

Diseño e implementación de un sistema de instrumentación y medida para la atención hospitalaria

Design and implementation of instrumentation and measurement system for hospital care

COLCIENCIAS TIPO 5. REPORTE DE CASO

RECIBIDO: OCTUBRE 20, 2014; ACEPTADO: DICIEMBRE 10, 2014

Carlos Alberto Henao Baena
c_henao_86@hotmail.com

Hugo B. Cano Garzón, M.Sc.
hbcano@utp.edu.co

Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia

Resumen

La comunicación entre pacientes y el personal médico es una tarea imprescindible para el buen funcionamiento de hospitales y/o clínicas. Para ello, los centros de salud cuentan con intercomunicadores (pequeña central telefónica), estos equipos cumplen con una variedad de funciones que permiten potencializar la comunicación dentro de los centros hospitalarios. Sin embargo, la solicitud de servicio por parte del paciente debe estar disponible al público en general con el propósito de mejorar la calidad del servicio. En este documento se describe un sistema de instrumentación y medida que permite informar al público en general, que habitación solicita el servicio a la enfermería en un hospital. El sistema utiliza una central telefónica que envía las llamadas a un microcontrolador, el cual, procesa la información para finalmente mostrarla en un indicador luminoso (display). El sistema posee ventajas como sencillez, fácil instalación, bajo costo, que lo hacen adaptable a aplicaciones similares.

Palabras Clave

Display; intercomunicador; sistema de instrumentación y medida; central telefónica.

Abstract

Communication between patients and medical staff is essential for the proper functioning of hospitals and clinics task. To do this, health centers have intercoms (small telephone exchange), these teams meet a variety of functions to potentiate the communication between the patient and nurse in hospitals. However, the service request by the patient must be available to the general public in order to improve the quality of service. In this paper an instrumentation system and as to inform the general public described, which requested room service to nursing in a hospital. The system uses a telephone system that sends calls to a microcontroller, which processes the information to finally show it on an LED (Display). The system has advantages such as simplicity, easy installation, low cost, making it suitable for similar applications.

Keywords

Display; intercoms; instrumentation and measurement system; telephone Exchange.

Los autores agradecen a la empresa Avanza Ingeniería SAS, entidad que aportó el financiamiento de este trabajo.

I. INTRODUCCIÓN

En años recientes los sistemas de turno desarrollados con *display* de siete segmentos, han sido aplicados en situaciones donde se desea liberar la congestión causada por extensas filas de usuarios (González, 2008). Estos dispositivos se pueden encontrar en bancos, restaurantes, hospitales, farmacias y, en general, en cualquier actividad donde exista atención al público.

Si bien el concepto de diseño de un sistema de turno es, en esencia, el mismo para aplicaciones donde es utilizado, la novedad surge en la solución del problema específico aplicando tal tecnología. Por ejemplo, González (2008) describe el diseño y puesta en marcha de un sistema de turno que además despliega distintos tipos de información (publicidad, hora, etc.), la misma que es programada desde un centro de mando. De manera similar, Castro, Góngora, Rengifo y Sardi (2012), construyen un sistema de turno para el proceso de matrícula en la Universidad Técnica de Manabí (Ecuador); el dispositivo desarrollado utiliza un *display* de doble segmento, una terminal de turno y un servidor que controla la plataforma por medio del protocolo TCI/IP, dando la posibilidad de generar informes estadísticos.

De manera análoga, sistemas similares han sido adaptados a otros escenarios donde la calidad del servicio es fundamental; el problema surge cuando los recursos son limitados y la adquisición de un sistema de turnos no resulta posible, por lo tanto, es necesario construir una solución sencilla, de bajo costo, que permita elevar la eficiencia del servicio prestado. Lo anterior se evidencia en los centros de salud (hospitales). En ellos aunque existe un sistema de comunicación entre las habitaciones y el centro de enfermería de la respectiva sección (Pediatría, Urgencias, etc.), sólo el personal de enfermería conoce la habitación que, en un momento dado, solicita un servicio. Esto es contraproducente y afecta la calidad del servicio, pues es información que debería presentarse al público en general.

