

Adaptive Evacuation Management System Based on Monitoring Techniques

J. A. Muñoz, V. Calero, I. Marin, *Member, IEEE*, P. Chavez, *Member, IEEE* and R. Perez

Abstract— In this paper we explore the implementation of a dynamic emergency system. The proposed system uses the already implemented sensors and cameras, supplemented with task oriented sensors, in a Distributed/Wireless Sensor Networks (DSN/WSN) architecture to gain knowledge of the building environment conditions such as fires, gas leaks, corridors usage among others. With the collected information, the system, by using routing algorithms, will generate, dynamically, the best routes to evacuate the premises. The route generation takes into consideration not only the data provided by the sensors but also the nature of the emergency. This approach avoids or minimize potential risk from, for example, stored goods or the, current, status of the emergency exits, maximizing the number of routes so the evacuation of attendees and ingress of emergency personal can be done in the safest and fastest way possible. The system will inform about the egress routes and ingress routes through the use of dynamic visible signs. In order to clarify and illustrate the proposed solution a case study for a sport stadium is also presented.

Keywords— Internet of things, reactive evacuation management, adaptive signaling and path localization.

I. INTRODUCCIÓN

LA GESTIÓN de emergencias es uno de los temas de mayor impacto social [1], los incendios o accidentes en discotecas, centros comerciales u estadios deportivos en condiciones de hacinamiento producen gran alarma social. Esto provoca que sea necesario prestar una atención especial a la fijación de sus planes de emergencia y evacuación. Un factor de riesgo adicional, que por lo general no se considera suficientemente, es la posible presencia en locales aledaños de depósitos de mercancías potencialmente peligrosas (ropa, pinturas, insecticidas, productos de limpieza y otras sustancias inflamables) que pueden llegar a ser explosivos o generar humos tóxicos o corrosivos. Desde la perspectiva del diseño actual de planes de emergencia, es prácticamente imposible hacer una evaluación preliminar de los riesgos que contenga todas estas contingencias ya que, si bien es cierto que se deben cumplir toda una serie de normativas (incluso muy exhaustivas), apenas se contempla la evolución temporal de las sustancias almacenadas (y sería casi imposible abordar una política de revisiones constantes de este plan en función de todos los riesgos potenciales). En general, los planes y

procedimientos de emergencia se crean generalmente en el momento de la construcción y equipamiento del edificio [2-4], por lo que es muy posible que se conviertan en obsoletos respecto de posteriores modificaciones reglamentarias, o por cambios en el uso de los diferentes espacios dentro de la construcción. Por otra parte, hay algunos casos bien conocidos en los que las salidas de emergencia en el interior del edificio no eran suficientemente accesibles o, se encontraban bloqueadas (recordemos los casos del Madrid-Arena en España en 2012; el fuego de un hospital de Moscú, en Rusia, en 2006, o la tragedia de Santa María en Brasil en 2013). Otro caso paradigmático fue el del Station Nightclub en EE.UU. (2003), producido por un exceso de aforo en el local y el hacinamiento que se ocasionó en una de las salidas de emergencia cuando se produjo el incendio.

Las rutas de evacuación están señalizadas mediante una serie de símbolos estandarizados que son estáticos. Este modelo de señalización puede producir aglomeraciones en el caso de una ruta de escape bloqueada o mal dimensionada. Las posibles roturas, daños o alteraciones en la señalización también pueden producir incertidumbre en las personas a ser evacuadas. Incluso cuando las rutas están bien diseñadas y señalizadas, es extremadamente difícil alterar dinámicamente el flujo de personas en situación de pánico cuando una ruta esté bloqueada o afectada por la presencia de escombros, humo o el riesgo potencial de explosión o liberación los gases de tóxicos. Por tanto, sería deseable poder modificar estas rutas de evacuación de forma dinámica, con el fin de facilitar no solo la evacuación de las víctimas sino, permitir el acceso rápido a los servicios de emergencia. En este trabajo se explora el diseño y gestión de rutas dinámicas de evacuación [5-6], generando un plan de emergencia reactivo y adaptable a distintas alteraciones en las condiciones del edificio y sus inmediaciones y de la naturaleza de la emergencia durante la evacuación.

