

Modelo conceptual de análisis de fallas para edificios basado en WSN, BIM y realidad aumentada móvil

Conceptual model of fault analysis for buildings based in WSN, BIM and mobile augmented reality

Lobo, Leonardo^{1*}; Uzcátegui, José²

¹Ingeniería Informática, Universidad Politécnica Territorial de Mérida (UPTM), Mérida 5101, Venezuela.

²Grupo de Investigación de Telecomunicaciones (GITEL), Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes.

*leonardolobot@hotmail.com

Resumen

La integración de las telecomunicaciones constituye el eje fundamental en la tendencia de los edificios modernos, ya que de ello depende el monitoreo y correcto funcionamiento de los distintos sistemas automatizados que lo componen: infraestructuras de voz y datos, instalaciones sanitarias, eléctricas, entre otros. Para la gestión de estas instalaciones, se necesitan identificar las fallas o daños generados para preparar planes de mantenimiento preventivo; sin embargo, esta tarea se dificulta por la compleja interacción entre los distintos componentes del edificio. El objetivo de esta investigación es desarrollar un modelo que permita la evaluación y análisis de fallas en edificios basado en enlaces (WSN - Wireless Sensor Networks), tecnología del Modelado de Información de Construcción (BIM - Building Information Modeling) y realidad aumentada móvil como herramienta para mejorar la calidad de las operaciones y mantenimiento. Las Redes de Sensores Inalámbricos (WSN) junto a la estandarización del Modelado de Información de Construcción (BIM) crea nuevas oportunidades para mejorar la eficiencia en la gestión de las instalaciones, compartiendo información del edificio entre distintos sistemas. Finalmente, los resultados mostraron que el modelo propuesto es factible y ofrece una alta utilidad como herramienta en operaciones de mantenimiento para profesionales e involucrados en la industria de la construcción.

Palabras claves: Red de Sensores Inalámbricos (WSN), Modelado de Información de Construcción (BIM), Análisis de Datos, Realidad Aumentada (AR).

Abstract

The integration of telecommunications is the fundamental axis in the trend of modern buildings, since it depends on the monitoring and proper functioning of the various automated systems that comprise it: voice and data infrastructures, sanitary and electrical installations, among others. For the management of these facilities, it is necessary to identify the failures or damages generated to prepare preventive maintenance plans; however, this task is complicated by the complex interaction between the different components of the building. The objective of this research is to develop a model that allows the evaluation and analysis of faults in buildings based on links (WSN - Wireless Sensor Networks), BIM - Building Information Modeling technology and mobile augmented reality as a tool to improve the quality of operations and maintenance. The Wireless Sensor Networks (WSN) together with the standardization of the Construction Information Modeling (BIM) creates new opportunities to improve the efficiency in the management of the facilities, sharing building information between different systems. Finally, the results showed that the proposed model is feasible and offers high utility as a tool in maintenance operations for professionals and involved in the construction industry.

Keywords: Wireless Sensor Networks (WSN), Building Information Modeling (BIM), Data Analysis, Augmented Reality (AR).

1 Introducción

En la actualidad, la información es un elemento crítico de suma importancia en la sociedad, ya que se requiere en prácticamente cualquier entorno que nos rodea. Así pues, el empleo de redes de telecomunicación junto a las tecnologías de información aplicadas a los edificios, posibilita una nueva visión que busca maximizar la eficiencia de los mismos con un bajo costo e impacto ambiental.

Se ha observado últimamente un aumento en el uso de las Redes de Sensores Inalámbricos (*WSN - Wireless Sensor Networks*) debido a que son un tipo especial de redes distribuidas por zonas, que permiten su despliegue sin infraestructura previa, en cualquier momento y lugar. Estas tienen una gran diversidad de aplicaciones ya que utilizan sensores para monitorizar condiciones en diferentes localizaciones, entregando parámetros físicos medibles, impuestos por una aplicación en cuestión. El uso de las WSN en el mantenimiento de las instalaciones de edificios modernos, favorece la obtención de infinidad de información útil para ser manejada junto a los sistemas de Gestión de Mantenimiento Asistidos por Computador encargados del manejo de datos relevantes como inventario de activos, órdenes de trabajo, servicio e historial y gestión de recursos de mantenimiento.

Con referencia a lo anterior, se propone adicionar el Modelado de Información de Construcción (*BIM - Building Information Modeling*), como concepto emergente que espera resolver la falta de interoperabilidad entre sistemas compartiendo la información por medio del ciclo de vida de las instalaciones. Estos no son más que una representación en 3D de las características físicas y funcionales de un edificio. BIM han permitido el uso de múltiples dimensiones, como resultado, el enfoque ha cambiado de diseño unidireccional y planificación, para obtener información sobre cada objeto en el edificio y sus relaciones. Para lograr una herramienta sólida, se requiere de la Realidad Aumentada (*AR - Augmented Reality*) para entregar la información almacenada en los servidores, de una forma visual al operario de mantenimiento a través de un dispositivo móvil, en el que se superpone objetos o elementos virtuales con los reales. Lo mencionando anteriormente, es para desarrollar un sistema adecuado que sirva en el mantenimiento y que permita analizar los datos recogidos para identificar patrones de falla o deterioro que puedan presentarse. Cabe destacar que las decisiones sobre trabajos relacionados con el mantenimiento, generalmente se hacen sobre la base de diversos tipos de datos históricos acumulados, como datos de detección, registros de inspección, bocetos de diseño entre otros.

El enfoque realizado se centra en presentar un modelo conceptual integrando las tres tecnologías para generar una herramienta de trabajo útil en el ámbito de la construcción. El aporte de este trabajo consiste en utilizar la tecnología emergente de las WSN e integración de BIM para generar una herramienta de análisis de datos, inspección y

mantenimiento de edificios, además de introducir los beneficios de la realidad aumentada en la industria de la construcción venezolana.

Como se ha hecho poca investigación sobre como pueden ser utilizados BIM y AR en un contexto de operación y mantenimiento, este estudio examina el campo y propone una solución para un sistema de este tipo.

