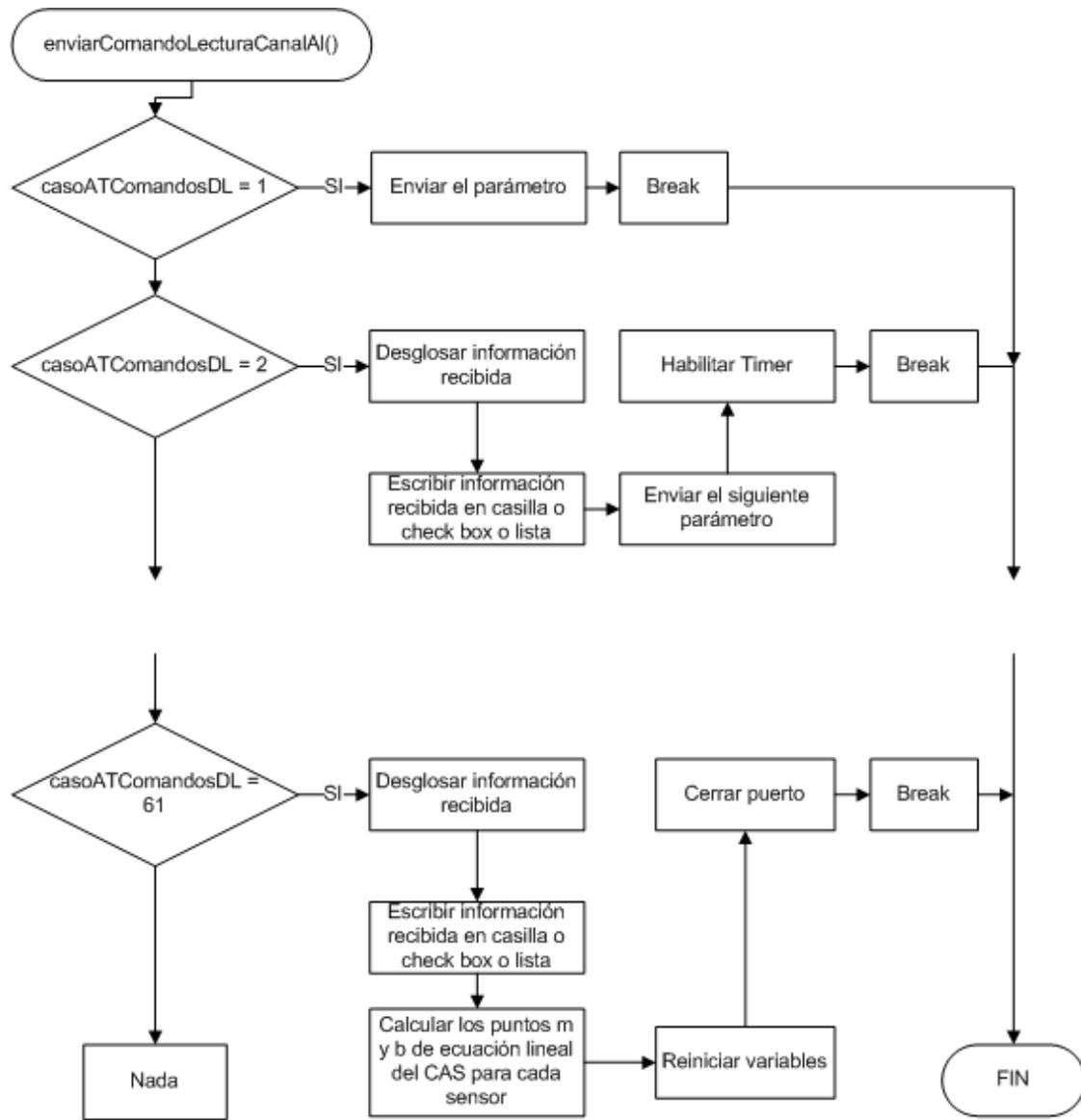


Figura 4.13: Algoritmo del programa *enviarComandoLecturaCanalAI()*.

4.2.11 enviarComandoSolicitud

Esta rutina es la encargada de mostrar en tiempo real los datos del canal o canales que el usuario desea mirar. Para esto el programa envía 2 comandos, primero el código de solicitar que tome una muestra y después el comando para solicitar que envíe la muestra. En la figura 4.14 se muestra el algoritmo para enviar muestras del grabador de datos a la computadora en tiempo real.

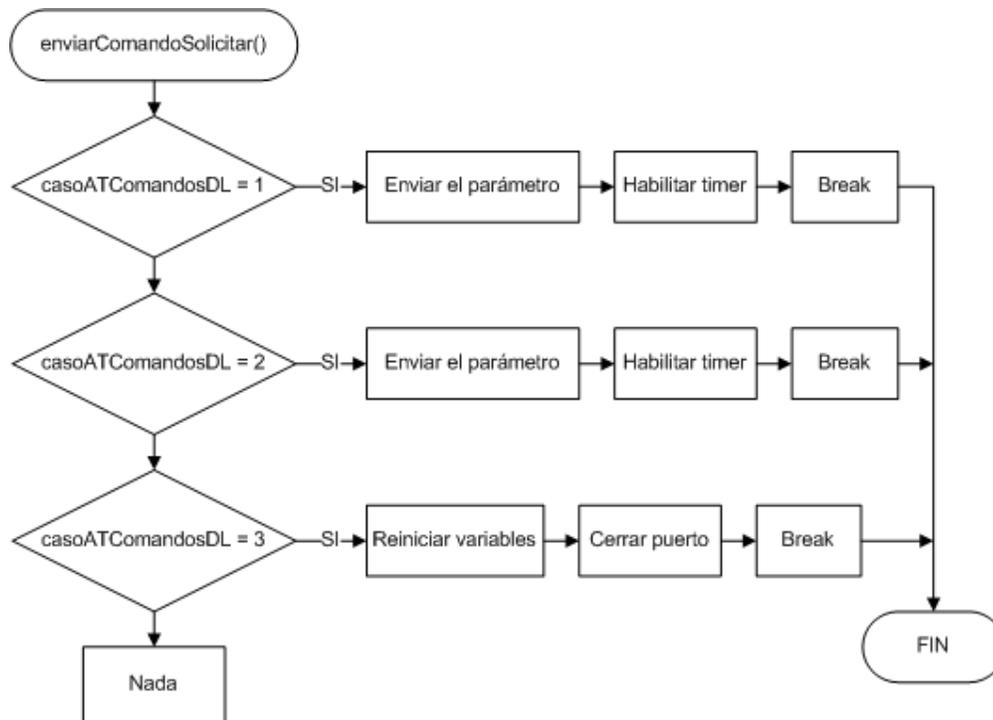


Figura 4.14: Algoritmo del programa *enviarComandoSolicitud()*.

4.2.12 enviarComandoLecturaRecords

Este algoritmo lo que pretende es solicitar al grabador de datos que envíe la información del número de Records que tiene guardado en memoria, para después enviar los records válidos en la memoria del grabador de datos a la computadora. Para esto primero se solicita el estatus del grabador de datos, luego se pide que envíe los 8 primeros Records y por último se solicita que envíe una trama de los 8 siguientes Records. Si por casualidad la trama recibida es incorrecta, se cambia la trama del caso 3 para enviar de nuevo los datos anteriores y se continúa con el ciclo hasta leer todos los datos. En la figura 4.15 se presenta los pasos del programa.