Actualmente, el plan de evacuación de una edificación viene predefinido de forma estática y su funcionalidad se basa en la presencia de una señalización clara y el mantenimiento adecuado de las salidas de emergencia. Esta señalización se coloca generalmente en un sitio alto (lo que dificulta la visibilidad en la presencia de humo) y se le da mantenimiento esporádicamente, por lo que las señales pueden deteriorarse o incluso ser robadas fácilmente. Sin embargo, la experiencia demuestra que, en una situación de emergencia, la mayoría de las víctimas no son provocadas por la causa directa de la catástrofe (incendios, inundaciones, gases tóxicos), sino por el efecto de una multitud presa del pánico, corriendo hacia puertas de salida a través de rutas mal mantenidas o

J. Muñoz, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Guayaquil, Ecuador, joanmuno@espol.edu.ec

V. Calero, ESPOL, Guayaquil, Ecuador, vcalero@espol.edu.ec

I. Marin, ESPOL, Guayaquil, Ecuador, imaringa@espol.edu.ec

P. Chavez, ESPOL, Guayaquil, Ecuador, paxichav@espol.edu.ec

R. Perez, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria, España, rafael.perez@ulpgc.es

señalizadas de forma confusa. Este resultado no significa necesariamente que el diseño original del sistema de emergencia fuese negligente, sino que los cambios en las estructuras o simplemente la presencia de escombros pueden hacer a este plan inaplicable y obsoleto.

Un diseño alternativo de plan de evacuación debe basarse en un procedimiento dinámico, capaz de adaptarse a las diferentes situaciones y, por tanto, de "recalcular" vías de escape a través de las lecturas obtenidas a partir de una variedad de sensores (sustancias tóxicas, espacios de inundación, humo y el nivel de la obstrucción o la ocupación de una ruta, los recursos de asistencia disponibles...) [7-8]. Estas rutas también deben determinarse teniendo en cuenta no sólo que se debe para facilitar una rápida evacuación o incluso la atención de las posibles víctimas, sino que también deben permitir el acceso de los servicios de emergencia o de seguridad. El núcleo de un sistema de este tipo es un gestor basado en un algoritmo de enrutamiento modelado por los datos de una red de sensores, además de la información adicional proporcionada por los servicios de emergencia y, tal vez, incluso una estimación de la posible evolución de la fuente de daños. Este enfoque implica el uso de plataformas de comunicaciones robustas con múltiples canales redundantes, que puede estar basado en la nube, y que debería proporcionar los datos de emergencia tanto a las personas a evacuar como a los servicios de emergencia de modo que les habilite para tomar decisiones, por lo general de forma automática y a partir de datos heterogéneos, usando técnicas de minería de datos.

La Fig. 1 muestra el esquema de los componentes del sistema propuesto así como su interacción. El cálculo de rutas se basa en la existencia de múltiples vías de escape ponderadas por factores claves, tales como: distancia, facilidad de acceso, presencia de escombros o humo tóxico, aglomeración de personas y naturaleza de la emergencia. Estos factores claves son determinados por las redes de sensores y dispositivos de adquisición de datos del edificio. Una vez determinada la existencia de un evento se informa al servicio de emergencia correspondiente y se inicia el cálculo de rutas de evacuación y de ingreso del personal de socorro, las cuales son enviadas a la señalización reactiva para ser mostrada oportunamente.

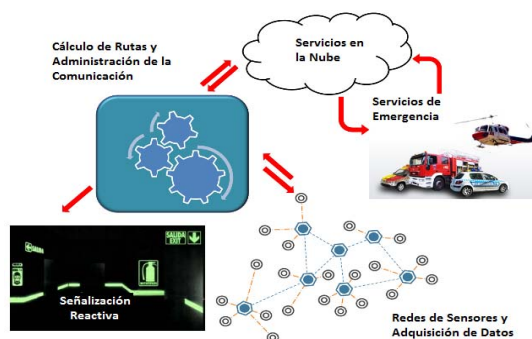


Figura 1. Componentes del sistema de gestión de la evacuación adaptativo basado en técnicas de monitorización.

La organización de este trabajo es la siguiente: en la siguiente sección se describen las magnitudes a medir y los sensores que puedan ser utilizados. La sección III describe las estructuras de entrada y salida de datos a utilizar, y cómo hacer frente a los problemas producidos por el uso de redes de naturaleza heterogénea. La sección IV explica el problema de enrutamiento mientras que la Sección V aborda el problema de la señalización. También se proporcionan algunos resultados preliminares. Por último, se extraen algunas conclusiones, así como se describen algunos posibles escenarios de aplicación.

