

Diseño y construcción de un dispositivo electrónico para adquisición de bioseñales

Pohl, Mauricio

Juárez, Carlos

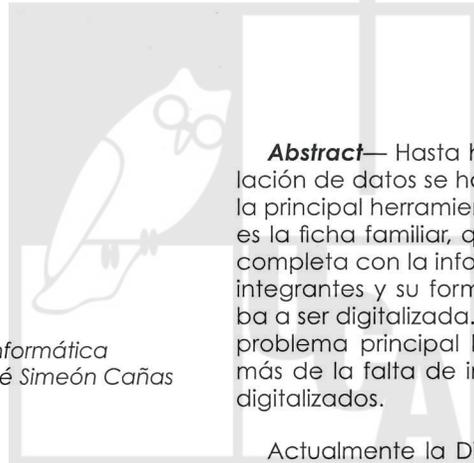
Varela, Erick

Barriere, Luis

Flores, Mauricio

Hernández, Leopoldo

*Departamento de Electrónica e Informática
Universidad Centroamericana José Simeón Cañas
mapohl@uca.edu.sv*



Abstract— Hasta hace algunos años la recopilación de datos se hacía con un método manual, la principal herramienta de recopilación de datos es la ficha familiar, que es un documento que se completa con la información de cada familia, sus integrantes y su forma de vida, que luego pasaba a ser digitalizada. Este método presenta como problema principal la lentitud del proceso además de la falta de integridad de los datos al ser digitalizados.

Actualmente la Dirección de Tecnología de la Información y la Comunicación del ministerio de salud ha diseñado el Sistema de Información de Ficha Familiar (SIFF) una aplicación para dispositivos móviles Android, una herramienta que viene a sustituir el antiguo método de recopilación de datos.

Con el propósito de expandir la funcionalidad de la aplicación SIFF, este proyecto propone el diseño y desarrollo de un módulo que permita recolectar información sanitaria y parámetros fisiológicos básicos a partir de un dispositivo monitor que obtendrá los datos de temperatura, presión sanguínea, altura, peso y frecuencia cardiaca. Estos datos serán enviados vía Bluetooth a la aplicación que guardará los datos de cada paciente en su ficha electrónica. El dispositivo electrónico será controlable desde la aplicación, siendo posible establecer desde está el parámetro se desea capturar.

Palabras Clave—Arduino, Android, Altura, Bioseñales, Frecuencia Cardiaca, Índice de masa corporal, Peso, Presión Arterial.

Introducción

EL 20 de septiembre de 2010 el Presidente de la República, Mauricio Funes junto a la Ministra Salud, María Isabel Rodríguez, oficializaron el Sistema Nacional Integrado de Salud, en el municipio de Ilobasco donde ya funcionan 27 Equipos Comunitarios de Salud Familiar (ECOSF) y 2 Equipos Comunitarios de Salud Familiar con Especialidad (ECOSF Especializados). Dicho programa había iniciado en julio de 2010 con 201 ECOS Familiares y 15 ECOSF Especializados, quienes atienden a la persona, la familia y la comunidad cerca de su lugar de vivienda, esta fase es conocida como Redes Integradas e Integrales de Servicios de Salud [1].

Una de las funciones de las ECOSF, es generar información relacionada a los pacientes, la cual es centralizada en diferentes servidores, la realidad es que, aunque se tenga la información en papel,

hay que invertir tiempo en digitalizarla y depurarla, para que pueda ser usada posteriormente por especialistas o para recomendaciones de tratamiento para los pacientes [2].

Aunque dicha información debería apoyar en la cobertura médica, o para generar indicadores de salud, así como el monitoreo epidemiológico en las áreas rurales del país, esto se vuelve una tarea difícil, debido a que no se poseen los datos necesarios para la generación de dichos indicadores. Y lo que se posee, no ha sido recolectado de una manera sistemática o estandarizada.

Por otro lado, la importancia de tener datos fidedignos y en tiempo real puede apoyar a orientar esfuerzos de proyectos comunitarios en las localidades que más necesiten.