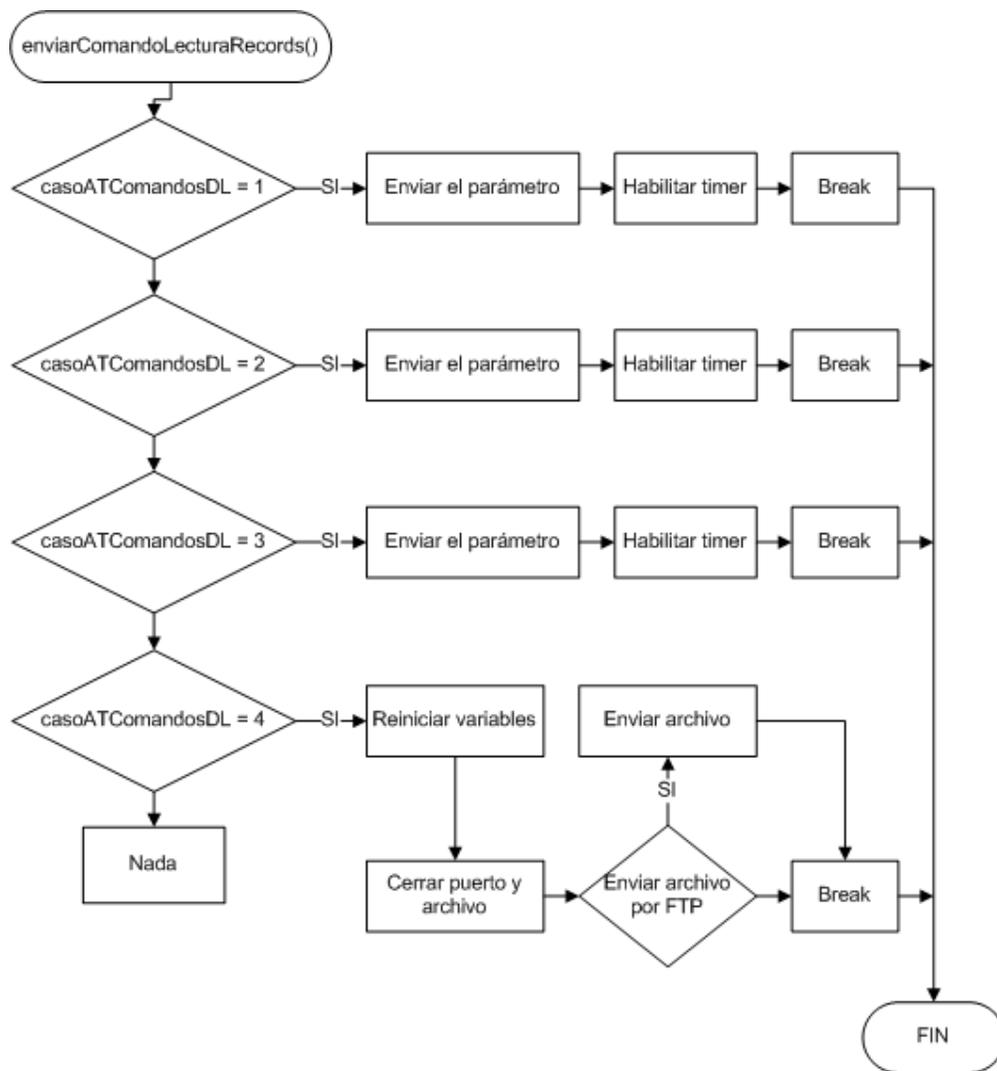


Figura 4.15: Algoritmo del programa *enviarComandoLecturaRecords()*.

4.2.13 enviarHoraFecha

El programa lee la hora y la fecha de la computadora, las cuales se enviarán al grabador de datos para configurar los parámetros de hora y fecha del equipo.

4.2.14 enviarResetHistorial

Esta rutina es la encargada de reiniciar los apuntadores de las direcciones de la memoria donde se van a guardar las muestras que toma el grabador de datos.

4.2.15 enviarTrama

Esta rutina es la encargada de enviar los comandos, por lo que analiza si hay comandos especiales y los cambia por el comando especial 0xFE y el valor correspondiente, después de analizar la trama del comando, se calcula el valor CRC con la rutina CRC() y se envían también.

4.2.16 construirYanalizarTrama

Esta rutina es la encargada de obtener la trama final de los datos de respuesta recibidos del grabador de datos. Inicialmente se analiza el arreglo llamado arregloTramaRecibida para obtener la cantidad de bytes de la trama y el mensaje. Una vez que se sabe cuándo empieza y termina el mensaje en el arreglo, se analiza para encontrar el comando especial 0xFE y el dato siguiente, para formar el valor correcto que representa estos dos valores y guardarlo en otro arreglo llamado arregloTramaOriginal, si no se encuentra se guarda el valor leído del arregloTramaRecibida en arregloTramaOriginal.

Al final arregloTramaOriginal tendrá el mensaje original sin el comando especial 0xFE, después se guardan los 2 últimos Bytes, los cuales son los valores del dato CRC. Por último se envía el mensaje a la rutina CRC() sin los 2 últimos datos para calcular el CRC del mensaje recibido. Una vez calculado el CRC se comparan con el recibido para saber si la trama es correcta o no.

Si la trama no tiene errores se pregunta por la función que se está realizando si es el caso 5 es para calibrar los sensores, por lo que se realiza el procesoCalibracion(), si es el caso 6 se realiza extraerDatosTramaTR() porque se están tomando datos en tiempo real y el caso 7 se está obteniendo el historial por lo que se recibe 8 records los cuales se deben de separar los datos para escribir en el archivo .csv.

4.2.17 procesoCalibracion

Calcula el promedio de la solicitud de 30 datos para calcular el valor del ADC de los sensores al valor que se encuentra el sensor. En la figura 4.16 se presenta el algoritmo que describe el proceso de calibración.

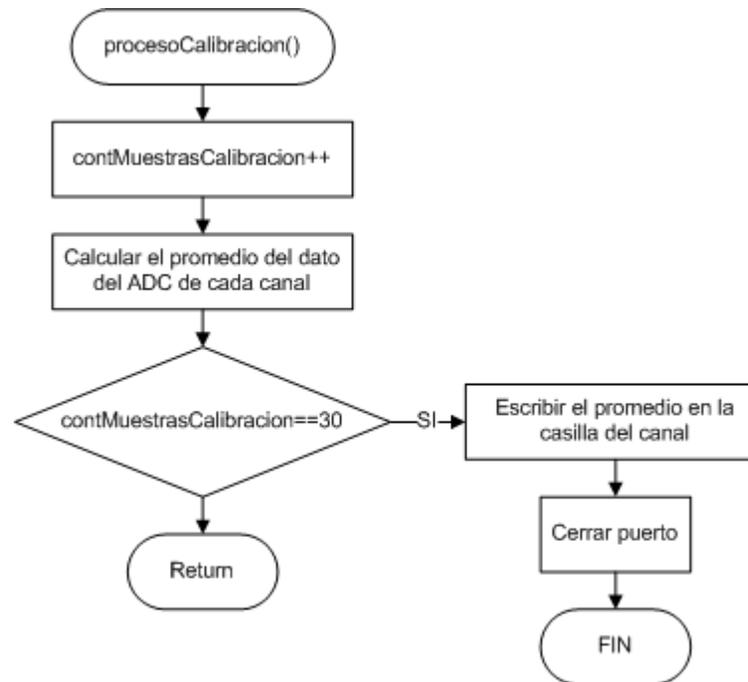


Figura 4.16: Algoritmo del programa `procesoCalibracion()`.

4.2.18 extraerDatosTramaTR

Desglosa la información, para obtener la hora, fecha y el valor de los canales que el usuario decidió observar en tiempo real, además analiza los datos para saber si están en el rango permitido por el usuario y sino están realiza la rutina `notificación()`, por último guarda toda la información en un archivo de tipo csv. Al final activa el temporizador timer; el delay es la cantidad de tiempo que el usuario selecciono para tomar cada muestra y la interrupción llama de nuevo la rutina `llamarProcesos()` para realizar de nuevo el ciclo, hasta que el usuario presione el botón de salir.

4.2.19 analisisGuardadoTrama240B

Esta rutina es la encargada de dividir los datos de los 8 records y guardarlos en el archivo csv, para hacer esto utilizan los métodos `decodificarHora()` y `decodificarTramaRecords()`, donde la primer programa obtiene la hora y la fecha de la muestra y la segunda rutina obtiene los valores de las muestras de los canales habilitados en el grabador de datos y los guarda.

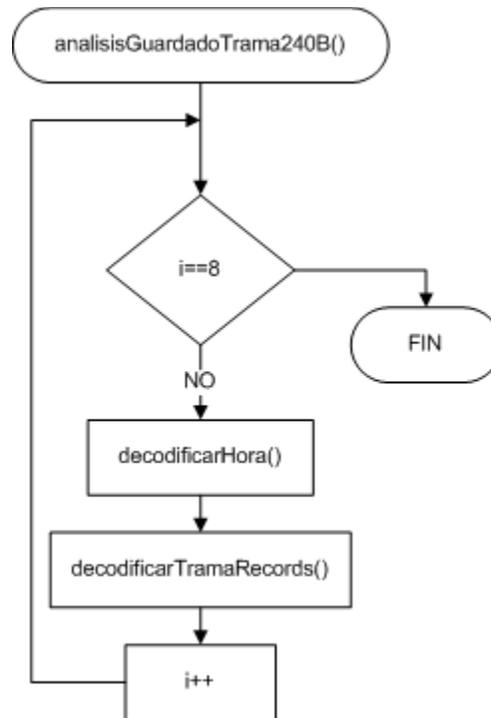


Figura 4.17: Algoritmo del programa *analisisGuardadoTrama240B()*.

