



MONITORIZACIÓN EN TIEMPO REAL DE UN SISTEMA DE CALORIMETRIA DIRECTA

CARLOS ALBERTO AMAYA GARZÓN
NORBERTO ARDILA RODRÍGUEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA

2006

MONITORIZACIÓN EN TIEMPO REAL DE UN SISTEMA DE CALORIMETRIA DIRECTA

CARLOS ALBERTO AMAYA GARZÓN
NORBERTO ARDILA RODRÍGUEZ

*Proyecto de grado presentado
como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero Electrónico*

OSCAR MAURICIO REYES TORRES, MI.
Director

CARLOS RODRIGO CORREA CELY, PhD.
Codirector

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2006

AGRADECIMIENTOS

A Cristo, quien es la motivación para esforzarme en hacer todo con excelencia.

A mis padres, Carlos y María E., porque su ejemplo y dedicación me formaron como persona.

A la gorda (en Estados Unidos) a quien extraño infinitamente.

A Mamá Tina, por atenderme más de lo que merezco.

Al comando tribulación, por ser hoy en día los mejores amigos.

A Alex D., Milton I. y Edwin B., a quienes recordaré toda la vida.

A Diana M. Cruz (que descanse en la presencia del Señor) y a Carolina Carvajal, quienes hubiera querido con todo el corazón me acompañaran en este triunfo.

Carlos Alberto Amaya Garzón



AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por darme la salud y la vida para obtener tan anhelado sueño. Gracias a mí madre, a mi hermana y a mi padre por su comprensión, amor y por sobretodo haberme permitido tener una educación excelente. Gracias a mi compañero Carlos Amaya, Por su paciencia y dedicación. Gracias a todos mis compañeros de la universidad, de la barra fortín y una dedicación especial para todos aquellos que no creyeron en mí.

Norberto Ardila Rodríguez

AGRADECIMIENTOS

Especial agradecimiento a la Universidad Industrial de Santander, al grupo de investigación CEMOS, a nuestro director, MI. OSCAR MAURICIO REYES TORRES y nuestro codirector Phd. CARLOS RODRIGO CORREA CELY, por habernos facilitado los medios, guiado el proceso e impartido los conocimientos necesarios para el desarrollo del presente trabajo.

Los autores.

CONTENIDO

| | pág. |
|--|------|
| AGRADECIMIENTOS | V |
| LISTA DE FIGURAS | IX |
| LISTA DE TABLAS | X |
| INTRODUCCIÓN | 13 |
| 1. SISTEMA DE MONITORIZACIÓN | 16 |
| 1.1 CRITERIOS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN | 16 |
| 1.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN | 17 |
| 1.3 ELEMENTOS DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN | 19 |
| 1.4 PROCESO DE SELECCIÓN DE LOS MÓDULOS BLUETOOTH | 20 |
| 1.5 PROCESO DE SELECCIÓN DEL ADAPTADOR BLUETOOTH | 28 |
| 1.6 SELECCIÓN DE SOFTWARE PARA LA MONITORIZACIÓN | 30 |
| 1.7 CRITERIOS PARA EL DISEÑO DEL SOFTWARE DE MONITORIZACIÓN | 31 |
| 2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN | 33 |
| 2.1 CONFIGURACIÓN DE LOS MÓDULOS BLUETOOTH | 33 |
| 2.2 CONFIGURACIÓN DEL ADAPTADOR BLUETOOTH | 34 |
| 2.3 SOFTWARE DE MONITORIZACIÓN | 34 |
| 2.4 ENSAMBLE DEL SISTEMA | 40 |
| 3. PRUEBAS Y RESULTADOS | 43 |
| 3.1 MEDICIÓN DE LA POTENCIA DE ALIMENTACIÓN EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA | 43 |
| 3.2 COMPROBACIÓN DE ERRORES EN TRANSMISIÓN DE DATOS | 48 |
| 3.3 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN | 53 |
| 4. CONCLUSIONES | 55 |
| 5. OBSERVACIONES | 61 |
| ACRÓNIMOS | 68 |
| BIBLIOGRAFÍA | 69 |
| ANEXOS | 72 |



LISTA DE FIGURAS

| | pág. |
|--|------|
| Figura 1: Primer diseño del sistema de monitorización | 18 |
| Figura 2: Diseño final del sistema de monitorización | 19 |
| Figura 3: Sistema de evaluación Free2move..... | 27 |
| Figura 4: Módulos F2M03AC2 de Free2move | 28 |
| Figura 5: Adaptador Bluetooth de MSI..... | 30 |
| Figura 6: Estructura de los datos transmitidos al PC..... | 34 |
| Figura 7: Interruptores para la posición del sensor | 35 |
| Figura 8: Estructura del software de visualización..... | 36 |
| Figura 9: Estructura del programa de descubrimiento de dispositivos..... | 37 |
| Figura 10: Algoritmo de conexión Bluetooth..... | 38 |
| Figura 11: Algoritmo de selección de tipo de sensor | 38 |
| Figura 12: Algoritmo de selección de tipo de sensor | 39 |
| Figura 13: Ventana de trabajo del software de monitorización..... | 40 |
| Figura 14: a) Tarjeta de adquisición de datos de flujo de calor; b) Tarjeta de adquisición de datos de temperatura; c) Distribución de entradas / salidas del módulo Bluetooth | 41 |
| Figura 15: Módulos Bluetooth ensamblados a tarjetas de adquisición de datos de flujo de calor (izquierda) y de temperatura (derecha) | 42 |
| Figura 16: Potencia de alimentación en función de la distancia en línea de vista | 46 |
| Figura 17: Zona 1 y 2 de pruebas en ambientes con obstáculos..... | 47 |
| Figura 18: Zona 3 de pruebas en ambientes con obstáculos..... | 48 |
| Figura 19: Datos de flujo de calor o temperatura leídos por el PC..... | 50 |
| Figura 20: Corrección del error en la lectura de los datos..... | 52 |
| Figura 21: Imagen de comparación de datos RS-232 y Bluetooth..... | 52 |
| Figura 22: Ventana de trabajo del software de visualización en funcionamiento | 54 |
| Figura 23: Envío de datos por un PC directamente al servidor Internet..... | 64 |
| Figura 24: Envío de datos por un PC a Internet mediante un teléfono celular. | 64 |
| Figura 25: Envío de datos por un PC a otro dispositivo mediante redes WWAN..... | 65 |
| Figura 26: Uso de módem GPRS / GSM para el envío de datos a las redes celulares | 66 |
| Figura 27: Monitorización remota a varios pacientes | 67 |



LISTA DE TABLAS

| | pág. |
|--|------|
| Tabla 1: Lista de fabricantes de módulos Bluetooth | 21 |
| Tabla 2: Comparación de las características que presentan los productos preseleccionados | 26 |
| Tabla 3: Especificaciones técnicas generales del módulo F2M03AC2 de Free2move | 28 |
| Tabla 4: Corriente y potencia en función de la distancia en línea de vista | 45 |
| Tabla 5: Corriente y potencia máxima de alimentación en zonas de prueba con obstáculos | 48 |
| Tabla 6: Resultados de corriente obtenidos vs. datos del fabricante | 56 |

TÍTULO: MONITORIZACIÓN EN TIEMPO REAL DE UN SISTEMA DE CALORIMETRÍA DIRECTA*

AUTORES: Carlos Alberto Amaya G., Norberto Ardila Rodríguez**

Palabras clave: Bluetooth, calorimetría, inalámbrico, red de sensores, monitorización, LabView.

DESCRIPCIÓN:

El Grupo de Investigación en Control, Electrónica, Modelado y Simulación, CEMOS, se encuentra ejecutando un proyecto bajo el título “Desarrollo de un sistema de calorimetría directa con comunicación inalámbrica para pacientes hospitalizados”, para detectar los cambios en el calor corporal en seres humanos, con el fin de seguir la evolución clínica post-operatoria o evaluar la respuesta de un paciente a un determinado tratamiento terapéutico, el cual está constituido fundamentalmente de varios sensores de calor y temperatura que se distribuyen en distintas partes del cuerpo del paciente

El objetivo principal de este trabajo es el diseño e implementación de la monitorización de los datos provenientes del sistema de calorimetría directa utilizando la tecnología Bluetooth como interfaz inalámbrica para el transporte de los datos a un PC. Cada sensor posee un transmisor (módulo Bluetooth) que se encarga de enviar los datos de manera inalámbrica al receptor (un computador con adaptador Bluetooth USB), el cual actúa como un concentrador que reúne los datos de los sensores en una sola trama serial, con el fin que una aplicación (diseñada en LabVIEW 7.1) reconozca, organice y reproduzca gráfica y numéricamente el valor correspondiente a la medición realizada por cada sensor.

Se proponen algunos diseños preliminares de acuerdo a las necesidades del proyecto de los cuales se deriva el diseño final partiendo de las especificaciones definidas previamente. Con base en diferentes pruebas realizadas se presentan los resultados y su respectivo análisis, del cual se derivan las conclusiones del trabajo y se explora la posibilidad de transmitir los datos del sistema de calorimetría a dispositivos remotos mediante Internet y las redes de telefonía celular.

* Proyecto de grado.

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Oscar Mauricio Reyes Torres. Codirector: PhD. Carlos Rodrigo Correa Cely.



TITLE: REAL-TIME MONITORING OF A DIRECT CALORIMETRY SYSTEM *

AUTHORS: Carlos Alberto Amaya G., Norberto Ardila Rodríguez **

Key words: Bluetooth, calorimetry, wireless, sensor network, monitoring, LabVIEW.

DESCRIPTION:

The Control, Electronics, Modeling and Simulation Research group, CEMOS, is executing a project titled "Development of a direct calorimetry system with wireless communication for hospitalized patients", to detect changes in corporal heat of human beings, with the purpose of following the post-surgical clinical evolution or evaluating the patient's answer related with some therapeutic treatment, which is forming fundamentally of some heat flux and temperature sensors distributed in different parts of the patient's body

The main objective of this work is designing and implementation of a monitoring data system, which are coming from the direct calorimetry system using Bluetooth technology as wireless interface for transportation of data into a PC. Each sensor includes a transmitter (Bluetooth module) which sends the data to the receiver (a computer with USB Bluetooth adapter) in a wireless way, The receiver is like a hub that that gathering data from the sensors in a single serial data stream, with the objective that an application (designed in LabVIEW 7.1) recognizes, organizes and reproduces graphically and numerically the value associated with the measurement carried out by each sensor.

There are proposed some preliminary designs according to the project necessities of which it is derived the final design including previously defined specifications. Based on different tests, the results are carried out and their respective analysis are presented in order to obtain conclusions of the project, and finally it is presented the possibility of transmitting data from the direct calorimetry system to remote devices using Internet and cellular phone network.

* Project of Grade.

** Physical-Mechanic Engineering Faculty. Electric, Electronic and Telecommunications' School.
Director: Oscar Mauricio Reyes Torres. Codirector: Carlos Rodrigo Correa Cely, PhD.



INTRODUCCIÓN

Hoy en día, con el avance de la ciencia en el área de la bioingeniería, parte de los esfuerzos de clínicas, hospitales y grupos de investigación en el área se encuentran enfocados a dotar al personal médico de más y mejores herramientas que permitan efectuar diagnósticos más rápidos, más confiables, y sobre todo oportunos, en aras de mejorar la calidad en la prestación de servicios de salud [9].

La Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander no es ajena a esos esfuerzos para mejorar las condiciones de diagnóstico existentes. Por ello, el Grupo CEMOS¹ se encuentra ejecutando un proyecto bajo el título “Desarrollo de un sistema de calorimetría directa con comunicación inalámbrica para pacientes hospitalizados”, para detectar los cambios en el calor corporal en seres humanos, con el fin de seguir la evolución clínica post-operatoria a un paciente o evaluar su respuesta a un determinado tratamiento terapéutico.

El problema radica esencialmente en la imposibilidad, por parte de las empresas de distribución de dispositivos médicos, de implementar en los centros hospitalarios los equipos existentes para la medición directa de flujo de calor, en razón a sus implicaciones técnicas y económicas. El resultado de la propuesta de investigación realizada por CEMOS fue la creación de un equipo prototipo de medición calorífica que requiera menos inversión por parte de estos hospitales y que proporcionen la información apropiada para el diagnóstico oportuno. La base de desarrollo de tal sistema es la aplicación de los actuales métodos para el sensado y medición de calor

¹ Grupo de Investigación en Control, Electrónica, Modelado y Simulación

adecuándolos a esta necesidad en particular, su complementación con el procesamiento de la señal, su transmisión no invasiva (de manera inalámbrica) y su análisis computacional para proveer de forma clara y precisa la información deseada.

Dicho sistema está constituido fundamentalmente de varios sensores que se distribuyen en distintas partes del cuerpo del paciente, para lo cual se desarrollaron dos trabajos de pre-grado orientados a la construcción de prototipos para la medición de flujo de calor y temperatura [9][21].

A continuación se presenta el proyecto “MONITORIZACIÓN EN TIEMPO REAL DE UN SISTEMA DE CALORIMETRÍA DIRECTA”, que tiene como objetivo principal implementar una interfaz inalámbrica para el transporte de datos y diseñar un software de visualización de los mismos, con el fin de monitorizar desde un PC las mediciones provenientes del sistema de calorimetría directa. El desarrollo de este tipo de aplicación se justifica principalmente por la necesidad de aislamiento eléctrico y movilidad entre el paciente y el sistema de visualización de datos.

Este documento se compone de cinco capítulos, cada uno con un objetivo específico: el primer capítulo describe las etapas del diseño del sistema de monitorización; el segundo capítulo detalla la integración entre el sistema de transmisión y visualización de datos y el sistema de calorimetría directa; el tercer capítulo presenta el desarrollo de las pruebas que permitieron validar el correcto funcionamiento del sistema de monitorización; el cuarto capítulo muestra el análisis y las conclusiones obtenidas en la implementación del sistema de monitorización; el quinto capítulo presenta algunas sugerencias y consideraciones referentes al sistema de monitorización diseñado.

