

## ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN Y ELECTRÓNICA



### TRABAJO FIN DE TÍTULO

## DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE EMERGENCIAS BASADO EN REDES DE SENSORES HETEROGÉNEAS.

**Titulación: Master en telecomunicación**

**Alumno: Néstor Rodríguez Pérez**

**Tutor: Dr. Rafael Pérez Jiménez**

**Fecha: Diciembre de 2013**



## ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN Y ELECTRÓNICA



### TRABAJO FIN DE TÍTULO

## DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE EMERGENCIAS BASADO EN REDES DE SENSORES HETEROGÉNEAS.

### HOJA DE FIRMAS

**Alumno/a**

**Tutor/a**

Fdo.: Nombre del alumno/a

Fdo.: Nombre del tutor/a

**Fecha: Diciembre de 2013**



# ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN Y ELECTRÓNICA



## TRABAJO FIN DE TÍTULO

### DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE EMERGENCIAS BASADO EN REDES DE SENSORES HETEROGÉNEAS.

#### HOJA DE EVALUACIÓN

**Calificación:** \_\_\_\_\_

**Presidente**

Fdo.:

**Vocal**

**Secretario/a**

Fdo.:

Fdo.:

**Fecha: Diciembre de 2013**



# 0. Índice

---

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Objetivos</b>	<b>3</b>
<b>3. Estado de arte de la Normativa</b>	<b>5</b>
Legislación europea	5
Legislación nacional	5
<b>4. Estado del arte de la Tecnología</b>	<b>9</b>
<b>Sensores de emergencia</b>	<b>9</b>
De incendio	9
De inundación	13
De obstrucción	14
De aire y gases	17
De consumo	18
<b>Sistemas de señalización</b>	<b>18</b>
Modo de operación	19
Canal empleado	21
<b>Actuadores</b>	<b>23</b>
<b>Tecnologías de comunicación</b>	<b>23</b>
Sistemas	23
Cables	24
Protocolos de comunicación	24
<b>5. Instalación prevista</b>	<b>33</b>
<b>Modelado del edificio</b>	<b>33</b>
<b>Monitorización del edificio</b>	<b>34</b>
<b>Señalización</b>	<b>36</b>
<b>Actuadores en el sistema</b>	<b>36</b>
<b>Elementos inteligentes del sistema</b>	<b>36</b>
<b>Comunicaciones entre elementos inteligentes</b>	<b>38</b>
<b>Funcionamiento</b>	<b>38</b>
Estado estacionario	38
Detección de una situación de riesgo	39
Señalización de la salida más adecuada	39
<b>Fallos en el sistema</b>	<b>40</b>
Resistencia a fallos del sistema en condiciones normales	40
Resistencia a fallos del sistema ante situaciones hostiles	40
Comportamiento ante fallos parciales	41
<b>6. Conclusiones</b>	<b>47</b>

<b>7. Presupuesto</b>	<b>49</b>
Recursos humanos	49
Recursos hardware	50
Recursos Software	50
Gastos generales	50
Redacción	50
Coste total	51
<b>8. Referencias</b>	<b>53</b>
<b>9. Anexo</b>	<b>57</b>

# 1. Introducción

---

En la actualidad, un factor económico de importancia creciente en los países desarrollados está constituido por la Sociedad de la Información. Ésta es impulsada por un vertiginoso avance sustentado por el uso generalizado de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), que conlleva cambios que alcanzan todos los ámbitos de la actividad humana.

Uno de los campos donde las TIC están actualmente al alza es la capacidad de monitorizar e incluso controlar numerosos parámetros de un escenario desde una estación remota sin necesidad de presencia humana en el escenario de trabajo ni costosas y aparatosas instalaciones electromecánicas cableadas. Las instalaciones de este tipo incluyen numerosos elementos de monitoreo esparcidos por el escenario y pocas estaciones de control donde se recogen todos los datos y se presentan de forma sencilla al usuario. El conjunto de los elementos de monitoreo y la estación de control se conocen usualmente como red de sensores.

Las tendencias actuales de las redes de sensores han propiciado la definición de un nuevo tipo de sensores descritos como inteligentes. Un sensor inteligente es aquél que provee funcionalidad extra además de la necesaria para generar una medida correcta de la magnitud física medida. Esta funcionalidad extra es cada vez mayor, y actualmente los sensores pueden desde acondicionar la señal y sacar conclusiones de los valores medidos, a modificar su funcionamiento en base a la información proporcionada por otros sensores inteligentes o en función del usuario que interactúe con el sensor. Además los elementos que componen la red se están diversificando, de modo que ya no sólo son sensores y actuadores, sino dispositivos de ámbito diverso, como electrodomésticos, pantallas inteligentes o dispositivos móviles.

Por otra parte, la gestión de emergencias siempre ha sido un tema importante, y lo es cada vez más con el aumento del tamaño y la complejidad de los edificios e instalaciones actuales. Cada vez más, las empresas se preocupan por tener una previsión eficaz para afrontar aquellas situaciones que ponen en riesgo la continuidad de su negocio y la salud de sus clientes, mientras que las administraciones públicas deben cumplir con estrictas medidas de seguridad comunes al marco europeo.

Actualmente, el procedimiento de actuación en caso de emergencia posee ciertas características que merman su eficacia para minimizar las consecuencias negativas frente a una situación de emergencia. En primer lugar dicho procedimiento se crea en el momento de la construcción del edificio, por lo que es posible que queden desactualizados al variar la legislación, la situación o el uso dado a la instalación. Además usualmente existe un centro de control que gestiona las incidencias de forma centralizada, lo que supone un punto débil en el sistema, ya que si dicho centro de control cae, toda la gestión de incidencias se paraliza.

Por último, en muchos casos la gestión de las emergencias se realiza enteramente por personas, sin ninguna asistencia tecnológica. Esta es una gran fuente de ineficiencia, ya que las personas tienden a equivocarse en sus estimaciones del peligro, especialmente cuando ellas mismas se sienten amenazadas y entran en pánico.



## 2. Objetivos

---

Teniendo en cuenta lo expuesto en el apartado anterior, en este trabajo se pretende aplicar el concepto de la monitorización de espacios y la toma de decisiones en función de esa monitorización a la gestión de emergencias.

Para ello se propone como objetivo último de este proyecto un diseño de una instalación de gestión de emergencias en instalaciones por medio de redes de sensores. Dicha instalación deberá adecuarse a la normativa vigente sobre la prevención de riesgos y los procedimientos en caso de emergencia, e incluso aceptar posibles actualizaciones. Además deberá estar preparada para funcionar en condiciones adversas, e incluso de destrucción parcial.

Dicho diseño se realizará a nivel de bloques funcionales, teniendo en cuenta sólo las interacciones necesarias entre los distintos bloques para que los datos sobre el estado de las rutas de emergencia se transformen en información que permita maximizar el número de vidas salvadas en caso de emergencia.

El escenario donde se pretende implantar este sistema será finalmente el centro de deportes de la ciudad de Vecindario. Esto es así debido a que finalmente no se alcanzó un acuerdo con la autoridad del muelle deportivo del Puerto de la Luz y de Las Palmas, ubicación que se había escogido en un principio como escenario de implantación teórica de este trabajo.

En funcionamiento, el sistema diseñado podrá monitorizar diversos parámetros dentro de una instalación o recinto, concretamente en las rutas de escape del mismo. Con los datos obtenidos, se podrá determinar si existe alguna emergencia que entrañe peligro para las personas dentro de la instalación. En caso de que exista emergencia, el sistema podrá además dirigir a las personas hacia la salida más segura, variando la señalización existente. Por último, el sistema deberá ser capaz de generar la información a los servicios de emergencia de que existe una amenaza y de la salida empleada por el personal de la instalación, de forma que la asistencia sanitaria pueda atender a los heridos con mayor rapidez.

Con esta configuración en mente, se pueden identificar diferentes objetivos que serán alcanzados durante la realización del proyecto. El primero es el conocimiento sobre los estándares a usar por el sistema, entre otras cosas para implementar la red de sensores, independizarla de los medios de comunicación empleados y ser capaz de operar en condiciones adversas. Así mismo se obtendrá el conocimiento sobre la normativa de emergencias actual y futura.

Otro objetivo intermedio es un estudio sobre los componentes existentes en el mercado cuyas características les permitan formar parte de la red de sensores que se diseñará, teniendo en cuenta que esta debe cumplir con la normativa vigente y estar operativa en condiciones de emergencia y catástrofe por lo menos el tiempo suficiente para evacuar a la población de la instalación.

Para comprobar que el sistema cumple con los objetivos propuestos para este trabajo, se pretende evaluar el mismo con respecto a las normas de seguridad vigentes. Con esta evaluación se obtendrá una especificación de condiciones del entorno que soporta el sistema, y se comprobará si estas condiciones son más extremas que las que impone la normativa.

## Objetivos

## 3. Estado de arte de la Normativa

---

En este capítulo se describirá brevemente el marco legal que se debe cumplir durante la realización de este trabajo. Este marco legal incluye la legislación europea, española y canaria relevante, además de la legislación específica relativa al escenario escogido.

### Legislación europea

Como parte de la unión europea, España está obligada a seguir los reglamentos dictados por la Unión Europea, así como a incluir en su legislación las directivas publicadas por la misma.

Actualmente la normativa europea sobre seguridad en el trabajo se mantiene en la Agencia europea para la salud y la seguridad en el trabajo (*European Agency for Safety and Health at Work* en inglés) [1].

Respecto a la prevención y gestión de riesgos en situaciones de emergencia existen las directivas [2], [3], [4] y [5]. En [2] se establece el marco de referencia sobre las condiciones de seguridad que los trabajadores deben tener en el trabajo. Sin embargo no se habla de medidas concretas. En [3], actualizada por [4], sí se especifican las señales y colores que se deben emplear en la señalización de seguridad en el trabajo. Además se especifican los distintos tipos de señalización permitida y se informa de las combinaciones posibles entre estos. En [5] se especifican los requerimientos de los entornos de trabajo en materia de seguridad para los trabajadores. En concreto se habla del mantenimiento de los sistemas de emergencia y de las rutas de evacuación.

### Legislación nacional

En España la prevención de riesgos laborales se rige por la Ley de Prevención de Riesgos Laborales [6] y por las normas que la complementan y desarrollan. Las Administraciones públicas determinan las políticas aplicables en este ámbito, con el fin de mejorar las condiciones de trabajo, controlar las medidas adoptadas por los organismos que tienen competencias en temas de prevención y fomentar la participación de empresas y trabajadores a través de sus órganos representativos. Esta Ley está basada en el artículo 40.2 de la Constitución española de 1978 [7], donde la responsabilidad en el ámbito de la seguridad y salud en el trabajo es competencia de la Administración General del Estado y su ejecución corresponde a la Autoridad Laboral de las Comunidades Autónomas.

Las Administraciones públicas con competencias en materia laboral llevan a cabo las siguientes funciones: medidas de prevención, asesoramiento técnico, vigilancia y control de la legislación en materia de prevención de riesgos y régimen sancionador en caso de infracciones.

En [6] se crea además el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo INSHT [8], como el órgano científico técnico especializado de la Administración General del Estado que tiene como misión el análisis y estudio de las condiciones de seguridad y salud en el trabajo, así como la promoción y apoyo a la mejora de las mismas.

El INSHT, pone al alcance de las empresas y del público en general la colección Notas Técnicas de Prevención en formato electrónico (NTP-e) [9]. Esta colección se inició en 1982 con la vocación de convertirse en un manual de consulta indispensable para todo prevencionista y obedece al propósito de INSHT de facilitar a los agentes sociales y a los profesionales de la Prevención de Riesgos Laborales herramientas técnicas de consulta. Éstas no son nunca vinculantes, ni de obligado cumplimiento. La empresa está obligada a cumplir con las disposiciones normativas que le sean aplicables en cada momento, sean estatales, autonómicas o provenientes de la administración local. La colección de NTP pretende ayudar al cumplimiento de tales obligaciones, facilitando la aplicación técnica de las exigencias legales.

El Reglamento de los Servicios de Prevención [10], en su artículo quinto, establece que cuando la evaluación exija la realización de mediciones, análisis o ensayos y la normativa no indique o concrete los métodos que deban emplearse, se podrán usar los métodos o criterios, si existen, recogidos en las guías técnicas del INSHT.

En las NTP se abordan, entre otros, aspectos de la gestión de emergencias, como son las localizaciones de las rutas de escape o la señalización de los mecanismos de lucha contra incendios. El desarrollo realizado en este trabajo se atenderá dispuesto por la colección NTP-e, dado que esta asegura el cumplimiento de la normativa nacional española sobre gestión de emergencias.

Por otra parte, la Ley de Ordenación de Ordenación de la Edificación (LOE) [11], impone también una serie de requisitos básicos de seguridad y habitabilidad para los edificios. Para facilitar la cumplimentación de dichos requisitos, la misma ley crea un Código Técnico de la Edificación (CTE) [12]. Este debe funcionar como marco normativo que establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos establecidos en la LOE. Parte de esas exigencias tienen que ver con la protección de los edificios y de sus ocupantes ante incendios. En concreto el Documento Básico sobre Seguridad en caso de incendio DB-SI [13] y sus documentos de apoyo se centran en las características de los edificios para prevenir los riesgos de incendio y minimizar sus daños.

El presente trabajo deberá ser compatible con las exigencias descritas en el DB-SI para asegurar la seguridad a la propia estructura del edificio y a sus usuarios, además de no incurrir en ilegalidades.

Existen además varios reales decretos relevantes en cuanto a la protección contra el fuego. Entre ellos cabe destacar el Real Decreto 2267/2004: Reglamento de Seguridad Contra Incendios en Establecimientos Industriales (RSCIEI) [14], y el Real Decreto 1942/1993: Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios (RIPCI) [15]. En el primero se especifican valores concretos de dimensiones, poder calorífico, resistencia al fuego y otros parámetros requeridos en los materiales utilizados para la construcción de edificaciones industriales. También se valora el riesgo que supone cada actividad industrial concreta, y las medidas a tomar en función de ese riesgo. En el segundo se especifican las características que deben cumplir los equipos de protección contra incendios y las empresas que los instalan y mantienen.

Este trabajo no pretende modificar los elementos constructivos de los edificios donde se instale, ni diseñar un nuevo sistema de protección contra incendios, por lo que en principio no es afectado por estos reales decretos. Aun así se comprobará que el desarrollo que se lleve a cabo no contravenga dicha normativa.

## **Diseño de un sistema de gestión de emergencias basado en redes de sensores heterogéneas**

Por último, es relevante para este trabajo el reglamento sobre instalaciones eléctricas desarrollado por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo [16], llamado Reglamento Electrotécnico Para Baja Tensión (REBT), y aprobado en el Real Decreto 842/2002 [17]. Este reglamento está dividido en se compone de dos partes. La primera son 29 Artículos que atiende a las cuestiones legales y administrativas de las instalaciones. La segunda parte se centra en los aspectos técnicos de las instalaciones recogidas en 51 Instrucciones Técnicas Complementarias o ITC's. Las ITC's están estructuradas de forma arbórea (salvo las primeras que son el glosario de términos, las referencias de normas UNE y los requisitos de los instaladores autorizados), siendo el tronco del árbol el origen de la instalación y cada rama cada tipo de receptor susceptible de ser conectado a la misma. Además existen una serie de ITC's que dan prescripciones adicionales para usos concretos o locales con características especiales: viviendas, locales de pública concurrencia, locales húmedos y mojados etc.

En las ITC existen ciertas regulaciones sobre cables eléctricos en entornos con riesgo de incendio o de explosión, por lo que se tendrá en cuenta su contenido durante este trabajo.



## 4. Estado del arte de la Tecnología

---

En este capítulo se estudiará el avance de la tecnología en tres áreas que se consideran parte de un sistema de gestión de emergencias inteligente. En primer lugar se estudiarán los sensores comúnmente empleados para detectar emergencias y otros sensores que se considera que pueden ayudar a precisar el estado del edificio. En segundo, se revisarán las posibles opciones a la hora de señalar al público el estado de la emergencia y las instrucciones a seguir. Por último están enumeradas diferentes tecnologías de comunicación que se usan actualmente o se pueden usar para mejorar la gestión de la emergencia.