4.2.20 codificarFlotante

Tiene como objetivo a partir de un número flotante generar 3bytes, los cuales al aplicar el proceso de `decodificadorFlotante()` hacen que se vuelva a tener el valor inicial. Para codificar un dato flotante en 3bytes, se realizó el algoritmo de la figura 4.18.

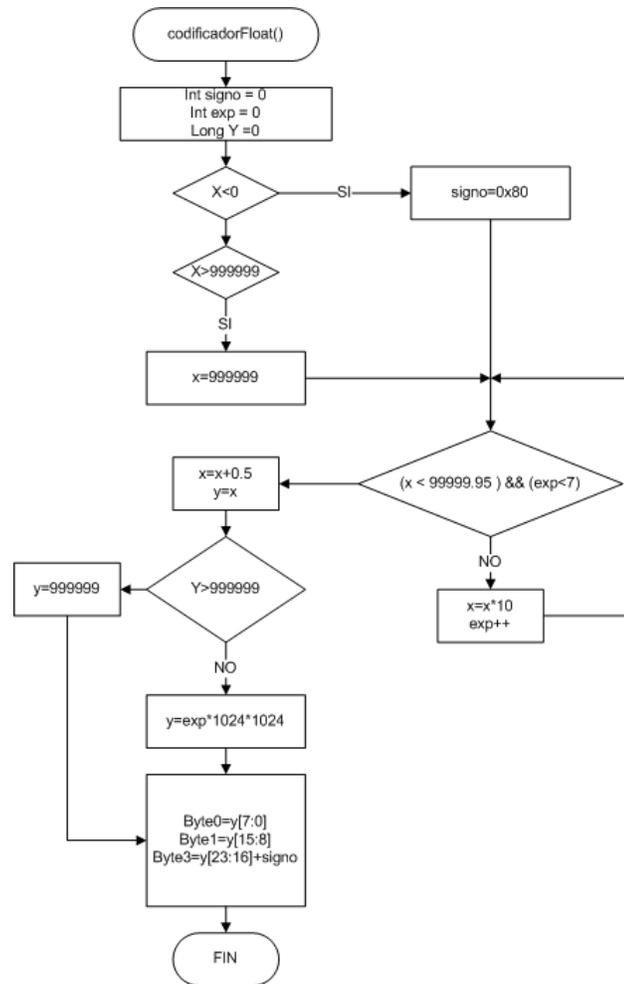


Figura 4.18: Algoritmo para codificar un numero flotante en 3 bytes. [15]

4.2.21 decodificarFlotante

Para decodificar un dato flotante de 3 bytes se siguieron los siguientes pasos.

$$\text{Byte0} = X : [7 : 0] \text{ bits}$$

$$\text{Byte1} = X : [15 : 8] \text{ bits}$$

$$\text{Byte2} = X : [23 : 16] \text{ bits}$$

$$M = X [19 : 0] \tag{4.1}$$

$$E = X [22 : 20] \quad (4.2)$$

$$S = X [23] \quad (4.3)$$

$$Signo = (-1 * S) \quad (4.4)$$

$$Dato = Signo * (M * 10^{(-E)}) \quad (4.5)$$

Capítulo 5

Resultados y análisis

5.1 Interconexión entre la tarjeta inalámbrico y el grabador de datos *GL500-7-2*

Al interconectar los equipos se evaluó usar la conexión USB entre ellos, pero estos dispositivos se configuraron para trabajar como un equipo DCE, por lo que no se pueden conectar con un cable directo.

Se intento crear un cable que pudiera conectar ambos equipos utilizando el puerto USB, pero no se obtuvieron buenos resultados, por lo que se utilizaron los conectores DB9 del puerto RS-232. En el caso del grabador de datos, el conector es hembra y el conector de la tarjeta inalámbrica es macho. Se utilizando un cable cruzado, pero tampoco se creó el enlace. Esto se presentó porque la interfaz de la comunicación serial del tranceptor nunca generó la señal necesaria para que el grabador de datos habilitara el puerto para recibir los datos.

Lo anterior se dio, ya que la conexión RS-232 del *GL500-7-2*, usa 4 cables: tierra, TX, RX y DTR (Data Terminal Ready). La señal DTR se usa como una señal para indicarle al grabador de datos que un dispositivo quiere comunicarse con él. Cuando el DTR está a tierra o es negativo el grabador de datos se apaga entre las toma de muestras. Cuando el DTR está en alto, el grabador de datos se despertara y escuchara al puerto RS232. Mientras el DTR está en alto el grabador de datos seguirá con su horario de muestreo normal.

Para poder generar la señal DTR que necesita el grabador de datos, se utilizó la salida *IN_RANGE* del tranceptor, esta señal indica cuando hay un enlace entre el servidor y el cliente, por lo que únicamente si hay enlace hay comunicación entre los dispositivos. La salida *IN_RANGE* funciona con lógica negativa, cuando tiene un cero lógico indica que hay enlace, pero DTR tiene que ser positivo para habilitar el puerto del grabador de datos, para que funcionara correctamente se le conectó un inversor TTL al pin *IN_RANGE* y la salida del inversor al pin DTR del conector DB9 del grabador de datos.

5.2 Entorno de visualización remota

5.2.1 Menú principal

En la figura 5.1 se muestra la interfaz del programa. En esta se encuentra 6 botones:

- Inalámbrico: En esta sección se reconoce el puerto donde se tiene conectado el trancceptor, además configura los trancceptores.
- DataLogger: En esta sección se conecta con el grabador de datos, se lee y se escriben los diferentes parámetros del grabador de datos y se obtiene y se borra el historial.
- Comunicaciones: Se configura el correo electrónico, se agregan los números de los celulares al que se les quiere enviar un mensaje de texto de notificación, o bien correos electrónicos. Además se configura la conexión con el servidor FTP para enviar los archivos.
- Gráfica: Se selecciona que tipo de gráfico se desea; en la parte de tiempo real se selecciona los canales que se quieren visualizar, si se quiere notificar de algún valor fuera de rango y si se quiere enviar el archivo una vez que el usuario finaliza con la toma de datos en tiempo real y se selecciona donde se quiere guardar el archivo csv.
- Graficar: Indica el inicio para graficar los datos en tiempo real o desde un archivo.
- Salir: Cierra la venta de la gráfica y se guarda los valores de tiempo real, si no se grafica, se cierra el programa.



Figura 5.1: Imagen del menú principal del programa.

5.2.2 Menú de la sección Inalámbrico

En la figura 5.2 se muestra la interfaz del programa. En esta se encuentra 2 botones:

- General: Busca el puerto y se define a la velocidad que se trabajará, además lee y escribe los parámetros del tranceptor.
- Salir: Cierra las ventanas de esta sección.



Figura 5.2: Imagen del menú de la sección Inalámbrico del programa.

5.2.3 Menú general de la sección Inalámbrico



Figura 5.3: Imagen del menú de la sección Inalámbrico del programa.

5.2.4 Menú de la sección DataLogger

En la figura 5.4 se muestra la interfaz del programa. En esta se encuentra 5 botones:

- Conectar: Realiza la conexión con el grabador de datos.
- General: Lee y escribe parámetros generales del grabador de datos.

- Analógico: Lee y escribe parámetros de los sensores y los canales del grabador de datos, además se encuentra el botón para iniciar el proceso de calibración de los sensores.
- Historial: Guarda o reinicia el historial del grabador de datos.
- Salir: Cierra las ventanas de esta sección.



Figura 5.4: Imagen del menú de la sección DataLogger del programa.

5.2.5 Menú general de la sección DataLogger



Figura 5.5: Imagen del menú general de la sección DataLogger del programa.

5.2.6 Menú analógico de la sección DataLogger



Figura 5.6: Imagen del menú analógico de la sección DataLogger del programa.

5.2.7 Menú historial de la sección DataLogger



Figura 5.7: Imagen del menú historial de la sección DataLogger del programa.