II. MAGNITUDES A DETERMINAR: SENSORES Y ACTUADORES

Como primer enfoque, hemos centrado nuestro trabajo en un tipo de siniestro concreto: los incendios y sus efectos secundarios. En una situación de desastre, ser capaz de determinar el origen de la emergencia antes de que se expanda es vital para mejorar la gestión de la evacuación y, por ende, de las rutas de inserción de los equipos de rescate. Una de las causas más comunes de incendio es la fuga de gases inflamables (como podría ser propano o metano). Todos estos tipos de combustión siempre dejan pistas que pueden ser detectados a través de sensores, y se pueden reducir sus efectos al ser capaces de localizar y detectar con antelación aquellas áreas donde pueda ocurrir una deflagración, o de detectar y delimitar zonas de seguridad durante una emergencia. También es necesario determinar las áreas con una alta concentración de monóxido de carbono o dióxido de carbono (CO y CO_2) y, por último, saber si hay aglomeraciones de personas u obstáculos que puedan bloquear las salidas de emergencia. Otro parámetro importante a determinar es la velocidad de aumento de la temperatura en un área determinada de un edificio, de modo que pueda identificarse el punto concreto donde pudo haberse originado el fuego.

La medida de la temperatura requiere un sensor con un amplio margen dinámico de operación, así como una gran capacidad de adaptación a los cambios rápidos de la misma. En la Tabla I se muestra una lista de los sensores de temperatura y humedad (medidas claves en caso de incendio) comerciales que proporcionan mejores características de señales de salida, además de requerir unos niveles de potencia adecuados para adaptarse a su entorno operativo. Los sensores de temperatura deben situarse en lugares estratégicos dentro del edificio para enviar sus mediciones al sistema de control que, con la información proporcionada, calculará las rutas utilizando las rutinas de enrutamiento, cambiando el peso asignado a los distintos caminos de evacuación disponibles a través de la información recibida sobre el entorno.

Cuando instalamos estos sistemas y los dispositivos correspondientes se pueden encontrar dos posibles escenarios. Una posibilidad se basa en la presencia de sistemas *legacy* instalado previamente. En ese caso, tendremos que gestionar una red heterogénea (*HetNet*) para lo que será necesario introducir algún tipo de solución de middleware con el fin de asegurar la interconectividad. En ese caso, el uso de

soluciones basadas en el estándar IEEE 1451 [7] sería una buena alternativa. Por el contrario, si tenemos la oportunidad de diseñar toda la red, vamos a elegir una solución totalmente compatible con conectividad completa como podría ser el WaspMote de Libelium [8], sistema que consiste en un grupo de nodos con diferentes tipos de sensores conectados que nos permitan trabajar con varias interfaces de radio, como ZigBee, Wi-Fi o GPRS/3G. Este sistema permite operar simultáneamente nodos con todos los tipos de sensores que pueden encontrarse en un edificio convencional.

La Tabla II muestra una lista de los sensores detectores de humo capaces de trabajar de manera efectiva tanto con un fuego de crecimiento lento o rápido. Todos ellos son lo suficientemente robustos como para ser utilizables en las áreas de peligro.

TABLA I. SENSORES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD.

Temperatura				
Fabricante	Modelo	Rango °C	Precisión	Salida
Analog Devices	TMP35	10 – 125	+0.5°C	Analógico
Texas Instruments	LM35D	-55 – 100	+0.5°C	Analógico
Maxim Integrated	DS18B20	-55 – 125	+0.5°C	Digital
Humedad				
Fabricante	Modelo	Rango %	Precisión	Salida
Aosong Electronics	DTH22	0 – 100	+6.5%	Digital
STMicroelectronics	HTS221	0 – 100	+4.5%	Digital
Honeywell	HIH3600	0 – 100	+4.5%	Digital

TABLA II. SENSORES DETECTORES DE HUMOS.

Fabricante	Tipo	Modelo	Rango (ppm)	Salida
Hanwei Sensors	Butano y Propano	MQ8	200 - 10000	Analógico
Hanwei Sensors	Butano y Propano	MQ2	300 - 5000	Analógico
FIGARO ENGINEERING	Butano y Propano	TGS2610-C00	500 - 10000	Digital
Hanwei Sensors	Monóxido de Carbono	MQ7	20 - 2000	Analógico
FIGARO ENGINEERING	Monóxido de Carbono	TGS3870	50 - 1000	Digital
City Technology	Monóxido de Carbono	4FC+	0 - 2000	Analógico
Sandbox Electronics	Dióxido de Carbono	MG811	0 - 10000	Analógico
Gas Sensing Solutions	Dióxido de Carbono	Cozir ambient sensor	0 - 2000	Digital
FIGARO ENGINEERING	Dióxido de Carbono	CDM4180-L00	400 - 4500	Digital