2 Marco Teórico

A continuación, se presentan las bases teóricas que sustentaron la formulación, implementación y análisis de resultados del modelo conceptual.

2.1 Red de Sensores Inalámbricos (WSN)

El desarrollo de las primeras redes de sensores dio sus primeros pasos con propósitos militares, es por ello que no hay mucha información sobre la fuente de la idea. Se conoce que la investigación en redes de sensores comenzó cerca de 1980 con el proyecto *Distributed Sensor Networks (DSN)* de la agencia militar de investigación avanzada de Estados Unidos *Defens eAdvanced Research Projects Agency (DARPA)*. (Chong y col., 2003).

Las investigaciones fuera del ámbito militar datan de finales de los 90, con el proyecto *Smartdust*. Uno de los objetivos de este proyecto fue crear sensores con comunicación en un milímetro cúbico. Aunque este proyecto finalizó de forma anticipada, dio lugar a muchos otros proyectos de investigación. Los investigadores participantes en estos estudios, apodaron con el término "mote" (mota) a los nodos sensores. (Kahn y col., 2000).

La idea de desarrollar estos dispositivos fue promovida por la evolución de la miniaturización de ordenadores, la cual, dio lugar a desarrollar pequeñas computadoras, extremadamente pequeñas y baratas que se comunican de forma inalámbrica y se organizan autónomamente. En principio se trata de distribuir estos circuitos de forma aleatoria en un área extensa, en donde los nodos recopilan información y parámetros en un área de acción limitada hasta que ya no tienen autonomía energética. Estas piezas de electrónica se dieron a conocer como polvo inteligente gracias a sus características.

2.1.1 Características de una WSN

Una red de sensores es una red de pequeños computadores (nodos o motes), equipados con sensores que trabajan con un fin común. Están formadas por un grupo de sensores con ciertas capacidades sensitivas y de comunicación inalámbrica los cuales permiten formar redes ad hoc sin infraestructura física preestablecida ni administración central. Se caracterizan por su facilidad de despliegue y por ser auto configurables, pudiendo convertirse en todo momento en emisor, receptor, ofrecer servicios de encaminamiento entre nodos sin visión directa, así como registrar datos referentes a los sensores locales de cada nodo. Otra importante característica es la gestión que

realiza de su propia fuente de energía, la cual le permite disponer de una autonomía de años. (Fernández y col., 2009).

Estos sistemas distribuidos de operación autónoma y totalmente integrada de nodos de bajo consumo, de reducido tamaño, realizan medidas mediante sensores adquiriendo datos del entorno que les rodea, comunicándose de forma inalámbrica entre ellos. La adquisición y el control se llevan a cabo por medio de sensores conectados que pueden ser administrados remotamente o bien a través de una aplicación integrada en el nodo. Una red de sensores puede estar comprendida desde unos cuantos nodos hasta cientos de éstos, distribuidos por un edificio o un espacio abierto como muestra la Figura 1.

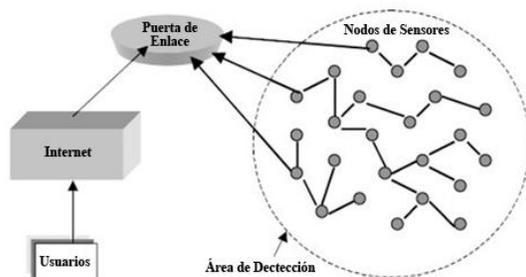


Figura 1. Típica Red de Sensores Inalámbricos (WSN).

El diseño de una red de sensores inalámbricos como la descrita anteriormente estará influenciada por los varios factores (Pérez y col., 2014).

a) Tolerancia a fallos: Algunos nodos sensores pudieran fallar o bloquearse debido a la falta de energía, o recibir daños físicos o interferencias medioambientales. El fallo de nodos sensores no debería comprometer el funcionamiento global de la red sensora.

b) Escalabilidad: Los nuevos diseños deberán ser capaces de trabajar con un número de nodos del orden de centenares, millares, e incluso, dependiendo de la aplicación, millones.

c) Costos de producción: Dado que las redes de sensores consistirán en un gran número de nodos sensores, el costo de un nodo individual es clave para que una red inalámbrica sea rentable en comparación con una cableada.

d) Limitaciones de hardware: Un nodo sensor estará constituido por cuatro componentes básicos. el *Sensor-ADC*, la Unidad de Proceso, el Transceptor, y la Unidad de Energía. También puede tener otros componentes adicionales dependiendo de su aplicación como un Sistema de Localización y un Movilizador.

e) Topología: El despliegue de un gran número de nodos densamente distribuidos precisa de un mantenimiento y gestión de la topología aplicada.

f) Entorno: Los nodos sensores inalámbricos serán desplegados densamente bien, muy cerca o directamente en el interior del fenómeno a ser observado. Por consiguiente, normalmente trabajan desatendidos en áreas geográficas remotas. Pueden estar trabajando en el interior de una

maquinaria grande, en el fondo del océano, en un área contaminada biológicamente o químicamente, en un campo de batalla más allá de las líneas enemigas, así como en edificios y hogares.

g) Medio de transmisión: En una red de sensores multisalto, los nodos de comunicaciones están conectados mediante un medio inalámbrico. Estas conexiones pueden estar formadas por medios tales como: radio, infrarrojo u óptico.

h) Consumo energético: Los nodos sensores inalámbricos, por lo general, estarán equipados con una fuente energética limitada.

2.2 Modelado de Información de Construcción (BIM)

BIM es el acrónimo de Building Information Modeling, se puede definir como un software o modelo 3D virtual de un edificio, es una colección de datos de un edificio organizados en una base de datos estructural que se puede consultar fácilmente de forma visual o numérica, con el objetivo de ser utilizados en procesos de proyección, planificación, diseño y operación de edificios modernos.

El modelo BIM consiste en los equivalentes virtuales de los elementos constructivos y piezas que se utilizan para construir el edificio. Estos elementos tienen todas las características físicas y lógicas de sus componentes reales. Estos elementos inteligentes son el prototipo digital de los elementos físicos del edificio, como son los muros, pilares, ventanas, puertas, escaleras, etc. que nos permiten simular el edificio y entender su comportamiento en un entorno virtual antes de que se inicie su construcción real. (Graphisoft 2016).