5.2.8 Menú de la sección Comunicaciones

En la figura 5.8 se muestra la interfaz del programa. En esta se encuentra 4 botones:

- E-mail: Configuración de cuenta del ICE, además agregar y eliminar cuentas de correos electrónicos para la notificación.
- SMS: Agregar y eliminar números de teléfonos celulares para la notificación.
- FTP: Configura los parámetros necesarios para conectarse con un servidor FTP local.
- Salir: Cierra las ventas de esta sección.



Figura 5.8: Imagen del menú de la sección Comunicaciones del programa.

5.2.9 Menú E-mail de la sección Comunicaciones



Figura 5.9: Imagen del menú E-mail de la sección Comunicaciones del programa.

5.2.10 Menú SMS de la sección Comunicaciones



Figura 5.10: Imagen del menú SMS de la sección Comunicaciones del programa.

5.2.11 Menú FTP de la sección Comunicaciones



Figura 5.11: Imagen del menú FTP de la sección Comunicaciones del programa.

5.2.12 Menú de la sección Gráfica

En la figura 5.12 se muestra la interfaz del programa. En esta se encuentra 2 botones:

- General: Configura la visualización en modo de tiempo real. Los canales que el usuario quiere observar, el tiempo de muestreo, si desea notificación, si se envía el archivo al servidor y dónde guardar el archivo en la computadora.
- Salir: Cierra las ventanas de esta sección.



Figura 5.12: Imagen del menú de la sección Gráfica del programa.

5.2.13 Menú general de la sección Gráfica



Figura 5.13: Imagen del menú general de la sección Gráfica del programa.

5.3 Pruebas del equipo

5.3.1 Búsqueda de dispositivos en el puerto USB

El objetivo de esta prueba fue observar el reconocimiento de conexión de la tarjeta de desarrollo, en un puerto USB. Esta primero se conectó a un puerto, luego se reinició el programa y se conectó a otro puerto, por último se volvió a reiniciar el software y se conectó otro dispositivo, y así luego la SDK del AC4490. En las figuras 5.14, 5.15 y 5.16 se muestran los resultados.

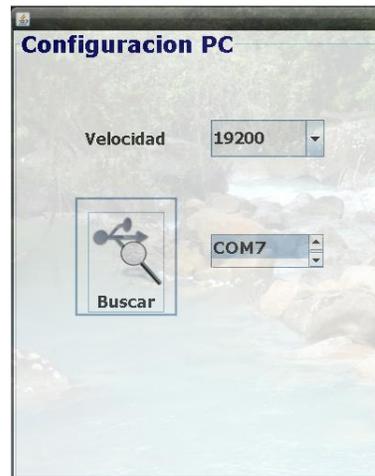


Figura 5.14: Tarjeta de desarrollo AC4490 conectada a un puerto USB.

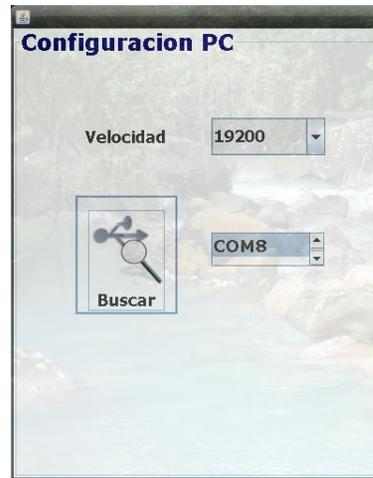


Figura 5.15: Tarjeta de desarrollo AC4490 conectada a otro puerto USB.

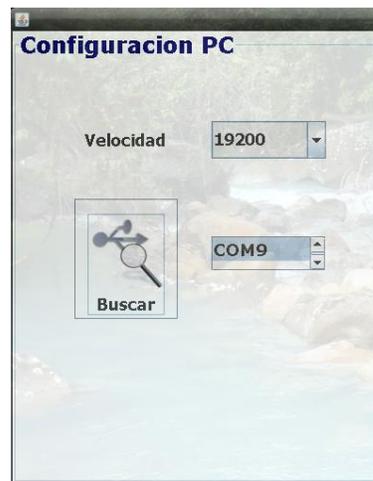


Figura 5.16: Tarjeta de desarrollo AC4490 y otro dispositivo conectados a diferentes puertos.

En las pruebas de conexión con la tarjeta de desarrollo se tiene una limitante, como se puede observar en la figura 5.16 si se tiene más de un dispositivo conectado no se podría asegurar el puerto en que se encuentra la SDK, por lo que el usuario deberá conocer en cuál puerto se conectó o bien conectar únicamente la tarjeta. Esto ocurre solamente con equipos que trabajan con puertos COM, tener conectado un mouse, un teclado y/o dispositivos de almacenamiento removibles tipo memorias USB no son reconocidos.

5.3.2 Configuración del tranceptor

El objetivo de esta prueba fue configurar el tranceptor a las diferentes velocidades soportadas por la interfaz, con el software desarrollado. En la tabla 5.1 se muestran los resultados.

Tabla 5.1: Resultados de configuración a diferentes velocidades.

Velocidad	Configuración
115,200	No
57,600	No
38,400	No
28,800	No
19,200	No
14,400	No
9,600	Sí
4800	Sí

Para la configuración del trancceptor, no se tuvo éxito para velocidades mayores de 9600bps. Esto no ocurre con el software propietario de Laird Technologies, por lo que se tiene que investigar nuevas bibliotecas de comunicación serie o bien aspectos en la programación. Esto no afecta con la comunicación con el grabador de datos, ya que se probó la comunicación a diferentes velocidades y sí se pudo establecer un enlace satisfactorio.

5.3.3 Conexión con el grabador de datos a diferentes velocidades

Una vez cambiada la velocidad de transmisión de la interfaz USB del trancceptor se verificó si se podía conectar con el grabador de datos a distintas velocidades. En la tabla 5.2 se muestran los resultados.

Tabla 5.2: Resultados de conexión del grabador de datos, a diferentes velocidades.

Velocidad(bps)	Configuración
115,200	Sí
57,600	Sí
38,400	Sí
28,800	Sí
19,200	Sí
14,400	Sí
9,600	Sí
4800	Sí

Como se menciona en capítulos anteriores, garantizar un enlace entre los equipos depende de que el usuario conozca si se conectó el programa con el dispositivo, ya que al conectarse por

primera vez el software le indica dicha condición, por lo tanto si el usuario intenta conectarse nuevamente el programa indicará que hay conexión pero no le asegurará que está conectado. Por lo que si el usuario realiza diferentes funciones de la sección grabador de datos y no se obtienen respuestas se sobreentiende que no hay conexión.

Para garantizar que siempre se conecta por primera vez con el grabador de datos simplemente se apaga la tarjeta que funciona como servidor, la cual se encuentra conectada al computador. Hay que recordar que el pin DTR es el encargado de encender el grabador de datos, y que está conectado con el pin de *IN_RANGE* del trancceptor cliente, el pin *IN_RANGE* indicará conexión si se produce enlace entre los trancceptor y por ende un nivel de tensión. La señal *IN_RANGE* trabaja con lógica negativa, por lo que si el cliente se encuentra en el rango de transmisión del servidor, esta señal contiene un cero lógico en la salida, con la ayuda del inversor TTL se tienen 5V de tensión en la patilla DTR lo que logrará encender al grabador de datos.

Si al realizar el apagado y encendido del trancceptor en modo servidor el usuario se conecta con el grabador de datos y se presenta el mensaje de conexión establecida y no el mensaje de conexión por primera vez, entonces se tienen problemas en la comunicación. Los problemas de comunicación pueden darse por no tener enlace entre los trancceptor o porque los equipos están apagados.

5.3.4 Prueba de distancia del enlace de comunicación

En esta prueba se colocaron el trancceptor y el grabador de datos en un estacionamiento, ubicado al costado este del edificio de la unidad de deportes del Instituto Tecnológico de Costa Rica, y se utilizaron una computadora portátil y el otro trancceptor para desplazarse en el campus donde había menor obstáculos de línea vista, para probar la comunicación. En la tabla 5.3 se presentan los datos de los puntos de prueba y en la figura 5.17 se ilustra una imagen del campus que señala los puntos donde se hicieron las pruebas.

Tabla 5.3: Resultados de conexión a diferentes distancias.