Por otro lado, este proyecto tiene como objetivo secundario proporcionar a los estudiantes y profesionales una síntesis sobre *Bluetooth*, que fue utilizado como tecnología de transporte inalámbrico de datos. Dicha síntesis consta de tres documentos condensados en los anexos a este documento. En el anexo A se explican



los conceptos básicos de la tecnología Bluetooth necesarios para comprender el funcionamiento del sistema de monitorización, a su vez, provee los fundamentos necesarios para la construcción de sistemas de comunicaciones basados en la tecnología Bluetooth para múltiples aplicaciones. En primer lugar, se menciona el origen de Bluetooth y quienes lograron que esta tecnología evolucionara en sus diferentes versiones hasta convertirse en un protocolo de uso típico en las telecomunicaciones de corta distancia. Luego, se describen los conceptos fundamentales de la tecnología tales como la topología de red, canal físico, características de radiofrecuencia, estructura de los datos, entre otros. Por último, se muestra los diferentes elementos (hardware) por las cuales Bluetooth funciona como tecnología de enlace inalámbrico entre dispositivos en numerosas aplicaciones. Los anexos B y C fueron creados con el fin de ampliar el conocimiento sobre los procedimientos que definen el protocolo de comunicaciones Bluetooth y sus modelos de uso.



1. SISTEMA DE MONITORIZACIÓN

En este capítulo se describen las etapas relacionadas con el diseño del sistema de monitorización: primero, la identificación de las características requeridas por el sistema deseado; segundo, el planteamiento de alternativas hasta lograr el diseño final del sistema; tercero, el proceso de selección de los elementos que componen el sistema y finalmente, las características de diseño para la visualización de las variables de medición.

1.1 CRITERIOS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN

Para un óptimo desempeño de los servicios ofrecidos por el sistema de calorimetría, se establecieron los siguientes parámetros para la monitorización de los datos: **operación en tiempo real y de manera no invasiva** (el paciente está aislado eléctricamente del sistema de monitorización de los datos); **reducido consumo de potencia; movilidad del paciente** (que permita la mejor libertad de movimiento corporal posible); **accesibilidad remota de la información; fiabilidad de transmisión** (garantía de transmisión de datos desde los sensores hasta el sistema de visualización y análisis); **flexibilidad del sistema** (disposición de diversidad de dispositivos de monitoreo tales como PDA, Lap-top, PC y teléfonos celulares); **reducida complejidad en la instalación del sistema**. Por tanto, es preciso contar con un sistema de transmisión y análisis de datos que satisfaga las características descritas anteriormente.

Con el fin de realizar la transmisión de datos, cumpliendo con los parámetros anteriormente mencionados, se optó por la comunicación inalámbrica como la más apropiada para el sistema de calorimetría, debido principalmente a que los medios de

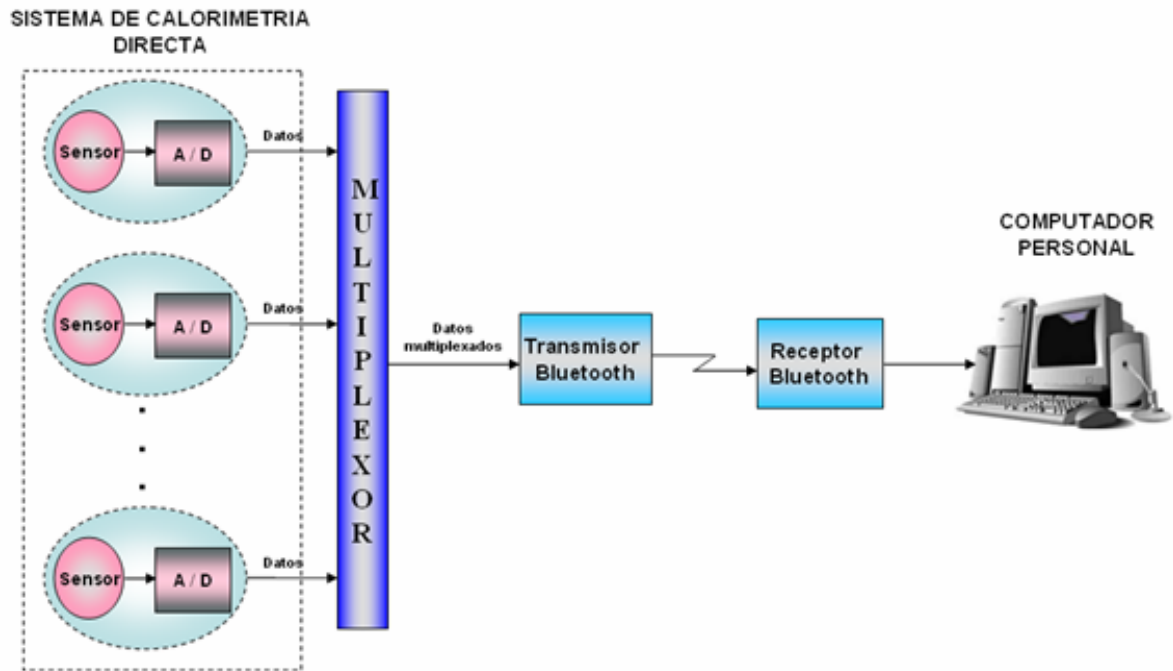
transmisión guiados no permiten el aislamiento eléctrico entre el paciente y el sistema de monitorización y no satisfacen la necesidad de movilidad. La transmisión inalámbrica permite la comunicación entre dos puntos distantes de manera confortable, además existen múltiples estándares que proporcionan compatibilidad con gran variedad de dispositivos y facilidad de instalación.

La tecnología *Bluetooth* fue creada con el fin de reemplazar el cable en aplicaciones de transmisión de datos de corta distancia. Entre sus características más representativas se encuentran, entre otras, una tasa de transferencia configurable (que puede alcanzar 1Mbps aproximadamente), cobertura máxima de 100 m con transmisores clase 1 (igualando al alcance de los *access point* de *Wi-Fi*) y el uso ‘inteligente’ de la potencia en función de la distancia y del estado de los dispositivos; posee un amplio mercado, siendo una tecnología incluida en dispositivos como computadores personales, asistentes personales digitales y teléfonos celulares, además de contar con un gran número de fabricantes de chips, módulos y sistemas de desarrollo y evaluación Bluetooth; el costo de implementación no es el más reducido, pero los beneficios de esta tecnología, para la aplicación presentada en este proyecto, la hacen más conveniente comparada con el uso de otras tecnologías (ver ANEXO D).

1.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN

Como primera alternativa, se diseñó el sistema de monitorización como se muestra en la Figura 1. Este diseño consta de los módulos que conforman el sistema de calorimetría directa, los cuales envían los datos correspondientes a las mediciones individuales (flujo de calor o temperatura) hacia un *multiplexor de datos*, que se encarga de llevar los datos multiplexados de los sensores hasta el transmisor Bluetooth en formato serial.



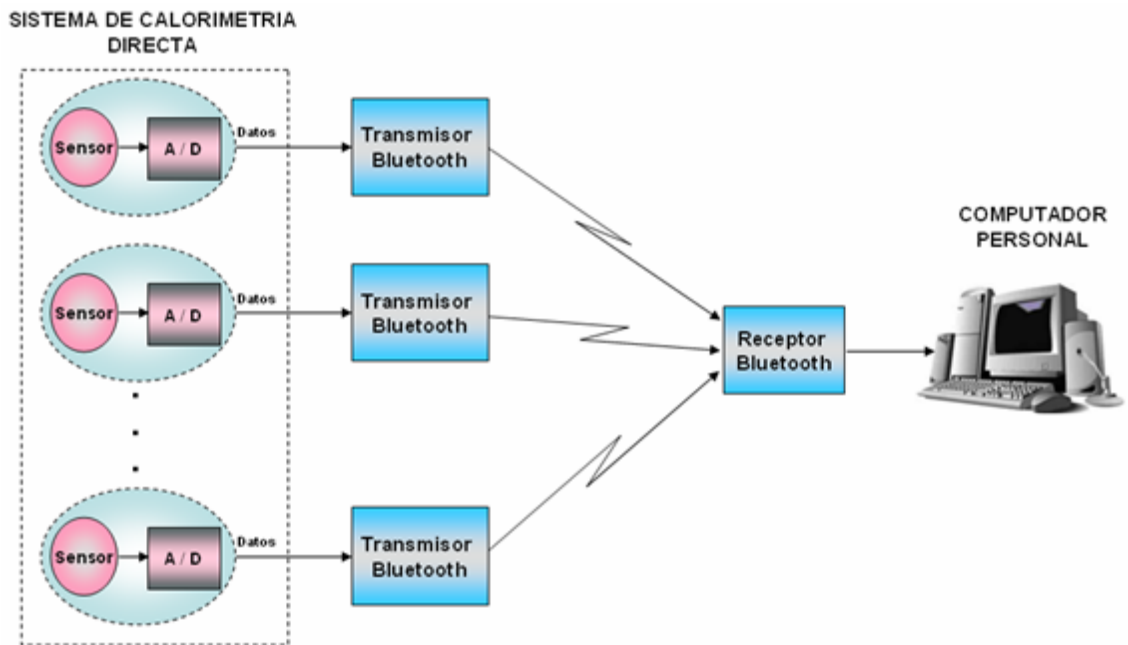


Fuente: los autores

Figura 1: Primer diseño del sistema de monitorización

Sin embargo, el principal problema de este diseño radica en la interfaz cableada entre los sensores y el multiplexor de datos, reduciendo la movilidad y comodidad del paciente y, a su vez, limitando las bondades de Bluetooth como tecnología inalámbrica de reemplazo de cables.

Por tanto, la monitorización del sistema de calorimetría directa se diseñó bajo el esquema mostrado en la Figura 2:



Fuente: los autores

Figura 2: Diseño final del sistema de monitorización

En este diseño, cada sensor posee un transmisor Bluetooth que se encarga de enviar los datos (en formato serial) de manera inalámbrica al receptor Bluetooth, el cual actúa como un concentrador que reúne los datos de los sensores en una sola trama serial con el fin que el software de monitorización reconozca, organice y grafique los datos de calor correspondientes a cada sensor. De esta manera, es conformada una red Bluetooth, en la cual los transmisores actúan como dispositivos esclavos y el receptor actúa como dispositivo maestro (ver ANEXO A.1.2.1).

1.3 ELEMENTOS DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN

En el diseño del sistema de monitorización mostrado en la Figura 2 se pueden identificar los siguientes elementos:

- *Transmisor Bluetooth:* El transmisor lo conforma un módulo Bluetooth para sistemas embebidos (ver ANEXO A.2.4). Este módulo permitiría la



transmisión de los datos provenientes del sistema de calorimetría bajo un modelo de uso llamado Perfil de Puerto Serial (ver ANEXO C).

- *Receptor Bluetooth*: El receptor Bluetooth lo conforma un adaptador Bluetooth con interfaz serial (ver ANEXO A.2.5). Este dispositivo permitiría la recepción de datos provenientes de los módulos Bluetooth.
- *Computador personal*: En un computador personal, se desarrolló un software de aplicación para la visualización gráfica y numérica, *en tiempo real*, de los valores de flujo de calor entregados por cada uno de los módulos del sistema de calorimetría directa (ver ANEXO A.3.3).

1.4 PROCESO DE SELECCIÓN DE LOS MÓDULOS BLUETOOTH

Inicialmente se creó una lista de fabricantes de módulos Bluetooth, con el fin de conocer sus productos y sus principales características. Se realizó una búsqueda exhaustiva en Internet, dando como resultado una lista con 35 fabricantes mostrados en la Tabla 1. Algunos fabricantes no se tomaron en cuenta en la selección debido a que no poseen una documentación completa de sus módulos, no están a la venta para particulares u ofrecían productos de otros fabricantes.



| | | |
|----------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| A7 Engineering | Corscience | Roving Networks |
| Abocom Systems Co. | Eikon | Samsung Electro-Mechanics Co. |
| Airlogic Co. | Ericsson | Siemens |
| ALPS Electric Co. | Free2move | Smart Modular Technologies |
| AvantWave | Gennum | Socket |
| Baracoda | Infineon Technologies | Sunitec Enterprise Co. |
| BlueGiga Technologies Inc. | Initium | Taiyo Yuden |
| Blueradios | Kcwirefree | TDK Systems |
| Broadcom | Microlink Electric Co. | Uniwill Computer Corp. |
| CC&C Technologies Inc. | Mitsumi | Windigo Systems |
| C-COM corporation | National Semiconductors | |
| Collex Communication Corp. | Oki | |
| ConnectBlue | RFsolutions | |

Tabla 1: Lista de fabricantes de módulos Bluetooth

De los módulos de cada fabricante, se obtuvieron las siguientes especificaciones:

- Referencia o nombre del Módulo
- Versión de Bluetooth
- Clase (alcance de transmisión/recepción)
- Dimensiones
- Voltaje de operación
- Consumo de corriente máxima
- Sensibilidad de recepción típica
- Velocidad de transmisión de datos (*data rate*)
- Controlador Bandabase o *chipset* Bluetooth utilizado
- Perfiles soportados



Las principales características de los módulos ofrecidos por cada fabricante se encuentran en el [ANEXO E](#).

Para cumplir con las características de diseño presentadas en el [numeral 1.1](#) es necesario que el módulo Bluetooth encargado de la transmisión de los datos, provenientes de cada módulo del sistema de calorimetría, cumpla principalmente con los siguientes requisitos:

- Voltaje operación de 3,7 V, el cual implica disminución de la potencia de alimentación, y por tanto, mayor duración de funcionamiento de la batería que energiza todo el sistema implementado.
- Interfaz de comunicación serial: el módulo Bluetooth debe ser capaz de comunicarse con otro dispositivo, esencialmente un microcontrolador, por medio de una interfaz serial (UART).
- Es indispensable que se pueda usar en aplicaciones embebidas: los módulos Bluetooth deben tener la capacidad de procesar y transmitir los datos de manera autónoma, es decir, que no requieran la intervención de sistemas externos para su funcionamiento.
- Tamaño reducido: es necesario que los módulos ocupen la menor área posible al instalarse sobre los módulos del sistema de calorimetría. Esta característica sugiere que el módulo Bluetooth esté diseñado con una antena integrada, en lo posible, en montaje superficial.
- Soporte el Perfil de Puerto Serial (SPP).