Otra cuestión a tener en cuenta es la presencia de escombros en la vía y su efecto de aglomeración de las personas a evacuar. Estos fenómenos pueden ser monitoreados mediante cámaras de vigilancia y sensores de ultrasonidos. En el caso de las cámaras de videovigilancia, se requiere un algoritmo de procesamiento de imágenes y reconocimiento de patrones para determinar el nivel de aglomeración en sitios predefinidos del edificio (salidas de emergencia, bifurcación de rutas). Los sensores de ultrasonidos se emplean en zonas no supervisadas por vídeo y determinan la presencia de personas y si una puerta de salida de emergencia o zona de paso están bloqueadas. En conjunto, este sistema nos da una idea bastante precisa del estado de congestión en las diferentes áreas del edificio. Obviamente, el procesamiento de imágenes no se hará in situ, sino que se enviará al centro de datos, donde el sistema tiene la potencia de cómputo necesaria para aplicar los

algoritmos en tiempo real, y donde esta información se empleará, en conjunto con los datos de los diferentes sensores descritos anteriormente, para tomar las decisiones de enrutamiento.

III. INTERNET DE LAS COSAS Y GESTIÓN DE EMERGENCIAS.

Una vez que tenemos varios datos procedentes de fuentes heterogéneas (como se muestra en la Tabla I y la Tabla II), el siguiente paso será la combinación de ellos para obtener información agregada en un formato adecuado para ser procesada por el sistema de enrutamiento. La agregación de la información se puede dividir en tres procesos diferentes: la interconexión de sensores utilizando una red de comunicaciones dependiente de la naturaleza de los sensores (analógica o digital; incrustado en la estructura, por cable o no, etc.) para ser conectado y las características de la instalación. Después de eso, la interconexión de redes también tendrá en cuenta la heterogeneidad de las redes para conectarse, debido a la presencia de varios tipos de sensores (incluso sistemas heredados de otras tecnologías) [9-10]. Finalmente, los datos deben gestionarse de manera que para determinar la significación de los datos medidos, especialmente cuando las fuentes de datos pueden buscar inicialmente no correlacionado. Este último proceso puede ser realizado por medio de técnicas de minería de datos.

Actualmente hay muchas estructuras de redes comerciales en el mercado para la interconexión del sensor (Bluetooth, ZigBee, CAN...) que pueden ser utilizados para nuestros propósitos. Muchos de ellos pueden soportar diferentes ontologías de sensores, incluso aquellos con salidas analógicas y que por tanto requieren de un conversor A/D. Como ya se ha mencionado, el principal problema de la utilización de redes heterogéneas es cómo combinar diferentes protocolos (por ejemplo Bluetooth con CAN) a fin de asegurar la capacidad de interacción entre sensores y la coherencia de los datos obtenidos. Hemos considerado dos alternativas principales: en primer lugar podemos usar una configuración de *middleware* como podría ser el estándar IEEE 1451 para que los extremos de la red pueden interactuar sin cambiar ningún formato de conexión de las redes internas preexistentes. Otra posibilidad es gestionar directamente cada sensor con estrategias basadas en esquemas de enrutamiento de alto nivel como 6LoWPAN donde cada sensor resulta accesible mediante una dirección directa IPv6 en una estrategia punto-punto y punto-multipunto.

Otro desafío procede de la gestión de grandes cantidades de información. Como sabemos, el Big data o minería de datos se basa en el análisis automático o semiautomático de grandes cantidades de datos para extraer patrones útiles desconocidos como la creciente presencia de gases a través de una ruta, que se puede utilizar para descubrir la información oculta. Esta tarea deberá incluir el análisis de conglomerados, detección de anomalías y la detección de dependencias. Los patrones obtenidos pueden ser tratados tanto como un resumen de los datos de entrada, como procedentes de un nuevo sistema de información a ser procesado o como información almacenada para referencias futuras.