Número de prueba	Lugar	Distancia	Conexión
1	Gradería de la cancha de fútbol	172m	Sí
2	Aula F4-06	240m	Sí
3	Gradería de la cancha de béisbol	267m	Sí
4	Costado este del edificio de ciencias del lenguaje	365m	Sí
5	Estacionamiento frente al edificio de ciencias del lenguaje	380m	Sí

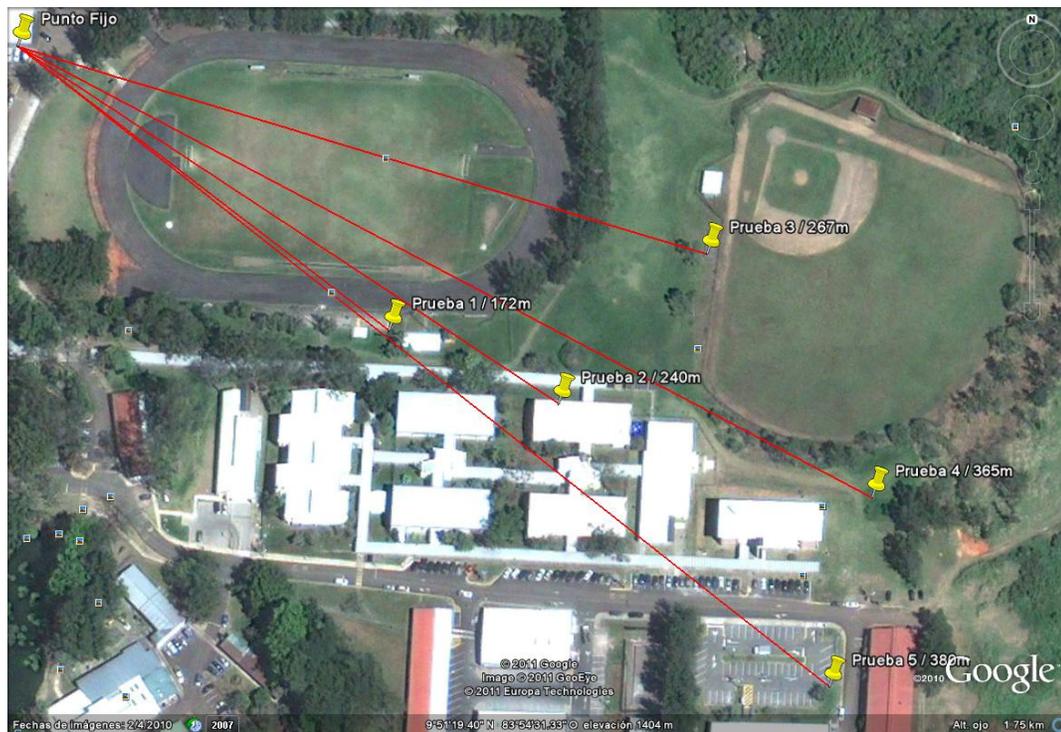


Figura 5.17: Imagen de los diferentes puntos dónde se establecieron las conexiones.

En estas pruebas de alcance en el campus en varias localidades, se tomaron muestras, cabe destacar que no hubieron problemas en la transmisión y recepción de datos. Un aspecto a rescatar es que el trancceptor debe estar cerca de una ventana del edificio o bien fuera de este, de modo que la onda electromagnética del trancceptor se pueda propagar libremente hasta el otro dispositivo de radio frecuencia, ya que no habrá conexión alguna por la pérdida de la señal por diferentes medios de propagación si la distancia sobrepasa los 80m.

Debido a que se están utilizando antenas omnidireccionales, irradia la señal en todas las direcciones, desperdiciando energía, para nuestro proyecto se diseñó para trabajar con un enlace punto a punto por lo que se debe usar una antena direccional, para concentrar la mayor parte de la energía radiada al otro trancceptor. Esto lo confirma el soporte técnico de la compañía Laird Technologies, ellos indicaron que para poder alcanzar una distancia de transmisión de 32Km, se debe de usar antenas tipo yagui o parabólica y sin ningún obstáculo entre el enlace de comunicación.

5.3.5 Prueba de corrupción de datos

El objetivo fue validar que los datos no se corrompieran en la transmisión y recepción inalámbrica. En esta prueba se colocaron el trancceptor y el grabador de datos en la azotea del edificio de laboratorios de Física y Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica y se utilizaron una computadora portátil y el otro trancceptor para desplazarse en el campus

dónde había menor cantidad de obstáculos de línea vista, para comprobar la comunicación. En la tabla 5.4 se presentan los datos de los puntos de prueba y en la figura 5.18 se ilustra el campus y los puntos donde se hicieron las pruebas.

Tabla 5.4: Resultados de conexión a diferentes distancias.

Lugar	Distancia	Conexión
Punto A	314m	Sí
Punto B	520m	Sí



Figura 5.18: Imagen de los diferentes puntos donde se establecieron las conexiones.

Para poder validar que los datos son correctos, se compararon los historiales del programa desarrollado con el software propietario de la empresa Global Water Inc. En la tabla 5.5 se tienen los datos del grabador de datos después de realizar las pruebas de alcance y solicitud del historial cada punto, y en las tablas 5.6 y 5.8 se muestra el historial solicitado por el programa desarrollado en cada punto.

Tabla 5.5: Historial del software propietario Global Water después de las pruebas.

Date	Time	uS	NTU	NTU	Volts	Pulses	Pulses
16/08/2011	12:10:38	0,000	32,256	21,61	12,311	0	0
16/08/2011	12:11:38	0,000	32,413	20,044	12,311	0	0
16/08/2011	12:12:38	9,702	32,712	20,357	12,292	0	0
16/08/2011	12:13:38	0,000	32,728	20,044	12,311	0	0
16/08/2011	12:14:38	3,234	32,743	19,731	12,299	0	0
16/08/2011	12:15:38	6,468	33,074	20,357	12,292	0	0
16/08/2011	12:16:38	0,000	33,310	20,357	12,305	0	0
16/08/2011	12:17:38	-9,702	33,451	20,357	12,323	0	0
16/08/2011	14:38:07	0,000	50,098	96,148	12,286	0	0
16/08/2011	14:39:07	0,000	50,098	98,027	12,286	0	0
16/08/2011	14:40:07	0,000	50,098	98,653	12,286	0	0
16/08/2011	14:41:07	0,000	50,098	100,846	12,280	0	0
16/08/2011	14:42:07	0,000	50,098	103,977	12,286	0	0
16/08/2011	14:43:07	0,000	50,098	107,422	12,286	0	0
16/08/2011	14:44:07	0,000	50,098	107,422	12,286	0	0
16/08/2011	14:45:07	0,000	50,098	108,675	12,280	0	0
16/08/2011	14:46:07	0,000	50,098	111,181	12,286	0	0
16/08/2011	14:47:07	0,000	50,098	113,06	12,286	0	0
16/08/2011	14:48:07	0,000	50,098	123,395	12,280	0	0
16/08/2011	14:49:07	0,000	50,098	129,032	12,286	0	0
16/08/2011	14:50:07	0,000	50,098	132,477	12,280	0	0
16/08/2011	14:51:06	0,000	50,098	134,983	12,292	0	0
16/08/2011	14:52:07	0,000	50,098	137,801	12,280	0	0
16/08/2011	14:53:07	0,000	50,098	138,741	12,286	0	0
16/08/2011	14:54:04	0,000	50,098	139,994	12,286	0	0
16/08/2011	14:55:07	6,468	50,098	143,126	12,255	0	0
16/08/2011	14:56:07	0,000	50,098	142,812	12,286	0	0
16/08/2011	14:57:07	0,000	50,098	143,752	12,280	0	0
16/08/2011	14:58:07	0,000	50,098	144,692	12,280	0	0
16/08/2011	14:59:07	0,000	50,098	145,631	12,280	0	0
16/08/2011	15:00:07	0,000	50,098	146,884	12,280	0	0
16/08/2011	15:01:07	0,000	50,098	147,823	12,286	0	0
16/08/2011	15:02:07	0,000	50,098	149,076	12,280	0	0
16/08/2011	15:03:07	0,000	50,098	149,389	12,280	0	0
16/08/2011	15:04:07	0,000	50,098	150,329	12,280	0	0
16/08/2011	15:05:07	0,000	50,098	151,268	12,280	0	0