### Sensores de emergencia

#### De incendio

Los sensores de incendio son aquellos cuya medida permite saber si se está produciendo un incendio, ya sea por la llama, el calor o el humo que este produce.

##### *Detectores de humo*

Estos elementos detectan el fuego en las primeras etapas y existen dos principios de activación fundamentales:

##### **De tipo cámara de Ionización.**

El detector de humo por ionización detecta variaciones en la corriente de iones debida a la presencia del humo. Se compone de una cámara con un campo eléctrico atravesado por un flujo de iones. Cuando el humo entra en la cámara, la interacción entre los iones y las partículas del humo disminuyen notablemente la corriente eléctrica.

Uno de los problemas de implantación de este tipo de detectores es el posible rechazo que sienten algunas personas por la tecnología nuclear. Otro de sus inconvenientes es que produce una cantidad significativa de falsas alarmas en entornos con polución, polvo o niebla en el aire.

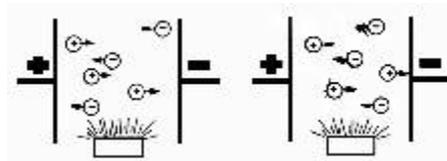


Figura 1: Principio de funcionamiento de un detector de humo iónico

##### **De Tipo Óptico.**

Se trata de detectores normalmente basado en células fotoeléctricas que al oscurecerse por el humo o iluminarse por reflexión de luz en las partículas del humo, se activan originándose una señal eléctrica.

Estos sensores incluyen una o varias fuentes lumínicas, que en la actualidad suelen ser diodos LED, en banda infrarroja y/o azul, lentes para colimar los haces de luz, y fotodiodos para detectar el haz de luz generado por los diodos. Incluidos en este grupo podemos reconocer diferentes tipos:

### *Detectores puntuales*

El haz está confinado dentro del sensor, y por tanto miden la concentración de humo en un único punto. Para ser utilizados en equipos electrónicos y para ambientes con alto grado de humedad se pueden añadir a estos sensores una red de tuberías que toman muestras del aire de la zona protegida por unos orificios y la transportan a un sensor alojado en una caja.

### *Detectores lineales de haz o barreras lineales.*

El emisor y el receptor están separados. Son sensibles al valor medio de la densidad a lo largo del haz. Son adecuados cuando el humo puede haberse dispersado por una gran superficie o cuando la altura del techo es superior a 12 m y no es probable que se interrumpa el haz.

Los detectores de humo ópticos tienen como ventaja su fiabilidad y baja probabilidad de falsas alarmas, pero por otra parte no son tan eficientes como los iónicos detectando fuegos de crecimiento rápido.

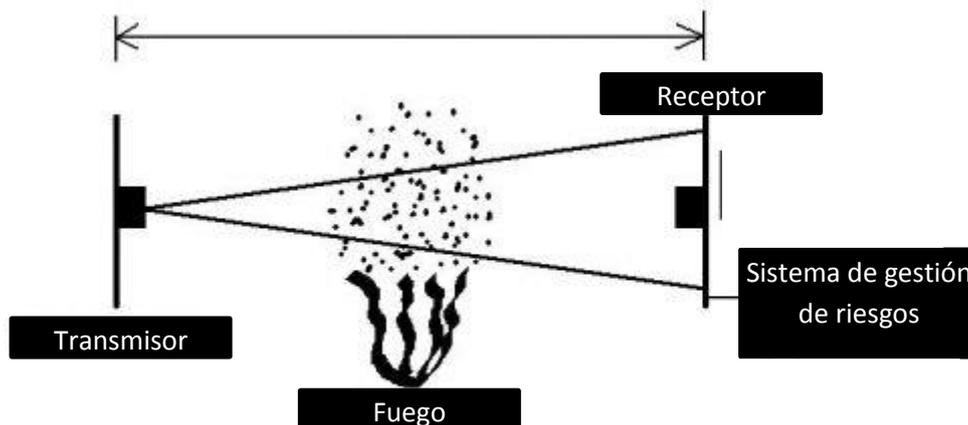


Figura 2: Diagrama de un detector de humo lineal

Para este trabajo se considerará una red de detectores de humo ópticos homogéneamente repartida, junto con un cierto número de sensores de ionización en puntos susceptibles de sufrir un incendio de crecimiento rápido y en las salidas de emergencia.

### *Detectores de calor*

Este tipo son los menos sensibles al fuego, y en especial a los fuegos de desarrollo lento, aunque generalmente tienen una mayor resistencia a condiciones medioambientales. Este tipo de sensores es muy común actualmente en la mayoría de edificaciones, por su uso en redes de domótica. Según el parámetro que miden se pueden clasificar en:

### **Detectores térmicos.**

Se activan al alcanzarse una determinada temperatura fija en el ambiente.

### **Detectores termovelocimétricos.**

Se activan cuando se detecta la temperatura ambiente se incrementa rápidamente. Estos sensores son más adecuados cuando la temperatura ambiente es baja o varía lentamente en condiciones normales.

Atendiendo a su método de construcción se pueden clasificar como:

### **Detectores puntuales**

Son detectores capaces de medir la temperatura en el punto en el que se instala el sensor. Este se compone normalmente de un componente electrónico capaz de variar una de sus características eléctricas en función de la temperatura, como las resistencias de platino. Este tipo de sensores tienen la desventaja de dar información solo de un punto, por lo que monitorizar un área extensa requiere varios de estos sensores.

### **Detectores distribuidos.**

Estos detectores se basan en un cable sensor de fibra óptica construido de tal manera que los cambios de temperatura, entre otros, modifican sus características ópticas. Estos detectores permiten medir no solo el hecho de que existe una temperatura elevada, sino dónde en la longitud de la fibra se sitúa este aumento de temperatura. Aparte de su falta de velocidad, la mayor desventaja de este tipo de sensores es su coste, ya que es necesario un cierto procesamiento de la señal óptica para detectar la variación de temperatura.

El principal uso para este tipo de sensores es ayudar a monitorizar la integridad estructural del edificio, ya que se suelen instalar adheridas a las vigas y columnas del mismo. De esta manera se puede saber si el calor provocado por un incendio puede afectar a las mismas. Además este tipo de sensores pueden medir también la fuerza que se ejerce sobre ellos, como se explica en [18], por lo que se aprovecha doblemente su instalación.

En el desarrollo de este trabajo se incluirá una red de sensores de temperatura como parte de la red domótica del edificio, además de sensores adicionales para cubrir las salidas de emergencia en caso necesario.

### ***Detectores de llama***

Este tipo de detector se basa en la detección de la radiación procedente del incendio. Pueden detectar radiación ultravioleta, radiación infrarroja o una combinación de ambas. Son adecuados para la vigilancia de zonas exteriores de almacenamiento, o para zonas desde se puede propagar con gran rapidez un incendio con llamas. Son capaces de responder a incendios con llama con mayor rapidez que los detectores de humo pero su incapacidad para detectar incendios sin llama, hace que no se consideren detectores para uso general. En este trabajo no se hará uso de los mismos, ya que no proporcionan información adicional.

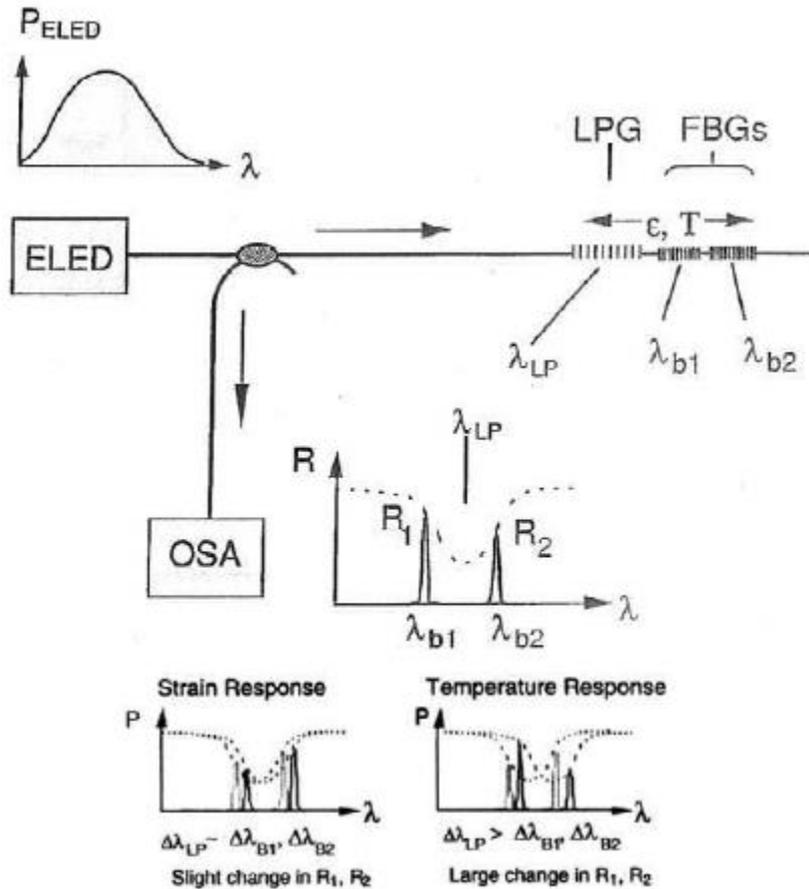


Figura 3: Sensor interferométrico de temperatura y presión, junto con las gráficas que muestran el efecto de la temperatura y la presión en la señal detectada

### **Medidores de altura de humo**

En el caso de que se haya declarado un incendio cuyo humo se extienda por dos posible rutas de evacuación, puede ser interesante conocer la altura y densidad del humo en cada una de esas rutas. No existen sensores que den esta información actualmente, aunque sí se hacen estudios de composición y extensión de nubes de humo a partir de imágenes hiperespectrales [19] recogidas por satélite [20]. La razón para ello es que la información que proporciona este tipo de detectores no ha tenido hasta ahora ninguna utilidad. Además tienen como desventaja el precio de la tecnología necesaria para procesar una señal hiperespectral. Una versión menos costosa de un detector de altura de humo podría consistir en varios detectores de humo en vertical, de manera que según el número de detectores de humo que se activen se pueda estimar la altura del humo.

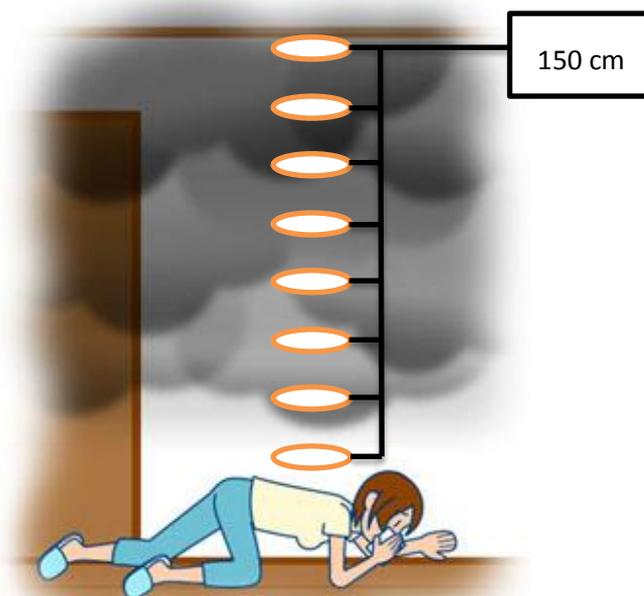


Figura 4: Posible implementación de un sensor de altura de humo usando varios detectores de humo

En el desarrollo propuesto en este trabajo se incluirán medidores de altura de humo basados en una columna de sensores puntuales en cada salida de emergencia. Por otra parte se propone como desarrollo futuro la creación de un sensor de composición y altura el humo por análisis óptico hiperespectral.

## De inundación

### *Detectores de agua*

Este detector dispone de dos contactos descubiertos con una diferencia de potencial entre ellos. Este terminal debe instalarse a una distancia no mayor a 5 mm del suelo para una pronta detección de fugas de agua. Este detector se acciona cuando el fluido entra en contacto con ambos terminales, estableciendo entre ellos un puente eléctrico.

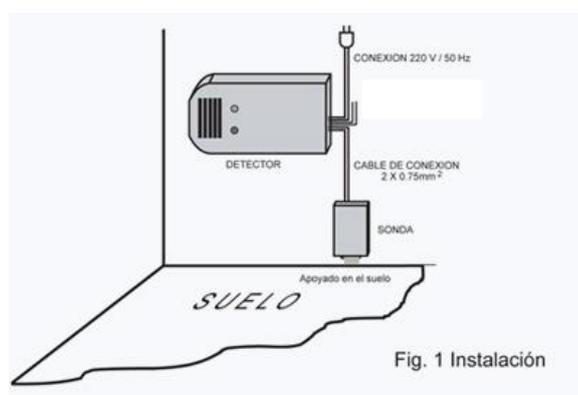


Figura 5: Diagrama de instalación de un sensor de inundación

## ***Detectores de nivel***

AL igual que con la altura de humo, no se suelen instalar sensores que den información sobre la altura del agua en edificios regulares, dado que no se considera necesario conocer si se han inundado mucho o poco. Sin embargo existen en instalaciones donde es normal que exista cierto nivel de agua, como presas o depuradoras.

Por otra parte, tampoco se suelen instalar sensores de inundación de líquidos que no sean agua, dado que es poco probable que un edificio se inunde de otro líquido. Sin embargo en entornos especiales, como instalaciones industriales donde se procesa algún fluido, se instalan sensores capaces de detectar líquido, y además su nivel. Estos métodos no suelen emplear puente eléctrico, de manera que no existe peligro de usarlos para detectar fluidos explosivos. Por lo demás, suelen estar adaptados al líquido que se desea controlar. Los más comunes se componen de una burbuja que flota en el líquido a medir y que acciona un interruptor o modifica un potenciómetro, y una columna de sensores ópticos que indican el nivel según el número de sensores activados.

De cara a decidir la mejor alternativa entre dos rutas de escape en caso de inundación, se considera incluir sensores de nivel en ellas. Sin embargo en la práctica las inundaciones solo se suelen producir en los pisos inferiores de los edificios, y con mucha menor frecuencia que los incendios. Por tanto se considera que su uso puede limitarse a entornos especialmente susceptibles de inundarse, de cara a reducir costes de la instalación.

## **De obstrucción**

Los sensores de obstrucción detectan si una ruta de evacuación está libre de obstáculos para que las personas que la utilicen no se retrasen o se paren. Actualmente no se suelen instalar sensores de este tipo, y los sensores que existen no están adaptados para este uso. Sin embargo se considera que el esfuerzo para ello sería reducido y que en entornos complejos con varias rutas de escape el beneficio sería notable. Se han detectado los siguientes tipos de detectores posibles:

### ***Apertura de puertas***

Son los detectores de obstrucción más simples, y se pueden ver instalados en muchos edificios modernos. Funcionan estableciendo un puente eléctrico entre la puerta y la pared donde está, de manera que al abrirse aquella el puente se abre. Este cambio de nivel se detecta y se actúa en consecuencia.

Estos sensores tienen la ventaja de ser muy baratos, ya que no requieren ningún componente específico. Por otra parte, tienen la desventaja de que realmente no son capaces de detectar si la ruta está obstruida, a menos que sea por la propia puerta. En realidad estos sensores sirven más para hacer saltar la alarma de forma automática al abrirse las puertas de emergencia. Para poder emplearse para detectar obstrucciones usando la información que proporcionan, habría que asegurarse de que la ruta en la que se instala el sensor está siendo usada para la evacuación. En ese supuesto, si se detecta que la puerta se abre se debe suponer que las personas efectivamente evacuan el edificio, mientras que si no se abre puede existir un problema con ella. Este comportamiento debe ser controlado por el personal de gestión del edificio, o por una unidad de procesamiento que cree un *mash-up* a partir de los datos obtenidos.