En el BIM se considera dos cosas: el proceso de desarrollo en ingeniería, y el producto en la forma del modelo de información. En esta investigación, el término BIM se utilizará como el último. El proceso de desarrollo incluye el uso de computadoras en la planificación, diseño, construcción y operación de edificios. El producto en la forma del modelo de información consta de objetos con propiedades y relaciones, lo que permite visualizaciones de muchos aspectos diferentes. BIM permite un alto nivel de detalle y composición de la información que es muy valiosa para diversidad de profesionales de la construcción como se observa en la Figura 2 ya que ayuda en los procesos de decisión.

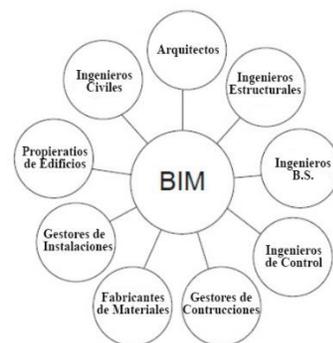


Figura 2. Enfoque centrado en la información.

Un proyecto de construcción BIM estará formado por tantos modelos como disciplinas intervengan en el proyecto. En la edificación se considera que, como mínimo, deben existir tres modelos a partir de la fase de diseño (inicial y detallado): el arquitectónico, el estructural y las instalaciones.

- El modelo arquitectónico contiene toda la información relativa a la geometría del edificio y la que se derive de ella, (mediciones), así como sobre los materiales y soluciones constructivas prescritas.
- El modelo estructural contiene la información relativa a la estructura del edificio, su diseño y geometría, materiales, elementos, análisis y cálculos, dimensionado y cantidad de materiales que lo conforman.
- El modelo de instalaciones contiene la información gráfica y no-gráfica relativa a las distintas instalaciones que conforman el edificio: electricidad, fontanería, saneamiento, confort térmico y acústico, etc. Puede existir un sub-modelo por cada una de las instalaciones que luego se integran en el modelo de instalaciones.

La integración de estos tres modelos contiene toda la información necesaria del edificio en función del nivel de desarrollo en el que nos encontremos. Y al conjunto que forman los tres lo denominamos genéricamente modelo BIM o 3D BIM. (Oliver 2016)

El manejo de BIM hace posible tener un repositorio para almacenar todos los datos de los componentes de diseño y cada componente debe describirse una vez. Estos proporcionan datos gráficos y no gráficos, como dibujos, especificaciones y programación. Los cambios en cada elemento deben hacerse sólo una vez y en un solo lugar, para que todos los miembros del equipo puedan supervisar los cambios al instante. Uno de los beneficios de BIM es que permite a todos los interesados insertar, extraer y modificar la información del edificio durante las diferentes fases del ciclo de vida de la instalación. Mediante su uso, se puede realizar una simulación 3D del edificio y sus componentes ayudando a predecir colisiones y a calcular cantidades de material. (Eastman y col., 2011).

BIM e integración de sensores

La integración de sensores físicos y actuadores para ambientes responsivos es posible con los BIM. A través de la investigación de Kensek y Kahn (2013), en su estudio se investiga la posibilidad de conectar sensores ambientales de luz, humedad, o dióxido de carbono con un Modelo de Información de Construcción BIM. Durante el desarrollo de la investigación hicieron pruebas con un simple modelo digital que respondió a niveles de luz detectados por una foto resistor en una tarjeta Arduino. Posteriormente el caso de estudio fue duplicado usando Revit Architecture, una herramienta popular en BIM, y Dynamo, un ambiente de

programación gráfica, en una creativa aplicación. Un segundo caso de estudio siguió un procedimiento similar implementando Revit API directamente pero el proceso fue revertido para demostrar que no solamente la información podría ser enviada desde sensores para cambiar el modelo tridimensional, sino que cambios en los parámetros de un modelo tridimensional podrían afectar el modelo físico mediante el uso de actuadores.

Finalmente concluyeron que, aunque los ejemplos que se realizaron son de construcción sencilla, demuestran que ambos flujos de trabajo (el uso de Dynamo como lenguaje de scripting visual y Revit API para crear un complemento de dll) tuvieron éxito en el uso de un sensor de luz para manejar parámetros en un BIM.

Realidad Aumentada (AR)

La Realidad Virtual (VR – *Virtual Reality*) trata de rodear a un usuario completamente con un ambiente o entorno virtual. Los ejemplos más comunes de realidad virtual es el uso de simuladores de vuelo y juegos de computadora. En resumen, con un sistema VR, el usuario puede ser llevado del mundo real a uno generado por computadora.

En este sentido, la Realidad Aumentada (AR – *AugmentReality*) tiene por objetivo dejar al usuario en el mundo real y solo aumenta su experiencia con elementos virtuales. Hay que tener en cuenta que, aunque la realidad aumentada generalmente se trata de aumentos visuales, otros medios de aumentos son posibles, como el sonido, dispositivos tangibles y así sucesivamente.

Una de las definiciones más aceptadas es la de Azuma (1997), en donde aclara que esta tecnología debería tener las siguientes características:

1. Combina contenido virtual con real.
2. Ser interactivo en tiempo real.
3. Estar registrado en 3D.

Se observa que, aunque esta definición es muy amplia, la mayoría de los investigadores se han concentrado en el aumento visual durante los últimos años. Milgram y Kishino (1994), definen una continuidad de realidad - virtualidad como se muestra en la Figura 3. El mundo real y un entorno totalmente virtual están en los dos extremos de una línea continua con la región media llamada Realidad Mixta. La realidad aumentada se encuentra cerca del extremo real del espectro, siendo la percepción predominante el mundo real aumentado por datos generados por computadora. La virtualidad aumentada es un término creado por Milgram y Kishino para identificar sistemas que son en su mayoría sintéticos con algunas imágenes del mundo real agregadas, como la textura de mapeo de vídeo en objetos virtuales.