Continúa en la siguiente página

Tabla 5.5 – Continuación

Date	Time	uS	NTU	NTU	Volts	Pulses	Pulses
16/08/2011	15:06:07	0,000	50,098	151,895	12,286	0	0
16/08/2011	15:07:07	0,000	50,098	153,148	12,286	0	0
16/08/2011	15:08:07	0,000	50,098	153,774	12,286	0	0
16/08/2011	15:09:07	0,000	50,098	154,087	12,280	0	0
16/08/2011	15:10:07	0,000	50,098	155,34	12,280	0	0
16/08/2011	15:11:07	0,000	50,098	155,653	12,286	0	0
16/08/2011	15:12:07	0,000	50,098	156,593	12,280	0	0
16/08/2011	15:13:07	0,000	50,098	157,219	12,280	0	0
16/08/2011	15:14:07	0,000	50,098	157,845	12,280	0	0
16/08/2011	15:15:07	0,000	50,098	158,785	12,280	0	0
16/08/2011	15:16:07	0,000	50,098	159,098	12,280	0	0
16/08/2011	15:17:07	0,000	50,098	159,098	12,286	0	0
16/08/2011	15:18:07	0,000	50,098	159,724	12,280	0	0
16/08/2011	15:19:07	0,000	50,098	160,038	12,286	0	0
16/08/2011	15:20:07	0,000	50,098	160,664	12,280	0	0
16/08/2011	15:21:07	0,000	50,098	161,29	12,286	0	0
16/08/2011	15:22:07	0,000	50,098	161,604	12,280	0	0
16/08/2011	15:23:07	3,234	50,098	162,543	12,292	0	0
16/08/2011	15:24:07	0,000	50,098	162,86	12,280	0	0
16/08/2011	15:25:05	0,000	50,098	164,74	12,280	0	0
16/08/2011	15:26:07	0,000	50,098	165,05	12,286	0	0
16/08/2011	15:27:07	0,000	50,098	165,36	12,280	0	0
16/08/2011	15:28:07	0,000	50,098	165,99	12,286	0	0
16/08/2011	15:29:07	0,000	50,098	166,605	12,286	0	0
16/08/2011	15:33:20	0,000	50,098	168,176	12,280	0	0
16/08/2011	15:34:20	3,234	50,098	168,485	12,280	0	0
16/08/2011	15:35:20	0,000	50,098	169,428	12,286	0	0
16/08/2011	15:36:20	0,000	50,098	169,749	12,280	0	0
16/08/2011	15:37:20	0,000	50,098	171,004	12,280	0	0
16/08/2011	16:11:42	0,000	50,098	141,246	12,280	0	0

Tabla 5.6: Historial guardado en el punto A con el software desarrollado.

Fecha	Hora	Canal1 Con- ductividad (uS)	Canal2 Turbidez (NTU)	Canal3 Turbidez (NTU)	Canal8 Tension (V)
16/08/2011	12:10:38	0	32,256	21,61	12,311
16/08/2011	12:11:38	0	32,413	20,044	12,311
16/08/2011	12:12:38	9,702	32,712	20,357	12,292
16/08/2011	12:13:38	0	32,728	20,044	12,311
16/08/2011	12:14:38	3,234	32,743	19,731	12,299
16/08/2011	12:15:38	6,468	33,074	20,357	12,292
16/08/2011	12:16:38	0	33,31	20,357	12,305
16/08/2011	12:17:38	-9,702	33,451	20,357	12,323
16/08/2011	14:38:07	0	50,098	96,148	12,286
16/08/2011	14:39:07	0	50,098	98,027	12,286
16/08/2011	14:40:07	0	50,098	98,653	12,286
16/08/2011	14:41:07	0	50,098	100,846	12,28
16/08/2011	14:42:07	0	50,098	103,977	12,286
16/08/2011	14:43:07	0	50,098	107,422	12,286
16/08/2011	14:44:07	0	50,098	107,422	12,286
16/08/2011	14:45:07	0	50,098	108,675	12,28
16/08/2011	14:46:07	0	50,098	111,181	12,286
16/08/2011	14:47:07	0	50,098	113,06	12,286
16/08/2011	14:48:07	0	50,098	123,395	12,28
16/08/2011	14:49:07	0	50,098	129,032	12,286
16/08/2011	14:50:07	0	50,098	132,477	12,28
16/08/2011	14:51:06	0	50,098	134,983	12,292
16/08/2011	14:52:07	0	50,098	137,801	12,28
16/08/2011	14:53:07	0	50,098	138,741	12,286
16/08/2011	14:54:04	0	50,098	139,994	12,286
16/08/2011	14:55:07	6,468	50,098	143,126	12,255
16/08/2011	14:56:07	0	50,098	142,812	12,286
16/08/2011	14:57:07	0	50,098	143,752	12,28
16/08/2011	14:58:07	0	50,098	144,692	12,28
16/08/2011	14:59:07	0	50,098	145,631	12,28
16/08/2011	15:00:07	0	50,098	146,884	12,28
16/08/2011	15:01:07	0	50,098	147,823	12,286
16/08/2011	15:02:07	0	50,098	149,076	12,28
16/08/2011	15:03:07	0	50,098	149,389	12,28

Continúa en la siguiente página

Tabla 5.6 – Continuación

Fecha	Hora	Canal1 Con- ductividad (uS)	Con-	Canal2 Turbidez (NTU)	Canal3 Turbidez (NTU)	Canal8 Tension (V)
16/08/2011	15:04:07	0		50,098	150,329	12,28
16/08/2011	15:05:07	0		50,098	151,268	12,28
16/08/2011	15:06:07	0		50,098	151,895	12,286
16/08/2011	15:07:07	0		50,098	153,148	12,286
16/08/2011	15:08:07	0		50,098	153,774	12,286
16/08/2011	15:09:07	0		50,098	154,087	12,28
16/08/2011	15:10:07	0		50,098	155,34	12,28
16/08/2011	15:11:07	0		50,098	155,653	12,286
16/08/2011	15:12:07	0		50,098	156,593	12,28
16/08/2011	15:13:07	0		50,098	157,219	12,28
16/08/2011	15:14:07	0		50,098	157,845	12,28
16/08/2011	15:15:07	0		50,098	158,785	12,28
16/08/2011	15:16:07	0		50,098	159,098	12,28
16/08/2011	15:17:07	0		50,098	159,098	12,286
16/08/2011	15:18:07	0		50,098	159,724	12,28
16/08/2011	15:19:07	0		50,098	160,038	12,286
16/08/2011	15:20:07	0		50,098	160,664	12,28
16/08/2011	15:21:07	0		50,098	161,29	12,286
16/08/2011	15:22:07	0		50,098	161,604	12,28
16/08/2011	15:23:07	3,234		50,098	162,543	12,292

Tabla 5.7: Historial en tiempo real en el punto A con el software desarrollado.

Hora	Canal1 Conductividad (uS)	Canal3 Turbidez (NTU)
15:24:10	32,342	-35,08
15:24:12	29,107	-5,95
15:24:14	25,873	162,86
15:24:17	25,873	162,54
15:24:19	22,639	162,54
15:24:21	25,873	162,86
15:24:23	22,639	163,17
15:24:25	25,873	163,17
15:24:28	25,873	163,17

Continúa en la siguiente página

Tabla 5.7 – Continuación

Hora	Canal1 Conductividad (uS)	Canal3 Turbidez (NTU)
15:24:30	25,873	171
15:24:32	22,639	171,63
15:24:34	25,873	171,94
15:24:37	32,342	171,94
15:24:39	22,639	172,56
15:24:41	16,171	172,25
15:24:48	29,107	1026,93
15:24:51	25,873	-5,01
15:24:53	25,873	164,11
15:24:55	22,639	164,11
15:24:57	22,639	164,11
15:24:59	22,639	164,42
15:25:01	0	164,42
15:25:03	0	164,74
15:25:06	22,639	164,11
15:25:08	16,171	164,74
15:25:15	32,342	1026,93
15:25:17	22,639	-4,38
15:25:19	22,639	164,74
15:25:22	25,873	164,74
15:25:24	25,873	164,74

Tabla 5.8: Historial guardado en el punto B con el software desarrollado.