Reconociendo el problema anterior, en este artículo se diseña e implementa un dispositivo basado en la filosofía de los sistemas de turno en las instalaciones del Hospital La Misericordia, de la ciudad de Calarcá (Quindío, Colombia). El sistema utiliza una central telefónica, un microcontrolador PIC16F887 y dos *display* de 7 segmentos, los componentes base del dispositivo.

Los resultados obtenidos muestran que el sistema

propuesto permite dar a conocer al público en general, la habitación que demanda servicio del personal de enfermería.

Este documento está organizado como sigue, en la parte 2 se presentan los materiales y los métodos utilizados en el desarrollo de la aplicación, más exactamente se describe el proceso de diseño. En el numeral 3 se presenta el protocolo de prueba, con los respectivos experimentos y los resultados obtenidos. Por último, se presentan las conclusiones.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

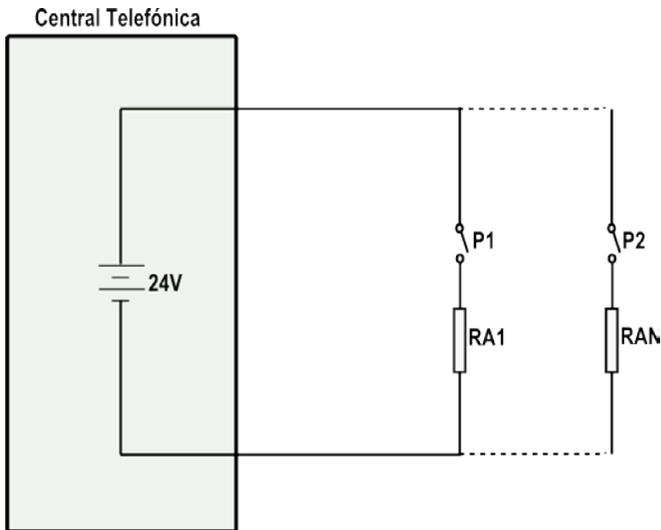
Como primer paso, fue necesario conocer cómo el hospital comunicaba, a las habitaciones de las personas internadas, con el centro de enfermería de la respectiva sección. Para este propósito, cuenta con un sistema denominado *Nurse Call System* (Dumed, s.f.), el cual, permite comunicar a los usuarios, con el centro de enfermería y viceversa, por medio de interruptores instalados en las habitaciones y una central telefónica local, instalada en la respectiva sección del hospital. Entre sus características funcionales, cuenta con:

- un sistema de indicadores, tanto en las habitaciones, como en la estación telefónica;
- un sistema de micrófonos, tanto en las habitaciones, como en la central telefónica; y
- un sistema de alarma en la central telefónica.

Los pulsadores de solicitud de servicio convergen a un terminal (bornero) que se encuentra en la respectiva estación telefónica. Básicamente, su función de la central, es habilitar el canal que está solicitando atención del personal de enfermería. La central posee tres estados de funcionamiento: el primero es el estado de latencia, en él, el sistema se encuentra a la espera de una orden; el segundo es el estado de aviso, el cual activa los indicadores y la alarma de la central; y el tercero es el estado donde se activan los micrófonos para comunicar al centro de enfermería con la habitación que solicita atención.

La Figura 1 corresponde a un esquema de circuito que resume el funcionamiento de la estación telefónica. En ella, $\{P1 \dots Pn\}$ son los pulsadores ubicados en las habitaciones, y $\{RA1 \dots RAN\}$ son las impedancias de los aparatos eléctricos (micrófono e indicadores) conectados al respectivo canal. Los pulsadores poseen memoria, una vez accionados permanecen en estado de cierre hasta que el personal de la central telefónica de la orden de apertura.

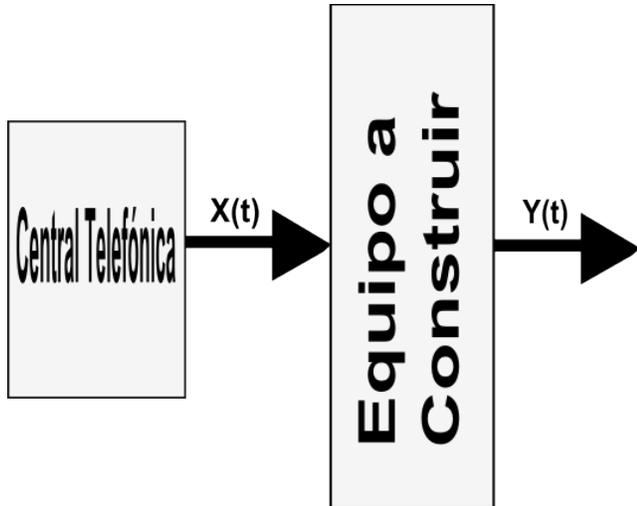
Figura 1: Diagrama de circuito central telefónica