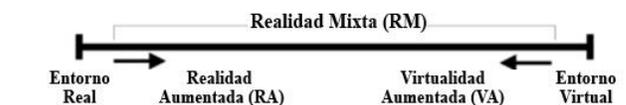


Figura 3. Continuidad de realidad y virtualidad (Milgram y Kishino, 1994).

Se puede ver a la realidad aumentada como un mediador de información, o un filtro, donde la computadora ayuda hacer las cosas de una manera más intuitiva.

AR y fusión de datos en construcción

Investigaciones anteriores demostraron que AR ha sido utilizada en la construcción para apoyar tareas de inspección en puentes, visualizar operaciones de equipos de construcción, ayudar la interacción de dos usuarios que operan dos grúas virtuales y que se comunican entre sí, y para el monitoreo automático del progreso de la construcción.

La integración de datos implica combinar información en el sentido más amplio para estimar o predecir el estado de algún aspecto del universo. Shahandashti y col., (2011) han revisado algunos ejemplos de aplicaciones recientes de integración de datos en ingeniería civil y han presentado algunos de los beneficios potenciales, como mejorar la fiabilidad de sistemas, reducir la ambigüedad, mejorar la detección y ampliar la cobertura espacial y temporal en sistemas de detección y una dimensionalidad cada vez mayor. Sin embargo, todavía no se han explorado las posibilidades de utilizar AR e integración de datos BIM mejorados con redes de sensores inalámbricos.

3 Criterios para el Modelo Conceptual

Para determinar los criterios de diseño del prototipo, primero se necesitan definir los requerimientos que ayudaran en el proceso de desarrollo de la aplicación. El análisis de éstos describe todas las funciones necesarias para que la aplicación trabaje según lo previsto, además se priorizan para asegurar que el proceso de desarrollo se centre primero en los requerimientos más importantes.

Parte de los criterios se obtuvieron de aspectos funcionales y no funcionales requeridos tomando en consideración la perspectiva de los profesionales y relacionados con la construcción entrevistados. Las entrevistas ayudaron a descubrir aspectos del problema, y condujeron a la formación de los requerimientos. Las etapas iniciales de la investigación requerían un seguimiento de los trabajadores de mantenimiento para aprender cómo realizan actualmente las tareas de mantenimiento diario. Además, un trabajador de mantenimiento fue seguido durante varias horas en su trabajo para saber los desafíos que enfrenta en la práctica. Hay que tener en cuenta que dependiendo de la empresa puede haber varios trabajadores de mantenimiento con distintas áreas de responsabilidad o tener uno solo con la responsabilidad de todo el edificio.

Algunas de las necesidades descubiertas de acuerdo con las entrevistas realizadas a los participantes fueron:

- Conocer el estado y funcionamiento en todo momento de los elementos e instalaciones del edificio.

- Los usuarios buscan una fácil adaptabilidad y aprendizaje de un nuevo sistema en sus entornos de trabajo.
- En el mantenimiento del sistema eléctrico, los equipos industriales son complejos, hasta las tareas más sencillas se realizan basadas únicamente en el conocimiento del electricista.
- Las operaciones de mantenimiento diarias suelen planearse en el sitio sólo con información en físico y únicamente disponibles en el lugar (planos impresos, evaluación de ubicación, conocimiento del personal).
- Durante el mantenimiento de tuberías, tener un mapa completo de lo que hay dentro la pared puede ayudar en la planificación y ejecución del mantenimiento.
- Actualmente utilizan únicamente AutoCAD y formularios impresos para realizar las inspecciones, por lo que la colaboración con otras plataformas automatizadas es pobre.
- Personas con responsabilidades en áreas de construcción, mecánicas e hidráulicas, piensan que pueden beneficiarse al conocer lo que está oculto dentro de paredes, techos y pisos.
- Para el mantenimiento general del edificio sólo se tiene acceso a planos impresos, pero un sistema de planos digitales y en 3D a través de un móvil o tableta podría ser introducido en el futuro.
- El acceso a información completa sobre reemplazos de piezas, dimensiones, procedimientos, manuales, marcas, precios, proveedores, entre otros, debe estar integrado en el mismo sistema para no recurrir a largas búsquedas en internet.
- BIM actualmente no se utiliza en el mantenimiento de los edificios.

En general se puede sintetizar la información en dos diagramas. La Figura 4 muestra de forma general la fusión de las tecnologías y bondades para dar parte de la solución. Además, este esquema visualiza el flujo de información de las tecnologías al usuario por medio de la aplicación móvil.

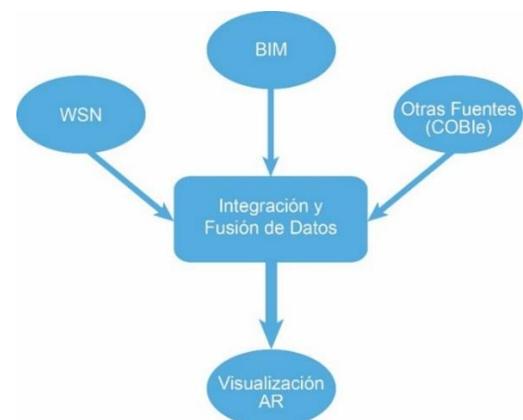


Figura 4. Esquema general del prototipo conceptual SIOMVe.

Esta forma general de integración de las tres tecnologías WSN, BIM y AR en un servidor de datos BIM local, permitirá el acceso a toda la información por parte del personal que lo requiera en las tareas de operación y mantenimiento del edificio. Viendo a detalle el funcionamiento del sistema en la Figura 5, se observa que el servidor encargado de recopilar la información para la herramienta móvil es alimentado a través de los datos de la Red de Sensores Inalámbricos ubicado en todas las zonas que se requiera supervisión constante, como espacios específicos o elementos críticos en las instalaciones del edificio. Por otro lado, las herramientas BIM suministran la información 3D, detalles de piezas, planos de cada especialidad creando una base de datos vital para el funcionamiento del sistema. En los casos que la información se encuentre almacenada en otros programas, es posible anexarla al centro de datos BIM por medio del uso de COBie, manejando el cruce de información entre plataformas sin dificultad alguna.