Otra ventaja de tener datos ya digitalizados y almacenados en bases de datos, es el poder usarlos para generar indicadores relevantes para el área de salud o para entidades como las Organización Panamericana de la Salud (OPS) y diversas ONG, así como para el Ministerio de Salud y el Instituto Salvadoreño del Seguro Social (ISSS).

Una posible extrapolación en el uso de esta información podría ser determinar la influencia en la salud de diversos proyectos implementados por el Gobierno de El Salvador hasta la fecha, tal sería el ejemplo del Programa del Ministerio de Educación "Escuela Saludables".

Es debido a esto que la Universidad Don Bosco y la Universidad Centroamericana José Simeón Ca-

ñas, propusieron una posible solución a este problema, y es a través de la utilización de tecnologías móviles y de electrónica de bajo costo, permitiendo de esta forma que cualquier integrante de una ECOSF ingresar directamente la información desde el dispositivo de medición, actualizando el expediente clínico de la persona en tiempo real, y logrando así, minimizar el error humano de la digitalización de la información de la base de datos. El dispositivo diseñado e implementado permite adquirir datos fisiológicos del paciente, la información es de temperatura corporal, presión y pulso arterial, peso y altura, por medición directa y estimar el Índice de Masa Corporal de forma indirecta. Todas las medidas fisiológicas adquiridas son relevantes para el diagnóstico y control de la mayoría de enfermedades comunes y forman parte del protocolo de consulta de los ECOSF.

La información adquirida será almacenada en un primer momento en dispositivos móviles, los cuales ya poseen los diversos ECOSF distribuidos en el país y serán parte de la Ficha Familiar diseñada por la Dirección de Tecnologías de Información y Comunicaciones (DATIC) del Ministerio de Salud. Luego esta información será almacenada en la base de datos del Ministerio en servidores redundantes.

Los objetivos planteados en el proyecto fueron los siguientes: en primer lugar, diseñar un sistema electrónico de adquisición y transmisión de bioseñales básicas de pacientes a un dispositivo móvil. Segundo, desarrollar una aplicación para dispositivos móviles que permita adquirir, mostrar y almacenar la información fisiológica de los pacientes.

Por lo tanto, se puede decir que el Ministerio de Salud de El Salvador tiene como objetivo diseñar mecanismos que faciliten el acceso a los servicios de salud a todas las familias de El Salvador, incluyendo a aquellas que no posean cerca un establecimiento de salud.

El artículo se divide en 4 secciones más, la sección II se habla de la metodología utilizada para elaborar el sistema de medición de bioseñales, la sección III muestra los resultados obtenidos luego durante la fase de pruebas, y la sección IV se hacen las conclusiones de la investigación.

Materiales y métodos

Según el protocolo de adquisición de datos fisiológicos de los pacientes que son atendidos por los Equipos Comunitarios de Salud Familiar (ECOSF) los datos de cada paciente que deben ser recolectados son:

1. Temperatura
2. Peso
3. Altura
4. Presión arterial
5. Frecuencia Cardíaca
6. Y se debe calcular el índice de masa corporal

Este protocolo es independiente del lugar geográfico donde sean recolectados los datos. Los datos fisiológicos que se adquieran con el sistema sólo serán complemento de la plataforma de Ficha Familiar Electrónica con que cuenta el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS) y en primer momento actuarán conjuntamente.

Para la construcción del dispositivo electrónico, se revisaron tres diferentes plataformas comerciales que realizan mediciones de variables fisiológicas. En esta actividad se probaron diferentes plataformas para poder comparar su rendimiento y funcionalidad, las plataformas fueron las siguientes:

- a. **Bitalino:** con BitAndroid, las señales que proporcionaban sólo eran señales de voltaje, es decir señales analógicas y sus entradas eran RJ45 de poca robustez. Fue desechado por ser delicado y de alto costo [3].
- b. **Pulse Sensor:** conectado a Android, dispositivo de medición de pulso con un rendimiento aceptable y fue seleccionado para medir frecuencia cardíaca.
- c. **e-Health Sensor Platform V2.0 para Arduino and Raspberry:** para comprobar su capacidad de compatibilidad con diversos microcontroladores fue probado con Arduino y Galileo – no así para Raspberry Pi con los sensores [4]:
 - a. Medición de pulso y saturación de oxígeno en la sangre (SPO2), esta última medición fue desechada por ser un dato innecesario en una consulta rutinaria de ECOSF, antes de una medición de saturación de oxígeno el paciente presenta síntomas claros de falta de oxigenación.
 - b. Sensor de temperatura corporal
 - c. Sensor de electrocardiografía (ECG)
 - d. Sensor de presión arterial (Sphygmomanometer)