A. Análisis de la información recopilada

En la Figura 2 se presenta un diagrama general del sistema que se desea implementar. En lo que queda de la sección se describe el proceso de diseño del dispositivo a implementar.

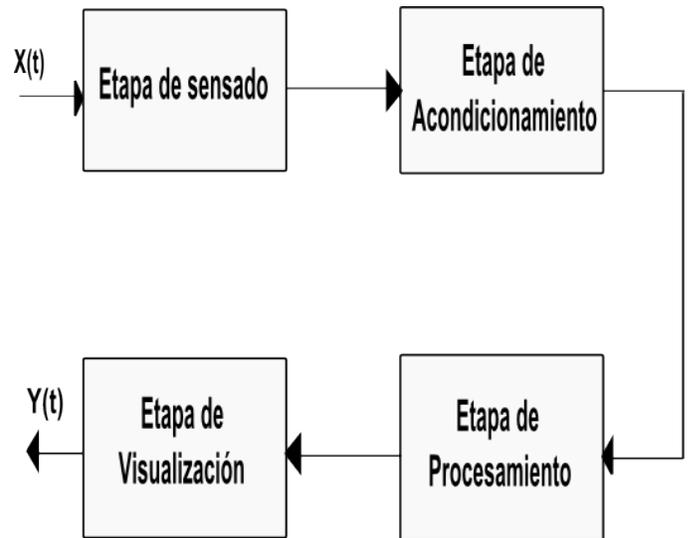
Figura 2. Diagrama del sistema a construir



Claramente, el sistema a diseñar debe detectar el evento asociado a la conmutación de los pulsadores $\{P1 \dots Pn\}$, procesar la información capturada y estar en la capacidad de mostrar al público en general la habitación que solicita servicio del personal de enfermería. Es decir, el sistema debe poseer las siguientes etapas: sensado, acondicionamiento de señal, procesamiento de la información, y visualización.

El sistema a diseñar, en forma de diagrama de bloques, se presenta en la Figura 3, el cual corresponde a un clásico sistema de instrumentación y medidas (Pallas, 2001). La señal $X(t)$ corresponde a la activación de alguno de los pulsadores $\{P1 \dots Pn\}$, similarmente, la señal $Y(t)$ es la encargada de informar al público en general la habitación que solicita servicio.

Figura 3: Diagrama de bloques del sistema a diseñar



B. Diseño

Las etapas de sensado y acondicionamiento de señal que se proponen se muestran en esquema de la Figura 4. En esencia, se compone de amplificadores operacionales y optoacopladores (nótese que, en este caso, los sensores son el arreglo de pulsadores $\{P1 \dots Pn\}$ de la Figura 1).

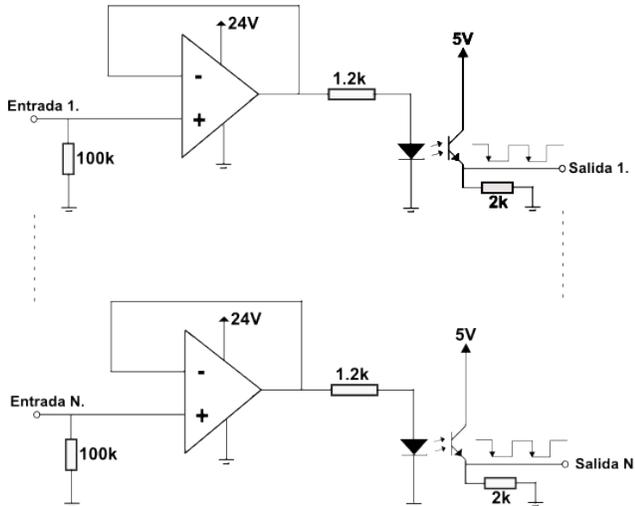
La función de los amplificadores operacionales en modo seguidor es eliminar problemas de compatibilidad magnética (desacople de impedancia) entre los dispositivos a interconectar; por su parte, la función de los optoacopladores consiste en aislar eléctricamente los dos dispositivos (central telefónica, equipo a construir).