Fecha	Hora	Canal1 Con- ductividad (uS)	Canal2 Turbidez (NTU)	Canal3 Turbidez (NTU)	Canal8 Tension (V)
16/08/2011	12:10:38	0	32,256	21,61	12,311
16/08/2011	12:11:38	0	32,413	20,044	12,311
16/08/2011	12:12:38	9,702	32,712	20,357	12,292
16/08/2011	12:13:38	0	32,728	20,044	12,311
16/08/2011	12:14:38	3,234	32,743	19,731	12,299
16/08/2011	12:15:38	6,468	33,074	20,357	12,292
16/08/2011	12:16:38	0	33,31	20,357	12,305
16/08/2011	12:17:38	-9,702	33,451	20,357	12,323

Continúa en la siguiente página

Tabla 5.8 – Continuación

Fecha	Hora	Canal1 Con- ductividad (uS)	Canal2 Turbidez (NTU)	Canal3 Turbidez (NTU)	Canal8 Tension (V)
16/08/2011	14:38:07	0	50,098	96,148	12,286
16/08/2011	14:39:07	0	50,098	98,027	12,286
16/08/2011	14:40:07	0	50,098	98,653	12,286
16/08/2011	14:41:07	0	50,098	100,846	12,28
16/08/2011	14:42:07	0	50,098	103,977	12,286
16/08/2011	14:43:07	0	50,098	107,422	12,286
16/08/2011	14:44:07	0	50,098	107,422	12,286
16/08/2011	14:45:07	0	50,098	108,675	12,28
16/08/2011	14:46:07	0	50,098	111,181	12,286
16/08/2011	14:47:07	0	50,098	113,06	12,286
16/08/2011	14:48:07	0	50,098	123,395	12,28
16/08/2011	14:49:07	0	50,098	129,032	12,286
16/08/2011	14:50:07	0	50,098	132,477	12,28
16/08/2011	14:51:06	0	50,098	134,983	12,292
16/08/2011	14:52:07	0	50,098	137,801	12,28
16/08/2011	14:53:07	0	50,098	138,741	12,286
16/08/2011	14:54:04	0	50,098	139,994	12,286
16/08/2011	14:55:07	6,468	50,098	143,126	12,255
16/08/2011	14:56:07	0	50,098	142,812	12,286
16/08/2011	14:57:07	0	50,098	143,752	12,28
16/08/2011	14:58:07	0	50,098	144,692	12,28
16/08/2011	14:59:07	0	50,098	145,631	12,28
16/08/2011	15:00:07	0	50,098	146,884	12,28
16/08/2011	15:01:07	0	50,098	147,823	12,286
16/08/2011	15:02:07	0	50,098	149,076	12,28
16/08/2011	15:03:07	0	50,098	149,389	12,28
16/08/2011	15:04:07	0	50,098	150,329	12,28
16/08/2011	15:05:07	0	50,098	151,268	12,28
16/08/2011	15:06:07	0	50,098	151,895	12,286
16/08/2011	15:07:07	0	50,098	153,148	12,286
16/08/2011	15:08:07	0	50,098	153,774	12,286
16/08/2011	15:09:07	0	50,098	154,087	12,28
16/08/2011	15:10:07	0	50,098	155,34	12,28
16/08/2011	15:11:07	0	50,098	155,653	12,286
16/08/2011	15:12:07	0	50,098	156,593	12,28

Continúa en la siguiente página

Tabla 5.8 – Continuación

Fecha	Hora	Canal1 Con- ductividad (uS)	Con-	Canal2 Turbidez (NTU)	Canal3 Turbidez (NTU)	Canal8 Tension (V)
16/08/2011	15:13:07	0		50,098	157,219	12,28
16/08/2011	15:14:07	0		50,098	157,845	12,28
16/08/2011	15:15:07	0		50,098	158,785	12,28
16/08/2011	15:16:07	0		50,098	159,098	12,28
16/08/2011	15:17:07	0		50,098	159,098	12,286
16/08/2011	15:18:07	0		50,098	159,724	12,28
16/08/2011	15:19:07	0		50,098	160,038	12,286
16/08/2011	15:20:07	0		50,098	160,664	12,28
16/08/2011	15:21:07	0		50,098	161,29	12,286
16/08/2011	15:22:07	0		50,098	161,604	12,28
16/08/2011	15:23:07	3,234		50,098	162,543	12,292
16/08/2011	15:24:07	0		50,098	162,86	12.280
16/08/2011	15:25:07	0		50,098	164,74	12.280
16/08/2011	15:26:07	0		50,098	165,05	12.286
16/08/2011	15:27:07	0		50,098	165,36	12.280
16/08/2011	15:28:07	0		50,098	165,99	12.286

Observando los valores de las tablas nos indica que los sistemas son iguales, también comprueban la suposición que las curvas características de los sensores son lineales.

Además dicha prueba ayudó a comprobar que el sistema funciona a una distancia de 520m, se quiso aumentar la distancia, pero por los obstáculos y el rendimiento de las antenas únicamente se podía conectar con el sistema pero no se podía realizar ninguna función, esto indica que tramas largas de datos se perdían en el medio por lo que no había un enlace de comunicación estable entre los tranceptor.

En el punto A de la prueba historial también se realizó la toma de datos en tiempo real, si se comparan los datos se observa que difieren de manera cuantiosa y se cree que existe un comportamiento extraño en los sensores, pero en la muestra de las 15:25:05p.m. el valor de conductividad es $0\mu S$. Y en la tabla 5.7 donde se toman datos en tiempo real solo a las 15:25:01pm y a las 15:25:03pm se tiene esta condición, no obstante para el sensor de turbidez si se tuvo un comportamiento normal, si se compara el valor de las 15:25:05pm del historial y los valores de las 15:25:03pm y 15:25:06pm se tiene una diferencia de 0% y del 0.38%.

La diferencia de datos no se puede comparar estrictamente porque las mediciones no son exactamente al mismo tiempo, ya que en tiempo real siempre se le solicita al grabador de

datos que tome una muestra y la envíe, mientras que en modo historial el equipo es el que decide cuando tomar la muestra dependiendo del tipo de muestreo. Así que si el grabador de datos funciona de la misma forma que el software desarrollado nunca se va a tener el mismo valor por la diferencia de tiempos y no son procesos que se realizan en paralelo.

Finalizando, para las diferentes pruebas de conexión no se utilizó un adaptador de corriente eléctrica para el trancceptor servidor, sino que se uso el puerto USB como fuente de energía, esto hizo que el trancceptor trabajara a un 40% de la potencia. Por lo que se podría pensar que la distancia llegará a ser mayor en condiciones favorables con las antenas utilizadas.

5.3.6 Graficar los datos obtenidos desde el programa

En la sección Grafica, se encuentra una parte para graficar los datos desde los archivos generados en modo de tiempo real o cuando se solicita el historial, esta opción presenta problemas de ejecución, ya que la biblioteca y/o el algoritmo de lectura, procesa los datos por mucho tiempo y si los datos son más de 500 el programa colapsa.

5.3.7 Ejecución del programa desde el navegador de Internet

En la figura 5.19 se observar cuando se ejecutó el programa por primera vez desde el navegador de Internet, el cual envía un mensaje de advertencia al usuario indicando que el programa va a utilizar recursos (hardware) de la computadora.

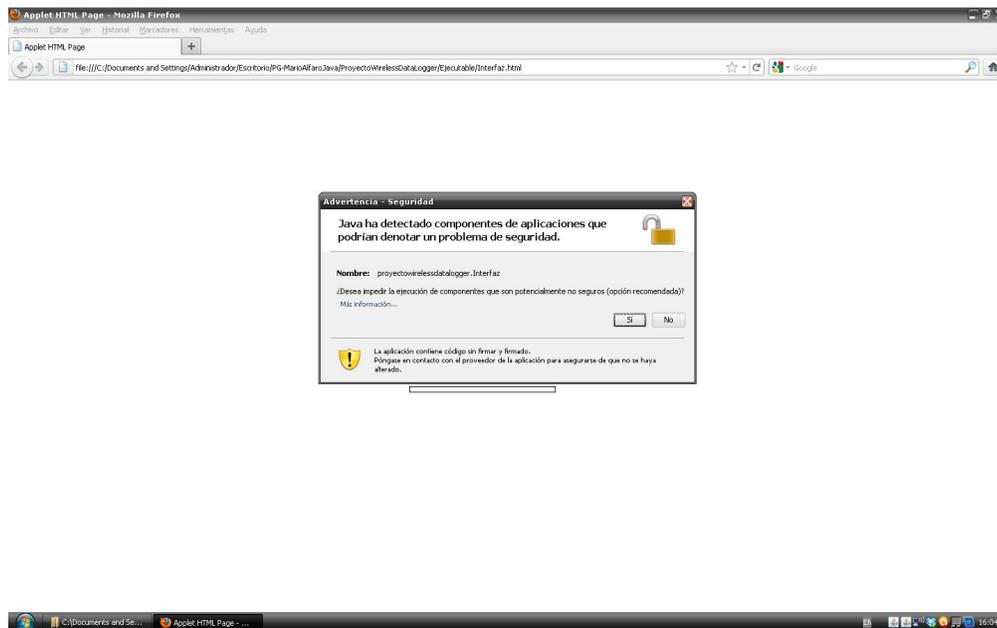


Figura 5.19: Imagen al ejecutar el applet.