Este sistema se puede mejorar añadiendo al sensor de apertura un sensor angular que detecte el ángulo de apertura de la puerta. En este caso se podrían detectar cuerpos que impidan que la puerta se abra completamente.

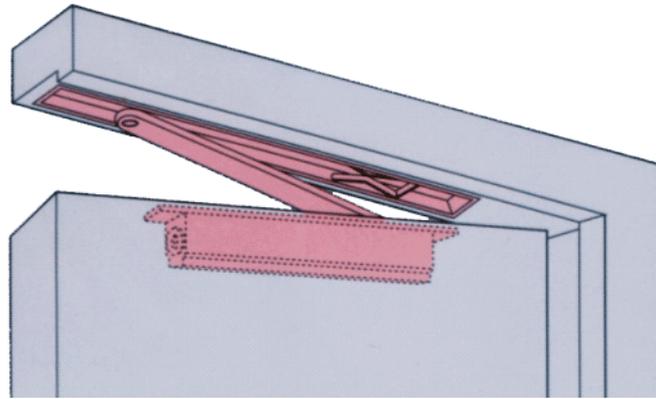


Figura 6: Diagrama de instalación de un mecanismo de apertura automática de puertas con sensor angular incluido

## ***Detección de personas u otros cuerpos en vías de escape***

### **Detectores de movimiento**

Actualmente es normal instalar sensores que detectan la presencia de personas. Este tipo de sensores funciona normalmente como un sonar, es decir: midiendo la diferencia entre la reflexión recibida de dos señales que el propio sensor envía. Este funcionamiento hace que este tipo de detectores sean adecuados para detectar personas moviéndose por la ruta de evacuación. Sin embargo no son adecuados para detectar cuerpos inmóviles.



Figura 7: Instalación típica de un sensor de movimiento

## Detectores de paso

Otro tipo de detector usualmente empleado para detectar el paso de personas es el compuesto por un emisor óptico y un fotodetector, normalmente infrarrojos, colocados en lados opuestos de una zona de paso de personas. Al detectar el fotodetector una caída en la intensidad de la luz recibida supone que un cuerpo está obstruyendo el haz y se señala o informa este hecho. Este tipo de detector solo monitoriza un área reducida, normalmente un plano vertical que incluye la recta que une el emisor y el fotorreceptor. Por tanto se emplean en zonas donde su eficacia se maximice, como es el caso de entradas y salidas donde todas las personas deben atravesar dicho plano de manera perpendicular. Este sistema es además capaz de detectar cuerpos inmóviles, siempre que obstruyan su haz, por lo que proporciona más información que los detectores de área.



Figura 8: Mecanismo de funcionamiento de sensor de paso

## Cámaras

La mejor manera de detectar una vía obstruida es actualmente mediante la vista. Es decir que una persona encargada de gestionar la emergencia debería observar que la ruta de evacuación no esté obstruida ni demasiado concurrida. Para ello es muy recomendable usar cámaras para evitar que dicha persona se tenga que desplazar a todos los puntos donde es posible que exista una obstrucción. Este sistema sin embargo no puede funcionar de forma autónoma, dado que debe ser el observador el que deduzca que existe una obstrucción según lo que observe. Para solventar esta dependencia externa, el sistema podría incluir un procesado de señal que permita distinguir cuerpos extraños en la vía. Sin embargo este procedimiento es lento y costoso comparado con la información que proporciona, por lo que su instalación se considera opcional.

## Sensores de presión

Por último, existen desarrollos de sensores de presión incrustados dentro de baldosas, [21] con las que se podría recibir la misma información que con los sensores de paso, pero en un área distinta. Estos sensores funcionan como básculas, detectando la masa apoyada en cada momento sobre ellos. Los sensores básicos informan de que existe un objeto cuando la masa medida excede un cierto umbral, y los avanzados informan de la cantidad de masa medida. Con ellos se puede

complementarlos sensores de haz para saber con mayor precisión si existen personas moviéndose a través de la vía o cuerpos inertes que la obstruyan.

### ***Detección de integridad estructural del edificio***

Se incluyen dentro de la categoría de sensores de obstrucción los que detectan si el edificio es practicable, dado que se considera una obstrucción que la parte del edificio por donde pasa la ruta de escape esté derruida o próxima al derrumbe.

Este tipo de sensores deben ser capaces de informar si el edificio tiene la forma original, si la altura entre plantas varía o deja de ser uniforme, o de si las vigas y columnas dejan de estar conectadas con la geometría original, entre otras cosas.

La monitorización de la integridad del edificio, o *structural health monitoring* (SHM) en inglés [22], es un área de estudio de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) y de la ingeniería de estructuras. Se define como la detección y caracterización del daño en estructuras, donde daño se entiende como cambios en los materiales o en la geometría de la estructura que puedan afectar al funcionamiento de la misma. Se emplea sobre todo en aeronaves y recientemente en puentes y rascacielos. Es un campo de investigación muy activo en este momento.

En los sistemas de monitorización de la integridad del edificio se suelen emplear sensores que detectan fuerzas, posición, orientación, conectividad y condiciones externas como el clima o actividad sísmica. Además es necesario un sistema de procesado de datos que combine la información de los sensores en un modelo que permita identificar problemas automáticamente. Dada la complejidad de este sistema, no se considerará su instalación como parte de este trabajo, pero sí se recomienda incluirlo en proyectos de gestión de emergencias en edificaciones complejas o en entornos de riesgo.

### **De aire y gases**

En esta categoría se incluyen detectores capaces de medir propiedades del aire dentro y fuera del edificio, como son su velocidad de flujo y dirección, su composición o la presencia de determinados agentes en el mismo.

Los sensores de composición del aire son aquellos que o bien detectan una sustancia específica disuelta en el mismo, o bien son capaces de descomponerlo en todos los elementos que contiene. Los primeros pueden dar una señal de alerta cuando la concentración de la sustancia concreta sobrepasa cierto umbral o pueden dar el nivel de concentración medido. Por otra parte los segundos pueden dar los niveles detectados de todos los elementos encontrados, y los más avanzados incluso pueden deducir información a partir de esos niveles, como que los niveles detectados corresponden a un cierto perfume.

Este tipo de sensores son útiles cuando la emergencia implica liberación de sustancias tóxicas o contaminantes a la atmósfera del edificio. Las sustancias tóxicas pueden liberarse porque se creen durante una combustión o porque simplemente exista una fuga en un depósito. En el primer caso, los sensores de humo son capaces de proporcionar prácticamente la misma información, ya que si se detecta humo se sabe que existen sustancias tóxicas en el aire. En el caso de que las sustancias tóxicas se fuguen, el edificio debe almacenarlas por algún motivo, por

lo que es un entorno especializado. Por este motivo los detectores de sustancias tóxicas en el aire no se consideran necesarios en la mayoría de edificios, aunque sí se consideran útiles algunos sensores especializados en las sustancias más comunes, como CO en los garajes o butano en las cocinas.

En cuanto a los sensores de flujo de aire, se ha detectado que sirven para, una vez detectada una sustancia tóxica, como humo de un incendio, saber hacia dónde se desplaza, de manera que se pueda dirigir a los usuarios del edificio en dirección opuesta. En casos de incendio en edificios complejos con varias salidas de emergencia se considera deseable conocer hacia donde se dirige el humo, por lo que se recomienda su instalación. Además, en el exterior es también deseable conocer las condiciones meteorológicas con este mismo fin, por lo que se recomienda instalar una estación meteorológica.



Figura 9: Sensor de flujo de aire empleado para medir corrientes dentro de edificios

Un tercer tipo de sensores de aire son los que detectan la presencia de patógenos que puedan causar epidemias en el mismo. En concreto es necesario por normativa un control de la bacteria que causa la *Legionelosis* [23], por ser muy fácil su reproducción en el aire y agua templados. Sin embargo las técnicas automáticas que actualmente existen para la detección de esta bacteria, o de bacterias en general, son caras, requieren sustancias fungibles y necesitan mantenimiento. Por tanto, aunque se considera muy recomendable contar con detectores de este tipo, no se considerarán para este trabajo.

## De consumo

El último tipo de sensores a considerar son los que miden el consumo del edificio, tanto de agua y gas como eléctrico. Una red capaz de medir dónde se consume potencia eléctrica o gas puede maximizar su eficiencia energética y además en caso de emergencia pueden reconocer un riesgo relacionado con dichos consumos. Para este trabajo se considerará un sistema capaz de medir consumo de agua, gas y electricidad por áreas del edificio.

## Sistemas de señalización

La señalización es todo elemento o sistema que indique a los usuarios de una estructura dónde están las salidas de emergencias y cuáles son las mejores rutas para llegar hasta ellas. En

este apartado se enumeran los actualmente utilizados y algunos que se podrían incluir en la instalación.

## Modo de operación

### *Estáticos*

Estos elementos son fijos y no cambian bajo ninguna condición, por lo que no necesitan energía ni mantenimiento, salvo en caso de rotura o vandalismo. Ejemplos claros de este tipo de señalización son los carteles que indican la dirección de la salida de emergencia, los códigos de colores empleados para señalar las propias salidas o los extintores, y el diseño inteligente del edificio para facilitar el acceso a una ruta de evacuación.



Figura 10: Señal reglamentaria de salida de emergencia

Este tipo de señalización tiene varias ventajas importantes, como son su bajo coste de instalación y mantenimiento, el que no consumen energía, y que son los sistemas que mejor resisten las condiciones adversas provocadas por una emergencia.

Por otro lado, su principal desventaja es que dependiendo de la emergencia real pueden no proporcionar la información correcta, dificultando en vez de ayudar a la evacuación efectiva de las personas dentro del edificio. Por ejemplo pueden indicar una salida que durante una emergencia concreta puede estar obstruida o ser más peligrosa que otra.

Este tipo de señalización se considera necesario en toda edificación, aunque como se remarcó en la introducción de este trabajo, se recomienda reforzarla o modificarla mediante métodos inteligentes que den información precisa y actualizada sobre la salida de emergencia más segura en cada punto.

### *Dinámicos*

Son aquellos sistemas que tienen un estado de reposo y uno o más estados de funcionamiento, activados al producirse una emergencia. Los sistemas más comunes de este tipo son las alarmas acústicas y luminosas que informan a todo el edificio que en alguna parte del mismo se ha producido una emergencia de cierto tipo, permitiéndoles evacuar antes de estar en auténtico peligro.

Su principal ventaja es que son métodos más agresivos que los estáticos, por lo que la probabilidad de que los usuarios del edificio reciban la información que pretenden comunicar es mucho mayor que para estos.

Por otra parte, estos sistemas presentan varias desventajas: la primera es que consumen energía, tanto cuando están activos cuando no, ya que deben poder entrar en funcionamiento tan pronto como sea posible. Además requieren mantenimiento periódico y pruebas de funcionamiento para comprobar que cumplen su función. Para colmo, al menos en los sistemas actuales, estos sistemas no varían dependiendo de la emergencia concreta que se declare, por lo que al igual que los métodos estáticos, pueden terminar dirigiendo a la población del edificio hacia una salida impracticable.

En el presente trabajo se prescindirá de este tipo de sistemas en favor de los sistemas inteligentes descritos en el apartado siguiente. Así mismo se recomienda emplear estos sistemas solo como respaldo de los sistemas inteligentes, y procurando que el guiado de los usuarios hacia las rutas de evacuación sea lo más claro y efectivo posible.

### *Inteligentes*

Este trabajo se centra en el empleo de sistemas inteligentes para guiar a los usuarios de un edificio o instalación hacia las rutas de evacuación en caso de emergencia. El hecho de que los sistemas sean inteligentes implica que sean capaces de calcular el riesgo que existe para cada ruta de evacuación y cada emergencia concreta, por lo que son capaces de minimizar el riesgo al evacuar el edificio.

Este tipo de sistemas se basan en los mismos sistemas dinámicos explicados en el apartado anterior, con una cierta capacidad de proceso añadida. Gracias a esta inteligencia serán capaces de recibir la información de la red de sensores instalada y variar su comportamiento según esa información y proporcionar mejor información y ayuda a los usuarios del edificio.

Ejemplos de situaciones donde un sistema inteligente mejora la capacidad del resto de sistemas de señalización son habitaciones con varias indicaciones de salida de emergencia en direcciones opuestas, rutas de evacuación obstruidas en algún punto, rutas de evacuación que se acercan a zonas de más peligro antes de alcanzar la salida, etc.

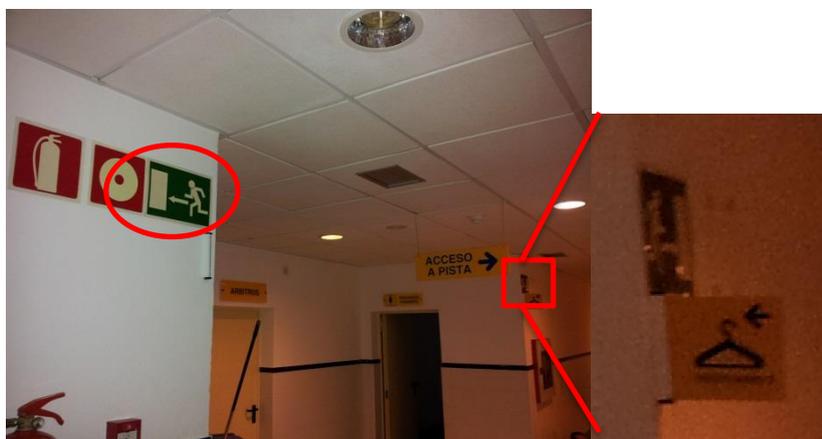


Figura 11: Imagen de un acceso del centro de deportes de Vecindario, donde se observa que existen dos carteles de salida de emergencia en direcciones opuestas



Figura 12: Ruta de evacuación obstruida por un derrumbe de mercancías

## Canal empleado

Otra clasificación posible para los sistemas de señalización es el tipo de medio físico o canal por el que alcanzan a los usuarios. De todos los que el ser humano posee, la vista y el oído son los que antes y desde más lejos son capaces de recibir información, además de requerir los transmisores más baratos. Por todo ello actualmente se emplean sistemas que únicamente utilicen estos canales, y el mismo planteamiento se seguirá en este trabajo.

### Ópticos

Estos sistemas están pensados para dar información visual a las personas que están en el edificio. Representan a esta categoría los carteles indicadores, las luces de emergencia y los manuales de evacuación que el personal del edificio debe leer, entre otros.

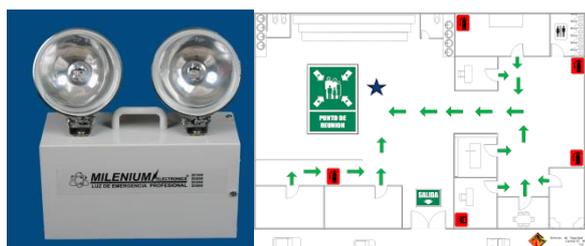


Figura 13: Luz de emergencia y plano de evacuación usualmente empleados en construcciones públicas

Los seres humanos reciben la mayor cantidad de información a través de la vista, por lo que los sistemas que emplean métodos visuales u ópticos son los más adecuados para llamar su atención en general. En concreto las luces variables resultan muy llamativas y fáciles de seguir hasta puntos concretos. Por ello para señalización de emergencia siempre se deberá emplear señalización óptica de intensidad y/o color variables, y que por el simple hecho de seguirlas permitan alcanzar una salida de emergencia.

Su mayor desventaja con respecto a los métodos acústicos son los materiales opacos que impiden ver las indicaciones a los usuarios. Para evitar esta desventaja se debe diseñar la edificación de manera que las rutas de evacuación sean diáfanos y su iluminación suficiente y

fácilmente visible, y eliminar o desactivar durante la emergencia otras luces que puedan distraer la mirada de estas. Además se debe instalar la señalización luminosa de manera que todos los usuarios del edificio puedan verla durante el desarrollo actual de su actividad.