La señal de salida corresponde a un pulso cuya duración depende del tiempo en que respectivo pulsador ($\{P1 \dots Pn\}$) permanezca accionado.

Es importante resaltar que el valor de las resistencias se calculó en función de la corriente de activación del optoacoplador (Vishay, 2010), así como de la potencia disipada por efecto Joule. Asimismo, la selección de una fuente de 5 voltios corresponde a un criterio de compatibilidad de las etapas de sensado y

acondicionamiento, con la etapa de procesamiento, la cual, como se indicará más adelante, opera al mismo nivel de tensión (5V). Lo propuesto en la Figura 4 posee ventajas como: simplicidad, tecnología de fácil acceso, bajo costo y fácil mantenimiento.

Figura 4. Etapa de sensado y acondicionamiento de señal



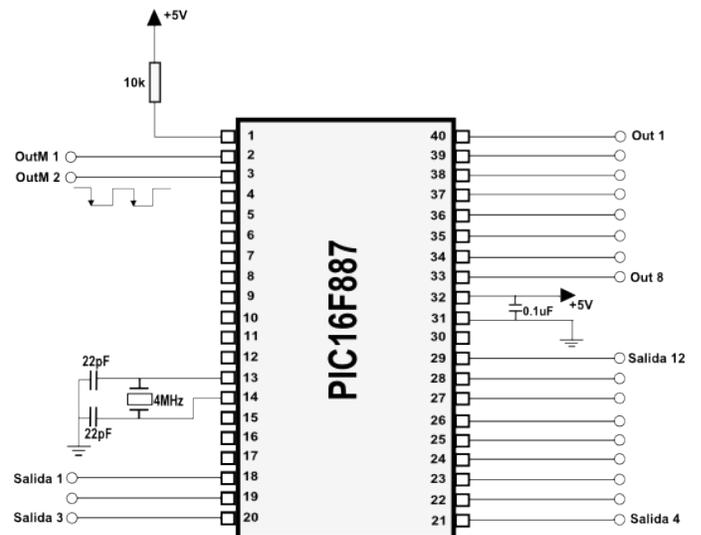
La etapa de procesamiento es la encargada de transformar la señal acondicionada a un sistema numérico para un posterior tratamiento (Pallas, 2001). El centro de esta etapa es un microcontrolador PIC16F887. Algunas características técnicas se enuncian a continuación (Henao, Gallego & Ardila, 2010; Microchip, 2007):

- múltiples canales de entrada–salida de datos;
- múltiples *timer*/contadores (tres) programables;
- múltiples sucesos para entrar en modo hibernación (modo de bajo consumo) así como múltiples formas de salir de él; y
- múltiples causas de interrupción.

El esquema del circuito se presenta en la Figura 5. Los terminales marcados con *Entrada x*, corresponden a la información entregada por la etapa de acondicionamiento (ver Figura 4); los terminales de salida viene demarcados *out x*, y los terminales de multiplexación – de los cuales se hablara más adelante–, con *outM x*.

Es importante mencionar que la topología (terminales utilizados) de la Figura 5 es totalmente arbitraria y la selección de otra configuración no afecta la metodología de diseño utilizada.