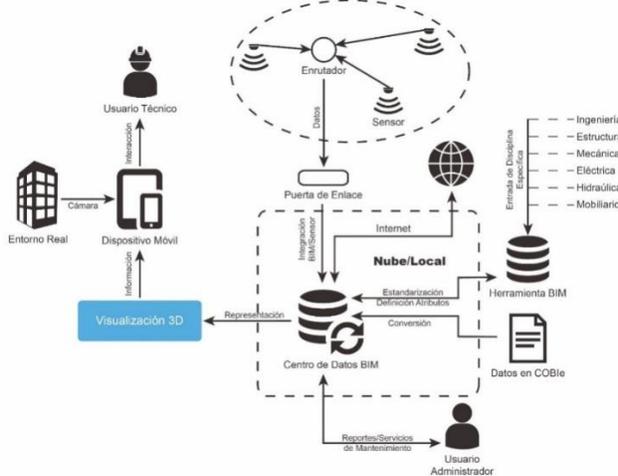


Figura 5. Esquema detallado del prototipo conceptual SIOMVe.

La conexión a internet expande el acceso a documentación y comunicación del sistema con terceros. El usuario administrador a cargo del centro de datos BIM recibe los reportes y estadísticas del funcionamiento de las instalaciones del edificio, con lo que se puede tomar decisiones de operación durante su vida útil.

Requerimientos funcionales y no funcionales

De acuerdo a la información obtenida, los criterios para el prototipo conceptual se pueden clasificar en funcionales, no funcionales como se muestran en la Tabla 1, en ésta también se especifican los requerimientos relacionados a implementar en la herramienta. Todos los requerimientos funcionales están directamente vinculados a las características de la aplicación, y al especificarlos el desarrollo puede planificarse mejor.

Los no funcionales son más abstractos, se enfocan en cómo se siente y piensa el usuario, como la aplicación debe

ser usada. Al tener un plan, se puede dar prioridad a las características más importantes.

Tabla 1. Criterios y requerimientos necesarios del prototipo conceptual SIOMVe.

Criterio	Descripción	Prioridad
Funcional	El usuario debe poder iniciar y cerrar sesión en la aplicación.	Media
	El usuario debe poder activar y desactivar visualizaciones.	Baja
	La aplicación debe permitir al usuario agregar y actualizar información en el sistema.	Media
	El usuario debe poder elegir qué información desea mostrar u ocultar: tuberías, cableado, ductos, maquinaria, etc.	Alta
	La aplicación debe visualizar la información seleccionada en Realidad Aumentada.	Alta
	La aplicación debe mostrar la ubicación del usuario en un mapa tanto para interiores como exteriores.	Media
	El usuario debe poder ver información en tiempo real del estado de los sensores inalámbricos del área.	Alta
	La información de los modelos BIM no debe ser almacenada en el dispositivo móvil debido a la sensibilidad de la información.	Media
	La aplicación debe permitir exportar e imprimir reportes de inspecciones.	Alta
	El usuario debe poder recibir alertas automáticas en caso de fallas y emergencias en el modo de monitoreo remoto.	Media
	El usuario debe poder compartir información obtenida con otros por email o videoconferencia.	Media
	La aplicación debe guiar al usuario al lugar donde se encuentra el elemento a inspeccionar.	Media
	La aplicación debe encontrar automáticamente la ubicación del usuario, permitiendo la visualización instantánea del lugar.	Media
	La aplicación debe facilitar el acceso a documentación, planos 2D, especificaciones técnicas, procedimientos, manuales de elementos.	Alta
No Funcional	La aplicación tiene que ser fácil de entender e intuitiva de usar.	Alta
	Las funciones principales tienen que ser suficientemente simples para que una persona sin muchos conocimientos técnicos pueda operarlas.	Alta
	El usuario tiene que entender todas las funcionalidades disponibles en la aplicación.	Alta
	La aplicación es probada para que funcione normalmente sin que ocurran errores.	Media
	La aplicación debe ser estable y mantener tiempos de acceso rápidos.	Media
	El sistema debe permitir manejar el crecimiento continuo de trabajo de manera fluida.	Alta
	El sistema debe mantenerse activo incluso después de la jornada de trabajo.	Media
	Debe poseer los manuales de sistema y de usuario.	Media
Debe permitir respaldos programados de la información.	Media	
La aplicación debe ser adaptada para ser	Media	

	usada por personas entre 20 y 65 años de edad.	
	La aplicación debe usar términos que sean entendibles para personas que no están en la industria de la construcción.	Media
	Parte del desarrollo de la aplicación deben ser realizados en C/C++, integración de módulos para AR en C# y Java para UI/UX.	Alta
	Entrenamiento de personal para utilizar la aplicación.	Bajo
	Costos de actualizaciones, mantenimientos de servidores y base de datos BIM.	Media

Caso de estudio

Una vez determinados los requerimientos se procede a construir un caso de uso para validar los mismos. Los requerimientos son validados por medio de la interacción de todos los actores lo cual da una visión general de la herramienta a través de una serie de tablas que sintetizan la información relevante. Esta información ofrece descripciones más específicas que las analizadas anteriormente en la elaboración del problema, y además, muestra las posibilidades de la herramienta.

Los casos de uso se basan en los requisitos derivados de las encuestas realizadas a los profesionales y relacionados con la construcción encargados del mantenimiento y operación de las instalaciones en los edificios.

Arranque del sistema

La Tabla 2 detalla el caso de uso del “arranque del sistema”. La herramienta muestra solo un paso al usuario en donde le solicita la información de inicio de sesión antes de acceder al sistema.

Tabla 2. Caso de uso: arranque del sistema.