Otra desventaja que poseen es que la propia emergencia puede encubrirlas. Por ejemplo el humo de un incendio puede ser tan denso que oculte los carteles indicadores, o el polvo de un derrumbamiento impedir ver las luces que indican la salida de emergencia.

En [3] se indica simplemente que la señalización visual debe estar instalada y distribuida donde más eficaz sea, sin posiciones o densidades concretas. En este trabajo se tendrán en cuenta esas indicaciones a la hora de instalar la señalización que incluya.

## ***Sonoros***

Los sistemas de este tipo están pensados para dar información sonora a las personas que están en el edificio. Se emplean junto con los ópticos para completar la información que estos proporcionan y para poder informar a las personas invidentes.

Los principales sistemas de este tipo son las alarmas sonoras y los sistemas de sonido a través de los cuales se pueden enviar comunicados a las personas dentro del edificio.

Su principal ventaja sobre los sistemas ópticos es que las paredes y demás obstáculos no detienen a las ondas sonoras. Además, mientras que los sistemas luminosos son muy directivos, los sónicos son prácticamente omnidireccionales, permitiendo alcanzar a personas que no están observando la señalización de emergencia. Por ello permiten mantener informada a la población del edificio de una manera más eficaz con menos elementos de señalización.

Otra ventaja importante es que el sonido es más molesto a los seres humanos que la luz, por lo que una alarma sónica puede sacar de un estado de concentración a un trabajador o despertar a un residente mucho mejor que una óptica. Esto hace de los sistemas sonoros clave para la alerta temprana de los usuarios ante situación de emergencia.

Por otra parte, los sistemas sonoros tienen varias desventajas, entre las que están la menor velocidad de procesamiento por parte de los humanos. Por ello los mensajes que se transmitan de forma sonora deben ser claros y concisos. Esto es especialmente necesario en casos de emergencia, donde los seres humanos pierden gran parte de su capacidad de concentración y no son capaces de atender a indicaciones sonoras. Otro factor que incide en la atención que prestan los usuarios a un mensaje es la voluntad que transmite: un mensaje informado de que existe peligro en la tercera planta será prácticamente ignorado por los usuarios en situación de gran tensión o ansiedad, mientras que una orden de huir será obedecida casi ciegamente por esos mismos usuarios.

Otra de sus desventajas es que su baja directividad y sus numerosas reflexiones no permiten guiar a una persona de forma precisa, pues en un momento dado esta puede percibir el sonido más cerca o más lejos, o en una dirección distinta, de lo que realmente está el emisor. Por tanto es preferible emplear sistemas ópticos para esta tarea y aprovechar los sistemas acústicos para alertar a quien no haya visto las señales luminosas.

## Actuadores

Los actuadores son lo contrario a los sensores, es decir, dispositivos que transforman información transmitida por medios electrónicos en magnitudes físicas. Dentro del contexto de este trabajo se llama actuadores a los elementos de la red de gestión de emergencias que, sin servir como mecanismo de señalización, se activan con las alarmas realizando alguna función.

Forman parte de esta categoría los aspersores de incendios, las válvulas de cierre de los conductos de gas y los mecanismos de desbloqueo y apertura automática de puertas, entre otros. Además en los edificios más modernos se incluyen en esta red los sistemas domóticos que controlan la temperatura y humedad en el edificio, por lo que se incluirán en este proyecto.

En este trabajo se incluirá un conjunto de actuadores sencillos, que solamente pueden encontrarse apagados o encendidos y llevando a cabo su función en caso de emergencia.

## Tecnologías de comunicación

### Sistemas

Para que un sistema de gestión de emergencias funcione, este debe ser lo más robusto posible tanto física como química como eléctricamente. Para ello se deben adoptar una serie de medidas que aseguren la operatividad del sistema.

En la normativa de prevención de riesgos no se considera la necesidad de mantener sistemas electrónicos en funcionamiento, por lo que no se especifican condiciones que deben cumplir los mismos en caso de emergencia. Sin embargo existe una normativa que obliga a equipos electrónicos a sobrevivir a ciertas condiciones adversas: las especificaciones de registradores de datos de vuelo o *cajas negras* [24]. En esta normativa se exige a los equipos pasar una serie de pruebas y seguir en funcionamiento tras las mismas sin necesidad de reparaciones.

Dichas pruebas someten a los equipos a condiciones extremas, que no es probable que se den en edificios, por ello se propone que, para abaratar el coste de los equipos, se diseñen una serie de pruebas menos exigentes que deban cumplir estos equipos. De cara a las posibles situaciones que se pueden dar en una edificación en caso de emergencias, se puede pensar en una batería de pruebas que incluya:

- Resistencia al fuego y capacidad de funcionamiento durante un incendio de duración y temperatura propias de un incendio real en un edificio,
- resistencia a los golpes y perforaciones de las características de los producidos por un derrumbamiento parcial de un edificio, y
- resistencia al agua y capacidad de funcionamiento tras una inmersión.

Para superar dichas pruebas se prevé que se deberá incluir en los sistemas desplegados carcasas de protección, baterías o sistemas de alimentación, interfaces de comunicación resistentes a entornos hostiles y sistemas de protección eléctricos.

Además los sistemas deberán incluir inteligencia para detectar condiciones de riesgo y modificar su comportamiento para minimizar los daños a sí mismos y a los usuarios de los edificios. Estas medidas pueden incluir guardar el estado y desconectar las fuentes de energía en

caso de inundación o fuerte sacudida, el empleo de canales de comunicación alternativos al detectar un aumento significativo en el número de fallos del principal, o la capacidad de funcionar en modo autónomo si no se puede establecer ningún tipo de comunicación.

Para este trabajo se supondrá que los equipos empleados cumplen con esas características, quedando fuera de los objetivos del mismo los desarrollos necesarios para que efectivamente las satisfagan.

## Cables

Los cables de alimentación del sistema de gestión de riesgos deben cumplir la legislación referente a la edificación que concierna al tipo de edificación en donde se instalen, tal y como especifica la normativa enumerada en el capítulo 0. En concreto los cables deben ser retardantes del fuego y resistentes al fuego, además de emitir pocos gases peligrosos o tóxicos al quemarse.

Los cables de datos deben cumplir así mismo los estándares de protección antiincendios. Los cables de transmisión de datos se regulan por la reglamentación de infraestructuras comunes de telecomunicaciones [25], pero al formar parte de equipos eléctricos, deben cumplir toda la normativa enumerada en el capítulo 0 sobre cables y equipos eléctricos.

En este trabajo se supondrá que se emplea cableado que cumple con la normativa vigente especificada en el capítulo 0, además de adaptarse a las especificaciones de los protocolos empleados por los elementos que conformen la red desarrollada.

## Protocolos de comunicación

Los protocolos de comunicación son la base teórica de funcionamiento de los interfaces que incluyan los sistemas incluidos en este trabajo. Dado que se espera que estos sistemas sean capaces de comunicarse en entornos hostiles, los protocolos que implementen deben ser robustos y tolerantes a fallos. Además, para maximizar la conectividad se intentará emplear varios protocolos independientes y que utilicen, a ser posible, diferentes canales de transmisión.

En esta sección se estudiarán sólo los protocolos que ofrezcan una solución para la capa física. Esto implica que algunos de los protocolos que se enumerarán no implementan capas superiores, requiriendo las aplicaciones que se desarrollen que los protocolos se añadan de forma externa. Entre los factores que se deberá tener en cuenta para elegir una tecnología concreta está la facilidad con que se puede añadir un protocolo de red sobre esta.

### *Cableados*

#### **Ethernet**

Ethernet es un estándar de redes de área local para computadores con acceso al medio por Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Detección de Colisiones (o CSMA/CD por sus siglas en inglés). Ethernet define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de tramas de datos del nivel de enlace de datos del modelo OSI [26].

La Ethernet se tomó como base para la redacción del estándar internacional IEEE 802.3. Usualmente se toman Ethernet e IEEE 802.3 como sinónimos. Ambas se diferencian en uno de los campos de la trama de datos. Las tramas Ethernet e IEEE 802.3 pueden coexistir en la misma red.

### *Tecnología y características*

Las tecnologías Ethernet que existen se diferencian principalmente en los conceptos de velocidad de transmisión, tipo de cable empleado y topología de la red. Las tecnologías más empleadas son:

Tabla 1: Características de los diferentes estándares Ethernet

Tecnología	Velocidad de transmisión	Tipo de cable	Distancia máxima
10/100/1000BaseT	10/100/1000 Mb/s	4 pares trenzado (categoría 5e ó 6UTP )	100 m
1000/10GBaseSX	1000/10000 Mb/s	Fibra óptica (multimodo)	500 m
1000/10GBaseLX	1000/10000 Mb/s	Fibra óptica (monomodo)	5000 m

### *Ventajas e inconvenientes*

La principal ventaja de los protocolos ethernet es su gran penetración actual en el mercado, ya que la mayoría de dispositivos pensados para estar en un emplazamiento fijo incluye interfaces para estos estándares. Otra gran ventaja es su versatilidad, ya que permite implementar protocolos superiores de forma transparente e independiente del protocolo, y establecer enlaces de comunicación bidireccional simétricos o asimétricos. Por último permite una gran velocidad de transmisión, especialmente las versiones más actuales, por lo que no supondrá un cuello de botella para la red.

Entre sus inconvenientes está que requiere una pila de protocolos, que los cables de fibra que se emplean en algunas versiones suelen ser menos resistentes al fuego, y que para las configuraciones en estrella, las empleadas actualmente, requiere de dispositivos adicionales que actúen como repetidores y concentradores. Estos dispositivos pueden crear una debilidad de la red, ya que al dañarse o desconectarse toda la red queda desconectada.

### **Can**

CAN [27], o *Controller Area Network* (red de área de control), es un protocolo de comunicaciones serie desarrollado por la firma alemana *Robert Bosch GmbH* [28] (de ahora en adelante *Bosch*), para implementar comunicaciones dentro de vehículos.

Entre sus principales características están el control distribuido en tiempo real, la desconexión autónoma de transceptores defectuosos, o el control de errores y las retransmisiones automáticas transparentes al usuario.

### *Tecnología y características*

Al igual que Ethernet, el protocolo CAN es un protocolo de la capa de enlace de datos. Por otra parte, en la ISO 11898 desarrollado por la International Standards Organization (ISO) [29], se definen dos capas físicas distintas para el protocolo CAN, en función de la velocidad de transmisión máxima que se desee obtener.

El protocolo define un bus compartido al que los nodos se pueden conectar o desconectar de forma dinámica sin afectar a la red. El bus se compone de un par trenzado donde uno de los hilos se emplea como referencia y el otro como señal activa. La señal activa solo puede tener dos

niveles, uno dominante y uno recesivo. Los niveles concretos dependen de la versión del estándar ISO empleado.

Como mecanismo de acceso al medio el protocolo CAN se usa CSMA/CA. Todos los dispositivos son capaces tanto de introducir como de recoger mensajes de la línea. Dichos mensajes tienen un identificador para que los dispositivos conectados lo filtren y sólo lo remitan si les interesa.

### *Ventajas e inconvenientes*

La principal ventaja de los transceptores es CAN se integran actualmente en muchos microcontroladores y microprocesadores, mientras que las plataformas de desarrollo de software incluyen librerías estándar para controlarlos y comunicar datos a través de ellos. Además, debido al interés en que trabaje en entornos industriales, es un protocolo robusto y sencillo de mantener.

Por otra parte, sobre este protocolo no se suelen implementar protocolos de red y transporte genéricos, por lo que es más difícil emplearlo en comunicaciones de propósito general. Además limita la velocidad de las comunicaciones a 1 Mb/s

## **PLC**

PLC son las siglas de *Power Line Communications*, o Comunicaciones por línea de potencia en español. No son un único estándar, sino un conjunto de ellos. La mayoría de esos estándares son propietarios, aunque el IEEE 1901 [30] se ha formalizado recientemente. Debido a la disparidad de funcionalidades y a la limitación que supone escoger un estándar propietario, solo se considerará para este trabajo el estándar IEEE 1901.

### *Tecnología y características*

El estándar IEEE 1901 permite la interconexión de múltiples transceptores a una red a través del par de cables de alimentación. Permite velocidades de hasta 500 Mb/s, y distancia entre nodos de hasta 1500 m.

El estándar define dos capas físicas y dos capas de enlace entre las que optar al implementar el estándar. Las especificaciones son las mismas sean cuales sean las capas elegidas.

### *Ventajas e inconvenientes*

Entre las mayores ventajas de este protocolo es que permite usar la instalación actual de cableado eléctrico de la mayoría de edificaciones. Además la instalación eléctrica suele ser resistente a las emergencias, por lo que los fallos y las desconexiones serán menos probables que en otros protocolos.

Por otra parte, el ancho de banda que efectivamente es capaz de proporcionar depende en gran medida de la instalación eléctrica, por lo que los datos reales serán mucho menores que los teóricos en un edificio promedio. Además está poco implantado actualmente, por lo que encontrar equipos con interfaces implementados puede ser complicado.

## **RS-485**

El TIA-485\_A [31], también conocido como RS-485, es un estándar que define las características eléctricas de un sistema de comunicación multipunto balanceado. Está pensado para mejorar los estándares RS-232, RS-422 y RS-423 tanto en distancia máxima como en

velocidad de transmisión, de manera que puedan interconectarse numerosos elementos en un entorno industrial

### *Tecnología y características*

RS-485 permite la configuración de redes locales a bajo costo y de enlaces de comunicaciones multipunto. Ofrece velocidades de transmisión de datos de 35 Mb/s hasta 10 m y 100 kb/s a 1200 m. No se especifican velocidad o distancia máximas en el estándar, sino que se muestra cómo se deteriora la velocidad al aumentar la distancia del enlace.

La característica de multipunto se consigue obligando a los drivers de cada interfaz a estar desconectados hasta que se los activa para transmitir, al contrario que en RS-422. De esta manera se pueden conectar hasta 32 transceptores al bus, mientras que la conexión es en cada momento punto a punto.

### *Ventajas e inconvenientes*

La principal ventaja de este protocolo es su tolerancia a entornos hostiles. Por otra parte, es un protocolo antiguo y ha sido superado en todo por los otros protocolos enumerados en este capítulo, por lo que aunque se sigue usando en entornos industriales, no se considerará en este trabajo

## **El Estándar IEEE 1451**

Este estándar está pensado para comunicar dispositivos de generación y consumo de datos con dispositivos de gestión, siendo adecuado para redes de sensores y actuadores. Se basa en presentar cada nodo sensor o actuador como un elemento inteligente capaz de llevar a cabo ciertas acciones independientemente de la tecnología que implemente. Un elemento concentrador es capaz de direccionar cada nodo también de forma independiente de la tecnología y solicitar que realice dichas acciones, cuyo resultado presentará al usuario.

El estándar IEEE 1451 no es realmente un estándar de comunicaciones, sino una abstracción de la tecnología empleada en la red, de manera que la red pueda incluir subredes que usen tecnologías distintas y aun así tener una funcionalidad unificada.

### *Tecnología y características*

El estándar define dos capas que deben estar presentes en todos los nodos: una capa de adaptación al enlace que adapta los datos entre esta y la capa superior, que realiza funciones de gestión del estado del nodo dentro de la red. Por encima de esta última capa se puede implementar la funcionalidad que el usuario requiera.

El número de elementos en las redes de este tipo no está limitado, aunque existen límites de memoria dado que almacenar el estado de varios nodos ocupa bastante espacio. La topología viene determinada por las tecnologías de red empleadas y puede no coincidir con la jerarquía lógica que crea el estándar.

Por otra parte, la funcionalidad definida en el estándar es básica, pero existe una API que permite añadir comandos extra, además de permitirse la comunicación transparente de datos desde las capas definidas por el usuario.