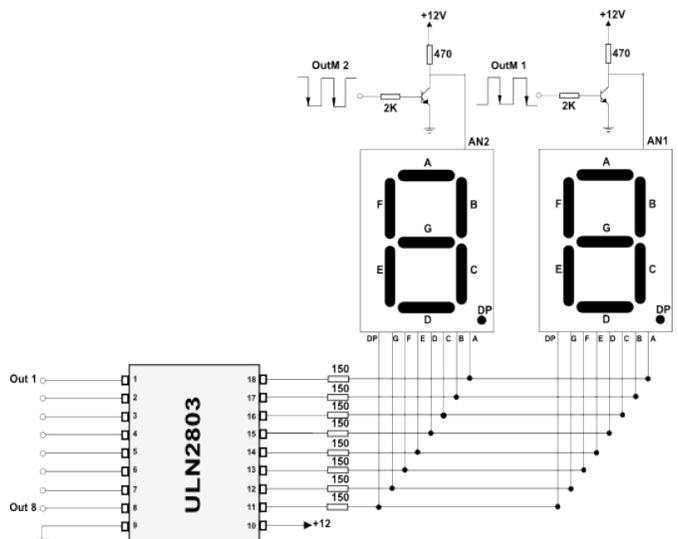
Figura 5. Etapa de procesamiento



La etapa de visualización corresponde a la entrega de forma adecuada de la señal $Y(t)$ al usuario final. Básicamente esta etapa se encuentra conformada por un integrado ULN2803 y dos *display* ánodo común de 90 x 122mm. La función del integrado es suministrar la corriente eléctrica suficiente para encender los *display*, esta corriente se calcula en función de la intensidad lumínica que se requiera (sin superar la corriente nominal del *display*), como en la potencia disipada por efecto Joule.

La Figura 6 corresponde al diagrama del circuito de la etapa de visualización.

Figura 6. Etapa de visualización



Nótese que los indicadores ($\{A \dots DP\}$) de los *display* se encuentra en corto circuito. El objetivo de esta configuración es disminuir el número salidas de la etapa de procesamiento. Luego, cada uno de los *display* es accionado (multiplexado) por medio de la señales de control $\{OutM\ 1, OutM\ 2\}$, las cuales provienen de la etapa de procesamiento. Usualmente estas señales de control duran alrededor de 11 ms, con el propósito de eliminar el parpadeo en los *display*. Para conocer en detalle el principio de funcionamiento del modelo de circuito de la Figura 6 se sugiere consultar a Henao, Baena, Gallego-Becerra, y Ardila-Urueña (2010).

C. Software

El software construido corresponde a un algoritmo bajo el cual opera el dispositivo. Este programa fue desarrollado en PIC C, una adaptación del lenguaje C para microcontroladores PIC (Henao et al., 2010). De forma resumida, el programa detecta el cierre y apertura del arreglo de pulsadores $\{P1 \dots Pn\}$, por medio de los terminales de entrada del microcontrolador $\{Salida\ 1 \dots Salida\ 12\}$; luego, el microcontrolador procesa esta información y emite el valor correspondiente, haciendo uso de los terminales de salida $\{Out\ 1 \dots Out\ 2\}$; simultáneamente, el algoritmo implementado controla el encendido de los *display* haciendo uso del *Timer 0* y de los terminales $\{OutM\ 1 \dots OutM\ 2\}$ (Henao et al, 2010, Microchip, 2007).

Una característica importante que debe poseer el algoritmo es que, cuando no se emite señal alguna por parte de los pulsadores $\{P1 \dots Pn\}$ el dispositivo debe entrar en modo de bajo consumo energético (*display* y transistores apagados y, en lo posible, microcontrolador en modo *Sleep*).

III. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

En esta sección se describen las pruebas realizadas a las etapas del sistema de instrumentación descrito. Las pruebas iniciales consistieron en experimentos realizados en laboratorio y en campo con el fin de ajustar el diseño propuesto.

A. Construcción de prototipo

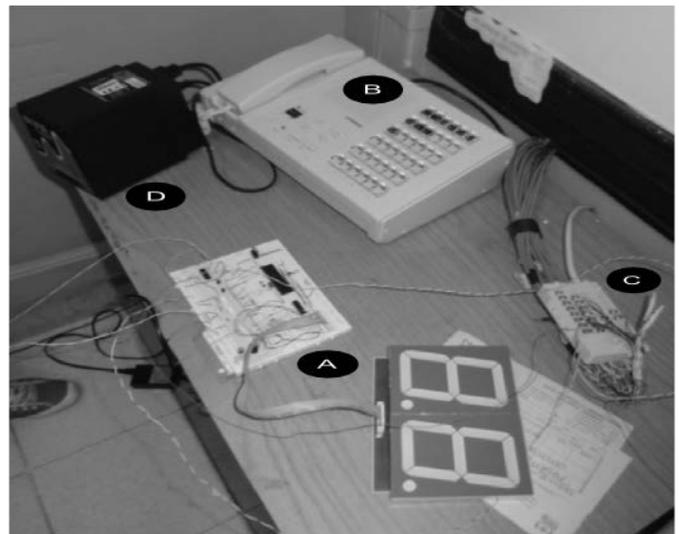
Antes de iniciar formalmente la etapa de experimentación se construyó, en forma de prototipo

(*protoboard*), el sistema de instrumentación que se muestra en las Figuras 4, 5 y 6. Para efectos de experimentos se consideran tres señales de entrada.