Título	Arranque del sistema
Actor	Usuario
Lanzador	El usuario abre el icono de la aplicación
Condición Inicial	Tableta encendida, el usuario debe estar en el rango de la red inalámbrica para establecer conexión con el centro de datos BIM
Condición Final	El usuario conecta con el servidor y tiene disponible todos los servicios con la información de WSN y BIM del edificio
Flujo de Procesos	1. La aplicación muestra los campos de usuario y contraseña antes de acceder al sistema
Alternativo	-

Manejo de información de nodos WSN

La Tabla 3 detalla el caso de uso del “manejo de información de nodos WSN”. La herramienta recupera la información obtenida por la Red de Sensores Inalámbricos (WSN) del servidor y posteriormente visualiza el grupo WSN seleccionado por el usuario.

Descarga de modelos BIM

La Tabla 4 detalla el caso de uso de la “descarga de modelos BIM”. La herramienta recupera la información del

Modelado de Información de Construcción (BIM) del servidor y posteriormente visualiza los elementos BIM seleccionados por el usuario de la ubicación correspondiente.

Tabla 3. Caso de uso: manejo de información de nodos WSN.

Título	Manejo de información de nodos WSN
Actor	Usuario
Lanzador	El usuario hace click en el icono del termómetro
Condición Inicial	Tableta encendida, los nodos de sensores de la red inalámbrica deben estar disponibles y en espera, la aplicación debe estar iniciada
Condición Final	El usuario conectó con el servidor y tiene disponible el estado en tiempo real de cada uno de los sensores ubicados en el edificio
Flujo de Procesos	1. La aplicación muestra la configuración de los sensores si es el primer acceso 2. El usuario selecciona que grupo de sensores de la lista 3. El usuario hace click en el botón del grupo de sensores a visualizar 4. La aplicación recupera la información del servidor
Alternativo	1a. No se puede seleccionar el grupo de sensores debido a problemas en la recuperación de la información del servidor

Tabla 4. Caso de uso: descarga de modelos BIM.

Título	Descarga de modelos BIM
Actor	Usuario
Lanzador	El usuario hace click en el icono del archivo
Condición Inicial	Tableta encendida, el usuario es localizado donde los elementos modelado de información de construcción están disponibles, la aplicación debe estar iniciada
Condición Final	Los elementos BIM son recuperados del servidor y están listos para ser visualizados
Flujo de Procesos	1. La aplicación muestra la configuración del BIM 2. El usuario selecciona cual BIM recuperar 3. El usuario hace click en el botón para recuperar el BIM seleccionado 4. La aplicación recupera la información del servidor
Alternativo	1a. No se puede seleccionar el BIM debido a problemas en la recuperación de la información del servidor

Selección de filtros de visualización

La Tabla 5 detalla el caso de uso de la “selección de filtros de visualización”. La herramienta con el modelo BIM previamente descargado del área de interés, permite al usuario seleccionar que información visualizar, ya sea el sistema de eléctrico, ventilación, tuberías, estructural, etc.

4 Presentación del Prototipo Conceptual SIOMVe

En base a los resultados obtenidos de las entrevistas, la recopilación de información de la investigación y el algoritmo propuesto para la integración de las tecnologías WSN, BIM y AR, se desarrolla el diseño del prototipo conceptual mostrado a través de una serie de pantallas.

Tabla 5. Caso de uso: selección de filtros de visualización.

Título	Selección de filtros de visualización
Actor	Usuario
Lanzador	El usuario hace click en el icono de las capas
Condición Inicial	Tableta encendida, el usuario es localizado donde los elementos modelado de información de construcción están disponibles, y se han recuperado la información BIM del área.
Condición Final	El usuario obtuvo toda la información de los elementos del edificio
Flujo de Procesos	<ol style="list-style-type: none"> 1. La aplicación muestra el menú de filtros 2. El usuario selecciona la categoría de la lista 3. El usuario hace click en el botón para encender o apagar elemento correspondiente 4. La aplicación visualiza el elemento seleccionado
Alternativo	-

Inicio de la aplicación

Al iniciar la aplicación el usuario se encuentra en la vista de inicio. En esta vista, el usuario obtiene acceso inmediato a la Red de Sensores Inalámbricos (WSN) y el Modelado de Información de Construcción (BIM) ya que se establece la comunicación inmediata con el centro de datos BIM y se obtiene la ubicación actual, mientras se presenta en pantalla como Realidad Aumentada (AR). Si el usuario no ha utilizado la aplicación anteriormente, también se necesita ingresar información de inicio de sesión, el usuario tiene varias posibilidades en la vista inicial. Si el usuario quiere filtrar el BIM presentado, entonces debe presionar el botón de filtro. La ubicación del usuario siempre se conoce, y el botón del mapa muestra una visión general del entorno y planos del área.

En la vista inicial es presentado al usuario un menú en la parte inferior de la pantalla con todas las características principales, la simplicidad de esta pantalla inicial permite un uso rápido de la aplicación y acceso inmediato a las distintas funciones como desconectarse y salirse de la aplicación, configuraciones generales, iniciar videoconferencias y mensajes con el grupo multidisciplinario, desplegar la lista de sensores y estado de la Red de Sensores Inalámbricos (WSN), hacer búsqueda avanzadas de documentos u otra información dentro del sistema, reportes y compartir información a otros medios durante las tareas de inspección, mapa de ubicación y planos del área actualizados del área actual, por último el filtrado de la información de la WSN y BIM a visualizar por medio de la Realidad Aumentada.

Obtención de los datos de las WSN

En la Figura 6 se muestra el uso de la vista de sensores inalámbricos. Para acceder a esta vista se debe pulsar el botón del termómetro en la barra inferior de la pantalla. La vista de los sensores inalámbricos o enlaces WSN consiste en una lista de los sensores en las instalaciones del edificio. Dependiendo del tipo de sensor, ubicación y estado del mismo, la información mostrada en la pantalla varía. La red de sensores inalámbricos es un elemento fundamental en el sistema ya que facilita la detección de fallas de distinta

índole, mediante el registro y alerta de cambios en las condiciones normales de las instalaciones o equipos en el edificio. Este registro también ayuda a comprender y comparar los datos obtenidos durante el análisis de datos para prever ciertas condiciones que pudieran ocurrir y tomar acciones anticipadamente. La monitorización de forma remota también en una función deseable ya que esto aumenta el nivel de inteligencia del edificio y mejora la capacidad de detección de fallas en sistemas críticos que deben estar en funcionamiento las 24 horas según el tipo y uso de la edificación.