Como se utiliza un applet para ejecutar el programa, este tiene que estar firmado digitalmente, para asegurar al usuario que el software es seguro de usar y para que la maquina virtual pueda utilizar las bibliotecas externas empleadas en el proyecto. En la figura 5.20 se muestra el programa ejecutándose desde el navegador.



Figura 5.20: Imagen del applet desde el navegador de Internet.

Capítulo 6

Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

1. Se logró integrar un conjunto de tecnologías para la monitorización remota de la calidad del agua de las ASADAS de la Zona Huetar Norte.
2. Se desarrolló un conjunto de algoritmos que permitieron la comunicación inalámbrica efectiva desde el punto de recolección de datos hasta el punto de visualización y almacenamiento.
3. Se logró crear las rutinas de configuración de los 2 equipos, implementados con los comandos AT o los comandos propietarios soportados.
4. El uso de comandos AT, soportados por dispositivos de transmisión y recepción, reduce las líneas de comunicación y facilita la configuración de los equipos.
5. Se logró crear un entorno de visualización en tiempo real de dos parámetros de calidad de agua, con un tiempo de muestreo mínimo de un segundo.
6. La ecuación característica de los sensores de la empresa Global Water Inc. es lineal.
7. Los valores históricos y los datos en tiempo real pueden ser diferentes ya que las muestras siempre se toman en diferentes momentos temporales.
8. Las antenas tipo dipolo utilizadas en el proyecto no garantiza el alcance de los tranceptores en condiciones óptimas de línea vista.
9. Se logró establecer un enlace de comunicación punto a punto entre los sistemas, donde el máximo alcance obtenido con una conexión satisfactoria fue de 520m.
10. La máxima velocidad de transmisión en las interfaces es de 115Kbps.

11. La firma digital es necesaria para habilitar permisos de seguridad en la ejecución del applet en la máquina virtual.
12. El uso de la biblioteca externa javax.comm, no cumplió con el propósito de configurar el tranceptor a velocidades mayores a 9600bps.
13. El uso de la biblioteca externa jFreechart, no grafico más de 500 datos desde los archivo de tipo csv.
14. Se comprobó que el software desarrollado realiza de igual forma las funciones seleccionadas que los programas propietarios.

6.2 Recomendaciones

1. Cambiar la antena dipolo por una antena direccional tipo yagui o parabólica para aumentar el rango de transmisión.
2. Agregar un sistema de energía sostenible al sistema donde se instalará el equipo de monitoreo.
3. Desarrollar un equipo de monitoreo parecido al grabador de datos con tecnología digital para disminuir costos.
4. Perfeccionar la rutina para graficar los datos desde los archivo csv generados por el programa.
5. Adquirir un producto final y no de desarrollo para la comunicación inalámbrica.
6. Implementar un servidor para que el applet pueda ser ejecutado desde una red local.
7. Agregar una aplicación para brindar la firma digital del applet.

Bibliografía

- [1] Contaminacion en la región huetar norte de costa rica [online, visitado el 3 de noviembre de 2011]. URL http://www.sirzee.itcr.ac.cr/modules/GIS/pmapas/htdocs/map_default.phtml?dg=BASE,RHN,LAGOS,Rios_RHN,Rios_RHN2&me=334961.8324515,1099524,550038.1675485,1233386&language=es&config=default&req=&resetsession=ALL.
- [2] Contaminacion y cuencas hídricas en la región huetar norte de costa rica [online, visitado el 3 de noviembre de 2011]. URL http://www.sirzee.itcr.ac.cr/modules/GIS/pmapas/htdocs/map_default.phtml?dg=BASE,RHN,LAGOS,Rios_RHN,Rios_RHN2,Agua_Contaminada&me=334961.8324515,1099524,550038.1675485,1233386&language=es&config=default&req=&resetsession=ALL.
- [3] Mapa de las cuencas hídricas de la región huetar norte de costa rica [online, visitado el 3 de noviembre de 2011]. URL http://www.sirzee.itcr.ac.cr/modules/GIS/pmapas/htdocs/map_default.phtml?dg=BASE,RHN,CUENCAS&me=339115,1081531.6071429001,545885,1251378.3928571&language=es&config=default&req=&resetsession=ALL.
- [4] Mapa de los ríos y lagos en la región huetar norte de costa rica [online, visitado el 3 de noviembre de 2011]. URL http://www.sirzee.itcr.ac.cr/modules/GIS/pmapas/htdocs/map_default.phtml?dg=BASE,RHN,LAGOS,Rios_RHN,Rios_RHN2&me=334961.8324515,1099524,550038.1675485,1233386&language=es&config=default&req=&resetsession=ALL.
- [5] Mapa región huetar norte de costa rica [online, visitado el 3 de noviembre de 2011]. URL http://proyectos.conare.ac.cr/region/index.php?option=com_content&view=article&id=113:mapa-region-huetar-norte&catid=50:huetar-norte&Itemid=159.
- [6] Mapas personalizados de las cuencas hídricas en la región huetar norte de costa rica [online, visitado el 3 de noviembre de 2011]. URL <http://www.sirzee.itcr.ac.cr/modules.php?op=modload&name=GIS&file=index>.

- [7] Rs-232 [online, visitado el 3 de noviembre de 2011]. URL <http://www.tecnotopia.com.mx/mecatronica/puertors232.htm>.
- [8] AeroComm. Developer kit user's manual version 3.3 [online]. 2005 [visitado el 3 de noviembre de 2011]. URL <http://www.lairdtech.com/WorkArea/DownloadAsset.aspx?id=2555>.
- [9] AeroComm. User manual version 3.2.1 [online]. 2007 [visitado el 3 de noviembre de 2011]. URL <http://www.lairdtech.com/WorkArea/DownloadAsset.aspx?id=2545>.
- [10] S. Ortiz Argüello. Diseño e implementación de los bancos de sensores para medición de variables ambientales. Informe de labores, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede: Cartago, 2009.
- [11] Coordinador. Proyecto: Modelo de gestión ambiental para acueductos rurales y red de monitoreo de la calidad del agua. Informe de resultados, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede: San Carlos, 2010.
- [12] LA MINISTRA DE SALUD Y EL MINISTRO DEL AMBIENTE Y ENERGÍA EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA. Reglamento de las asociaciones administradoras de sistemas de acueductos y alcantarillados comunales [online, visitado el 3 de noviembre de 2011]. URL <http://www.sugef.fi.cr/servicios/documentos/normativa/circularesexternas/2005/036-2005%20ANEXO.doc>.
- [13] Lava Computer MFG Inc. Rs-232: Serial ports [online]. 2002 [visitado el 3 de noviembre de 2011]. URL www.com.
- [14] Iridium Satellite LLC. Mobile-terminated data-user's guide [online]. 2003 [visitado el 3 de noviembre de 2011]. URL <http://satcomstore.com/Download/Mobile%20Terminated%20Data%20User%27s%20Guide%20Rev%204.pdf>.
- [15] Roi Peers. Global logger ii communication protocol [online]. 2006 [visitado el 3 de noviembre de 2011]. URL http://www.globalw.com/downloads/WL16/GLII_ComProt.pdf.
- [16] Philips Semiconductors. An10420 - usb virtual com port on lpc214x [online]. 2006 [visitado el 3 de noviembre de 2011]. URL www.nxp.com/documents/application_note/AN10420.pdf.
- [17] W. Stallings. *Data and computer communiactions*. Prentice Hall, 5 edition, 1996.
- [18] F.G. Stremmler. *Introducción a los sistemas de comunicación*. Pearson, 3 edition, 1993.
- [19] S. A. Castro Zúñiga y M. Treviño Vilalobos. Módulos validados. Estudio de validación, sir-zee / Sistema de Información Regional - Zona Económica Especial, Noviembre 2006.