La construcción del prototipo permitió validar el diseño propuesto y ajustar el hardware (valores de las resistencias, ajuste de disipadores) y el código construido hasta el momento, es decir el software ensamblado en el microcontrolador, el cual se ajustó a las necesidades del hospital. Básicamente el usuario requería un equipo eficiente (un equipo que no estuviera prendido todo el tiempo), con buena iluminación y que la información suministrada coincidiera con la habitación que solicita el servicio.

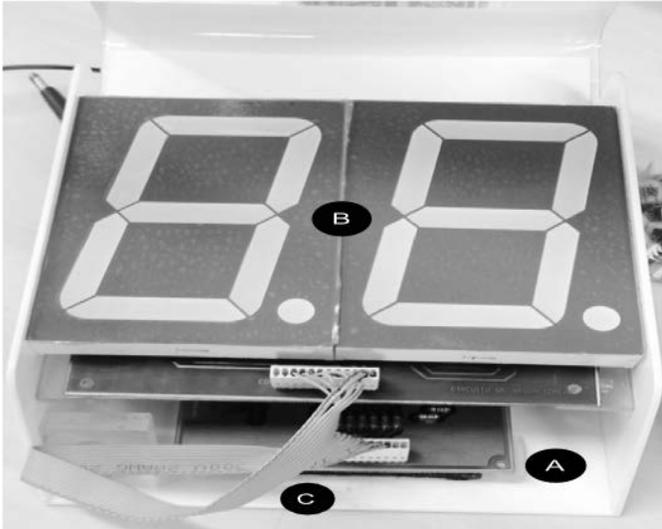
La Figura 7 corresponde al prototipo del sistema de instrumentación y medida. En ella, A indica el sistema de instrumentación diseñado; B, la central telefónica; C, el terminal (bornero) donde convergen las llamadas realizadas por los usuarios; y D, la fuente de poder del sistema.

Figura 7: Prototipo del sistema de instrumentación y medida



Posteriormente fueron diseñados y se construyeron (con los respectivos ajustes) los circuitos impresos necesarios para el ensamblar el equipo final, el cual consta de dos tarjetas: la primera, la tarjeta de control, está conformada por las etapas de sensado, acondicionamiento de señal, etapa de procesamiento y parte de la etapa de visualización (transistores e integrado ULN2003); la segunda tarjeta, la tarjeta de visualización, está conformada únicamente por los *display* conectados en paralelo. Las tarjetas se interconectan por medio de un bus de datos de diez terminales. En la Figuras 8 y 9 se aprecia el dispositivo final.

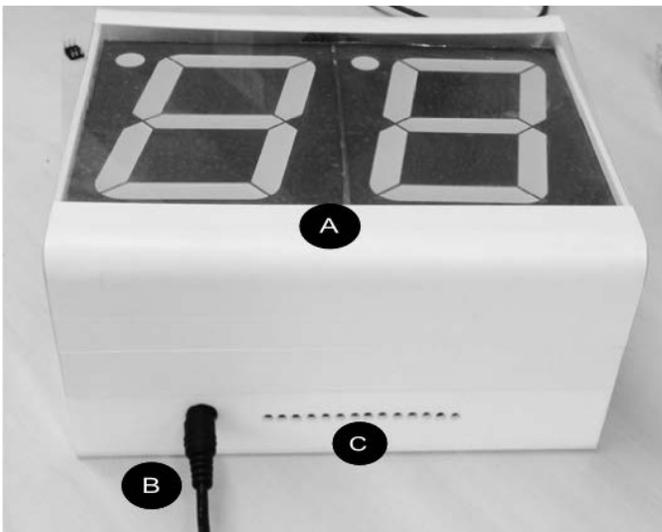
Figura 8: Descripción del prototipo final



En la Figura 8, el A indica la tarjeta de control; B, la tarjeta de visualización; y C, el bus de datos entre las dos tarjetas.