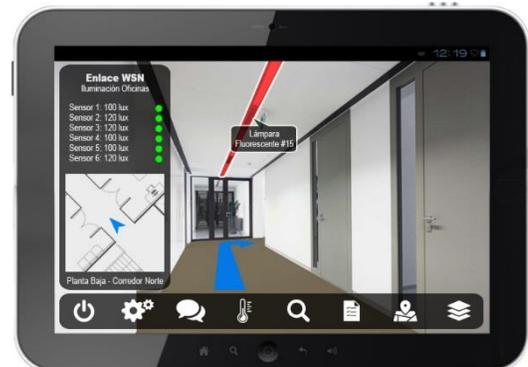


Figura 6. Pantalla de verificación de la Red de Sensores Inalámbricos.

Visualización de BIM

En la aplicación el filtro de la información que se va a mostrar se obtiene presionando el botón de las capas o filtros BIM como se puede ver en la Figura 7, cuando una opción del modelo BIM es activada o desactivada una solicitud es enviada al servidor o centro de datos BIM y los datos correctos del modelo son regresados para ser visualizados. La pantalla de filtros BIM provee una lista simple de los que el usuario puede seleccionar entre todas las visualizaciones disponibles y esta disponibilidad es determinada por los datos cargados en servidor local o centro de datos BIM. En situaciones normales la aplicación es abierta y cerrada muchas veces para ser consultada, por lo que mantener cargada todas las vistas no es recomendada para el desempeño del sistema, por ello, está tiene pre configurada por defecto una vista inicial.



Figura 7. Visualización de filtros BIM

5 Resultados de la evaluación

A continuación los resultados de aplicar las entrevistas a los profesionales y personas relacionadas con el ámbito de la construcción en relación al diseño de un prototipo conceptual de una herramienta de apoyo en tareas de mantenimiento con WSN, BIM y AR para dispositivos móviles.

Información de los participantes

La Tabla 6 provee información sobre el sexo, edad, nacionalidad, grado de instrucción, profesión, área responsable. Los resultados muestran que los participantes todos son hombres, además la edad varía entre 26 y 61 años, con una media de 38 años y una mediana de 40 años. La mayor parte de los encuestados se responsabilizan en múltiples áreas con un 33.33%, y dentro de ellas tienen varias responsabilidades. El 23.81% de los encuestados son jefes de un área específica de mantenimiento.

Tabla 6. Información de los participantes.

Descripción	Ítem	N	%
Sexo	Masculino	21	100.00
	Femenino	0	0.00
Edad	20-29	3	14.29
	30-39	7	33.33
	40-49	9	42.86
	50-59	1	4.76
	60-69	1	4.76
Nacionalidad	Venezolano	19	90.48
	Colombiano	1	4.76
	Chileno	1	4.76
Grado de instrucción	Primaria	1	4.76
	Secundaria	3	14.29
	Universitario	14	66.67
	Magister	2	9.52
	Doctorado	1	4.76

Destrezas tecnológicas de los participantes

La Tabla 7 provee información referente al uso de teléfonos inteligentes, tabletas y computadoras por parte de los encuestados. Además de la percepción que tienen de sus habilidades con la tecnología. Los resultados muestran que 90.48% tienen teléfonos inteligentes, 33.33% tabletas y 100% computadoras, ya sea en su casa o trabajo. Las tabletas son muy parecidas a los teléfonos inteligentes, varían generalmente en su tamaño, por lo que su uso es prácticamente similar. Por tanto, esto indica que la mayoría de los encuestados posee alguno y están familiarizados con su uso y el manejo de aplicaciones.

Tabla 7. Destrezas tecnológicas de los participantes.

Descripción	Ítem	N	%
Posee teléfono inteligente	Si	19	90.48
	No	2	9.52
Destrezas con el teléfono inteligente	Muy malo	0	0.00
	Malo	3	14.29
	Normal	10	47.62
	Bueno	7	33.33
	Muy bueno	1	4.76
Posee tableta	Si	7	33.33

	No	14	66.67
Destrezas con la tableta	Muy malo	1	4.76
	Malo	2	9.52
	Normal	11	52.38
	Bueno	6	28.57
	Muy bueno	1	4.76
Posee computador	Si	21	100.00
	No	0	0.00
Destrezas con el computador	Muy malo	0	0.00
	Malo	2	9.52
	Normal	5	23.81
	Bueno	13	61.90
	Muy bueno	1	4.76
Experiencias previas con tecnologías WSN, BIM y AR	Si	9	42.86
	No	12	57.14

Tabulación y análisis de las encuestas aplicadas a profesionales de la construcción

Esta entrevista consta de 13 ítems, se aplicó durante un lapso de 2 meses en línea. Las entrevistas que se realizaron en persona fueron según la disponibilidad de tiempo de los participantes. Para interpretar los resultados de esta entrevista estructurada se presentan los resultados a la serie de preguntas según una escala de opinión para cada ítem que va desde 1 totalmente en desacuerdo hasta 5 totalmente de acuerdo. En la pregunta número 13 varía la elección de las respuestas, se pide valorar la aplicabilidad según categorías. La escala utilizada va desde 1 muy bajo hasta 5 muy alto según crea conveniente el participante.

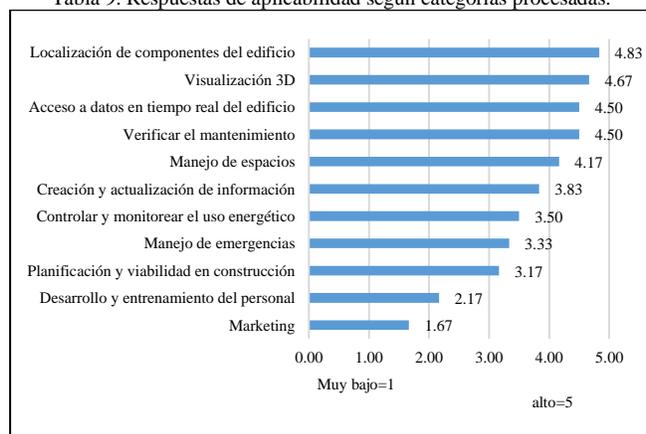
La Tabla 8 muestran los resultados obtenidos de procesar los resultados de las respuestas sobre la utilidad dada por profesionales de la construcción. La pregunta 1 “Las redes de sensores inalámbricos son importantes en la construcción por el valor de los datos que recolectarían” obtiene un valor promedio o media de 4.33, lo que indica el deseo de conocer datos relevantes del edificio y las instalaciones, lo que implica un constante monitoreo de las mismas.