Se encontró que el mejor dispositivo, en cuanto a rendimiento es el Bitalino que además cuenta

con software para dispositivos móviles con sistema operativo Android, para la visualización y almacenamiento de las bioseñales.

Pero ninguna plataforma comercial proporciona la versatilidad de programación y la robustez necesaria para el trabajo de los ECOSF, por lo que se decide utilizar el Arduino MEGA y programar todas las funciones necesarias y la comunicación con el dispositivo móvil de captura de información de la ficha familiar.

La información que proporciona el dispositivo queda almacenada en la ficha familiar (MSPAS) del paciente, por lo tanto, el dispositivo móvil mostrará la pantalla de captura de las bioseñales dentro de la aplicación de dicha ficha familiar o expediente médico del paciente.

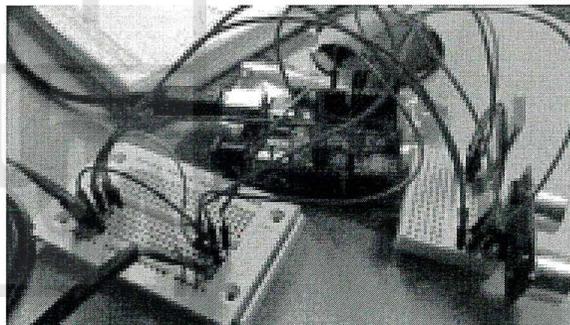


Figura 1. Fotografía de dispositivo Arduino conectado en pruebas con sensores

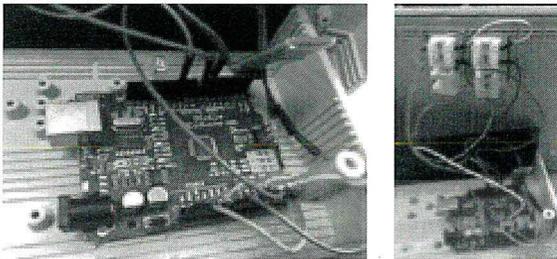


Fig. 2 Fotografía de primer dispositivo y sus conexiones internas.

La comunicación entre el dispositivo electrónico y el dispositivo móvil se determinó que fuera el protocolo de comunicación Bluetooth, por su versatilidad, robustez de comunicación y por su universalidad de uso.

La programación del dispositivo móvil será en Android y apegada a la apariencia visual de las aplicaciones del Ministerio de Salud

El sistema de captura de bioseñales se divide en tres etapas, primera los sensores de medición, segundo el dispositivo de captura y comunicación de las señales medidas y tercero, la visualización y almacenamiento de la información.

A. Sensores de medición

La primera etapa es la medición, para ello se han escogido distintos sensores para la digitalización de la información, entre los sensores utilizados fueron, termistores, celdas de carga, sensores ultrasónicos, y medidores de presión, puede verse en la figura 3, la interconexión de los diferentes sensores con el microcontrolador Arduino MEGA.

Peso – Celda de Carga

La celda de carga es una estructura diseñada para soportar cargas de compresión, tensión y flexión, en cuyo interior se encuentra uno o varios sensores de deformación llamados Strain Gauges que detectan los valores de deformación. Su principio de operación se basan en la transducción eléctrica que transforma o traslada la fuerza o peso a cambios de voltaje. Este principio de operación depende sobre la deflexión de Strain Gauges, creando resistencia y una salida.