Por lo tanto, una primera clasificación de fabricantes que ofrecen módulos Bluetooth con las anteriores características son:

- A7 engineering
- Baracoda
- Bluegiga



- Blueradios
- ConnectBlue
- Corscience
- Eikon
- Free2move
- KCwirefree
- Mitsumi
- Roving Networks

Como segunda etapa en la selección, se estudian un poco más a fondo las funcionalidades que puede tener un módulo Bluetooth para aplicaciones embebidas. Se encontró que algunos fabricantes ofrecen sistemas de desarrollo y de evaluación ([ver ANEXO A.1.3.3](#)) con algunas funciones tales como configuración interna de los módulos, evaluación de puertos de entrada y salida, e incluso manipulación y programación de la pila de protocolos de Bluetooth, entre otros. De acuerdo a esto, se decidió escoger los fabricantes que ofrecen algunos sistemas para la configuración de, al menos, los principales parámetros de funcionamiento del módulo, ya que estas funcionalidades permiten profundizar en el conocimiento del funcionamiento de un dispositivo Bluetooth para fines académicos. Los fabricantes escogidos fueron las siguientes:

- Baracoda
- Bluegiga
- Blueradios
- ConnectBlue
- Corscience
- Eikon
- Free2move
- KCwirefree
- Roving Networks



Cada fabricante se contactó vía e-mail para despejar dudas relacionadas con detalles de compra y envío, detalles técnicos que en los documentos encontrados en Internet no mostraban, entre otros. Algunas de estos fabricantes mostraron los siguientes inconvenientes: no tienen distribuidores que hagan llegar sus productos a Colombia (Roving Networks) o no respondieron a las inquietudes planteadas (Baracoda, KCwirefree y ConnectBlue). Por tal motivo los fabricantes preseleccionados para la compra del módulo Bluetooth son los siguientes:

- Bluegiga
- Corscience
- Blueradios
- Eikon
- Free2move

La

Tabla 2 muestra un resumen de las ventajas y desventajas de los productos ofrecidos por los anteriores fabricantes.



| Parámetros de Comparación | Bluegiga | Corscience | Blueradios | Eikon | Free2move |
|--|---|---|--|--|--|
| <i>Sistema disponible</i> | Tarjeta de evaluación y software de configuración | Tarjeta de evaluación y software de configuración | Tarjeta de evaluación y software de configuración | Tarjeta de evaluación y software de configuración | Tarjeta de evaluación y software de configuración. |
| <i>Número de módulos por sistema</i> | Un módulo | Un módulo | Dos módulo | - | 5 módulos |
| <i>Conectividad del módulo</i> | No posee conector | No posee conector | Solamente el módulo BR-SC30A posee conector | No posee conector | Cada módulo está sobre una tarjeta con un conector para fácil montaje y desarrollo de pruebas con la tarjeta de evaluación |
| <i>Características funcionales del software de configuración y la tarjeta de evaluación o desarrollo</i> | Es una tarjeta de evaluación que permite la configuración de parámetros Bluetooth y del puerto serial y además actualización del firmware. Para cada módulo es necesaria una tarjeta de evaluación. | Permite el desarrollo y a su vez evaluación del módulo por medio de comandos AT. Para cada módulo es necesaria una tarjeta de desarrollo. | Permite el fácil ajuste de parámetros Bluetooth y parámetros del puerto serial de cada módulo por medio de una interfaz gráfica. También proporciona una configuración por medio de comandos AT. | Permiten la actualización del firmware y fácil configuración de algunos parámetros Bluetooth (nombre y dirección) y ajuste de los parámetros del puerto serial para ciertos módulos por medio de una interfaz gráfica. | Permiten la actualización del firmware y fácil configuración de algunos parámetros Bluetooth (nombre del módulo, tipo de operación, seguridad, periodo y duración de la ventana de escaneo para los procedimientos de búsqueda y conexión, ahorro de |



| | | | | | |
|--------------------------------------|--|---|---|--|--|
| | | | | La actualización del firmware puede ser realizada por el usuario pero es necesario solicitarla vía e-mail al fabricante para su envío. | potencia, características para audio entre otras) y fácil ajuste de los parámetros del puerto serial de cada módulo por medio de una interfaz visual. La actualización del firmware es exclusiva del fabricante. |
| <i>Costo total de la adquisición</i> | Ningún de los distribuidores proporcionaron la información | 89 euros cada módulo y 400 euros cada sistema de desarrollo. No proporcionaron información del costo del envío. | 100 dólares cada módulo y 400 dólares cada sistema de evaluación. El costo del envío es de 50 dólares | 69 euros cada módulo y 299 euros el sistema de desarrollo. El costo del envío es de 67 dólares. | 555 dólares el sistema de evaluación. El costo del envío es de 68 dólares. |

Tabla 2: Comparación de las características que presentan los productos preseleccionados



De los anteriores, el sistema proporcionado por *Free2move*, mostrado en la Figura 3 fue el que más se ajustó a los propósitos del presente proyecto debido principalmente a:

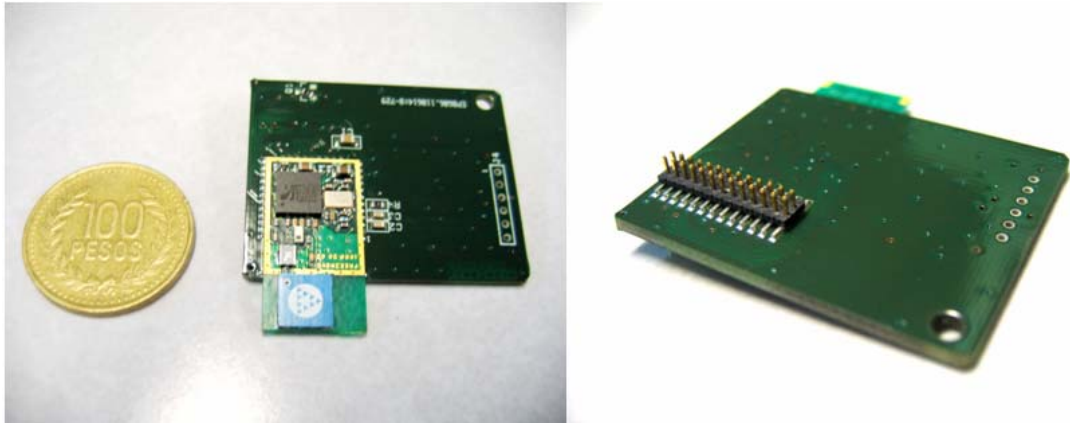
- Número de módulos Bluetooth incluidos en el sistema (5 módulos F2M03AC2).
- Funcionalidad de los módulos, ya que cada uno de ellos son ensamblados sobre una tarjeta OEM (ver Figura 4).
- La tarjeta de evaluación permite modificar los parámetros de la comunicación serial de cada módulo Bluetooth y configurar las principales características de conexión tales como tipo de dispositivo (maestro o esclavo), tiempos de ejecución de sub-estados, criterios de seguridad y encriptación, entre otros.
- El costo total de adquisición del sistema con las anteriores características es menor en comparación con las demás fabricantes.



Fuente: los autores

Figura 3: Sistema de evaluación Free2move





Fuente: los autores

Figura 4: Módulos F2M03AC2 de Free2move

| | |
|------------------------------------|---|
| Protocolo de comunicaciones | Bluetooth 1,1; Perfil de Puerto Serial |
| Tamaño | 38 x 30 x 3 mm |
| Sensibilidad | -85 dBm |
| Interface (estándar) | Interfaz serial; 8 analógicos y 2 I/O digitales |
| UART | Funcionalidad UART sin protocolos extra |
| Tensión de alimentación | 3,6 V |
| Potencia | Disponibles modos de bajo consumo de potencia |
| Headset | Disponible; interfaz PCM hasta 3 canales de voz simultáneas |
| Potencia de transmisión | Hasta 4 dBm (Bluetooth clase 2) |
| Rango de comunicación | 30 m nominal |

Tabla 3: Especificaciones técnicas generales del módulo F2M03AC2 de Free2move

Toda la información sobre el módulo OEM F2M03AC2, detalles técnicos del módulo, información general sobre la tarjeta de evaluación y manual de usuario del Software de Configuración Free2move se encuentra en el [ANEXO F](#).

1.5 PROCESO DE SELECCIÓN DEL ADAPTADOR BLUETOOTH

Para seleccionar el adaptador Bluetooth, se tomaron en cuenta principalmente dos criterios:

- Interfaz USB
- Compatible con el Microsoft Bluetooth Driver, incluido en las actualizaciones del Windows XP Service Pack 2.

En la actualidad, los adaptadores Bluetooth con interfaz serial RS232 o similares, son muy escasos y están limitados a utilizarse bajo circunstancias innecesarias en el presente proyecto. Además, la interfaz USB es ampliamente utilizada por la mayoría de los adaptadores Bluetooth debido principalmente a que soporta altas velocidades, bajo consumo de potencia y capacidad *plug-and-play* (conectar y utilizar sin reiniciar el sistema). Por tanto, se sugirió la adquisición de un adaptador Bluetooth con interfaz USB.

Por otra parte, fue necesario adquirir un adaptador Bluetooth que pudiera instalarse con el *Microsoft Bluetooth Driver* incluido en las actualizaciones del Windows XP Service Pack 2, con el fin de cumplir con los requerimientos del software de visualización de los datos del sistema de calorimetría, explicado en el siguiente capítulo.

Finalmente, se efectuó una investigación sobre adaptadores Bluetooth en el mercado internacional (mediante Internet) que cumplieran con las anteriores características. Se observó que los fabricantes de adaptadores Bluetooth examinados no tenían la documentación suficiente que garantizara el adecuado funcionamiento del adaptador Bluetooth bajo el Microsoft Bluetooth Driver. Por lo tanto, se realizó una búsqueda del dispositivo en el mercado local, con la posibilidad de comprobar de manera práctica el funcionamiento acorde a las necesidades del proyecto. De esta manera, se logró hallar únicamente el MSI BToes USB dongle (ver Figura 5), al cual se realizaron pruebas de funcionamiento con el Microsoft Bluetooth Driver, obteniendo satisfactorios resultados.





Fuente: los autores

Figura 5: Adaptador Bluetooth de MSI

El adaptador MSI posee las principales características de funcionamiento:

- Soporta USB 2.0.
- Soporta Bluetooth 2.0 y versiones anteriores.
- Transmisor Clase 2 (alcance de 10 m)

Toda la información sobre el adaptador adquirido se encuentra en el [ANEXO G](#).

1.6 SELECCIÓN DE SOFTWARE PARA LA MONITORIZACIÓN

Para el desarrollo de la interfaz de visualización de los datos del sistema de calorimetría, se utilizó LabVIEW 7.1, de National Instruments, debido principalmente a las siguientes razones:



- La Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander cuenta con licencias para el uso legal del software.
- Es un software especializado en el tratamiento y visualización de señales *en tiempo real*, provenientes de tarjetas de adquisición de datos.
- La programación de la aplicación requerida para cumplir con los objetivos del proyecto es amigable y sencilla.
- Contiene librerías con funciones especializadas para desarrollar algoritmos de conexión entre dispositivos Bluetooth, que funcionan bajo el Microsoft Bluetooth Driver, incluido en las actualizaciones del Windows XP Service Pack 2. Esto permite utilizar los servicios Bluetooth que ofrece el PC desde las aplicaciones creadas en LabVIEW, sin necesidad de activar dichos servicios desde el sistema operativo.
- Se encontraron antecedentes de LabVIEW en aplicaciones de telemetría y transporte de datos utilizando Bluetooth[16][19].

1.7 CRITERIOS PARA EL DISEÑO DEL SOFTWARE DE MONITORIZACIÓN

El software para la visualización de los datos provenientes del sistema de calorimetría se diseñó pensando en la comodidad y facilidad de manejo para un usuario final. Para este fin, se establecieron las siguientes características de uso:

- Se deben visualizar datos de flujo de calor y temperatura de manera simultánea.
- Debe permitir la conexión y lectura de varios módulos de medición de manera rápida y simultánea.



- El software debe discriminar el tipo de sensor conectado (calor o temperatura)
- El usuario es quien decide la ubicación del sensor en el cuerpo del paciente.
- En caso que algún módulo Bluetooth no funcione adecuadamente, el usuario puede utilizar un módulo Bluetooth de otro sensor del mismo tipo de medición.
- El usuario configure el sistema sólo cuando se adicionan nuevos módulos de medición.
- La visualización de los datos se realice en forma numérica y gráfica.



2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN

En este capítulo se describe la configuración de los elementos que comprenden el sistema de monitorización para su óptimo desempeño, es decir, la configuración de las características de transmisión de datos de los módulos y del adaptador Bluetooth, la estructura del software de visualización y el ensamble de todo el sistema.

2.1 CONFIGURACIÓN DE LOS MÓDULOS BLUETOOTH

Mediante una herramienta que comprende hardware y software, los principales parámetros de cada módulo Bluetooth pueden modificarse según la necesidad del usuario ([ver ANEXO F](#)); en el caso del presente proyecto, los módulos Bluetooth están configurados para cumplir las siguientes características:

- Configuración de puerto serial:
 - Rata de Baudios: 9600
 - Paridad: ninguna
 - Bits de datos: 8
 - Bits de parada: 1
 - Control de Flujo: encendido

- Modo de dispositivo: esclavo.
- Modo de seguridad: sin autenticación, aceptando todas las unidades en el radio de cobertura.
- Los parámetros de la configuración avanzada se establecen por defecto.



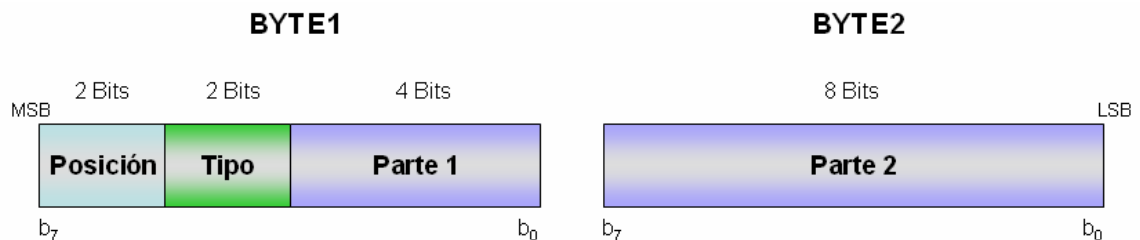
La velocidad de transmisión del puerto serial escogido es de 9600 Baudios debido a que los módulos de adquisición y digitalización de señales de flujo de calor están configurados para entregar datos a esa misma tasa.

2.2 CONFIGURACIÓN DEL ADAPTADOR BLUETOOTH

Debido a los requerimientos de Labview 7.1 en el desarrollo del software para la monitorización de los datos de calor, es necesario que el adaptador Bluetooth se instale con el *Microsoft Bluetooth Driver*, contenido en las actualizaciones del Windows XP Service Pack 2. Los parámetros del puerto de comunicaciones virtual (COM) creado en la instalación del adaptador, se establecen con los mismos valores utilizados en la configuración de puerto serial de los módulos Bluetooth, incluyendo la deshabilitación del modo de seguridad.