### *Ventajas e inconvenientes*

Como ventaja este estándar permite reciclar las redes actualmente instaladas en el entorno, de manera que el coste de instalación es menor. Sin embargo es una tecnología pensada para redes de sensores, por lo que no está preparada para grandes velocidades ni permite una funcionalidad compleja.

## **HART**

El protocolo HART fue desarrollado a mediados de la década de 1980 por Rosemount Inc. para usar con una gama de instrumentos de medición inteligente. Originalmente para uso personal de su propietario, el protocolo fue pronto publicado para uso libre por cualquier persona.

### *Tecnología y características*

Este protocolo permite la comunicación entre uno o dos maestros a varios dispositivos esclavos, a través de un bus de dos cables. La información se transmite concurrentemente de forma analógica y digital, de manera que la máxima velocidad de transmisión, de 1200b/s, es la suma de las velocidades digital y analógica.

A nivel de enlace es un protocolo maestro-esclavo, de manera que el maestro siempre inicia la comunicación y los esclavos responden. Por tanto no requiere métodos de acceso al medio.

En niveles superiores de la pila de protocolos, el HART implementa capas de red y de transporte, de manera que se pueden comunicar aplicaciones comerciales sobre él. Estas capas implementan seguridad y control de flujo de extremo a extremo.

### *Ventajas e inconvenientes*

Al igual que el IEEE 1451, este protocolo está pensado para implementar redes de sensores, por lo que no es efectivo usarla para interconectar varios dispositivos inteligentes que puedan iniciar las comunicaciones. Además es un protocolo lento y con limitaciones en el número de elementos de cada bus.

## **Inalámbricos**

### **Wi-Fi**

El estándar IEEE 802.11 [32] define las características de una red de área local inalámbrica (WLAN), con el propósito de proporcionar conectividad inalámbrica a cualquier dispositivo, incluso portable, dentro de su área de cobertura.

### *Tecnología y características*

Los grupos 802.11.a, 802.11b y 802.11g han definido la creación de redes de área local inalámbrica mediante diversos mecanismos de acceso al medio (capa MAC) y gestión del medio físico (capa PHY). Las características más relevantes de estos estándares son su velocidad, de 54 Mb/s en las versiones comerciales, y la cantidad de usuarios que admite, de hasta 40 usuarios en contienda en el mismo bus. Según el estándar el usuario más alejado puede estar situado hasta a 100 m, pero en la práctica esta distancia suele ser menor. desde la versión 802.11e (2005) el protocolo implementa calidad de servicio basado en TDMA (PCF, *Point Coordination Function*),

mientras que desde la 802.11i (2004) permite una seguridad más elevada, con la incorporación del algoritmo de encriptación AES (Advanced Encryption Standard).

Este estándar está actualmente muy activo, existiendo numerosas revisiones del estándar en proceso de revisión o recientemente publicadas. Entre las más importantes está la versión IEEE 802.11n del estándar, que mejora la tasa de transferencia de datos en las bandas de 2,4 y 5 GHz. La velocidad neta de transmisión debería alcanzar los 600 Mbps gracias a la tecnología MIMO (Multiple Input Multiple Output). Otro ejemplo es la versión 802.11p, que mejora la latencia, los tiempos de conexión y la resistencia al efecto Doppler para poder implementar redes entre vehículos.

### *Ventajas en inconvenientes*

Como todas las tecnologías inalámbricas, esta tiene la ventaja de que no es necesario instalar cables para comunicar los elementos entre sí. Además, esta es la tecnología inalámbrica que más penetración tiene en el mercado, por lo que es fácil encontrar equipos compatibles. Respecto a sus especificaciones, presenta una velocidad y un rendimiento aptos para las aplicaciones actuales, por lo que no es necesario desarrollar aplicaciones específicas. Por último, este protocolo se adapta muy bien a la tecnología TCP/IP, al igual que Ethernet y PLC, por lo que la instalación de aplicaciones sobre él es más sencilla que sobre otros protocolos.

Entre sus desventajas está el bajo número de usuarios que acepta cada punto de acceso, debido a interferencias entre los mismos y al ancho de banda total disponible actualmente. Esta limitación, combinada con el deseo de los usuarios de la edificación de acceder a internet a través de sus dispositivos de usuario, limita en gran medida el uso que puede hacer la red de gestión de emergencias de este canal.

## **Bluetooth**

Bluetooth es una especificación industrial para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM de los 2,4 GHz. Los principales objetivos que se pretenden conseguir con esta norma son facilitar las comunicaciones entre equipos móviles y fijos, y eliminar los cables y conectores entre éstos.

### *Tecnología y características*

Estos dispositivos se clasifican como "Clase 1", "Clase 2" o "Clase 3" en referencia a su potencia de transmisión, siendo totalmente compatibles los dispositivos de una clase con los de las otras. En la mayoría de los casos, la cobertura efectiva de un dispositivo de clase 2 se extiende cuando se conecta a un transceptor de clase 1. Esto es así gracias a la mayor sensibilidad y potencia de transmisión del dispositivo de clase 1, es decir, la mayor potencia de transmisión del dispositivo de clase 1 permite que la señal llegue con energía suficiente hasta el de clase 2. Por otra parte la mayor sensibilidad del dispositivo de clase 1 permite recibir la señal del otro pese a ser más débil. Los dispositivos con Bluetooth también pueden clasificarse según su ancho de banda, como se muestra en la Tabla 2.

El nivel físico opera en la banda ISB de uso no regulado utilizando para ello un transceptor que ejecuta saltos de frecuencia en un conjunto amplio de portadoras. Es, por tanto, un sistema de dispersión del espectro basado en saltos (*frequency hopping spread spectrum*, o FHSS por sus

siglas en inglés), diseñado para evitar interferencias y empobrecimiento de la señal. La complejidad del hardware se acota utilizando modulación en frecuencia en su forma binaria, de forma que se alcanzan cotas de transmisión de 1 Mb/s. Debe haber exactamente un dispositivo maestro que ofrece la referencia de sincronización a partir de su reloj interno; el resto de dispositivos funcionan como esclavos. Puede haber hasta 8 esclavos activos, transmitiendo según un orden asignado por el maestro, y un número indeterminado de esclavos inactivos.

Tabla 2: Versiones el protocolo Bluetooth y anchos de banda correspondientes

Versión	Ancho de banda
Versión 1.2	1 Mb/s
Versión 2.0 + EDR	3 Mb/s
Versión 3.0 + HS	24 Mb/s
Versión 4.0	24 Mb/s

Bluetooth siempre considera que el canal físico no es confiable de forma conservadora. Para asegurar la corrección en las transmisiones varios niveles se hacen responsables de distintas comprobaciones y acciones. En concreto se realiza corrección de errores y control de flujo de extremo a extremo, además de direccionamiento de red. Por tanto es posible instalar aplicaciones comerciales encima de la pila de protocolos Bluetooth.

### *Ventajas e inconvenientes*

El protocolo Bluetooth está pensado específicamente para múltiples usuarios en un entorno hostil, por lo que se comporta mejor que el Wi-Fi en este aspecto. Además incluye su propia pila de protocolos de alto nivel, siendo innecesario añadir una externamente. Otra ventaja es que no afectará a los usuarios que deseen acceder a internet a través de Wi-Fi, ni a los de otras redes Bluetooth, ya que es posible crear varias redes en el mismo medio físico.

Por otra parte, proporciona una velocidad mucho menor que Wi-Fi, debido a su robusto control de errores, y los usuarios deben pedir permiso al maestro de la red antes de poder comunicarse, lo que disminuye el rendimiento. Además presenta un alcance mucho menor, por lo que serán necesarios más repetidores para cubrir una misma área.

## **Ópticos**

### **Espectro Visible**

Las comunicaciones ópticas son aquellas que emplean como medio de transmisión el espectro radioeléctrico entre las frecuencias de 780 y 375 nm. No existen estándares publicados actualmente en esta banda. Sin embargo sí que existen implementaciones experimentales como [33] que prueban que es cuestión de tiempo que esta tecnología se generalice.

### *Tecnología y características*

Las características actuales de las tecnologías sobre luz visible son inferiores a las inalámbricas, pero se espera que estas mejoren con la investigación. Actualmente existen enlaces punto a punto de larga distancia, aunque con emisores y receptores especiales no aptos para la electrónica de usuario. Por otra parte, la tecnología en proceso de estandarización Li-Fi [34]

asegura poseer una capa física con velocidades de hasta 96 Mb/s. claramente inferior al de las tecnologías por radio o cableadas.

Los usuarios de una red están limitados como en el resto de tecnologías con bus compartido, pero en este caso este límite se debe también a la direccionalidad del enlace, que impide las topologías en estrella.

#### *Ventajas e inconvenientes*

La principal ventaja de las tecnologías VLC es que emplean un canal no dañino para las personas que sin embargo no está sujeto a restricciones de comunicaciones. Otra gran ventaja es que se pueden combinar con la iluminación disminuyendo la complejidad de la instalación.

Entre sus desventajas están la inmadurez de la tecnología y su incapacidad para formar redes multipunto por problemas de direccionalidad de los emisores y por la incapacidad de la luz para atravesar obstáculos opacos.

### **Espectro infrarrojo**

El espectro infrarrojo es aquel compuesto entre los 830 y los 900 nm. En esta banda del espectro trabaja el principal estándar sobre infrarrojos: IrDA (*Infrared Data Association*, o Asociación de datos infrarrojos en inglés). Este es capaz de realizar comunicaciones punto a punto a gran velocidad y con baja probabilidad de error. Es un estándar pensado para comunicaciones entre equipos de usuario a distancias menores de 1 m.

#### *Tecnología y características*

El estándar IrDA tiene una gran cantidad de capas físicas distintas, dado que ha ido evolucionando con el tiempo. Dependiendo de cuál se emplee se pueden obtener velocidades desde 9.6 kb/s hasta 1 Gb/s. Los transmisores deben tener un cono de radiancia con una apertura y potencia en el centro determinados para cumplir con el estándar. La apertura del cono es de 15°.

El estándar incluye una pila de protocolos completa con funciones de enlace, control de flujo y control de errores extremo a extremo, aunque estos protocolos son ligeros dado que la comunicación es siempre entre un emisor y un receptor y en un solo salto.

#### *Ventajas e inconvenientes*

Este estándar presenta la misma ventaja que el resto de estándares ópticos: no le afectan ni las interferencias ni las restricciones electromagnéticas, y es inherentemente seguro. Además es un estándar maduro y con penetración en el mercado, por lo que existen equipos comerciales que lo implementan. Además provee una pila de protocolos completa, por lo que se pueden instalar aplicaciones encima de la pila sin necesidad de capas de adaptación.

Las ventajas de este protocolo son principalmente su cortísimo rango de cobertura y área del cono radiante, que imposibilitan conexiones multipunto, y la necesidad de apuntamiento entre emisor y receptor, que dificulta la instalación. Otra gran desventaja es que las radiaciones infrarrojas son dañinas para los humanos, provocándoles ceguera, por lo que sí que existen restricciones sobre la potencia máxima que un emisor puede radiar.



## 5. Instalación prevista

En este capítulo se empleará información recopilada hasta ahora para diseñar el sistema capaz de tener en cuenta las condiciones del edificio en situación de emergencia y dirigir a los usuarios del mismo hacia la salida más segura.

Durante este capítulo se empleará como edificación de ejemplo el edificio del centro de deportes de Vecindario, cedida por el ayuntamiento de Santa Lucía, y que se puede ver en la Figura 14, ya que presenta numerosos elementos a tener en cuenta durante el desarrollo de este trabajo.

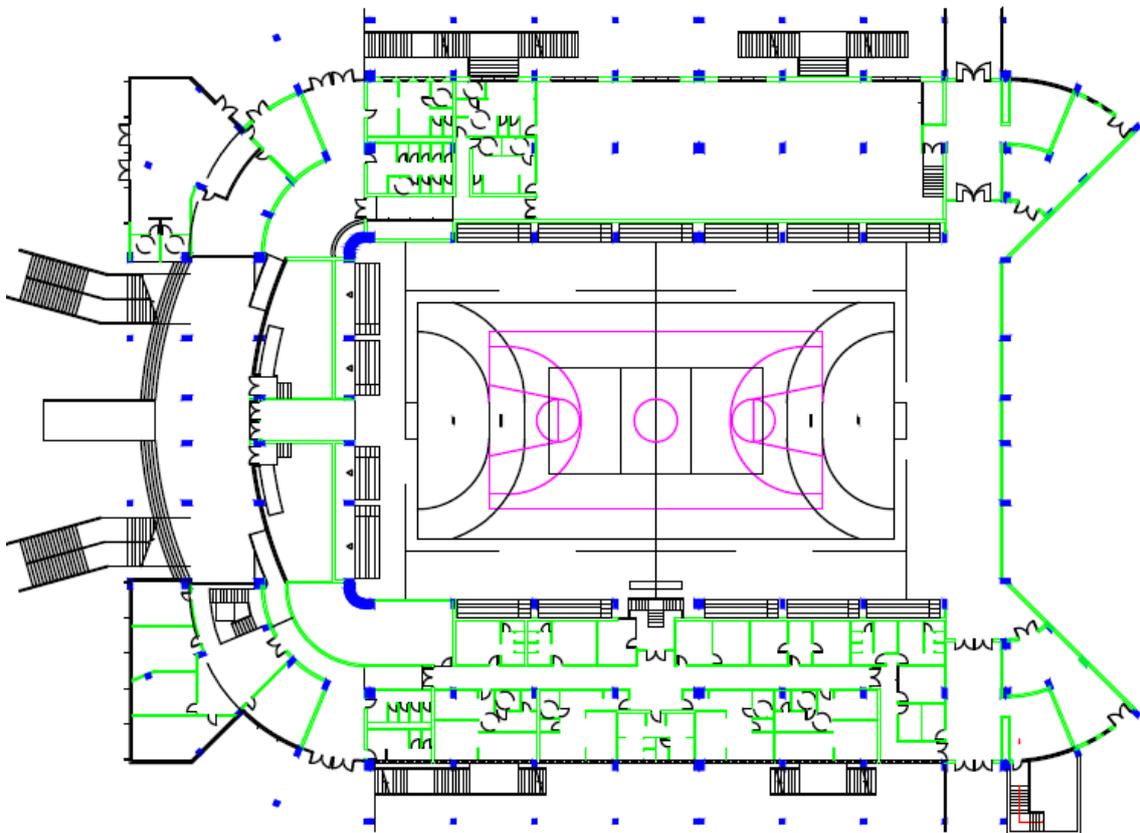


Figura 14: Plano de la planta baja del pabellón de la ciudad de Vecindario, en Gran Canaria

## Modelado del edificio

En primer lugar es necesario establecer una metodología que permita modelar cualquier edificio en cuanto a los espacios que lo componen y la comunicación entre ellos. Esta metodología se aprovechará de la normativa para la sectorización de los edificios en áreas de incendio, en el sentido de que el modelo representará los distintos sectores en que se divide el edificio, conectados entre sí y con las salidas de emergencia. Este modelo tiende a un grafo en el que los nodos son los sectores de incendio, los arcos son las conexiones entre ellos, y además las salidas

de emergencia se incluyen como nodos hoja. Un ejemplo de este modelado se puede observar en la Figura 18.

En este grafo se pretende encontrar el camino óptimo desde un nodo cualquiera hasta uno de los nodos hoja que representan salidas de emergencia, teniendo en cuenta que algunos arcos pueden ser mejores que otros. La resolución de este problema permitirá conocer la mejor ruta de evacuación de un edificio dependiendo de las condiciones en cada punto del mismo, por lo que encaja con los objetivos del proyecto.

De este primer modelo se puede ver que se pueden realizar varias modificaciones: por una parte pueden existir nodos con solo un arco hacia una salida de emergencia, de manera que todo tráfico encaminado hacia este, saldrá siempre por el mismo sitio. Este caso se podría mejorar eliminando dicho nodo y creando los arcos hacia su salida, de cara a simplificar el cálculo de rutas. Sin embargo esta situación no es muy normal, dado que por la normativa anti incendios, no se deben encadenar muchos sectores, y menos hacer que varios sectores converjan en uno hacia la salida de emergencia. En efecto, no se observa ese tipo de vinculación en el plano de la Figura 14.