Altura – Sensor de Ultrasónico

Son detectores de proximidad que trabajan libres de rozas mecánicas y que detectan objetos a distancias que van desde pocos centímetros hasta varios metros. El sensor emite un sonido y mide el tiempo que la señal tarda en regresar. Estos reflejan en un objeto, el sensor recibe el eco producido y lo convierte en señales eléctricas, las cuales son elaboradas en el aparato de valoración. Los sensores trabajan según el tiempo de transcurso del eco, es decir, se valora la distancia temporal entre el impulso de emisión y el impulso del eco.

Temperatura – Termistor

Su funcionamiento se basa en la variación de la resistividad que presenta un semiconductor con la temperatura. El término termistor proviene de Thermally Sensitive Resistor. Existen dos tipos de termistor: La ventaja de los termistores frente a otros sensores de temperatura es el bajo precio de estos y lo extendidos que se encuentran, lo que permite encontrar dispositivos a los que se pueden conectar sin mayores problemas. La desventaja principal es

que no son lineales, lo que dificulta la adquisición de datos y son complicados de calibrar.

Presión Arterial y frecuencia Cardiaca

Para la adquisición de estos parámetros se empleó un esfigmomanómetro automático o digital.

Su funcionamiento se basa en un brazalete y dispone además en su interior de sensores capaces de detectar los sonidos de Korotkoff, permitiendo conocer el intervalo de presión diastólica y sistólica. Se empleó la comunicación serial para comunicarse con el microcontrolador.

Tabla 1
Procesos y detalle de cada variable medida

Variable	Proceso	Detalle
Peso	Acondicionamiento de señal	Se alimenta un puente de Wheatstone incluido en la báscula con 5V, la salida del puente es ingresada a un convertidor analógico-digital (HX711), el cual tiene una salida de 24 bits.
	Adquisición de datos	Los datos son adquiridos por dos puertos analógicos del arduino.
	Almacenamiento y transmisión	Los datos obtenidos son ajustados aritméticamente, mostrados en la pantalla LCD y enviados por un puerto serial del arduino vía bluetooth (HC-05).
Altura	Adquisición de datos	Los datos son enviados por un sensor ultrasónico (HC-SR04) y recibidos por dos puertos digitales del arduino.
	Almacenamiento y transmisión	Los datos obtenidos son mostrados en la pantalla LCD y enviados por un puerto serial del arduino vía bluetooth (HC-05).
Índice de Masa Corporal	Cálculo y almacenamiento del índice	Con los datos de altura y peso obtenidos, en el dispositivo móvil se realiza el cálculo de índice de masa corporal (IMC) y se almacena en la base de datos.
Temperatura	Acondicionamiento de señal	El sensor es una resistencia variable con la temperatura de 10kΩ; este es conectado en serie con una resistencia de 10kΩ para generar un divisor de voltaje.
	Adquisición de datos	Los datos son adquiridos del centro del divisor de voltaje por medio de un puerto analógico del arduino.
	Almacenamiento y transmisión	Los datos obtenidos son ajustados aritméticamente, mostrados en la pantalla LCD y enviados por un puerto serial del arduino vía bluetooth (HC-05).
Presión Arterial y Frecuencia cardiaca	Adquisición de datos	Los datos son enviados por un medidor de presión y frecuencia cardiaca (KD-202F) por medio de un puerto serial. Estos son obtenidos por uno de los puertos seriales del arduino.
	Almacenamiento y transmisión	Los datos obtenidos son ajustados aritméticamente, mostrados en la pantalla LCD y enviados por un puerto serial del arduino vía bluetooth (HC-05).