2.3 SOFTWARE DE MONITORIZACIÓN

Para desarrollar el software de monitorización fue necesario conocer la estructura de los datos enviados por los módulos de medición de flujo de calor y temperatura. Dicha estructura está formada por una trama de 2 bytes (Figura 6), debido a que el conversor analógico/digital utilizado en los módulos de medición tiene una resolución de 12 bits y además la transmisión serial de datos permite el intercambio de paquetes de máximo 8 bits.



Fuente: los autores

Figura 6: Estructura de los datos transmitidos al PC

El campo ‘*Posición*’ consta de dos bits e indica la posición del sensor en un lugar del cuerpo del paciente, definido por el usuario mediante dos interruptores, como lo muestra la Figura 7:

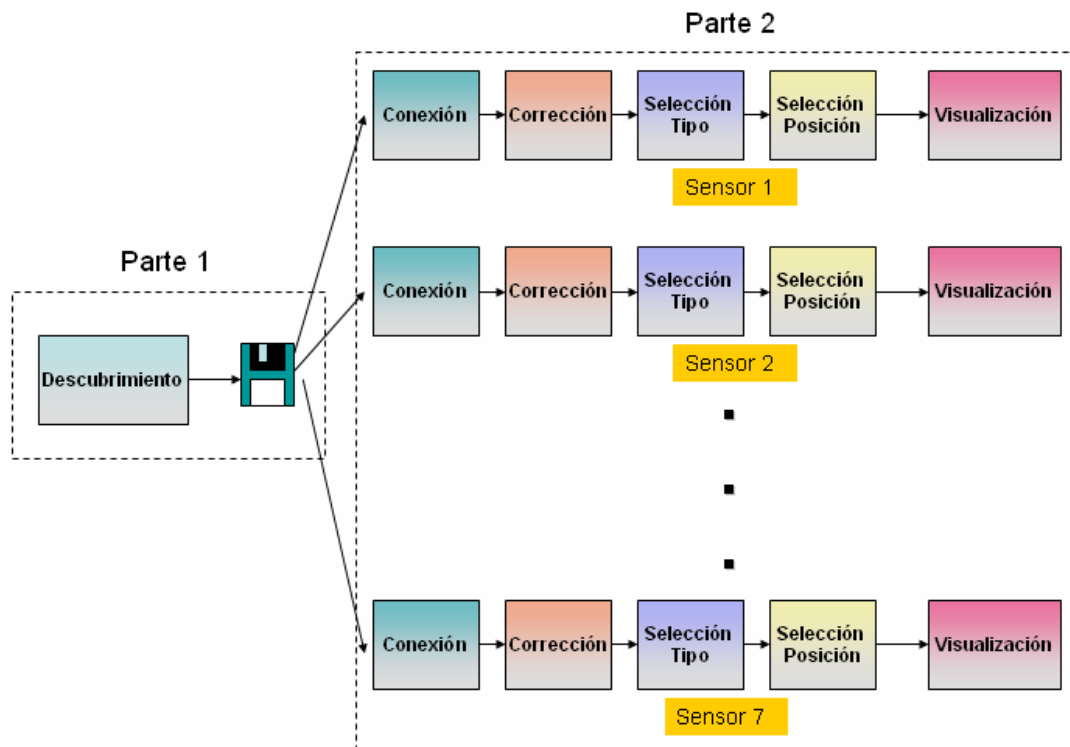


Fuente: los autores

Figura 7: Interruptores para la posición del sensor

El campo ‘*Tipo*’ indica el tipo de sensor utilizado mediante dos bits (‘00’ si es el sensor de calor ó ‘11’ si es el de temperatura). El campo ‘*Parte 1*’ (4 bits menos significativos del primer byte) constituyen los 4 bits más significativos del dato correspondientes a la medición de calor o de temperatura. El campo ‘*Datos 2*’, perteneciente al segundo byte, está conformado por el resto de bits que hacen falta para completar los 12 bits correspondientes a cada medición.

Para cumplir con los requisitos mencionados en la [sección 1.7](#), fue necesario que el software se desarrollara bajo el esquema mostrado en la Figura 8 :



Fuente: los autores

Figura 8: Estructura del software de visualización

El sistema está compuesto por dos partes: la primera parte consiste en un software para el descubrimiento de dispositivos Bluetooth y la segunda parte consiste en el software para la conexión, el reconocimiento del tipo y posición de cada sensor y la visualización de los datos transmitidos por los módulos de adquisición de datos.

El descubrimiento de dispositivos Bluetooth permite almacenar el BD_ADDR ([ver ANEXO B.2.2](#)) de los módulos de medición que se desean visualizar. Este descubrimiento es realizado de la siguiente manera: cuando se activa el programa, una lista de dispositivos Bluetooth que se encuentran dentro del radio de cobertura es desplegado en una lista, donde se observa el nombre del dispositivo y la dirección Bluetooth del mismo. Los dispositivos a los que se desea realizar la lectura de datos se seleccionan (hasta 7 dispositivos), y la dirección de cada uno de ellos se almacena en un archivo de texto, guardado en la memoria del PC. La aplicación

correspondiente al descubrimiento de dispositivos se encuentra en el archivo 'DESCUBRIMIENTO' del ANEXO I.



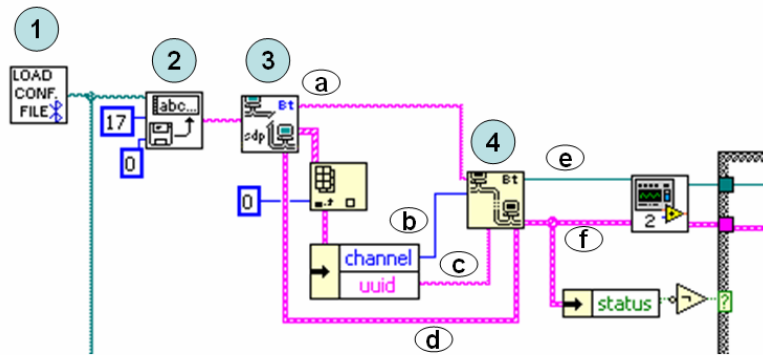
Fuente: los autores

Figura 9: Estructura del programa de descubrimiento de dispositivos

El software para la visualización de los datos está constituido de las siguientes etapas:

- El bloque 'conexión' contiene el algoritmo de establecimiento de conexión de dispositivos Bluetooth (Figura 10). Este algoritmo toma la dirección almacenada en el archivo de texto y establece el enlace Bluetooth con el dispositivo que posee dicha dirección. Este procedimiento se realiza de la siguiente manera: un algoritmo (1 y 2) identifica la ruta de acceso del archivo donde fueron almacenados los datos del proceso de descubrimiento de dispositivos y entrega la dirección de dispositivo Bluetooth (BD_ADDR), correspondiente al sensor que se desea conectar, al bloque de descubrimiento de servicios Bluetooth (3). Este bloque entrega al bloque de apertura de conexión Bluetooth (4) los datos necesarios para realizar una conexión: la BD_ADDR (a), un canal de comunicación (b), un número de identificación único de servicio (c) y un indicador de error (d) que muestra el estado del descubrimiento de servicios Bluetooth. Cuando la conexión se efectúa, el bloque de apertura de conexión Bluetooth (4) envía la identificación de la conexión realizada (e) y un indicador de error (f), que muestra el estado de conexión del dispositivo Bluetooth ('falso' si la conexión es realizada), para comenzar la lectura de los datos transmitidos desde los sensores de flujo de calor y temperatura.

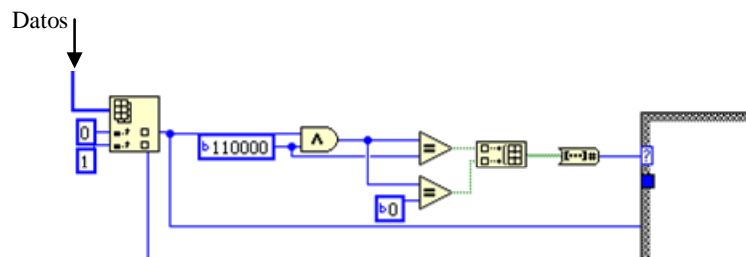




Fuente: los autores

Figura 10: Algoritmo de conexión Bluetooth

- El bloque ‘corrección’ consiste en una aplicación que permite corregir el orden de lectura de los bytes correspondientes a un dato de calor o temperatura (ver sección 3.2).
- El bloque ‘Selección Tipo’ (Figura 11) permite distinguir el tipo de sensor que ha establecido el enlace Bluetooth, realizando la comparación de los dos bits del campo ‘Tipo’ en el dato de calor o temperatura enviados por los módulos de medición. Con el resultado de la comparación, se activa el algoritmo de visualización de datos de calor o de temperatura, según el caso.



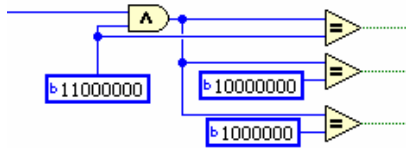
Fuente: los autores

Figura 11: Algoritmo de selección de tipo de sensor

- El bloque ‘Selección Posición’ (Figura 12) permite identificar la posición del sensor seleccionado, realizando la comparación de los dos bits correspondientes al campo ‘Posición’ en el dato de calor o temperatura enviados por los módulos de medición. El algoritmo de selección de posición,



para cada tipo de sensor, está basado en el software de visualización de datos de temperatura desarrollado en un proyecto [21] al interior de CEMOS.



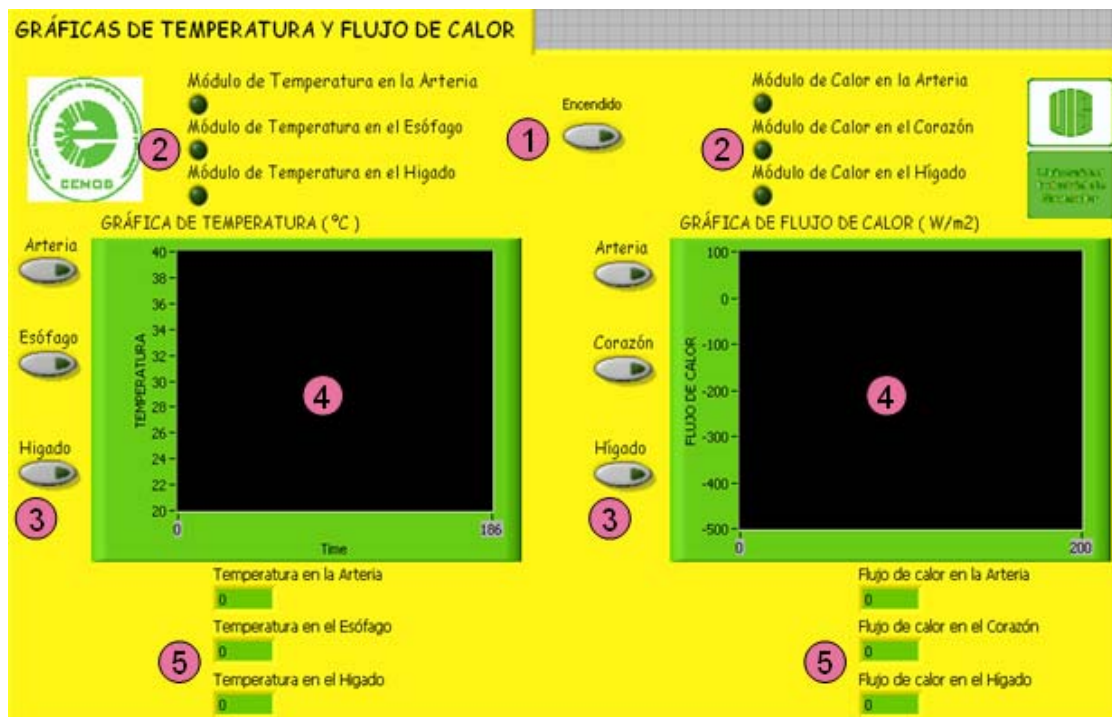
Fuente: los autores

Figura 12: Algoritmo de selección de tipo de sensor

- El bloque ‘Visualización’ permite visualizar el valor numérico de calor o temperatura, proporcionado por el correspondiente módulo de medición, y graficarlo en función del tiempo de medición transcurrido. El algoritmo de visualización, para cada tipo de sensor, está basado en el software de visualización de datos de temperatura [21] y de calor [9], proyectos desarrollados al interior de CEMOS.

La ventana de trabajo del software para la monitorización de los datos provenientes del sistema de calorimetría (Figura 13) está compuesta por las siguientes partes: encendido del sistema (1), indicadores que permiten ver los sensores activos según su localización en el cuerpo (2), controles para la visualización de los datos en la pantalla correspondiente al tipo de sensor (3), pantalla de visualización de datos (4) e indicadores numéricos de los datos correspondientes a cada sensor (5). La aplicación correspondiente a la visualización de los datos del sistema de calorimetría directa se encuentra en el archivo ‘RED DE SENSORES’ del [ANEXO I](#).





Fuente: los autores

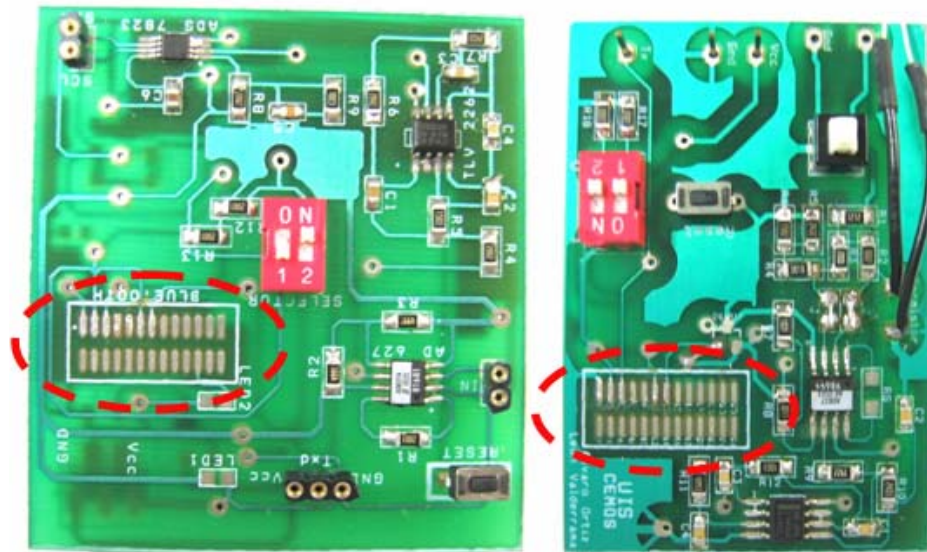
Figura 13: Ventana de trabajo del software de monitorización

Para la correcta operación de las aplicaciones correspondientes al descubrimiento de dispositivos Bluetooth y de visualización de los datos del sistema de calorimetría directa se recomienda leer la guía rápida de instalación y operación del sistema de monitorización (ver ANEXO J).