Otro punto a tener en cuenta con los nodos correspondientes a sectores de gran superficie, como pasillos, es que no es realista modelarlos como un solo nodo. Esto puede hacer al algoritmo calculador de la ruta encaminar a todo el tráfico que entre a ese nodo de la misma manera, cuando eso puede ser peor que usar rutas de evacuación distintas para el tráfico entrante por distintas vías. Un ejemplo de este comportamiento puede verse en la parte inferior de la Figura 18. Por tanto será necesario dividir los nodos que presenten este tipo de problema en nodos que impidan que se presente. En concreto, será necesario dividir un sector en  $n$  nodos cuando, debido a su tamaño,  $n$  vías distintas de evacuación que desemboquen en dicho sector puedan desembocar en partes del mismo con distintas condiciones de riesgo. Esta restricción se puede aproximar a la distancia a la que la normativa vigente aconseja separar los detectores de incendio como máximo, ya que se supone que dicha separación está calculada para distinguir en qué parte de un sector se produce un incendio. Actualmente se recomienda que cada detector cubra un área no mayor que  $60 \text{ m}^2$ , lo que da una separación entre detectores de unos 8 metros. En la Figura 19 se muestra la misma planta de la Figura 18, pero con esta condición aplicada, de forma que el nodo correspondiente al pasillo se ha dividido en 3 nodos.

## Monitorización del edificio

Para proveer de información de los pesos de los arcos a este grafo hace falta una red de sensores que informe de las condiciones del edificio lo más cerca posible de cada arco. Esto implica en sentido estricto situar sensores en las puertas o huecos de comunicación entre dos sectores de incendios, lo cual es difícil por la falta de espacio, además de no reflejar la situación de todo el sector de incendios. Por tanto se decide instalar los sensores distribuidos por toda la superficie del edificio, y utilizar su localización para asociar sus datos a los de un determinado arco en el grafo.

Un punto a tener en cuenta son los nodos que dan directamente a una o varias salidas de emergencia. En este caso el problema es que dado que las salidas de emergencia comparten sector con el nodo que da a ellas, habrá que variar la superficie que se adjudica al nodo para dar algo de espacio a estas. De otra forma el peso de los arcos hacia las salidas de emergencia no podría calcularse adecuadamente.

## Diseño de un sistema de gestión de emergencias basado en redes de sensores heterogéneas

Teniendo esto en cuenta se asignarán los nodos uniformemente distribuidos a los arcos entre el nodo más cercano del sector en que se encuentran y el nodo o nodos más cercanos de los sectores de incendio que comunican con el primero. El concepto de cercano depende del tipo de sensor, ya que para la magnitud física detectada por cada tipo de los mismos, puede ser aceptable suponer que dicha magnitud es común a un área grande o no. Por ejemplo, en un sector nivelado un sensor de inundación proporciona información a todos los nodos de ese sector, mientras que un sensor de paso solo proporciona información aplicable a una puerta o vía de comunicación entre sectores. La distancia exacta en que se considera que un sensor tiene influencia viene dada por la normativa vigente en caso de que exista, y de las especificaciones técnicas en caso contrario. En la Tabla 3 se enumeran los tipos de sensores que se considera instalar, su número y ubicación en cada sector, y el radio de influencia considerado.

**Tabla 3: Tipos de sensores considerados en este trabajo**

Tipo de sensor	Sensores por sector	Ubicación óptima	Radio de alcance (m)
De humo puntuales	Según [12]	Según [12]	Según [12]
De humo lineales	Según [12]	Según [12], ubicaciones amplias y con techo alto	Según [12]
De calor puntuales	Tantos como de humo	En el suelo	1
De calor distribuidos	No aplicable, por no ser un edificio de nueva construcción	Unido a la estructura del edificio	
De altura de humo			1
De agua	1	Punto más bajo del sector	Todo el sector
De apertura de puertas	1 por cada salida del sector	Cerca de la puerta monitorizada	0
De paso de personas	1 por cada salida del sector	En el paso monitorizado	0
De presión	1 por cada salida del sector	En el paso monitorizado	1
De tensiones estructurales	No aplicable, por no ser un edificio de nueva construcción	Unido a la estructura del edificio	100
De flujo de aire	1 por cada salida del sector	Cerca de la salida monitorizada	1
De consumo de agua	1	Instalación hidráulica	Todo el sector
De consumo eléctrico	1	Instalación eléctrica	Todo el sector
De consumo de gas	1	Instalación de gas	Todo el sector

En la Figura 20 se ha realizado una distribución de los sensores de humo puntuales y lineales, y se han asignado estos sensores a los nodos que les corresponden a modo de ejemplo.

La distribución de los sensores se ha realizado de forma manual, dado que no se considera que los sensores tengan capacidad de desplazamiento propia al ser empleados en una red fija. Del mismo modo, no se considera que los sensores tengan capacidad de inferir su ubicación, por lo que esta deberá proveerse manualmente bien a los propios sensores o bien a su gestor.

## Señalización

Los elementos de señalización, al igual que los sensores, deben distribuirse por todo el edificio. Sin embargo, a diferencia de aquellos, estos se deben ubicar donde más efectivos sean. Esto significa colocar los elementos visuales donde se vean claramente y desde muchos sitios, y los acústicos donde se escuchen lo más alto y claro posible. Dado que los acústicos pueden atravesar las paredes, es necesario asegurar que el punto de instalación de los mismos no da lugar a malentendidos en cuanto a las indicaciones que proporcionan. Esto se puede conseguir estudiando el punto de instalación, variando su potencia y variando su direccionalidad. En la Tabla 4 se enumeran todos los tipos de elementos de señalización que se planea emplear en el sistema, además de su número y ubicación óptimos.

**Tabla 4: Elementos de señalización considerados en este trabajo**

Tipo de señalización	Elementos por sector	Ubicación óptima	Radio de alcance (m)
Acústicos	0.5 - 1	En el centro del sector	20
Ópticos estáticos	Según [3]	Según [3]	4
Ópticos dinámicos e inteligentes	1 por cada tramo recto de cada ruta de salida de ese sector	En los rodapiés o en las paredes a la altura media de los ojos humanos	4

En la Figura 21 se muestra una posible distribución de los elementos de señalización en la edificación empleada como ejemplo en este capítulo

De igual manera, estos elementos se vincularán a uno o varios de los arcos que compongan el grafo de la edificación, de manera que el algoritmo de cálculo sea capaz de configurarlos correctamente en caso de riesgo. Los elementos visuales tienen la ventaja de que sólo se pueden vincular a un arco, ya que físicamente cada uno de ellos indica una dirección, correspondiente a la salida de emergencia más cercana, y no es probable que su indicación se malinterprete. Por otra parte, los elementos sonoros se deberán vincular a todos los arcos que se sitúen geográficamente en el área de influencia de los mismos, por lo que habrá que estudiar el grafo teniendo en cuenta los puntos de instalación de los mismos.

## Actuadores en el sistema

Tal y como se comentó en el capítulo 0, en determinados puntos puede ser recomendable incluir elementos que, sin ser elementos de señalización, se activen en situación de riesgo. De la misma manera que los sensores, se situarán físicamente donde mayor sea su efectividad, mientras que electrónicamente se conectarán al nodo más cercano. Se ha planificado usar los que aparecen en la Tabla 5, en las ubicaciones de la columna correspondiente.

## Elementos inteligentes del sistema

Para analizar los datos de los sensores es necesario un conjunto de elementos inteligentes en el sistema, capaces de sacar conclusiones e informar a los usuarios en caso necesario. Para decidir cuántos elementos y donde se instalarán, es necesario decidir la inteligencia que se le concederá a los nodos.

Actualmente se tiende a incrementar la inteligencia de los elementos finales de la red, ya que se ha demostrado que mejora la eficiencia de la red, así como su resistencia a fallos por caída de uno o varios elementos. Por otra parte, incrementar la inteligencia de los sensores incrementa

también su precio de fabricación y de desarrollo, al requerir componentes que soporten esa inteligencia e ingenieros que la desarrollen.

**Tabla 5: Tipos de actuadores considerados en este trabajo**

<b>Tipo de actuador</b>	<b>Elementos por sector</b>	<b>Ubicación óptima</b>	<b>Radio de alcance (m)</b>
Interruptor de corriente	0.5 - 1	En la entrada eléctrica al sector	todo el sector
Válvula de agua	0 - 1	En la entrada de agua al sector	todo el sector
Válvula de gas	0 - 1	En la entrada de gas al sector	todo el sector
Hídricos de lucha contra incendios	Según [12]	Según [12]	3
Apertura de puertas	1 por cada puerta en cada ruta de salida de ese sector	Puertas de salida del sector	0
Apertura de ventilaciones o activación de ventilaciones forzadas	1 por cada ventilación de ese sector	Salida de ventilación	4

Para intentar aprovechar las ventajas de ambas aproximaciones, se agruparán los sensores, actuadores y elementos de señalización en elementos inteligentes, o concentradores, y serán estos los que se comuniquen entre sí y con los elementos gestores de la red. De esta manera los elementos inteligentes dispondrán de toda la información de una pequeña área del edificio, permitiéndoles realizar deducciones sobre la condición de riesgo en esa área. Los datos recogidos por los sensores y el estado de los actuadores se enviará a los elementos de gestión del sistema para realizar estadísticas y previsiones. Por otra parte, las posibles condiciones de riesgo detectadas se emplearán para activar los elementos de señalización y actuadores del propio elemento inteligente, maximizando así la velocidad de respuesta. Además se enviará información sobre estas condiciones al resto de la red, para que se prepare para una posible condición de riesgo en su propia área. En la Figura 15 se muestra un esquema de la jerarquía de los elementos de la red tal y como se ha descrito hasta ahora.

En dicha figura se observa que los elementos de gestión están en el nivel superior de la jerarquía del sistema. Se han incluido dos elementos de gestión por necesidades de espacio, para mostrar la duplicidad de enlaces y porque para la instalación propuesta se considera que con solo dos elementos de gestión es suficiente. Estos se conectan a la red estructural de datos de la edificación, que está instalada siguiendo criterios de conectividad y eficiencia que no forman parte de este trabajo. Sí que se impone, para mejora la tolerancia a fallos, instalar caminos alternativos entre enrutadores y entre enrutadores y demás elementos del sistema. A los enrutadores se conectan los concentradores mediante enlaces cableados o inalámbricos, azules en la figura. Estos también disponen de varios caminos alternativos para comunicarse, y además pueden usar otro concentrador como puente para llegar a la red estructural. A los concentradores se conectan elementos de señalización y sensores. Los sensores no necesitan caminos alternativos, y sus conexiones son por protocolos específicos. Por otra parte, los elementos de señalización tienen varios caminos para mejorar la transmisión de señales de emergencia, y dada la inteligencia que requieren para detectar una falta total de conectividad, se considera trivial añadir conexiones de red iguales que para el resto de la red estructural.

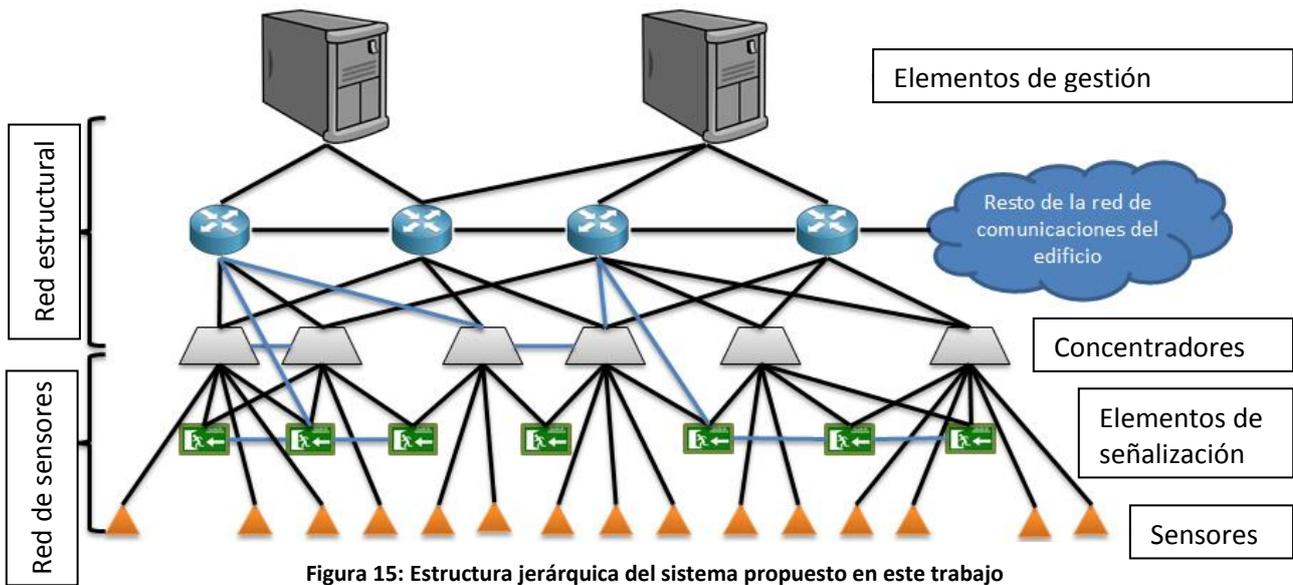


Figura 15: Estructura jerárquica del sistema propuesto en este trabajo

## Comunicaciones entre elementos inteligentes

Decidida la posición de los componentes del sistema, se procederá a su interconexión de manera que permita una funcionalidad completa. Para esto se habrá de tener en cuenta por un lado la estructura del edificio y las canalizaciones de cableado, y por otra las tecnologías de comunicación que se ha decidido emplear.

Este trabajo no tiene por objetivo la implementación física del sistema, por lo que no se especificará ninguna tecnología de comunicación concreta. Sin embargo, se recomienda emplear por lo menos dos tecnologías independientes y caminos redundantes para minimizar la probabilidad de desconexión de la red.

Como ejemplo de interconexión se propone la que se muestra en la Figura 15. En ella se observa una red cableada en estrella entre los elementos de gestión y los concentradores, y entre estos y los sensores. Además los concentradores están interconectados entre sí y con los elementos de gestión mediante de manera redundante para que exista conectividad incluso con concentradores caídos. Para la interconexión de los elementos se emplean enlaces cableados o inalámbricos, o ambos idealmente, para disminuir la probabilidad de fallo en la conectividad de la red.

## Funcionamiento

### Estado estacionario

En este estado no se detecta ningún riesgo, y el sistema permanece simplemente monitorizando sensores y enviando su información a la base de datos de los elementos de gestión. Algunos sensores son innecesarios en este punto, además de requerir mayor cantidad de energía, por lo que permanecen desconectados. Ejemplos de estos sensores son los de altura de humo, presión y temperatura en la estructura del edificio si los hubiera.

## DetECCIÓN DE UNA SITUACIÓN DE RIESGO

Mientras se monitorizan los sensores, los concentradores que los agrupan comparan los valores recibidos con unos umbrales configurables. Si en algún momento este dato está fuera de esos márgenes, se activan el resto de sensores de ese nodo relativos a la situación que detecta el primer sensor. Por ejemplo en caso de obstrucción en una puerta se activarán los sensores de presión en dicha puerta para aclarar si se trata de un fallo del sensor o de una obstrucción real.

Mientras tanto los elementos de gestión de la red, durante su función de recopilación de datos, recibirán la medida del sensor anómalo. Estos elementos esperarán una confirmación del concentrador que lo gestiona. Si se recibe la confirmación, se tomará el dato como real y se pasará a situación de riesgo, mientras que si el dato se toma como fallo, simplemente se generará una incidencia al servicio de mantenimiento.