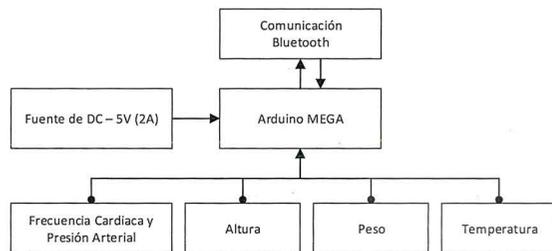


Fig. 3 Esquema del sistema Electrónico

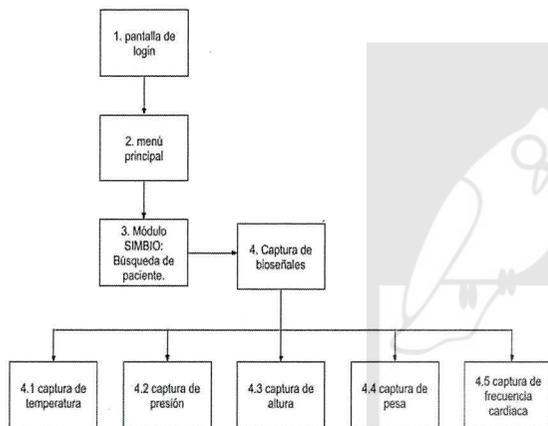


Fig. 4 Flujo de información

B. Dispositivo de captura y comunicación.

Para cada variable a medir, se tiene tres procesos con diferentes formas de procesamiento de las señales, tanto en acondicionamiento como adquisición y almacenamiento y transmisión de la información.

C. Visualización y almacenamiento de la información

El flujo general de información dentro de la aplicación se centra en todas aquellas acciones que deben realizarse para acceder al módulo SIMBIO. A partir de cada una de dichas acciones, es posible establecer un flujo que las muestre individualmente, en el orden que deben llevarse a cabo para cumplir con el objetivo: Acceder al módulo para proceder a recolectar, guardar y visualizar las variables de bioseñales obtenidas a partir del dispositivo electrónico. En la figura 4 se presenta el flujo del sistema.

1. Pantalla de login: Pantalla inicial donde se solicita al usuario credenciales, asegurando así, únicamente el acceso a personal autorizado.
2. Menú principal: Una vez el usuario ha accedido al sistema, se mostrará un menú con los diferentes módulos y utilidades del sistema, es desde este menú donde se podrá acceder al módulo SIMBIO.
3. Módulo SIMBIO: como primer requisito y dato de entrada el usuario debe realizar la búsqueda de un paciente, cuyos datos han sido ingresados previamente en el módulo de ficha familiar.
4. Captura de bioseñales: una única pantalla desde donde se podrá realizar todas las capturas de los datos de bioseñales enviados por el dispositivo electrónico, otras acciones que se pueden realizar aquí son: visualizar y editar información de bioseñales previamente guardada y la última fecha de su actualización y conectarse vía bluetooth con el dispositivo electrónico de captura de bioseñales.

Resultados y discusión

Se realizaron pruebas en seis sujetos de estudio, teniendo una población de 5 hombres y una mujer con edad promedio de 35 años en condiciones de

salud estable. Los datos obtenidos por el sistema se comparan con los datos adquiridos por una enfermera de la Clínica Empresarial del Instituto Salvadoreño del Seguro Social (ISSS) con aparatos calibrados. Los resultados se presentan en la Tabla II.

Tabla 2
Resultados de la implementación del dispositivo propuesto

Sujeto	Modalidad	Presión Arterial (mmHg)	Altura (cm)	Peso (lb)	Temp (grados)
1	Sistema	110/80	183	206	36.7
	Enfermera	117/88	186	205	37.5
	Error	7/8	3	1	0.8
2	Sistema	120/80	175	187	36.5
	Enfermera	126/90	179	184	37.1
	Error	6/10	4	3	0.5
3	Sistema	145/100	171	154	37.8
	Enfermera	171/99	174	151	37.5
	Error	26/1	3	3	0.3
4	Sistema	125/80	178	192	37.2
	Enfermera	130/88	180	188	37.6
	Error	5/8	2	4	0.4
5	Sistema	117/87	158	149	37.3
	Enfermera	120/85	157	151	37.6
	Error	3/2	1	2	0.3
6	Sistema	124/80	149	145	36.2
	Enfermera	110/70	146	148	36.8
	Error	14/10	3	3	0.6

En la figura 5 y figura 6, se puede ver el funcionamiento del sistema en el momento de la adquisición. Los resultados se observa una diferencia entre los datos que toma el personal de enfermería y el

sistema acá desarrollado. Bajo esta comparación, para el caso de las mediciones de la presión arterial, el error promedio del 10% que se consideramos aceptable para efectos de una primera consulta.

la medición de la altura se obtuvo un error promedio menor al 2%, similar para al error promedio obtenido en la medición de la altura, y temperatura, considerado adecuado para llevar el control de los pacientes de una forma automatizada.