2.4 ENSAMBLE DEL SISTEMA

Cada módulo Bluetooth es ensamblado a su correspondiente módulo de adquisición y digitalización de señales de flujo de calor [9] o temperatura [21] según la distribución de entradas / salidas mostrada en la parte c de la Figura 14.

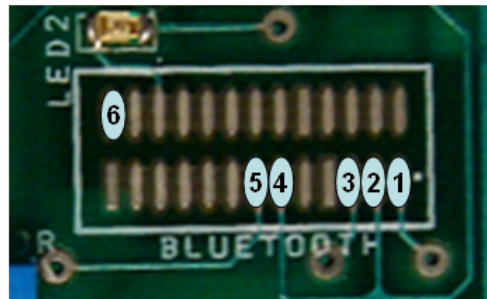




a)

b)

- 1) GND.
- 2) Vcc.
- 3) Tx.
- 4) Vcc (CTS).
- 5) Reset.
- 6) LED.



c)

Fuente: los autores

Figura 14: a) Tarjeta de adquisición de datos de flujo de calor; b) Tarjeta de adquisición de datos de temperatura; c) Distribución de entradas / salidas del módulo Bluetooth

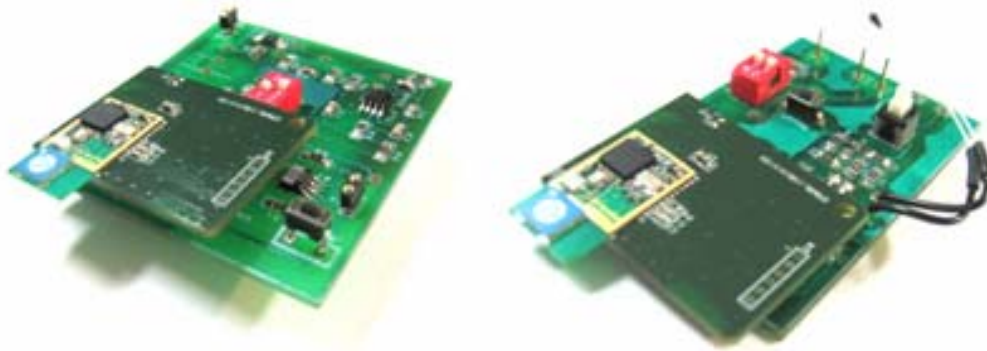
Una de las salidas digital del módulo entrega una señal al módulo de adquisición y digitalización de señales de flujo de calor para activar ó desactivar un LED que indica cuando el enlace entre el módulo y el PC esté ó no establecido respectivamente.

El *EconoReset* DS1817 (ver ANEXO H) usa una referencia de temperatura y un circuito comparador que monitoriza el funcionamiento de la fuente de alimentación.



Este dispositivo es incorporado en el circuito (Figura 14c, pin 5) conforme a recomendaciones dadas por el fabricante de los módulos Bluetooth.

Finalmente, los módulos Bluetooth son ensamblados sobre las tarjetas de adquisición de datos de flujo de calor y temperatura (Fuente: los autores Figura 15) mediante conectores CLP - 113 - 02 - G - D, fabricados por Samtec (www.samtec.com).



Fuente: los autores

Figura 15: Módulos Bluetooth ensamblados a tarjetas de adquisición de datos de flujo de calor (izquierda) y de temperatura (derecha)

3. PRUEBAS Y RESULTADOS

Este capítulo explica las pruebas realizadas en laboratorio, con el fin de comprobar el correcto funcionamiento del sistema bajo diferentes condiciones. La primera prueba permitió identificar el consumo de potencia de la transmisión de los datos, con el fin de estimar el tiempo de funcionamiento de las baterías que alimentan todo el sistema. La siguiente prueba realizada permitió confirmar la fiabilidad de transmisión de datos. Por último, se realizó la prueba definitiva del funcionamiento del sistema de monitorización completo, con el fin de evaluar el desempeño del mismo en condiciones normales de funcionamiento.

Todos los programas utilizados para la realización de las pruebas fueron desarrollados sobre LabVIEW 7.1, de National Instruments, y los archivos pertenecientes a cada programa de encuentran en el [ANEXO I](#).

3.1 MEDICIÓN DE LA POTENCIA DE ALIMENTACIÓN EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA

OBJETIVO

Estimar la duración de la batería del sistema de calorimetría directa en función de la distancia.

DESCRIPCIÓN

Conociendo las características del sistema de calorimetría, se mide el consumo de corriente del módulo Bluetooth, a una tasa de Baudios fija (9600 bps), a diferentes distancias entre transmisor y receptor.



PROCEDIMIENTO

- Se ejecuta el software de visualización del sistema de calorimetría directa y se realiza la conexión Bluetooth entre uno de los módulos de medición y el PC. Los datos correspondientes al flujo de calor ó temperatura de dicho módulo deben ser visualizados en el PC.
- Se realiza la medición de corriente de alimentación del módulo Bluetooth cada 100 cm, en un ambiente libre de obstáculos, hasta la interrupción del enlace.
- Se realiza el procedimiento anterior en ambientes con obstáculos.

RESULTADOS

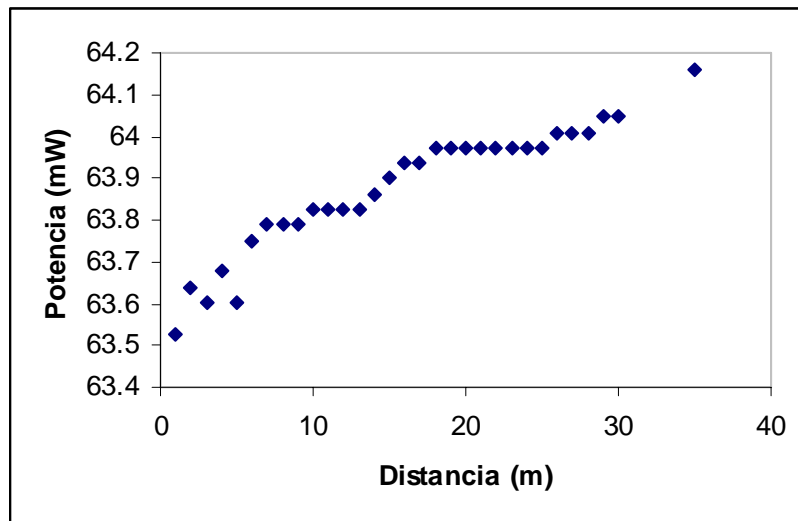
Esta prueba se realizó en dos fases: La primera fase consistió en la medición de la corriente de alimentación del módulo Bluetooth en espacio abierto (línea de vista). La Tabla 4 muestra el valor de corriente y potencia para diferentes distancias (promedio de tres pruebas realizadas) y la Figura 16 muestra el valor de potencia de alimentación en función de la distancia entre el transmisor y receptor.



| DISTANCIA (m) | CORRIENTE (mA) | POTENCIA (mW) |
|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 | 17.17 | 63.529 |
| 2 | 17.2 | 63.64 |
| 3 | 17.19 | 63.603 |
| 4 | 17.21 | 63.677 |
| 5 | 17.19 | 63.603 |
| 6 | 17.23 | 63.751 |
| 7 | 17.24 | 63.788 |
| 8 | 17.24 | 63.788 |
| 9 | 17.24 | 63.788 |
| 10 | 17.25 | 63.825 |
| 11 | 17.25 | 63.825 |
| 12 | 17.25 | 63.825 |
| 13 | 17.25 | 63.825 |
| 14 | 17.26 | 63.862 |
| 15 | 17.27 | 63.899 |
| 16 | 17.28 | 63.936 |
| 17 | 17.28 | 63.936 |
| 18 | 17.29 | 63.973 |
| 19 | 17.29 | 63.973 |
| 20 | 17.29 | 63.973 |
| 21 | 17.29 | 63.973 |
| 22 | 17.29 | 63.973 |
| 23 | 17.29 | 63.973 |
| 24 | 17.29 | 63.973 |
| 25 | 17.29 | 63.973 |
| 26 | 17.3 | 64.01 |
| 27 | 17.3 | 64.01 |
| 28 | 17.3 | 64.01 |
| 29 | 17.31 | 64.047 |
| 30 | 17.31 | 64.047 |
| 35 | 17.34 | 64.158 |
| 39 | Desconexión | Desconexión |

Tabla 4: Corriente y potencia en función de la distancia en línea de vista





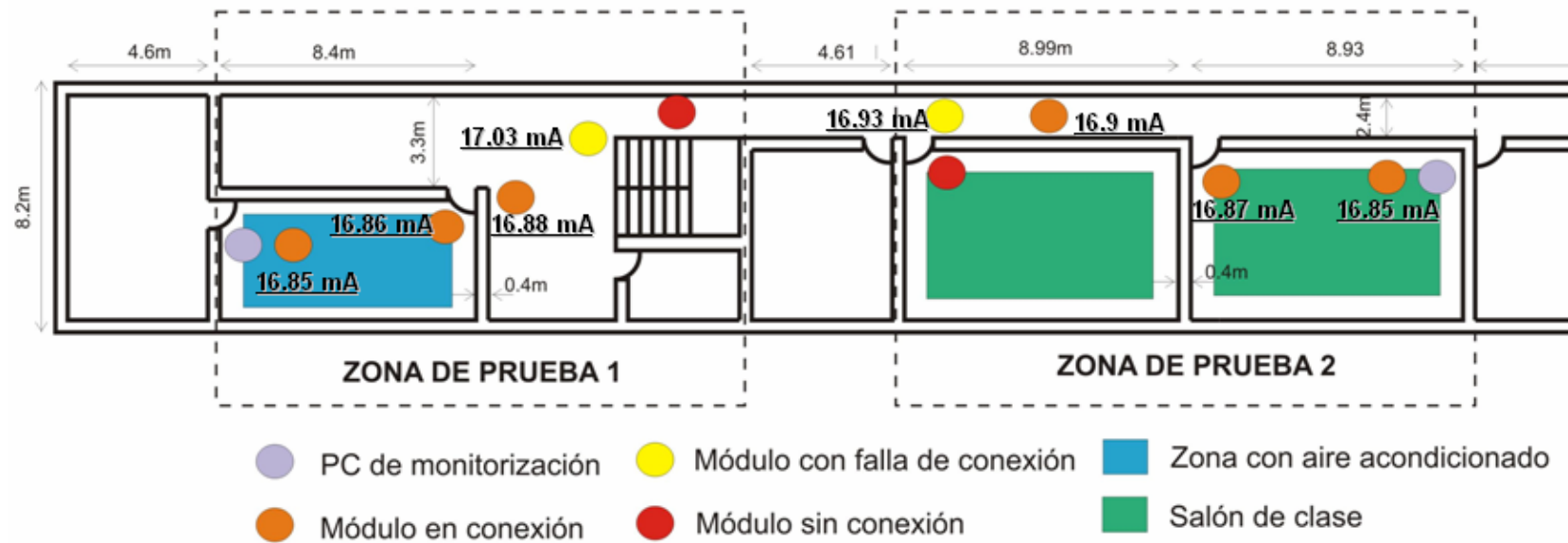
Fuente: los autores

Figura 16: Potencia de alimentación en función de la distancia en línea de vista

Como prueba adicional a esta fase, se interrumpió el enlace Bluetooth a 30 metros entre el transmisor y receptor, reanudando luego la conexión a esa misma distancia de manera satisfactoria.

La segunda fase consistió en la medición de la corriente de alimentación del módulo Bluetooth en espacio con obstáculos. Para ello, se contó con tres diferentes lugares con ambientes de oficina, con su respectivo personal y equipos en funcionamiento. En las siguientes figuras se muestran la ubicación donde se realizó la medición con sus respectivos valores de corriente.

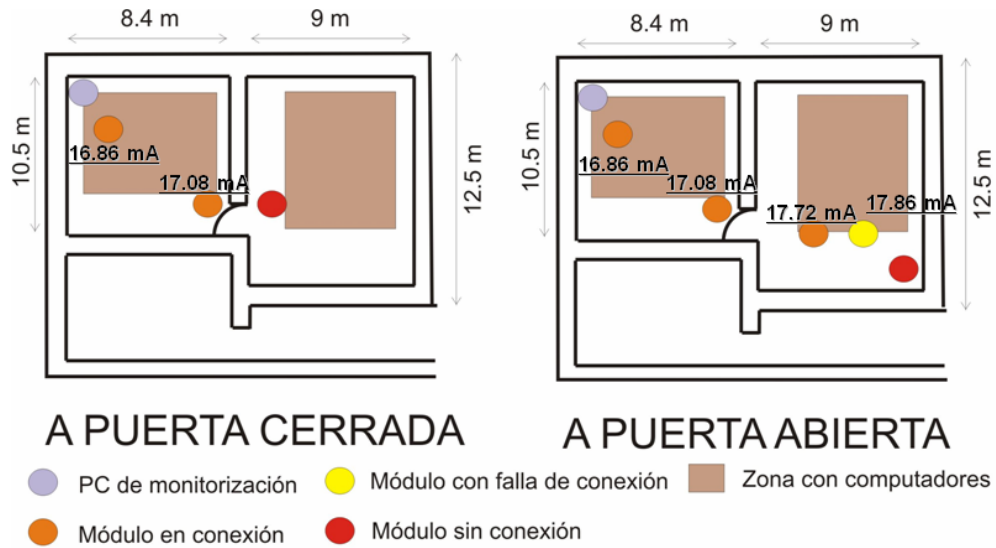




Fuente: los autores

Figura 17: Zona 1 y 2 de pruebas en ambientes con obstáculos





Fuente: los autores

Figura 18: Zona 3 de pruebas en ambientes con obstáculos

| ZONAS DE PRUEBA | Corriente máxima (mA) | Potencia máxima (mW) |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| Zona 1 | 17.03 | 63.01 |
| Zona 2 | 16.93 | 62.64 |
| Zona 3 puerta abierta | 17.08 | 63.09 |
| Zona 3 puerta cerrada | 17.86 | 66.08 |

Tabla 5: Corriente y potencia máxima de alimentación en zonas de prueba con obstáculos

3.2 COMPROBACIÓN DE ERRORES EN TRANSMISIÓN DE DATOS

OBJETIVO

Comparar la fiabilidad en la transmisión inalámbrica, mediante Bluetooth, con la transmisión serial por cable RS-232 de los datos del sistema de calorimetría directa.