IV. ENCAMINAMIENTO.

El guiado de personas en situaciones de pánico cuando se produce una emergencia es el mayor problema de gestión al que se enfrentan los diseñadores de modelos de evacuación, tanto si estos usan un modelo estático, como si lo se basan en un diseño de tipo reactivo como se presenta en este trabajo. Para el propósito de este trabajo se ha limitado el estudio a la reacción en caso de incendio por lo que se ha considerado como posibles riesgos para seleccionar una ruta la presencia de depósitos de productos químicos de limpieza (como lejía, amoníaco u otros disolventes) productos tóxicos (como venenos antiplagas) o productos derivados de la combustión de materiales ordinarios (como los derivados del uso de moquetas, con sus adherentes, o de cortinas o sábanas con materiales sintéticos). Si hablásemos de una instalación deportiva podríamos considerar asimismo la presencia de material inflamable como colchonetas, plásticos etc. Esos productos químicos y sus interacciones y mezclas (debido a un incendio, aunque un caso similarmente complejo sería una inundación o anegación parcial) tienen efecto directo en su entorno y por ende en la situación de las posibles rutas de escape que se puedan utilizar. Otro peligro que puede afectar tanto a la evacuación y rutas de inserción son los daños estructurales y colapsos que puedan bloquear la ruta o limitar la capacidad de las rutas de evacuación o la inserción de las personas. Por último y como uno de los retos más importantes del proyecto, está el tema de la falta de visibilidad producida por el humo, por contaminación o por fallos en los sistemas de iluminación. Esta reducción de la visibilidad también incrementa a consecuencia del estrés que los evacuados sufren, y en la percepción de la propia falta de visión. Por lo tanto, se debe prestar especial atención para proporcionar señalización de alta visibilidad, clara y sencilla como se muestra en la Fig. 2.



Figura 2. Un ejemplo de tira de LED que se puede utilizar para la señalización reconfigurable, por ejemplo, colocados sobre el zócalo por toda la pared.

Teniendo en cuenta todos los desafíos de nuestros escenarios, se decidieron los objetivos de nuestro proyecto.

Estaba claro que con el fin de maximizar y optimizar evacuaciones, el sistema debería ser capaz de determinar el número máximo de posibles rutas de evacuación disponibles en un edificio [11-12]. Este número debe ser obtenido en un enfoque de dos pasos, primero, antes de la evacuación, el uso de algoritmos para resolver el encaminamiento básico: descubrir y dimensionar las rutas de base disponibles. Luego, en una segunda etapa, ya durante la emergencia, el establecimiento de “pesos” en función de las amenazas, las distancias y la cantidad de personas que es capaz de gestionar una vía, seleccionar las rutas más viables para la evacuación y la inserción de las personas en el edificio. Esta segunda etapa es crítica y con mayores requerimientos de computación, ya que se tiene que hacer de forma dinámica mientras se recibe información de una red dañada, potencialmente insegura y probablemente incompleta de sensores. De ahí debemos producir rutas “seguras” que puedan ser enviadas a los sistemas de señalización.

El algoritmo debe seleccionarse basándonos en las dimensiones del escenario. Para instalaciones pequeñas y de acuerdo con la complejidad de enrutamiento, la solución elegida fue Dijkstra [13], pero en las implementaciones de tamaño medio, se requiere una solución más robusta. Además, la complejidad de la interacción de la red y nodo puede crecer hasta un punto en el que un algoritmo basado en modelos de Markov que, con los cálculos pre-emergencia, proporcionará un tiempo de respuesta lo suficientemente rápido para corregir correctamente el enrutamiento durante la evacuación y la inserción. Por último, para las grandes implementaciones, donde coexisten varias redes de sensores y se necesita un gran número de señales para el encaminamiento de los grupos en múltiples niveles de construcción, la solución podría venir de la implementación de un sistema experto utilizando algoritmos RETE para determinar, minuto a minuto, el modelo de uso más eficiente y de gestión de cambios en las rutas de evacuación.

V. MODELOS DE COMUNICACIÓN Y SEÑALIZACIÓN ROBUSTA.

Con el fin de diseñar un sistema de gestión de la evacuación de adaptación precisa, la red de comunicación debe ser, no sólo redundante, escalable y estable, sino también robusta. Debido a la cantidad de sensores y actuadores, la red comunicará una gran cantidad de datos para así calcular la mejor ruta de evacuación y poder así orientar a las víctimas potenciales dentro de la construcción, y de los servicios de emergencia o de seguridad que accedan a él. Dado que esta información será enviada bajo condiciones de destrucción, la red debe poder operar aún en condiciones de pérdida de nodos, o de reducción de la conectividad de los mismos. También puede ocurrir que se deba operar bajo condiciones ambientales extremas (caso de huracanes, terremotos o inundaciones) y soportar el uso de múltiples canales redundantes de transmisión. Otro objetivo es proporcionar la señalización complementaria mediante el uso de señales integradas, basadas principalmente en señales de iluminación (Fig. 2), ya que los estudios psicológicos indican que son los estímulos más fáciles de ser percibidos en situaciones de