Si se determina que la medida del sensor es correcta, el concentrador deduce que se está produciendo una situación de riesgo. El tipo de riesgo detectado lo determinan el tipo de sensor que produjo la primera alerta y el valor que proporciona. Por ejemplo si los sensores implicados son los de paso y de presión, se deducirá que ocurre una obstrucción en su localización, y dependiendo de la cantidad de presión detectada se podrá deducir si ha ocurrido un derrumbe o una persona está inmovilizada en ese punto.

El riesgo detectado se enviará la confirmación a los elementos de gestión y a los concentradores cercanos. De esta forma, estos podrán activar todos sus sensores para detectar la situación con mayor rapidez y exactitud. Mientras tanto, el concentrador que detectó la emergencia podrá activar automáticamente sus medidas de señalización para guiar a las personas lejos del riesgo. Este comportamiento se debe poder modificar para permitir la confirmación por parte de un gestor humano, en caso de entornos que propicien las falsas alarmas. Por otra parte, los elementos de gestión comenzarán a emplear todos los datos ya almacenados y los nuevos que reciben de los concentradores para calcular la mejor vía de evacuación para la situación de riesgo dada.

## SEÑALIZACIÓN DE LA SALIDA MÁS ADECUADA

Con la información de los concentradores, los elementos de gestión calcularán el peso actual de cada arco del grafo que modela el edificio. Para ello el dato de cada sensor que esté fuera de los umbrales se ponderará y sumará a un peso base que dependerá de las características del tramo que represente el grafo. Estos pesos se irán actualizando con los sucesivos datos de los sensores a medida que se reciban. A continuación se ejecutará un algoritmo de búsqueda de ruta óptima como Dijkstra o A\*, que darán como resultado la lista de arcos que salen de cada nodo, ordenada según su nivel de seguridad calculado. Esta información se enviará a los concentradores, que modificarán el comportamiento de la señalización correspondiente a cada arco según ella.

Para ello cada concentrador debe saber a qué arcos pertenece su señalización, y a qué arcos pertenecen sus sensores. Los elementos de gestión del sistema pueden o bien saber también esta información para optimizar estas comunicaciones, o bien no saber a qué nodo pertenece cada concentrador, y enviar toda la información para que los concentradores decidan que parte atienden.

## Fallos en el sistema

En esta sección se intentará dar una medida de la resistencia del sistema a una situación hostil derivada de una emergencia, y a continuación se describirá el comportamiento ante distintos fallos del sistema, obteniéndose requisitos adicionales de robustez en las comunicaciones y protocolo empleados.

### Resistencia a fallos del sistema en condiciones normales

En un sistema de comunicaciones genérico, los fallos en el sistema se contabilizan con la disponibilidad y calidad del mismo. La disponibilidad se define como el porcentaje de tiempo que el sistema está activo respecto al total. Para calcularla se resta 1 a la indisponibilidad, mucho más fácil de calcular:

$$D = 1 - I$$

donde  $D$  es la disponibilidad e  $I$  es la indisponibilidad. La indisponibilidad se divide a su vez en indisponibilidad de equipo  $I_e$  e indisponibilidad de propagación  $I_p$ :

$$I = I_e + I_p.$$

La indisponibilidad de equipo mide el porcentaje de tiempo que un equipo está desconectado por cualquier causa respecto del total:

$$I_e = \frac{T_{apagado}}{T_{apagado} + T_{encendido}}.$$

Normalmente, el tiempo que un equipo está desconectado será el tiempo que pasa entre que este falla y que se repara, incluyendo el tiempo de reparación:

$$T_{apagado} = T_{fallo\ de\ funcionaiento} + T_{reparación}.$$

El valor de  $T_{fallo\ de\ funcionaiento}$  se minimiza aumentando el control sobre los equipos, mientras que  $T_{reparación}$  depende de la complejidad del equipo y del fallo, y se puede minimizar teniendo equipos de recambio. Por otra parte el tiempo que el equipo está encendido  $T_{encendido}$  viene dado en media en la especificación del equipo y refleja el tiempo medio entre fallos del mismo.

La indisponibilidad de propagación  $I_p$  indica el tiempo que los enlaces entre equipos no permiten transmisiones. Su valor depende del medio de transmisión, de la frecuencia de portadora y de la hostilidad del entorno.

Por otra parte la Calidad es la probabilidad de que la tasa de bits erróneos del enlace se degrade hasta un cierto valor, usualmente de  $10^{-3}$ .

### Resistencia a fallos del sistema ante situaciones hostiles

Hasta ahora se ha considerado que las condiciones del entorno están dentro del rango especificado por los fabricantes de equipos para que estos funciones. Sin embargo una situación de riesgo puede producir un entorno hostil para el sistema, que sin embargo debe continuar funcionando el mayor tiempo posible para permitir una evacuación completa e informar con el mayor detalle posible a los servicios de emergencia.

Para medir la resistencia del sistema cuando el entorno es hostil, se puede emplear el tiempo medio de resistencia de equipos y cables a un determinado daño. El sistema será tan resistente como el menos resistente de todos sus componentes. La resistencia de cada componente viene dada en su especificación por el fabricante. Además se podrían definir resistencias parciales para conocer cuando se pierde la información de un nodo concreto. Esto servirá por ejemplo para definir tiempos de funcionamiento distintos en sectores con distinto riesgo.

## **Comportamiento ante fallos parciales**

Los siguientes apartados definen el comportamiento de los componentes del sistema al producirse la desconexión de un elemento determinado.

### ***Caída de un sensor***

Si, durante el estado estacionario, un sensor deja de enviar datos o estos están fuera de los umbrales normales sin que se detecte una emergencia, el concentrador debe dejar de confiar en ese sensor, y enviar un informe sobre el fallo a los elementos de gestión. Este informe servirá para que el servicio de mantenimiento del sistema sea capaz de reparar el sensor con la mayor velocidad posible.

El hecho de que un sensor deje de funcionar puede no ser fácilmente detectable por el concentrador que lo controla, sobre todo si dicho sensor empieza a proporcionar datos erróneos. Para evitar esto, en el apartado "Detección de una situación de riesgo", se describía el proceso para asegurarse de que cada situación de riesgo detectada no es falsa a través de otros sensores que corroboren la medida del primero que detectó la situación. En caso de que para un tipo de terminado de situación de riesgo solo exista un sensor, se debería duplicar para que siempre exista este método de eliminar falsas alarmas. Otro sistema para detectar posibles fallos en un sensor es predecir su próximo valor a partir de los anteriores, y decidir que el sensor falla si su medida no es consistente con esta predicción más una cierta variación. Este método requiere conocer la variación máxima que es capaz de producir un sensor en un determinado intervalo de tiempo, y puede enmascarar ciertas alarmas. Por tanto si se emplea esta técnica se debe combinar con la verificación a través de otros sensores.

Si el fallo en el sensor se produce en medio de una situación de emergencia, el concentrador lo deberá detectar al igual que en estado estacionario: averiguando si la medida de dicho sensor es consistente con los demás sensores que tiene conectados y con sus medidas anteriores. Sin embargo en caso de emergencia no es eficiente llenar el canal de comunicaciones con informes de sensores rotos, que por otra parte se espera que sean abundantes. En lugar de ello los datos enviados al sistema de gestión dejarán de incluir desde ese momento los valores del sensor que ha fallado, mientras que los informes se almacenarán en el concentrador hasta que la situación de riesgo se dé por concluida. En ese momento se remitirán a los elementos de gestión de forma regular.

En los elementos de gestión, el hecho de que un sensor falle en estado estacionario no tiene mayor importancia que la de generar el aviso al sistema de mantenimiento. Sin embargo en caso de riesgo, el hecho de que un concentrador deje de enviar los datos de un sensor no debe impedir el funcionamiento del algoritmo de cálculo de los pesos. Para ello los elementos de gestión deben disponer de un conjunto de pesos base para cada arco del grafo. Cada uno de estos pesos debe

estar relacionado con un tipo de riesgo, de tal forma que si se detecta un tipo de riesgo determinado se empleará este peso base junto con los datos de los sensores relevantes para calcular los pesos dinámicos del grafo. El que un sensor sea relevante o no para un riesgo dado se deberá deducir de una base de datos o de la información que el concentrador mande sobre ese sensor. El hecho de que se deje de recibir los datos de un sensor puede solventarse de dos maneras: o bien se deja de considerar en el cálculo de los pesos del grafo, o bien se mantiene su último valor conocido. Esta última aproximación supone que la situación de riesgo se mantiene, lo cual requiere un estudio por cada sensor instalado para comprobar la validez de esta suposición.

### ***Caída de un concentrador***

Los concentradores gestionan varios sensores, por lo que un fallo en uno de ellos es mucho más crítico que un fallo en un solo sensor. En concreto se debe evitar la situación en la que la señalización no funcione por el hecho de que el concentrador que la controla ha dejado de funcionar. Para ello la señalización debe poder ser controlada a la vez por dos concentradores.

El siguiente problema que puede conllevar la caída de un concentrador es que un nodo del grafo se quede sin ningún sensor que recoja datos de la superficie que cubre. Para evitar este problema, los sensores que recojan datos relacionados con un sensor concreto deben pertenecer al menos a dos nodos. Idealmente, se debería duplicar cada concentrador con sus sensores en cada nodo. Sin embargo para abaratar el sistema se puede emplear el mismo número de concentradores que de nodos en el grafo siempre que cada concentrador controle sensores de más de un nodo. Cierta grado de duplicidad en los sensores también es útil siempre que sea asumible en costo. En la Figura 16 se puede observar que los sensores y elementos de señalización controlados por un concentrador pertenecen a varios nodos, por lo que el fallo de un concentrador no afectará a todo el nodo.

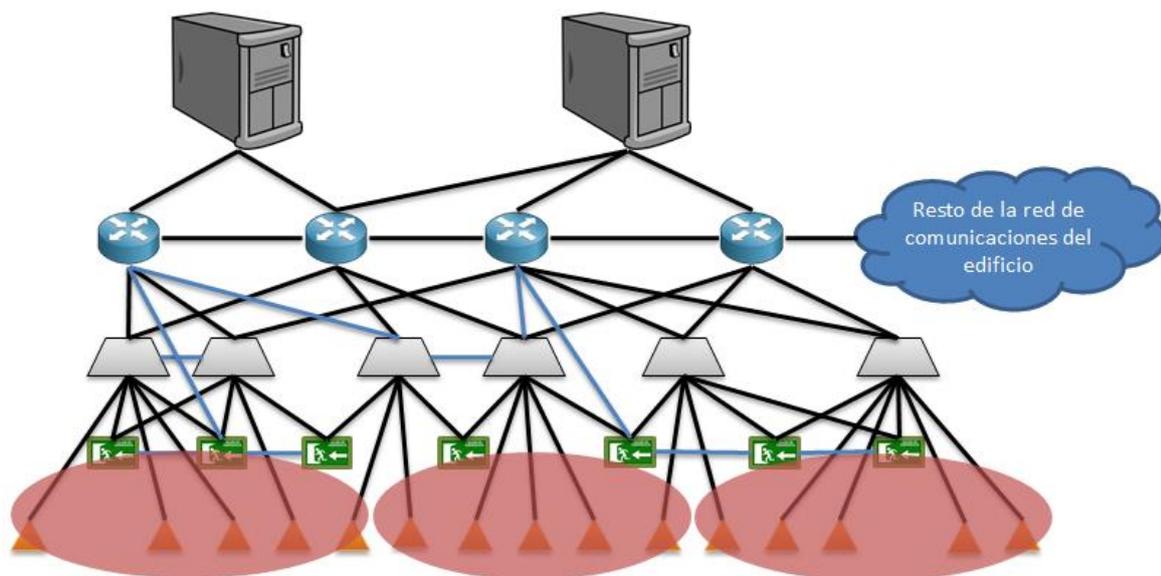


Figura 16: Asignación a los nodos del grafo de los sensores y elementos de señalización del sistema

### ***Caída de un elemento de gestión***

La caída de un elemento de gestión puede hacer que todo el sistema de señalización dinámica deje de funcionar, por lo que es necesario replicarlos en ubicaciones distintas del edificio, y o bien activar el de respaldo cuando el actual falle, o bien permitir varios elementos comunicando la misma información a la vez. En la Figura 15 ya se incluyeron varios elementos de gestión previendo el riesgo de que uno de ellos falle.

### ***Caída de un enlace de comunicaciones***

Un fallo en las comunicaciones puede impedir que los pesos del grafo se calculen adecuadamente o que se informe del resultado a los concentradores para que actúen sobre la señalización. Por tanto se deben crear caminos alternativos para llegar a todos los puntos del sistema, es decir, desde todos los elementos de gestión a todos los concentradores, y desde todos los elementos de señalización a todos los concentradores que los controlen. En caso de que las tecnologías de comunicación sean con topología en estrella, los enrutadores que forman el centro de cada estrella se deben replicar de la misma manera, para evitar desconexiones de todos los elementos que conectan con un enrutador al fallar este.

Como enlaces alternativos es recomendable emplear tecnologías diferentes a las del enlace original, dado que así se reduce el riesgo de que el mismo fallo afecte a los dos enlaces. Son de especial utilidad en este punto las formas inalámbricas de comunicación, dado que permiten alcanzar puntos que han sido aislados por el fuego o los derrumbes. Otra estrategia a emplear es la instalación de los enlaces alternativos por caminos físicos distintos a los de los enlaces originales. De esta manera se evitarán los fallos producidos por daños puntuales a la edificación.

Por último, como medida de emergencia, todos los elementos del sistema deben tener almacenado un comportamiento ante la desconexión total. Los elementos de gestión deben emplear todos los métodos a su alcance para indicar que están desconectados del sistema, como alarmas locales o informes a través de redes exteriores al sistema empleadas para gestionar el sistema de forma remota. Los concentradores deben almacenar todos los datos de los sensores que conserven de forma segura, y activar la señalización con parámetros por defecto. Además deben emplear los propios elementos de señalización u otros medios para indicar la desconexión del sistema, como pilotos indicadores. Los elementos de señalización por su parte, al detectar fallo en todas las comunicaciones deben activarse con parámetros por defecto, además de emplear posibles medios a su alcance para informar del fallo.

Además de esto, todos los elementos del sistema deben detectar cuándo un elemento de un nivel jerárquico inferior se desconecta. En concreto, los concentradores deben detectar cuándo dejan de tener conexión con un elemento de señalización, e informar de este problema para que se solucione tan pronto como sea posible. De la misma manera, los elementos de gestión deben detectar que las comunicaciones con un concentrador se han perdido, y generar el informe correspondiente para el servicio de mantenimiento.

Este comportamiento implica que elementos de gestión, concentradores y elementos de señalización tengan la inteligencia necesaria para intercambiarse mensajes de control cada cierto tiempo, emplear los canales alternativos al detectar fallos en los habituales, y activar el comportamiento de emergencia por defecto al detectar fallo también en los canales alternativos.

La Figura 17 muestra el comportamiento que se plantea que tenga la inteligencia de estos elementos.