DESCRIPCIÓN

Se comparan los bits de datos, provenientes del sistema de calorimetría directa, transportados mediante el cable serial RS-232 con los bits de datos transportados mediante un enlace inalámbrico Bluetooth.

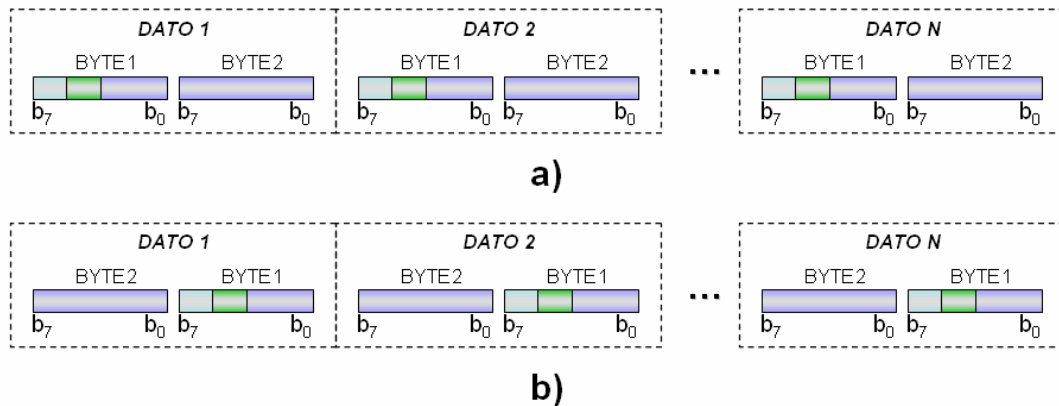
PROCEDIMIENTO

- Uno de los módulos del sistema de calorimetría directa debe estar conectado al PC mediante el cable serial RS-232 y debe tener habilitado el módulo Bluetooth, con el fin de realizar el transporte de los datos de manera cableada e inalámbrica, al mismo tiempo.
- Se ejecuta el software diseñado para esta prueba.

RESULTADOS

Antes de proceder con la prueba comparativa entre las interfaces RS-232 y Bluetooth, se observó, mediante una aplicación que permite leer (en tiempo real) los bytes que son transmitidos por los módulos Bluetooth en los sensores (Figura 19a), que en ocasiones los bytes correspondientes a la información de los sensores eran leídos por el PC de manera errónea, es decir, el byte menos significativo era reconocido como el más significativo y viceversa (Figura 19b).





Fuente: los autores

Figura 19: Datos de flujo de calor o temperatura leídos por el PC
a) Datos leídos en forma correcta, b) Datos leídos en forma errónea.

Este fenómeno se produjo tanto en comunicación serial por cable como mediante Bluetooth, y la causa es descrita como sigue: para que el software de visualización diseñado realizara la lectura de los datos, es necesario que los sensores sean encendidos antes de activar el software; dicho procedimiento permite el envío de datos desde los sensores al PC antes de comenzar la lectura y, por tanto, el software de visualización reconoce el primer byte que recibe como el más significativo, sin diferenciar si corresponde realmente al mismo.

Para corregir la lectura errónea de los datos, se realizaron algunas propuestas, tales como:

- La utilización de la salida digital PIO 3 del módulo Bluetooth ([Ver ANEXO F](#)) para activar la adquisición de datos en el mismo momento de la realización del enlace Bluetooth. Para ello, es necesario que la salida PIO 3 del módulo Bluetooth estuviera conectado al microcontrolador del módulo de adquisición de datos, encargado de la conversión de los datos I2C a SCI, el cual debiera estar adecuadamente programado para activar el envío de datos en el momento de conexión con el PC.

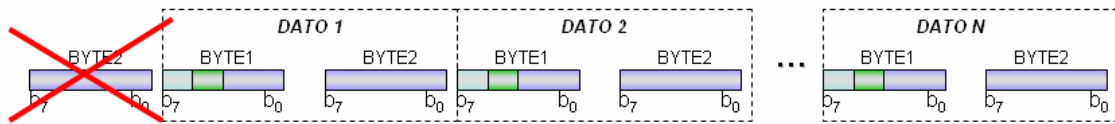
- Programar el microcontrolador de los módulos de adquisición de datos de tal manera que permitiera colocar un bit de identificación a cada byte transmitido, con el fin que el software de visualización realizara el reconocimiento y la organización de dichos bytes. Esta propuesta presenta como principal inconveniente, la utilización de bits adicionales para la identificación, obligando a que los datos correspondientes a la medición sean transportados sobre tres bytes, o en su defecto, eliminar los dos bits menos significativos del dato de medición, con el fin de conservar el transporte sobre 2 bytes, disminuyendo la resolución del mismo a 10 bits.

Finalmente, se optó por realizar una aplicación (sub VI) que permitiera identificar, de manera estadística, si el primer byte leído realmente corresponde al más significativo, teniendo en cuenta que los bits b_0 y b_1 del byte menos significativo (BYTE2), que corresponden a los dos bits menos significativos de los datos de medición, cambian a mayor velocidad que los bits b_0 y b_1 del byte más significativo (BYTE1), puesto que estos últimos determinan variaciones de mayor rango en la señal medida, las cuales son menos probables. La aplicación desarrollada calcula numéricamente la suma de los cambios de los dos bits menos significativos de cada uno de los dos bytes de información durante las primeras N muestras, tal como se expresa en las ecuaciones (1) y (2):

$$CambiosBYTE1 = \sum_{n=1}^N (b_0(n) \oplus b_0(n-1) + b_1(n) \oplus b_1(n-1)) \quad (1)$$

$$CambiosBYTE2 = \sum_{n=1}^N (b_0(n) \oplus b_0(n-1) + b_1(n) \oplus b_1(n-1)) \quad (2)$$

De manera que si $CambiosBYTE1 > CambiosBYTE2$ se debe asimilar el BYTE2 como el más significativo, y la palabra se debe completar con el siguiente byte recibido (Figura 20). En caso contrario, se asume que BYTE1 y BYTE2 se recibieron en el orden correcto.

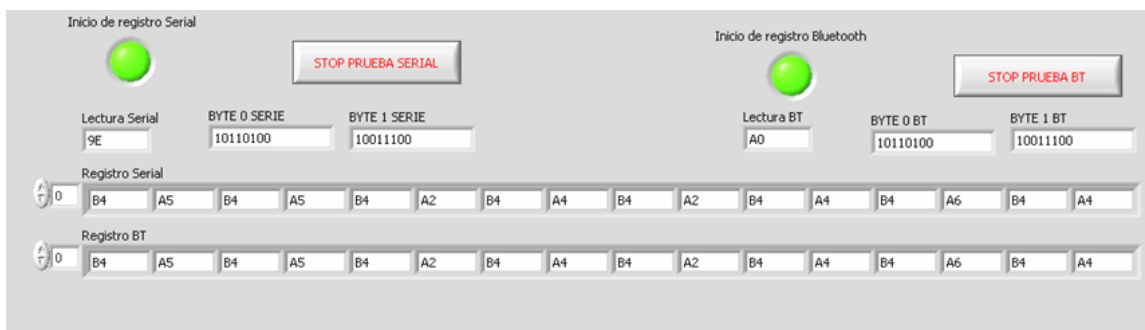


Fuente: los autores

Figura 20: Corrección del error en la lectura de los datos

Esta solución es más sencilla, en comparación con las dos propuestas anteriores, debido principalmente a que no implica manipulación de hardware y la aplicación se realizó en poco tiempo sin requerir muchos componentes ni procesos. La aplicación se puede observar de manera detallada en el archivo ‘CORRECCIÓN DE DATOS BLUETOOTH ’contenido en el [ANEXO I](#).

Con la aplicación de corrección de datos diseñada, se procedió a realizar la prueba de comparación de datos transmitidos por la interfaz cableada (RS-232) y la inalámbrica (Bluetooth). Para ello, se utilizó un sensor de temperatura con capacidad de transmisión de datos por medio de las dos interfaces, al mismo tiempo, y se diseñó una aplicación que registra en un vector, en tiempo real, la entrada de datos de cada interfaz a partir del cambio en la dirección física (interruptores) del módulo de adquisición de datos. La comparación de los datos se puede realizar de manera visual, como lo muestra la Figura 21:



Fuente: los autores

Figura 21: Imagen de comparación de datos RS-232 y Bluetooth

La aplicación de comparación de datos se puede observar de manera detallada en el archivo 'COMPARACIÓN DE BYTES' contenido en el [ANEXO I](#).

3.3 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN

OBJETIVO

Observar el funcionamiento del sistema de monitorización bajo condiciones normales de operación.

DESCRIPCIÓN

Se visualiza los datos provenientes de varios sensores del sistema de calorimetría directa mediante un PC con entorno gráfico especializado.

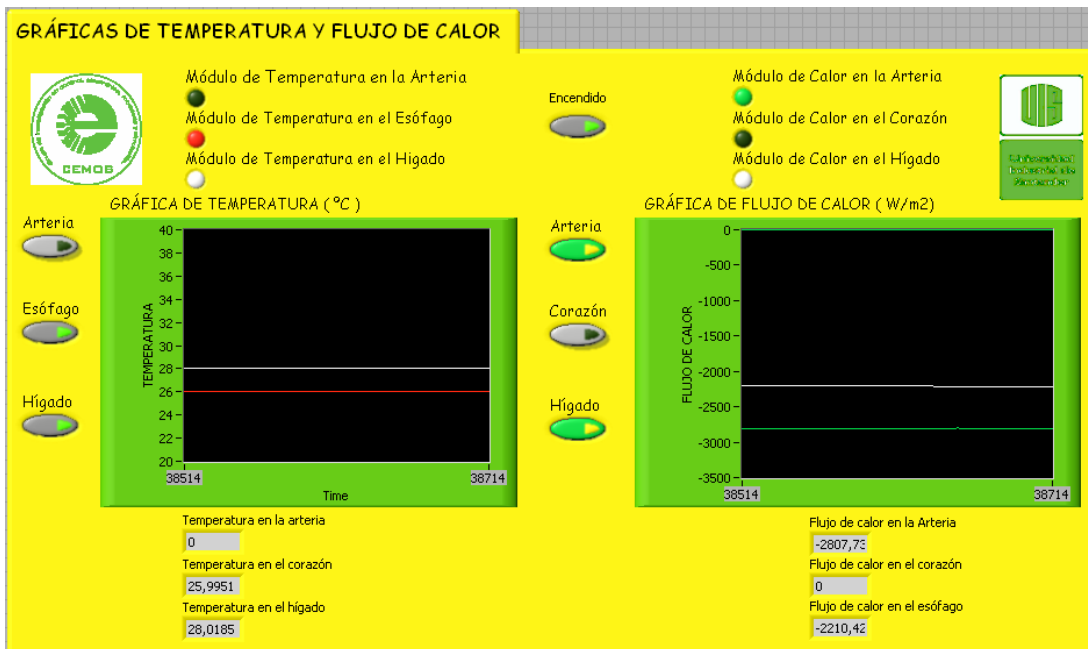
PROCEDIMIENTO

- Se ejecuta el software de visualización y se establece la red Bluetooth entre los componentes del sistema de calorimetría directa y el PC.
- Se observan los datos correspondientes a la medición de flujo de calor simulado provenientes del sistema de calorimetría directa.

RESULTADOS

Finalmente, se activa el funcionamiento de cuatro sensores disponibles y se visualizan, en tiempo real, sus respectivos valores numéricos por medio de una gráfica, como lo muestra la Figura 22. El software de visualización de los datos del sistema de calorimetría se encuentra en el archivo 'RED DE SENSORES' contenido en el [ANEXO I](#).





Fuente: los autores

Figura 22: Ventana de trabajo del software de visualización en funcionamiento



4. CONCLUSIONES

BLUETOOTH COMO INTERFAZ INALÁMBRICA

Bluetooth fue escogida como tecnología para el transporte de los datos del sistema de calorimetría directa principalmente por su gran difusión en el mercado y por la compatibilidad entre dispositivos de diferentes fabricantes; además posee un protocolo de comunicaciones robusto que garantiza la integridad en la transmisión asíncrona de los datos, la cual fue utilizada para el presente proyecto, y la implementación del hardware Bluetooth se realiza de manera muy sencilla.

BASE BIBLIOGRÁFICA SOBRE BLUETOOTH

Los anexos A, B y C proporcionan un soporte para el aprendizaje de conceptos básicos sobre Bluetooth, con el fin de instruir a las personas interesadas en el tema y fomentar el desarrollo de aplicaciones que utilicen esta tecnología.

POTENCIA DE ALIMENTACIÓN

Las mediciones de corriente de alimentación de los módulos Bluetooth realizadas permitieron observar algunas características:

- En ambientes sin obstáculos, la distancia entre los módulos de medición y el PC es cercana a los 40 m, distancia en la cual se puede realizar conexión y desconexión de manera satisfactoria.
- En ambientes con obstáculos, la distancia máxima para establecer conexión entre los módulos de medición y el PC está determinada por algunos factores como la existencia de muros y divisiones fabricados en diversos materiales,



puertas abiertas (o cerradas), entre otros, tal como se ha identificado en algunos trabajos relacionados [13].

- Debido a la poca variación en la corriente de alimentación en las pruebas realizadas, se puede estimar que el consumo de corriente promedio aproximado de los módulos Bluetooth, para las situaciones mencionadas anteriormente, es de 17 mA (63 mW). La Tabla 6 muestra los resultados obtenidos en esta prueba comparados con los datos ofrecidos por el fabricante de los módulos Bluetooth.

| Fuente de datos | Condiciones de funcionamiento | Corriente promedio (mA) |
|---------------------|--|-------------------------|
| <i>Experimental</i> | Conectado (corto rango), esclavo-maestro a 9600 Bauds. | 17 |
| <i>Experimental</i> | Conectado (largo rango), esclavo-maestro a 9600 Bauds. | 17 |
| <i>Fabricante</i> | Conectado (corto rango), maestro-esclavo a 115200 Bauds. | 37 |
| <i>Fabricante</i> | Conectado (corto rango), esclavo-maestro a 115200 Bauds. | 37 |
| <i>Fabricante</i> | Conectado (largo rango), maestro-esclavo a 115200 Bauds. | 46 |

Tabla 6: Resultados de corriente obtenidos vs. datos del fabricante

Por tanto, se estima que la autonomía de funcionamiento de la batería utilizada en las pruebas (Nokia BL-5C de 3.7 V y 850 mA-h) bajo condiciones normales de trabajo es aproximadamente de **33 horas** para los módulos de medición y transmisión de datos de flujo de calor y de **29 horas** para los módulos de medición y transmisión de datos de temperatura².