estrés, e incluso el uso de las comunicaciones mediante luz visible (VLC) como una fuente adicional de información. Las señales deben integrarse en el suelo o los zócalos, y ser capaces de cambiar fácilmente su simbología (por ejemplo, el sentido de orientación) o color según lo ordenado por el sistema de control que como vimos antes tiene en cuenta la información recibida de los sensores y los gestores de emergencia. Este sistema debe también complementarse con otros medios dinámicos de señalización (paneles informativos, mensajes de audio). Afortunadamente, todos estos dispositivos tienen en la actualidad un costo asequible y están disponibles en el mercado. Finalmente, pero no menos importante, los factores psicológicos, como la experiencia en la gestión de pánico también se debe incluir en el análisis de algoritmos de encaminamiento dinámicos.

VI. RESULTADOS Y ESCENARIOS PRELIMINARES DE APLICACIÓN.

Como estudio de caso, mostramos los fundamentos de diseño de un sistema de evacuación de reactivo en un estadio, en particular, se muestra una instalación deportiva en España, con una capacidad aproximada de 1.000 personas. Sus operaciones están amparadas por las normas de seguridad españolas y de la UE en situaciones de emergencia. En la determinación de zonas peligrosas, se definen por la presencia de agentes químicos como por ejemplo en las tiendas de material deportivo. La instalación actual de seguridad se basa en una combinación de sensores termovelocimétricos, que se activa cuando la temperatura aumenta más de 10 °C por minuto en una habitación normal, y sensores de humo óptico-fotoeléctricos. También hay pulsadores que permiten la activación manual de alarma mediante la transmisión de una señal a un panel de control central; Está diseñado de modo que sea fácil identificar donde se activó la alarma. La Fig. 3a muestra la estructura actual en la que las líneas verdes representan zonas delimitadas por las puertas cortafuegos.

Nuestra primera tarea fue la de definir las áreas que podrían ser fácilmente cubiertas por una red de sensores, y calcular las posiciones de los centros que podrían manejarlos (marcado en rojo en la Fig. 3b, donde el tamaño indica la potencia relativa requerida para cada hub o conjunto de hubs). Adicionalmente, hemos definido en cada área los riesgos potenciales específicos para incluir sensores químicos especializados (por ejemplo, una tienda con colchonetas y material deportivo de plástico podría causar nubes de humo con presencia de fosgeno). Los nodos verdes en punto de la Fig. 3b muestran la ubicación de las salidas de emergencia, en donde debemos incluir cámaras y sensores de presencia para determinar si hay aglomeraciones potencialmente peligrosas, así como sensores mecánicos en las puertas con el fin de determinar si están bloqueadas o cerradas.

La Fig. 3c muestra las áreas en las que hemos incluido las señales de luz empotrados en el suelo. Estas señales se basan en barras LED (luz blanca) capaces de cambiar la dirección de su secuencia de encendido, mostrando cual ruta de evacuación es más adecuada en forma dinámica. Esta señalética se ha complementado con señales acústicas que indican la presencia de una emergencia.

En general, el estado actual de las señales de evacuación es deficiente, se colocan cerca del techo (y por tanto pueden llegar a hacerse invisibles en la presencia de humo denso) y además son contradictorias, (o al menos confusas), ya que indican dos direcciones opuestas. Por su parte, las señales propuestas se basan simplemente en una tira LED baratos dirigidos. Si bien las normativas españolas y de la UE [14] no permiten la sustitución o eliminación de la señalización de evacuación fija, sí que autorizan el que se complemente estas con señales adicionales, como podrían ser señales lumínicas similares a las que se usan en los pasillos de los aviones comerciales.