Tomando en cuenta esta tendencia en desarrollo de aplicaciones para móviles, podemos ver que la posibilidad de recolección de información es solo el inicio y que una vez se tenga los datos las posibilidades de uso de los mismos, sería solamente cuestión de tiempo para su uso posterior en otras alternativas.

Por otro lado, existe un estudio realizado por la Universidad de Barcelona, en el que se muestra que hay una tendencia al alza (alrededor de un 73%) entre los médicos que ya usan algún tipo de smartphone o tablet, lo que redundaría en beneficios para el sistema de salud.

El sistema comprenderá de un dispositivo de entrada de datos (teléfono móvil o dispositivo tablet), en el cual se podrá introducir la información del paciente en una ficha electrónica, esta ficha será diseñada para almacenar datos de los siguientes tipos, texto, posición satelital, fotografías (para seguimiento de tratamientos), código de barras (para identificación rápida de pacientes) y de un monitor de parámetros fisiológicos (temperatura, presión sanguínea, ritmo cardíaco y concentración de oxígeno), que se conectará al dispositivo móvil y podrá almacenar estos parámetros en la ficha electrónica de paciente.



Figura 5. Imagen del momento de captura de las variables fisiológicas.

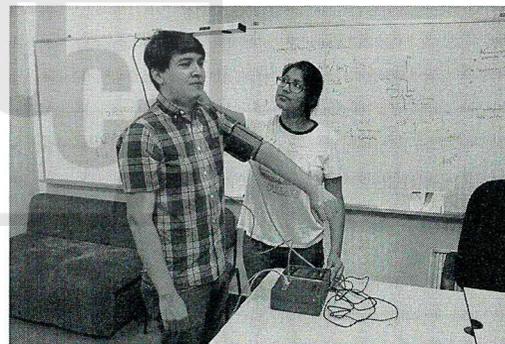


Figura 6. Funcionamiento del sistema

Conclusiones

Se ha visto la necesidad de proveer a las ECOSF de recursos que hagan más sencillo su funcionamiento y contar con medidas históricas de los pacientes abre posibilidades a los médicos de los ECOS ejecutar mejor su trabajo. Durante la realización del proyecto, se verificó la factibilidad de contar con un dispositivo electrónico que capture las variables fisiológicas de los pacientes y que, a su vez, se comunique con las Tablet con las que ya cuentan las ECOSF para realizar su trabajo.

La implementación de estos dispositivos es de bajo costo, se hace un estimado de \$150.00 dólares por aparato. En este proyecto se trabajó con la integración de sensores, microcontroladores y sistemas de comunicación Bluetooth. Si se requiere la producción en serie de estos dispositivos podría reducirse los costos de producción de los mismos dado que .se deben importar los elementos electrónicos dado que en el país no se cuenta con la producción de ellos.

Reconocimientos

Los autores agradecen las contribuciones de Andrés Flores en la contribución en la implementación de este trabajo.

Referencias

- [1] Ministerio de Salud, "Ministerio de Salud: MINSAL :: El Salvador – [20-09-2010] Lanzamiento de la Reforma de Salud", *Noticias*, 20-sep-2010. [En línea]. Disponible en: <http://w2.salud.gob.sv/novedades/noticias/noticias-ciudadanosas/120-sep-tiembre-2010/551—20-09-2010-lanzamiento-de-la-reforma-de-salud.html>. [Consultado: 23-feb-2017].
- [2] Ministerio de Salud, "Lineamientos operativos para el desarrollo de actividades en los ECOS familiares y ECOS especializados". mar-2011.
- [3] "BITalino | DiY biosignals". [En línea]. Disponible en: <http://www.bitalino.com/>. [Consultado: 23-feb-2017].
- [4] "e-Health Sensor Platform V2.0 for Arduino and Raspberry Pi [Biometric / Medical Applications]". [En línea]. Disponible en: <https://www.cooking-hacks.com/documentation/tutorials/ehealth-biometric-sensor-platform-arduino-raspberry-pi-medical>. [Consultado: 23-feb-2017].