ERROR EN LOS DATOS

Las pruebas realizadas para comprobar la fiabilidad de los datos son presentadas en la sección 3.2, de las cuales se pudo observar la integridad en la transmisión inalámbrica

² La autonomía de la batería fue calculada con las características de corriente de los módulos de medición de flujo de calor [9] y de temperatura [21].

de los datos. Dicha comprobación se realizó comparando visualmente los datos transmitidos mediante Bluetooth con los transmitidos de manera cableada (RS-232).

La comunicación serial de los datos (UART) entre el módulo de medición de flujo de calor y temperatura y el módulo Bluetooth es realizada en tramas de 8 bits; esto puede ser un inconveniente cuando la información que se desea transmitir y/o enviar tiene un tamaño superior, ya que ocasionalmente se puede presentar la pérdida de una de las tramas implicando una lectura errónea de los datos ([sección 3.2](#)). Como valor agregado al presente proyecto se diseñó una aplicación que permite corregir este problema. Esta aplicación fue implementada en el software de monitorización, con el fin de garantizar que los datos mostrados en el PC fueran los datos reales medidos por el sistema de calorimetría directa.

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN

La monitorización de los datos provenientes del sistema de calorimetría directa está definida como una red de sensores de flujo de calor y temperatura, utilizando la tecnología Bluetooth como interfaz inalámbrica para el transporte de los datos a un PC. Dichos datos son visualizados mediante una aplicación con entorno gráfico especializado, capaz de reproducir gráfica y numéricamente el valor correspondiente a la medición realizada por cada sensor.

La implementación de dicha monitorización fue efectuada de manera satisfactoria y presenta las siguientes características:

- Realiza la lectura de datos proveniente de sensores de flujo de calor y temperatura de manera simultánea, eficiente y en tiempo real.
- Los datos de las mediciones se pueden observar numérica y gráficamente en función del tiempo.
- La monitorización se realiza de manera no invasiva, lo que permite que el paciente se encuentre aislado eléctricamente de la herramienta utilizada para



la visualización de los datos de medición y tenga mayor movilidad en comparación con los sistemas de monitorización cableados.

- Cada módulo de medición y transmisión de datos que conforma el sistema de calorimetría presenta los siguientes datos de tamaño y peso: 5 x 6 x 1.7 cm, 40.73 g para el módulo de flujo de calor y 5,7 x 4,5 x 1.7 cm, 38.51 g para el módulo de temperatura.
- El paciente puede estar hasta 40 metros de distancia respecto al sistema de visualización, dependiendo del ambiente de trabajo.
- La transmisión de los datos se realiza de manera rápida y confiable.
- El sistema de monitorización se puede implementar en diferentes dispositivos tales como PCs, PDAs y Lap-tops; utilizando un software adecuado, también se puede implementar en teléfonos celulares y similares.
- Es de fácil instalación y manejo.

Por tanto, el prototipo implementado podría ser la base para la creación y el mejoramiento de las herramientas de telemetría y transporte de datos utilizadas en múltiples aplicaciones.

El software diseñado para la monitorización de datos del sistema de calorimetría consta de dos aplicaciones independientes: descubrimiento de dispositivos y conexión-visualización ([ver sección 2.3](#)). La ventaja de utilizar las aplicaciones de manera independiente se justifica principalmente por la necesidad de proporcionar información inicial sobre los dispositivos que se encuentran dentro del radio de cobertura alrededor del PC, de manera que se puedan seleccionar a gusto del usuario, además de permitir el almacenamiento de la dirección de los dispositivos Bluetooth para futuras conexiones, sin necesidad de reiniciar la búsqueda de los mismos. La aplicación de conexión y visualización de los datos permite de manera autónoma reconocer el tipo de medición realizado por cada módulo del sistema de calorimetría y la ubicación en el cuerpo del paciente, según la selección realizada por el usuario. Estas propiedades ofrecen al usuario comodidad, facilidad y rapidez al momento de



utilizar el sistema de monitorización como herramienta para diagnosticar cualquier complicación post-cirugía que presente un paciente.

LABVIEW 7.1 COMO SOFTWARE PARA EL DESARROLLO DE APLICACIONES

LabVIEW 7.1 es un *software* para el desarrollo de aplicaciones enfocadas principalmente a la medición y adquisición de datos. Permite la programación de complejas aplicaciones mediante un entorno gráfico muy amigable y fácil de entender. Sin embargo, se concluye que este software presentó algunas limitaciones durante el desarrollo del software de monitorización de los datos del sistema de calorimetría directa, tales como:

- Las funciones de comunicación por Bluetooth existentes son insuficientes para implementar aplicaciones donde se requiera, por ejemplo, el manejo intencional de los modos de baja potencia (rastreo y sostenimiento), del estado estacionario, de los parámetros de seguridad y encriptación, entre otros. Además, el algoritmo de establecimiento de conexión de dispositivos Bluetooth se debe crear de manera independiente para cada dispositivo.
- La secuencia de las rutinas ejecutadas en los programas se realiza de manera no definida, lo que implica dificultades en la depuración.
- Se requiere mayor tiempo de cómputo cuando se ejecutan simultáneamente programas con algoritmos independientes. Este hecho limitó el desarrollo de la aplicación para la monitorización de los datos del sistema de calorimetría directa, descartando la implementación de un algoritmo más robusto que permitiera la reconexión de los módulos de medición sin interferir con el funcionamiento de la aplicación.
- El exclusivo uso de el *Microsoft Bluetooth Driver*, contenido en las actualizaciones del *Windows Service Pack 2*. Este controlador posee unas características muy limitadas en comparación con otros controladores que



soportan diferentes modelos de uso y poseen características de configuración de los parámetros de la comunicación serial. Esto complicó el proceso de selección del adaptador Bluetooth que serviría como receptor de los datos provenientes del sistema de calorimetría directa, ya que la mayoría de los existentes en el mercado no soportan el controlador de Windows.



5. OBSERVACIONES

1. Antes de la implementación de Bluetooth como tecnología para la transmisión de datos, para una aplicación en particular, se deben tener en cuenta principalmente dos factores:
 - La relación potencia - tasa de transferencia: si la aplicación requiere de muy baja tasa de transferencia, es apropiado utilizar otra tecnología (por ejemplo ZigBee) si no se cuenta con las herramientas que permitan configurar los modos de baja potencia de los transmisores Bluetooth, debido que la potencia consumida por un sistema de comunicaciones implementado con Bluetooth a bajas tasas de transmisión puede ser alta comparada con otras tecnologías.
 - La relación costo – beneficio: el uso de las tecnologías inalámbricas para el transporte de datos (por ejemplo Bluetooth) puede no ser conveniente en algunas aplicaciones, ya que el costo de los elementos necesarios para su implementación puede ser muy elevado para los casos en los que los medios cableados puedan cubrir con las necesidades presentadas.
2. Es muy importante en el diseño de sistemas de transmisión y visualización de datos identificar de manera exacta las necesidades de la aplicación en particular para poder plantear la solución más conveniente, tener suficientes fundamentos teóricos para el desarrollo de dicho diseño e investigar detalladamente sobre fabricantes y/o distribuidores, las garantías y detalles de compra y envío de uno de los elementos que conforman el sistema.
3. La eficiencia del sistema de monitorización implementado en este proyecto puede ser mejorada en términos de la potencia de alimentación, ya que los módulos



Bluetooth de Free2move utilizados pueden ser configurados para operar bajo los modos de baja potencia (ver ANEXO A.2.7). Esta idea es expuesta con el fin de aumentar la autonomía de funcionamiento de la batería que energiza el sistema de monitorización y de implementarla en futuros proyectos donde se emplee Bluetooth como tecnología de transmisión inalámbrica de datos.

4. Una de las ventajas de la adquisición de los módulos Bluetooth de Free2move es que cada módulo está ensamblado sobre lo que se denomina tarjeta OEM. Los puertos del módulo Bluetooth se comunican a los dispositivos externos mediante un conector macho de 26 pines (ver figura 4 derecha). De esta forma los módulos Bluetooth se pueden implementar de manera práctica sobre un conector hembra sobre tarjetas pertenecientes a los sistemas que se desean habilitar para la comunicación inalámbrica. Sin embargo, hasta la fecha de terminación de este proyecto no se tiene conocimiento a cerca de empresas donde provean conectores hembra para uso particular, salvo la empresa proveedora de los módulos Bluetooth, la cual se contactó durante la adquisición de los módulos sin tener una respuesta satisfactoria.
5. Se recomienda hacer un estudio de sitio, en el lugar de instalación del sistema de calorimetría que determine el área de cobertura de la red Bluetooth debido a que los resultados obtenidos en las pruebas de consumo de corriente de alimentación (sección 3.1) permiten observar el comportamiento variable de las redes de acuerdo a la distribución interna del ambiente de trabajo.
6. Se observó que los módulos de medición de flujo de calor y temperatura utilizados pueden ser energizados con una batería de menor tamaño comparado con el utilizado en este proyecto, permitiendo la reducción del peso y del tamaño de los módulos de medición y por lo tanto mayor comodidad para el paciente.

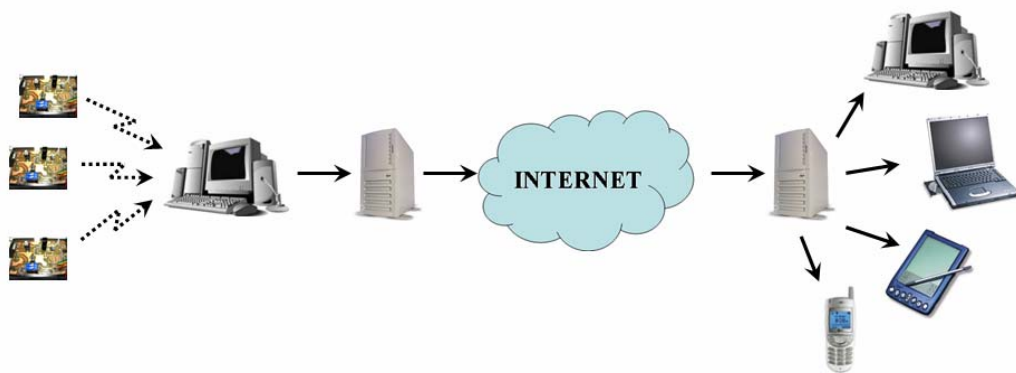


7. En un ambiente hospitalario normal, se puede presentar el caso de varios pacientes en una misma habitación que necesiten ser monitorizados. El sistema diseñado en este proyecto no permite el reconocimiento automático de sensores del mismo tipo de medición en pacientes diferentes, por tanto se recomienda la identificación de manera visual. Un ejemplo de dicha identificación se puede realizar mediante la dirección del dispositivo Bluetooth, mostrado en la primera ventana al ejecutar la aplicación para el descubrimiento de dispositivos ([ver ANEXO J](#)), seleccionando únicamente los sensores ubicados en el paciente al que se desea realizar las mediciones; este procedimiento requiere que la dirección del dispositivo Bluetooth de cada módulo de medición esté impreso en una superficie visible del mismo.

8. Los datos provenientes del sistema de calorimetría directa pueden ser transmitidos a ambientes externos a los hospitalarios utilizando dos medios principalmente: mediante Internet y mediante las redes de telefonía celular. Para ello, se proponen algunas alternativas como base para el desarrollo de futuros trabajos.

La primera alternativa consiste en realizar la monitorización en un PC (o utilizando un concentrador Bluetooth) enlazado directamente a un servidor para que un dispositivo (PC, PDA, LapTop o teléfono celular) conectado a Internet realice la lectura de los datos (Figura 23), lo que requiere toda la infraestructura necesaria (software y hardware) para la realización de esta tarea. La estructura presentada en esta alternativa es muy utilizada en los sistemas de medición y control industrial (SCADA) y similares.

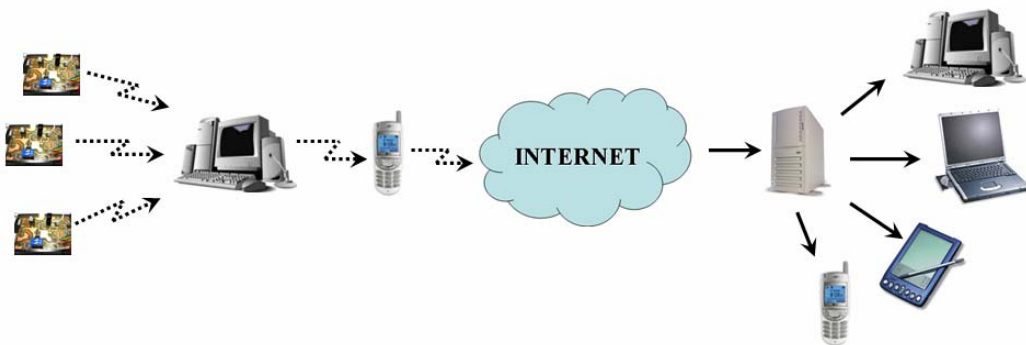




Fuente: los autores

Figura 23: Envío de datos por un PC directamente al servidor Internet

Otra forma de realizar la monitorización es enviar los datos del sistema de calorimetría desde un PC a Internet utilizando un teléfono celular Bluetooth como módem (o directamente desde el teléfono celular con el software adecuado), usando el perfil de red *dial-up* (DUNP), explicado en el [ANEXO C.5.1](#). Similar que la alternativa anterior, las mediciones del sistema de calorimetría directa pueden ser leídas por otro dispositivo conectado a Internet (Figura 24).



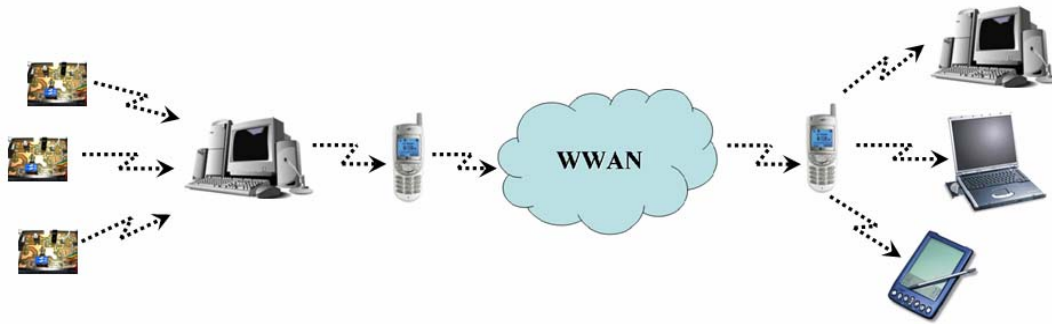
Fuente: los autores

Figura 24: Envío de datos por un PC a Internet mediante un teléfono celular.