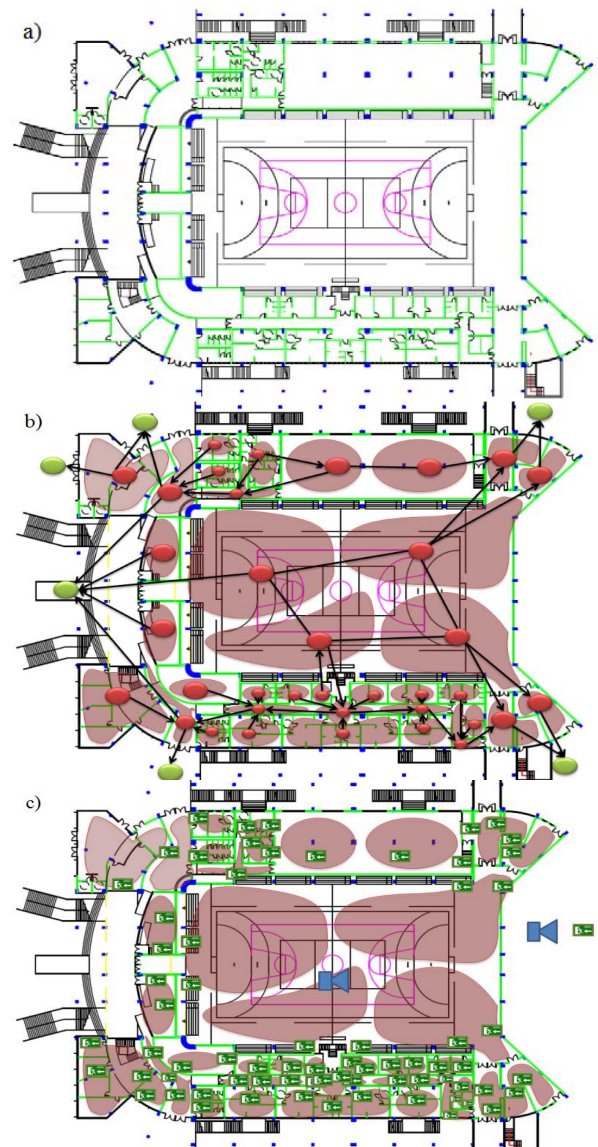


Figura 3. Estudio de caso del sistema de emergencia reactiva. (a) Estructura actual, las líneas verdes muestra las áreas delimitadas por las puertas cortafuegos. (b) Proyecto de estructura de la red con el fin de apoyar a los servicios de la IO basados en redes basadas (nodos verdes incluyen instalaciones específicas para las salidas de emergencia). (c) Posición de las señales adaptativas y de emisores acústicos

Esta propuesta puede ser de aplicación en lugares donde los usuarios puedan elegir entre diferentes rutas de evacuación, por tanto no sería directamente aplicable para viviendas individuales o pequeñas empresas, pero si para grandes edificios como hoteles, aeropuertos u hospitales; instalaciones de ocio como teatros o bares, áreas deportivas como estadios, coliseos, etc. Esta metodología puede también extenderse para cubrir los programas de evacuación en grandes áreas o incluso zonas urbanas bajo amenazas de inundaciones, seísmos, nubes tóxicas debidas a derrames o accidentes de trabajo, etc.

VII. CONCLUSIONES.

En este trabajo, hemos presentado una estructura de sistema reactivo, basado en la interconexión de sensores a través del paradigma de Internet de las Cosas. Esta solución se puede instalar de forma sencilla para convertirse en una solución asequible, capaz de adaptarse a las situaciones cambiantes en el manejo de emergencias. Se basa en una tecnología totalmente disponible, por lo que podemos considerar que no hay incertidumbre tecnológica sobre su fiabilidad y capacidad de ser implementadas. Además, esta solución es fácilmente escalable, de modo que pudiera incorporar nuevas soluciones tecnológicas o varios tipos de sensores en función de las necesidades del edificio. El siguiente paso va a aplicar esta propuesta en hoteles dentro del proceso de remodelación de infraestructura turística en el sur de Gran Canaria, que actualmente promueve el Gobierno regional de las Islas Canarias y el Gobierno local de la isla de Gran Canaria.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado en parte por el Programa de Becas PROMETEO de SENESCYT, Ecuador, y se basa en las directrices del proyecto de Evacuación Reactiva KISHWAR, financiado por ESPOL desde 2014.