Por otro lado, el soporte mecánico (caja) del dispositivo se muestra en la Figura 9; este soporte debe poseer características que permitan la fácil instalación, desinstalación y mantenimiento del equipo.

Figura 9: Descripción del soporte mecánico del prototipo



En la Figura 9, A indica el soporte mecánico; B, la entrada de poder; y C, la entrada de datos provenientes de la central telefónica.

B. Resultados

El equipo fue instalado en las instalaciones del Hospital La Misericordia en la ciudad Calarcá. Hasta la elaboración de este artículo, el dispositivo llevaba en funcionamiento

aproximadamente dos meses, tiempo durante el cual ha operado de la forma esperada, es decir, no se han detectado problemas de calentamiento, iluminación o parpadeo, o problemas originados por el rompimiento de algunos de los dispositivos. En la Figura 10 se aprecia el dispositivo en operación en las instalaciones del Hospital. El número que se aprecia corresponde a una de las habitaciones que solicita servicio al personal de enfermería; La flecha en la imagen indica la fuente de poder y los pares de datos.

Figura 10: Dispositivo final en funcionamiento



Claramente, un inconveniente que presenta el dispositivo desarrollado su dependencia de la central telefónica para operar; es decir, si a la central telefónica, en algún momento, se le interrumpe el suministro de energía –o si sencillamente deja funcionar porque es apagada o sufre un daño– el dispositivo no funcionara, así exista una orden de atención provenientes de las habitaciones.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El equipo construido permitió descentralizar la información proveniente de las habitaciones en un sistema de información accesible al público en general, lo cual, no sólo permite mejorar la eficiencia del servicio prestado, sino también la calidad de vida de los usuarios.

Con base en los resultados, el sistema construido puede ser adaptado a hospitales o entidades que cuenten con un sistema de comunicación con los usuarios, similar al descrito en este artículo. La solución que se plantea es sencilla y posee grandes ventajas como: funcionalidad, facilidad de instalación y mantenimiento, y bajo costo.

V. REFERENCIAS

- Castro, J.D., Góngora F.M., Rengifo J.A. & Sardi, D.G. (2012). *Mejoramiento del proceso de matriculación, mediante la implementación de un sistema tecnológico y su incidencia en la atención a los estudiantes de la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas* [trabajo de grado]. Universidad Técnica de Manabí: Manta, Ecuador.
- Dumed (s.f). *Nurse call system. Operation manual*. Recuperado de <http://www.commax.vn/catalog/download/Commax%20Nurse%20Call%20System.pdf>
- González, R.E. (2008). *Sistema digital de turnos con despliegue en panel matricial de información* [trabajo de grado]. Universidad Industrial de Santander: Bucaramanga, Colombia.
- Henao, C.A., Gallego, H.A. & Ardila, W. (2010). *Libro guía para el estudio de las interrupciones*. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Microchip (2007). *PIC16F882/883/884/886/887 Data-Sheet*. Chandler, AZ: Microchip Technology.
- Pallas, R. (2001). *Sensores y acondicionadores de señal* [3a ed.]. Madrid, España: Alfaomega.
- SGS - Thomson Microelectronics (1997). *ULN2803 DataSheet*. Recuperado de <http://www.datasheetcatalog.com/sgsthomsonmicroelectronics/1/>
- Vishay (2010). *4N25, 4N26, 4N27 and 4N28 Optocoupler data-sheet*. Malvern, PA: Vishay.

CURRÍCULUM VITAE

Carlos Alberto Henao Baena. Ingeniero Electricista y Tecnólogo Electricista de la Universidad Tecnológica de Pereira (Colombia). Estudiante de la Maestría en Ingeniería Eléctrica y miembro del «Grupo de Investigación en Automática» de misma Universidad. Sus áreas de interés son los microcontroladores, los sistemas de instrumentación y medida, y los modelos probabilísticos.

Hugo Baldomiro Cano Garzón, M.Sc. Magister en Instrumentación Física, Ingeniero Electricista y Tecnólogo Electricista de la Universidad Tecnológica de Pereira (Colombia). Actualmente pertenece al grupo de investigación «Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Electrónica y Robótica». Sus áreas de interés son los sistemas de telecomunicaciones, en particular las tecnologías en redes ópticas.