Las redes de tipo WWAN (por ejemplo redes de telefonía celular) pueden ser utilizadas como medio para la transmisión de los datos del sistema de calorimetría directa. El esquema de esta alternativa es mostrada en la Figura 25 y consiste en enviar los datos desde el PC a un teléfono celular Bluetooth, usando el perfil de



WAP bajo Bluetooth (WAP), explicado en el [ANEXO C.6.16](#). La monitorización puede realizarse directamente desde un teléfono celular receptor (con un software de monitorización apropiado) o desde otro dispositivo Bluetooth (PC, LapTop o PDA) enlazado con dicho teléfono celular.

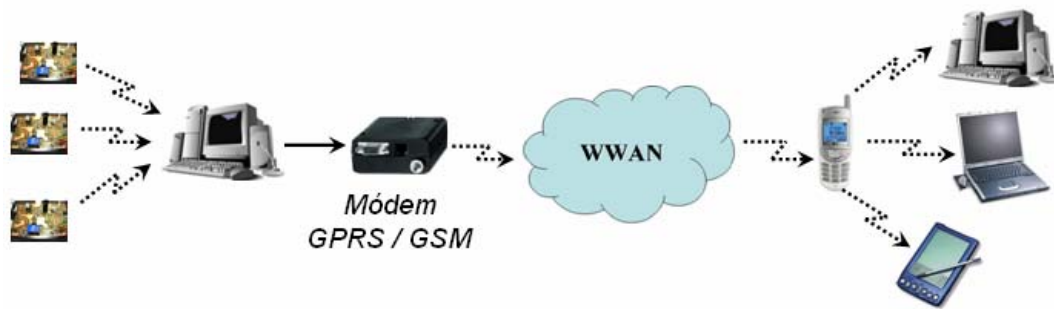


Fuente: los autores

Figura 25: Envío de datos por un PC a otro dispositivo mediante redes WWAN.

El costo en la implementación de esta alternativa es menor si se realiza la monitorización directamente con el teléfono celular (sin utilizar un PC). Sin embargo, para la aplicación del sistema de calorimetría directa en un ambiente hospitalario, es necesario el uso de un PC para realizar la monitorización a nivel local y así un usuario que no posea un teléfono celular Bluetooth pueda acceder a la información.

Otra alternativa para enviar los datos del sistema de calorimetría directa a las redes de telefonía celular es utilizar un PC con un módem GPRS / GSM (Figura 26). Comercialmente es muy común encontrar módems con diferentes interfaces de conexión al PC (USB, RS-232, PCI, entre otros), con características tales como funcionalidad en varias bandas (900/1800/1900 MHz), rata de transmisión serial (generalmente hasta 460,8 bauds), velocidad de enlace GPRS (28,8/53,6/85,6 kbps), entre otros. Este esquema de transmisión de datos se utiliza en algunos sistemas de lectura automática AMR (*Automatic Meter Reading*) y sobre este tema se está trabajando actualmente dentro del grupo de investigación CEMOS [24].



Fuente: los autores

Figura 26: Uso de módem GPRS / GSM para el envío de datos a las redes celulares

El costo en la implementación de esta alternativa es menor si los sensores están enlazados directamente al módem (sin utilizar un PC). Sin embargo, esta solución implica una programación especializada del módem para que realice enlace únicamente con sensores preseleccionados, limitando el uso del módem para enlazar otros.

El PC funciona como puente (*gateway*) entre los sensores y el módem, ya que es necesario crear una aplicación que permita multiplexar los datos de los sensores y enviarlos a la red celular como una sola trama serial. Por otro lado, se puede crear una aplicación que almacene los datos correspondientes a las mediciones realizadas y enviarlos por paquetes para aumentar la integridad en la transmisión por la red celular. Estas características también deben tenerse en cuenta en el esquema mostrado en la Figura 25.

En conclusión, para esta aplicación, la tecnología Bluetooth permite la transmisión de los datos hacia el exterior del entorno hospitalario en el que se encuentran los sensores, utilizando diferentes alternativas sin modificar el funcionamiento del sistema de calorimetría directa.

Para la monitorización de varios pacientes en ambientes externos a los hospitalarios se plantea la siguiente alternativa: cada paciente puede ser

monitorizado por un PC diferente y un servidor, teléfono celular o módem establecen conexión con cada PC para enviar los datos hacia Internet o a la red celular (Figura 27). La principal desventaja de implementar esta propuesta es su elevado costo.

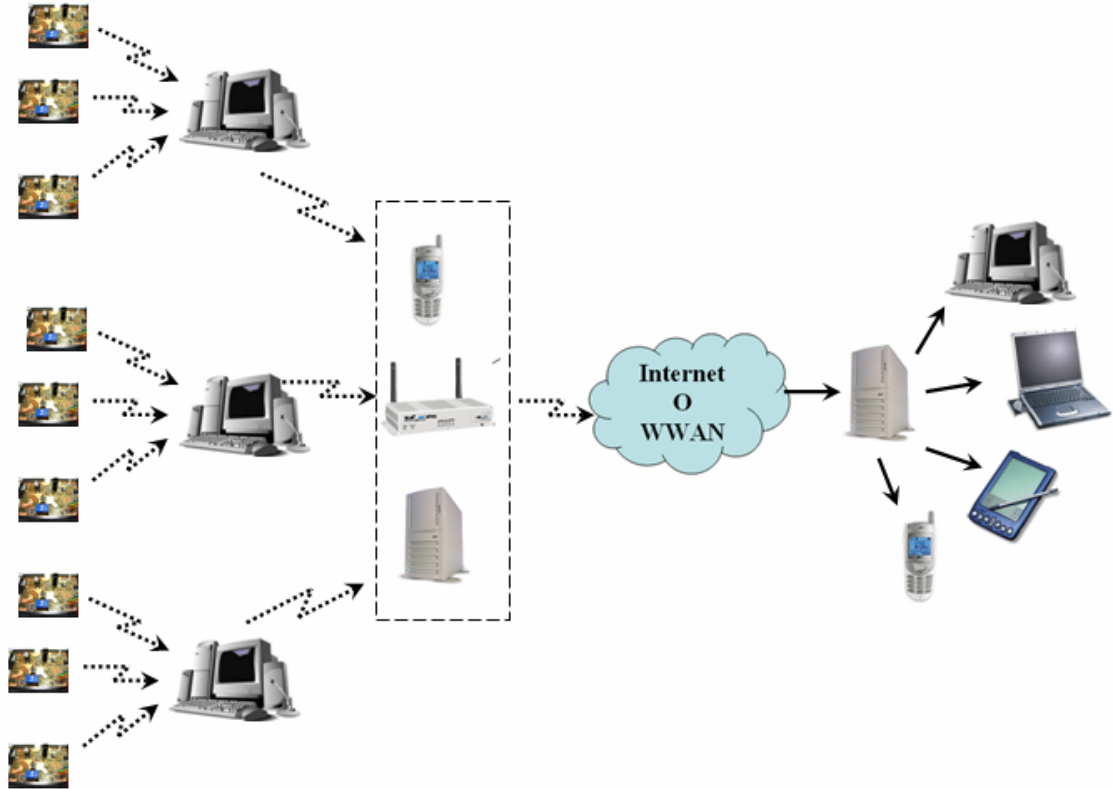


Figura 27: Monitorización remota a varios pacientes

La tasa de transferencia de datos del sistema de calorimetría directa es menor comparado con la velocidad de transmisión mediante Internet o las redes de telefonía celular. Por tanto el bajo tráfico generado por la transmisión de los datos en ambientes externos a los hospitalarios no produce un impacto considerable en las redes de comunicaciones.

ACRÓNIMOS

| | |
|---------|---|
| BD_ADDR | Bluetooth Device Address |
| DUNP | Dial Up Network Profile |
| I2C | Inter Integrated Circuit |
| OEM | Original Equipment Manufacturers |
| PC | Personal Computer |
| PDA | Personal Digital Assistance |
| PIO | Peripheral Input Output |
| SCADA | Supervisory Control And Data Adquisition |
| SPP | Serial Port Profile |
| SCI | Serial Communication Interfaz |
| UART | Universal Asynchronous Receiver and Transmitter |
| WAP | Wireless Application Protocole |
| WWAN | Wireless Wide Area Network |



BIBLIOGRAFÍA

- [1] ALCÁNTARA, Sergio. BERENGENA Christal. *Servicio de información en carretera basado en posicionamiento y Bluetooth*. En : <http://www.imarketing.es/pdf/carretera.pdf>
- [2] ALIBABA.COM. *Bluetooth audio module class 2*. En: http://www.alibaba.com/catalog/11220812/Bluetooth_Audio_Module_Class_2.html
- [3] AL-HOURANI, Farouq. DUBASHINSKY, Stan. *Wireless Technology in E-manufacturing*. En: <http://www.umist.ac.uk/staffpgs/awl/Wireless%20in%20E-%20Mfg.pdf>
- [4] ANSWERS.COM. *Bluetooth*. En : <http://www.answers.com/topic/bluetooth/>
- [5] BLUERADIOS. *Bluetooth Architecture Overview*.
En: http://www.blueradios.com/bluetooth_architecture.pdf. 11p
- [6] BLUERADIOS. *Evaluation kit*. En : <http://www.blueradios.com/evaluationkit.htm>
- [7] BLUETOOTH MEMBERSHIP SITE. *Specification of the Bluetooth System*. En : <https://www.bluetooth.org/spec/>. 1200p
- [8] BLUETOOTH MEMBERSHIP SITE. *Bluetooth profiles*. En : <http://www.bluetooth.org>
- [9] CADENA, Oscar y GARCÍA, Guillermo. *Diseño y construcción de un prototipo para la medición de flujo de calor en pacientes en estado post-operatorio mediante calorimetría directa: Método de sensado por flujo de calor*. Tesis de grado. Bucaramanga: UIS, 2006. 80p.
- [10] CAMBRIDGE SILICON RADIO. *BlueCore 2 External datasheet*. Cambridge Silicon Radio Inc., 2003. 100p.
- [11] CAMBRIDGE SILICON RADIO. *BlueCore 2*. En: <http://www.ave-nl.com/bc02.html>
- [12] CONNECTBLUE. *OEM serial port adapter 2 generation electrical and mechanical datasheet*. ConnectBlue Inc., 2003. 44p.
- [13] DE LUQUE, Luis. DIAZ, Irina. VASQUEZ, Sandra. *Predicción del nivel de intensidad de señal recibida (RSSI) en una red inalámbrica de área local (WLAN 802.11.b) mediante un modelo neuronal*. Tesis de grado. Bucaramanga: UIS, 2005. 96p.
- [14] EESON, Eduard. *Application of Bluetooth in Wireless Vehicle logger*. Tesis de grado. Australia: University of Queensland. 2001. 53p.
- [15] EVELIUX. *Comienza el boom del Internet inalámbrico*. En : http://www.eveliux.com/articulos/internet_inal.html



- [16] FRAMPTON, Collin. McELHANEY, Titan. MOOK, Jonathan. SANSONE, Anthony. *Remote Data Acquisition using Bluetooth*. Proceedings of the 2005 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition. 2005. 16p.
- [17] HEWLETT PACKARD. *Bluetooth technology overview*. Hewlett Packard Company. 2003. 23p.
- [18] JUNQUERA, Rafael. *Nuevo estándar de alcance corto inalámbrico ¿será Zigbee otro caso Bluetooth?*. En: <http://www.telesemana.com/archivo/Download.php?c=0342790035020-039>. 3p.
- [19] LINARES, Ricardo. QUIJANO, Jimmy. *Implementación Del Protocolo Bluetooth para la conexión inalámbrica de dispositivos electrónicos programables*. Tesis de grado. UTP: Pereira, 2004. 6p.
- [20] MILLER, Brent. CHASCHIK, Bisdikian. *Bluetooth Revealed*. 2º edición, USA: Prentice Hall, 2001. 302p.
- [21] ORTIZ, Álvaro y VALDERRAMA, León. *Diseño y construcción de un prototipo para la medición de flujo de calor en pacientes en estado post-operatorio mediante calorimetría directa: Método de variación de temperatura*. Tesis de grado. Bucaramanga: UIS, 2006. 80p.
- [22] PALOWIRELESS. *Bluetooth profiles*. En : <http://www.palowireless.com/infotooth/tutorial/profiles.asp>
- [23] ROHIT, Kapoor. LING-JYH, Chen. YENG-ZHONG, Lee. GERLA, Mario. *Bluetooth: Carrying Voice over ACL links*. En: <http://www.cs.ucla.edu/NRL/wireless/uploads/rohit-voice.pdf>. 5p.
- [24] SAAVEDRA, Lisa. *Diseño y construcción de un sistema de telemetría para automatizar la lectura de consumos en los medidores de agua*. Tesis de Maestría en curso. Bucaramanga: UIS, 2006.
- [25] TECNOVIDA. *¿Que es Bluetooth?*. En: <http://www.tecnovida.com.ve/bluetooth/>
- [26] TELEFONICA. *Redes inalámbrica* . En : http://www.telefonicaonline.es/on/es/micro/cursos/wifi/221tipos_red.htm
- [27] WIKIPEDIA. *Espectro Ensanchado*. En: http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_ensanchado
- [28] WIKIPEDIA. *Espectro ensanchado por salto de frecuencia*. En : http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_ensanchado_por_salto_de_frecuencia



- [29] XILINX. *Wireless Home Networks – DECT, Bluetooth, HomeRF and Wireless*. En: <http://direct.xilinx.com/bvdocs/whitepapers/wp135.pdf>. 18p.



ANEXOS

ANEXO A: PILA BLUETOOTH

ANEXO B: PILA BLUETOOTH

ANEXO C: PERFILES BLUETOOTH

ANEXO D: BLUETOOTH Y OTRAS TECNOLOGIAS INALÁMBRICAS

**ANEXO E: CUADRO COMPARATIVO DE MÓDULOS BLUETOOTH DE
DIFERENTES FABRICANTE**

ANEXO F: DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL MÓDULO F2M03AC2

**ANEXO G: DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL ADAPTADOR USB
BLUETOOTH MSI**

ANEXO H: DATASHEET DEL IC DS1817

ANEXO I: APLICACIONES EN LabVIEW

**ANEXO J: GUÍA RÁPIDA DE INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DEL
SISTEMA DE MONITORIZACIÓN**