Tabla 8. Resultados de aplicabilidad de WSN, BIM y AR según categorías.

VARIABLES	N	Media
Localización de componentes del edificio	6	4.83
Visualización 3D	6	4.67
Acceso a datos en tiempo real del edificio	6	4.50
Verificar el mantenimiento	6	4.50
Manejo de espacios	6	4.17
Creación y actualización de información	6	3.83
Controlar y monitorear el uso energético	6	3.50
Manejo de emergencias	6	3.33
Planificación y viabilidad en construcción	6	3.17
Desarrollo y entrenamiento del personal	6	2.17
Marketing	6	1.67

La Tabla 9 sobre la aplicabilidad WSN, BIM y AR en operaciones y mantenimiento de acuerdo a una serie de opciones, la media indica que la más valorada entre las opciones es la localización de componentes del edificio con un 4.83, seguido de la visualización 3D con 4.67, acceso a datos del edificio en tiempo real 4.50 y verificar el mantenimiento 4.50.

Tabla 9. Respuestas de aplicabilidad según categorías procesadas.



6 Conclusiones

Los resultados sugieren como desarrollar un sistema que fusione Red de Sensores Inalámbricos (WSN), Modelado de Información de Construcción (BIM) y Realidad Aumentada (AR) a partir de un modelo conceptual fundamentado. La investigación aclara como la combinación de estas tecnologías podrían ayudar a los profesionales y trabajadores en el mantenimiento y detección temprana de fallas que pueden generarse en los edificios. De esta manera se desarrolló y evaluó un prototipo no funcional para determinar las posibilidades y los desafíos.

En este sentido, las principales contribuciones de este trabajo son en primer lugar la exploración de la tecnología disponible para que los dispositivos móviles contribuyan en los trabajos de mantenimiento.

El segundo aporte es el diseño de un modelo conceptual utilizando Red de Sensores Inalámbricos (WSN), Modelado de Información de Construcción (BIM) y Realidad Aumentada (AR).

Tercero la evaluación de viabilidad como herramienta de mantenimiento, enfocándose en tres aspectos fundamentales: uso de la tecnología, utilidad y facilidad de uso.

Finalmente, este trabajo de investigación concluye con la presencia de grandes ventajas al aplicar WSN, BIM, AR móvil, y la evaluación muestra que los profesionales y trabajadores encargados del mantenimiento y operación de edificios son altamente positivos a tal solución. El trabajo también ha proporcionado un ejemplo de una solución en el modelo conceptual y el prototipo no funcional desarrollado.

Referencias

Azhar S, Hein M, Sketo B, 2008, Building Information Modeling (BIM): Benefits, Risks and Challenges. Auburn University, Alabama, USA pp. 1-11. Fecha de consulta: 17 Marzo 2018.

Azuma RT, 1997, A Survey of Augmented Reality. Presence-Teleoperators and Virtual Environments. No. 6, pp. 355-385.

Chong CY, Kumar SP, 2003, Sensor networks: Evolution, opportunities, and challenges. Proceedings of the IEEE 91(8), pp. 1247-1256.

Eastman C, Teicholz P, Sacks R, Liston K, 2011, BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. Second edition, New Jersey, USA, pp. 99-148.

Fernández R, Ordieres J, Martínez F, Gonzales A, Alba F, Lostado R, Pernía A, 2009, Redes Inalámbricas de Sensores: teoría y aplicación práctica. Universidad de la Rioja Logroño, La Rioja, España, pp. 20-98.

Kahn JM, Katz RH, Pister KS, 2000, Emerging Challenges: Mobile Networking for Smart Dust. J. of Comm. and Net.2, pp. 188-196.

Kensek K, Kahn W, 2013, Integration of Environmental Sensors with BIM. School of Architecture, University of Southern California, Los Angeles, USA, pp. 1-7.

Pérez J, Urdaneta E, Custodio A, 2014, Metodología para el Diseño de una Red de Sensores Inalámbricos. Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre, Puerto Ordaz, Venezuela, vol.18 no.70, pp. 1-14.

Milgram P, Kishino F, 1994, A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. IEICE Transactions on Information Systems, E77-D, No. 12, pp. 1321-1329.

Graphisoft 2016, Acerca de BIM. https://www.graphisoft.es/archicad/open_bim/about_bim/ Fecha de consulta: 21 Octubre 2017.

Oliver I, 2016, Integración de la metodología BIM en la programación curricular de los estudios de Grado en Arquitectura Técnica/Ingeniería de Edificación: diseño de una propuesta. Tesis Doctoral UPV, Valencia, España, pp.64-141.

Shahandashti SM, Rzavi SN, Soibelman L, Berges M, Caldas CH, Brilakis I, Teizer J, Vela PA, Haas C, Garrett J, Akinci B, Zhu Z, 2011, Data Fusion Approaches and Applications for Construction Engineering. Journal of Construction Engineering and Management, ASCE. Vol. 137, pp. 151-160.

Recibido: 15 de septiembre de 2018

Aceptado: 20 de enero de 2019

Lobo, Leonardo: Ingeniero en Informática, Universidad Politécnica Territorial de Mérida (UPTM). Arquitecto Universidad de Los Andes (ULA). Áreas de interés edificios inteligentes, automatización de ambientes, realidad virtual y aumentada.

Uzcátegui, José: *M.Sc. en Telecomunicaciones, Profesor de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Los Andes (ULA). Miembro del Grupo de Investigación de Telecomunicaciones (GITEL). Correo electrónico: joseu@ula.ve.*