REFERENCIAS

- [1] A. Monares, J. Pino, M. Noguera, S. Ochoa, T. Ruiz López, "Using Unconventional Awareness in Emergency Responses", IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS, Vol. 12, No. 1, pp. 62-68, Jan. 2014
- [2] "Propuesta de Ley Orgánica del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos de Ecuador" *pending approval by the ecuadorian national assembly, exp. 110405*
- [3] Spanish Safety Regulation in Buildings (Código Técnico de la Edificación –CTE-), corresponds to the EU directive 89/106/CEE
- [4] European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA): <https://osha.europa.eu/es>
- [5] Pel, A. J., Bliemer, M. C., & Hoogendoorn, S. P. (2008, October). EVAQ: A new analytical model for voluntary and mandatory evacuation strategies on time-varying networks. 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, 2008. ITSC 2008. (pp. 528-533). IEEE.
- [6] Pel, A. J., Hoogendoorn, S. P., & Bliemer, M. C. (2010). Evacuation modeling including traveler information and compliance behavior. *Procedia Engineering*, 3, 101-111.
- [7] Song, E. Y., & Lee, K. (2008). Understanding IEEE 1451-Networked smart transducer interface standard-What is a smart transducer?. *IEEE, Instrumentation & Measurement Magazine*, 11(2), 11-17.
- [8] Available at <http://www.libelium.com>, July 2014.
- [9] Rachedi, A., Lohier, S. P., Cherrier, S., & Salhi, I. (2012). Wireless network simulators relevance compared to a real testbed in outdoor and indoor environments. *Int.l Journal of Autonomous and Adaptive Communications Systems*, 5(1), 88-101.
- [10] Cherrier, S., Ghamri-Doudane, Y. M., Lohier, S., & Roussel, G. (2012, July). Services collaboration in wireless sensor and actuator networks: orchestration versus choreography. *IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, 2012 (pp. 000411-000418). IEEE.
- [11] H.D. Serali, T.B. Carter and A.G. Hobeika, "A Location-Allocation Model and Algorithm for Evacuation Planning under Hurricane/Flood Conditions", *Transportation Research Part B*, 25(6), pp 439-452, 1991.
- [12] A.J. Pel, M.C.J. Bliemer and S.P. Hoogendoorn, "Hybrid Route Choice Modeling in Dynamic Traffic Assignment", *Transportation Research Record*, 2091, pp 100-107, 2009.
- [13] Alpert, C. J., Hu, T. C., Huang, J. H., & Kahng, A. B. (1993, May). A direct combination of the Prim and Dijkstra constructions for improved performance-driven global routing. *IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 1993, ISCAS'93*, 1993 (pp. 1869-1872). IEEE.
- [14] Directive 92/58/EEC - safety and/or health signs



Jose A. Muñoz-Arcatales (Santo Domingo - Ecuador, 1989). He was graduated as Telematics Engineer on 2013 (ESPOL, Ecuador). He has worked as Assistant Professor of Telematic's Department since 2013 at Escuela Superior Politécnica del Litoral. He has been researching in fields like, Visible Light Communications, Smart Farming and Reactive Evacuation Systems with a major research interest in Sensor Networks and Embedded Systems.



Vanessa Calero (Guayaquil - Ecuador, 1988). She was graduated as Telematics Engineer on 2013 (ESPOL, Ecuador). She has worked as Assistant Professor of Electrical Networks since 2014 at Escuela Superior Politécnica del Litoral. Her research interests are in the field of Sensor Networks and Embedded Systems



Ignacio Marin-Garcia (Logroño - Spain, 1975). He received his bachelor in Science Engineering Technology degree in 2003 and his Master Science in Information Systems in 2006, both from Northeastern University. He currently works as Full-time assistant professor at Telematics Engineering department at Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). His research interests include HPC, VLC, virtualization, security and education. He has been member of ACM since 2004 and IEEE since 2003 (computer society and standard association). HE worked as a Junior Researcher and Teaching Assistant at the "ITEST Robotics" project (NSF 0423059).



Patricia Chavez-Burbano (Guayaquil - Ecuador, 1979). She received her Engineering degree in Electronics and Telecommunications in 2005 (ESPOL, Ecuador) and her Master of Science in Electrical Engineering in 2008 (Northeastern University, USA). She currently works as full-time assistant professor at Telematics Engineering department at Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Her research interests include WSN, DSP, VLC and Pattern Recognition. She has been member of ACM since 2008 and IEEE since 2000. She worked as Junior Researcher and Co-promoter at the "VLIR-ESPOL" project.



Rafael Perez-Jimenez (Madrid - Spain, 1965). He received his Engineering degree in Telecommunications (UPM, Spain 1991, equivalent to both BS and MSc) and a PhD in 1995 (ULPGC, Spain, honors). Since 1991 he is at the Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, where he is now serving as Full Professor and Director of the IDeTIC Research Institute in the ULPGC. His current research interest areas are in the field of wireless optical communications, Visible Light Communications, Real Time Location Systems and Internet of things applications, especially for tourism facilities