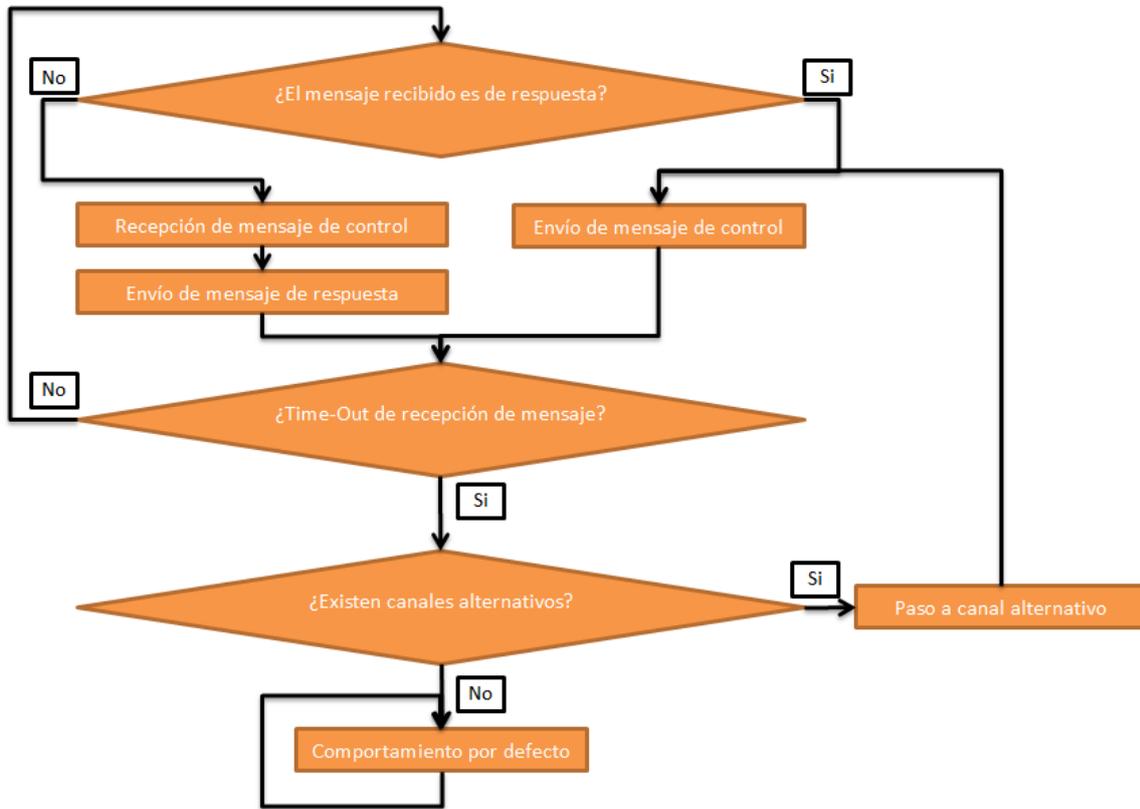


Figura 17: Algoritmo de comprobación de conectividad que deben seguir los elementos del sistema

### Caída de potencia eléctrica

El sistema planteado en este trabajo es electrónico, lo que significa que requiere energía eléctrica para funcionar. Un fallo en la alimentación puede desactivar todo el sistema sin posibilidad de informar si quiera a los servicios de mantenimiento, por lo que se deben disponer métodos para evitarlos.

Para empezar, todos los elementos del sistema deberán estar conectados a todas las fuentes de energía disponibles, incluyendo el suministro eléctrico regular y generadores propios de la edificación. De esta manera se asegura por un lado que el sistema puede funcionar durante el mayor tiempo posible, y por otro lado se monitoriza la propia instalación eléctrica en busca de fallos.

En caso de que todas las fuentes de energía externa fallen, los elementos de señalización deberían disponer de baterías de emergencias capaces de alimentarlos durante el tiempo suficiente para que se evacúe la edificación. De la misma manera, se puede proveer de baterías y sistemas de alimentación ininterrumpida al resto de elementos del sistema, en concreto a los concentradores, los elementos de gestión y los enrutadores que los comunican. De esta manera el sistema no solo podrá realizar las funciones de señalización por defecto sino que tendrá funcionalidad completa.

## **Diseño de un sistema de gestión de emergencias basado en redes de sensores heterogéneas**

Por último, ante una pérdida total de energía, y por otra parte para cumplir con la legislación actual, se deberán instalar sistemas de señalización que no requieran energía, como son los actuales carteles indicadores de salida de emergencia.

En conclusión el sistema debe estar dotado de medidas que permitan que sea resistente a fallos. Dado que se supone que dichas medidas se basan en componentes que cumplen la normativa de prevención de riesgos y se intenta que sean redundantes y diversas, se deduce que las condiciones que es capaz de soportar el sistema son más duras que las que obliga la normativa actual.

Instalación prevista

## 6. Conclusiones

---

De lo expuesto en este trabajo se puede sintetizar un conjunto de requisitos que se consideran necesarios en un sistema de gestión de riesgos dinámico, tanto en los componentes que incluye como en su comportamiento. Estos requisitos permitirán al sistema cumplir con la normativa actual y adaptarse a la futura, tanto en entornos regulares como en aquellos de riesgo especial.

El sistema propuesto se basa en tecnologías ya existentes o que lo estarán pronto, y por tanto es realizable a fecha de publicación de este trabajo prácticamente sin necesidad de un proceso de investigación y desarrollo previo. En concreto la tendencia actual de añadir inteligencia a los sensores facilita su integración en equipos comerciales, de forma que tampoco es necesaria una gran inversión en equipos específicos.

Por otra parte, existen reglamentos que no permiten una completa libertad a la hora de diseñar e instalar un sistema como el propuesto en este trabajo. Por ejemplo, en localizaciones donde actualmente es necesario instalar señalización fija, esta debe ser visible en todo momento, a pesar de que en determinadas circunstancias no señalice correctamente o señalice de forma contraria a la señalización dinámica propuesta en este trabajo. Sin embargo, además de que como se ha explicado en el capítulo 3, la señalización fija se considera necesaria en caso de fallo eléctrico, este trabajo no pretende criticar la normativa actual. Por el contrario, busca adecuarse a ella de la mejor manera posible, y sentar las bases para una nueva versión de la misma donde se tenga en cuenta los métodos dinámicos de señalización.

De cara a realizar un diseño real del sistema propuesto en este trabajo, será útil realizar un manual de diseño que permita dar las características concretas de un sistema en función de la edificación en donde se pretenda instalar. Así mismo, en caso de que se diseñe un sistema capaz de operar en un gran número de entornos, deberá acompañarlo una guía de instalación que cumpla una función equivalente al Código Técnico de edificación para las instalaciones actuales. De esta manera se estandarizará su uso y se acelerará el proceso de inclusión de los sistemas de este tipo en la normativa.

## Conclusiones

## 7. Presupuesto

---

El presupuesto total ha sido calculado en base al baremo orientativo publicado por el Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación (COIT) y la Asociación Española de Ingenieros de Telecomunicación. Siguiendo las recomendaciones del mismo, los conceptos que han de tenerse en cuenta a la hora de elaborar el presupuesto son los siguientes:

- Recursos Humanos
- Recursos Hardware
- Recursos Software
- Gastos generales
- Coste de redacción
- Coste total

Cada una de las partidas se detalla a continuación.

### Recursos humanos

El coste de los recursos humanos comprende los gastos en concepto de tiempo de trabajo empleado por el personal necesario para la realización del presente PFC. En ese sentido, se ha estimado el tiempo de empleo del proyectante, que tiene encargadas las tareas propias del desarrollo del trabajo.

De acuerdo a las tarifas sugeridas en los baremos de honorarios orientativos facilitados por el Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación (COIT), se establece que el cálculo de honorarios para trabajos a tiempo completo, expresados en euros, se calcule mediante la siguiente ecuación:

$$H = C \cdot 75 \cdot H_N + C \cdot 95 \cdot H_E \text{ €}$$

donde:

$H$  son los honorarios.

$C$  es el coeficiente de corrección en función del número de horas trabajadas.

$H_N$  es el número de horas normales trabajadas (dentro de la jornada laboral).

$H_E$  es el número de horas especiales trabajadas.

El número de horas normales corresponde a 7 meses de trabajo de 21,42 días laborales y una jornada laboral de 8 horas. Con estos datos el número de horas normales toma el valor de 1199,52 h. No se contempla el empleo de horas especiales en la realización de este proyecto.

Para trabajos de más de 1080 horas, el COIT indica que el valor de  $C$  sea de 0.5. Con este dato el coste de honorarios se calcula como:

$$H = 0.5 \cdot 0.75 \cdot 1199.52 = 449.82 \text{ €}$$

Por tanto el coste de los recursos humanos asciende a cuatrocientos cuarenta y nueve euros con ochenta y dos céntimos (449,82 €).

## Recursos hardware

En este trabajo solo se ha empleado como recurso hardware el ordenador desde el que se realizó la investigación y se generó la documentación. Este tiene un coste de 1130 €, que con un periodo de amortización de 5 años y teniendo en cuenta que se ha empleado durante todas las horas de trabajo de este trabajo, genera un coste de ciento treinta y un euros con treinta y tres céntimos (131.33 €).

## Recursos Software

En este apartado de enumeran los recursos software empleados para la realización de este proyecto. Estos se enumeran en la Tabla 6.

Tabla 6: Desglose de costes software

Concepto	Precio (€)
Windows 7 Home Premium	Incluido en el precio del ordenador
Microsoft Office Professional Plus 2010	539,00
Microsoft Project Profesional 2010	999.95
Navegador de Internet	0.00
Total	1538,95

Por tanto los recursos software generan un coste de mil quinientos treinta y ocho euros con noventa y cinco céntimos (1538,95€).

## Gastos generales

Los gastos generales comprenden todos aquellos gastos que no están directamente relacionados con la realización del proyecto. En la Tabla 15 se muestran los recursos englobados en esta categoría y el coste que suponen para el proyecto.

Tabla 7: Desglose de gastos Generales

Concepto	Precio/Unidad (€)	Cantidad	Coste final (€)
Impresión de la memoria y las carátulas de los CDs	12.00	3	36.00
Tarrina de CDs virgenes	9.99	1	9.99
Fungibles	30.00	1	30.00
Total			75.99

El coste de los gastos generales asciende a un total de setenta y cinco euros con noventa y nueve céntimos (75.99 €).

## Redacción

En el coste de redacción se contempla el trabajo realizado por un redactor profesional para crear esta memoria. De acuerdo a los honorarios orientativos del COIT, el importe de la redacción del presente PFC se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$R = 0.07 \cdot P_{tel} \cdot C_r + 0.03 \cdot P_{civil} \cdot C_r$$

donde:

$R$  es el coste de redacción.

$P_{tel}$  es el presupuesto de ejecución material de telecomunicaciones.

$C_r$  es el coeficiente de ponderación por tramos en función del coste del presupuesto.

$P_{civil}$  es el presupuesto de obra civil.

Este Proyecto Fin de Carrera no tiene asociada ninguna obra civil, por lo que  $P_{civil}$  es nulo, mientras que  $P_{tel}$  se corresponde con la suma de los apartados anteriores:

$$P_{tel} = 449.82 + 131.33 + 1538.95 + 75.99 = 2196.09 \text{ €}$$

Para este valor de  $P_{tel}$ , el coeficiente  $C_r$  establecido por el COIT vale 0.35, por lo que aplicando la ecuación del coste de redacción se tiene que:

$$P_{tel} = 0.07 \cdot 0.35 \cdot 2196.09 = 53.80 \text{ €}$$

Por lo que el coste de redacción asciende a un total de cincuenta y tres euros con ochenta céntimos (53.80 €).

## Coste total

El coste total es la suma de todas las partidas anteriores. El cálculo se muestra en la

Tabla 8: Resumen de costes del trabajo

Concepto	Coste (€)
Recursos Humanos	449.82
Recursos hardware	131.33
Recursos software	1,538.95
Gastos Generales	75.99
Coste de redacción	53.80
Total	2249.89

Don Néstor Rodríguez Pérez declara que el coste total del proyecto “Diseño de un sistema de gestión de emergencias basado en redes de sensores heterogéneas” asciende a dos mil doscientos cuarenta y nueve euros con ochenta y nueve céntimos (2249.89 €).

Fdo.: Néstor Rodríguez Pérez

Las Palmas de Gran Canaria, diciembre de 2013



## 8. Referencias

---

- [1] Agencia Europea de Seguridad y Salud en el Trabajo (EU-OSHA). Internet: <https://osha.europa.eu/es>
- [2] DIRECTIVA 89/391/CEE del Consejo, de 12 de junio de 1989, relativa a la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud de los trabajadores en el trabajo (Directiva Marco)
- [3] Directiva 77/576/CEE del Consejo, de 25 de julio de 1977, sobre la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros, relativas a la señalización de seguridad en el centro de trabajo
- [4] DIRECTIVA 92/58/CEE del Consejo, de 24 de junio de 1992, relativa a las disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y de salud en el trabajo (novena Directiva particular con arreglo a lo dispuesto en el apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE)
- [5] DIRECTIVA 89/654/CEE del Consejo, de 30 de noviembre de 1989, relativa a las disposiciones mínimas de seguridad y de salud en los lugares de trabajo
- [6] Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales.
- [7] Constitución Española, 1978
- [8] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Internet: <http://www.insht.es/portal/site/Insht/>
- [9] Portal de acceso a las Notas Técnicas de Prevención. Internet: <http://www.insht.es/portal/site/Insht/menuitem.a82abc159115c8090128ca10060961ca/?vgnnextoid=db2c46a815c83110VgnVCM100000dc0ca8c0RCRD>
- [10] RD 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención
- [11] Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación
- [12] REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- [13] DB SI: Seguridad en caso de incendio
- [14] REAL DECRETO 786/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad contra incendios en los establecimientos industriales
- [15] Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios
- [16] Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Internet: <http://www.minetur.gob.es/es-ES/Paginas/index.aspx>

## Referencias

- [17] Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión
- [18] Raymond M. Measures, "Structural Monitoring with Fiber Optic Technology," Academic Press (2001)
- [19] Peg Shippert, "Introduction to Hyperspectral Image Analysis," *Online Journal of Space Communication*, Issue No. 3: Remote Sensing of Earth via Satellite, Winter 2003
- [20] King, Michael D., Kaufman, Yoram J., Tanré, Didier, Nakajima, Teruyuki, " Remote Sensing of Tropospheric Aerosols from Space: Past, Present, and Future," *Bulletin of the American Meteorological Society*. Vol. 80, No. 11, November 1999, pp. 2229-2259
- [21] E. R. Lorenzo Méndez, "Baldosa-báscula" Patente española nº U 200502787, 22 de Diciembre de 2005
- [22] K. Worden, C. R. Farrar, G. Manson, G. Park, "The fundamental axioms of structural health monitoring, " *Proceedings of the Royal Society A*. June 8, 2007 463 2082 1639-1664.
- [23] Jan Consbruch, " Development of an automated legionella detection system," iNano – Institute for Applied Nano- and Optical Technologies, Niederrhein University of Applied Sciences
- [24] "Minimum operational performance specification for crash protected airborne recorder systems," *The European Organisation for Civil Aviation Equipment*. Marzo de 2003
- [25] REAL DECRETO 401/2003, de 4 de abril, por el que se aprueba el Reglamento regulador de las infraestructuras comunes de telecomunicaciones para el acceso a los servicios de telecomunicación en el interior de los edificios y de la actividad de instalación de equipos y sistemas de telecomunicaciones.
- [26] Hubert Zimmermann, "OSI Reference Model — The ISO Model of Architecture for Open Systems Interconnection," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 28, no. 4, April 1980, pp. 425 - 432.
- [27] "CAN Specification." 1991.
- [28] "Bosch Inc." Internet: [http://www.bosch.com/worldsite\\_startpage/en/default.aspx](http://www.bosch.com/worldsite_startpage/en/default.aspx)
- [29] "International Organization for Standardization." Internet: <http://www.iso.org/iso/home.html>
- [30] IEEE Std. 1901-2010, IEEE Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications
- [31] Electronic Industries Association (1983). Electrical Characteristics of Generators and Receivers for Use in Balanced Multipoint Systems. EIA Standard RS-485.
- [32] IEEE Standard for Information technology--Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks--Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications

- [33] Delgado, F.; Quintana, I.; Rufo, J.; Rabadan, J. A.; Quintana, C.; Perez-Jimenez, R., "Design and Implementation of an Ethernet-VLC Interface for Broadcast Transmissions," *Communications Letters, IEEE* , vol.14, no.12, pp.1089,1091, December 2010
- [34] Sitio web del consorcio encargado de desarrollar el estándar Li-Fi. Internet: <http://www.lificonsortium.org/>

## Referencias

## 9. Anexo

---

En este anexo se incluyen los planos del centro de deportes de la ciudad de Vecindario con las anotaciones añadidas durante el desarrollo de este trabajo. Se ha preferido esta opción a la de incluir las imágenes junto con el texto que las explica debido a su tamaño y complejidad.

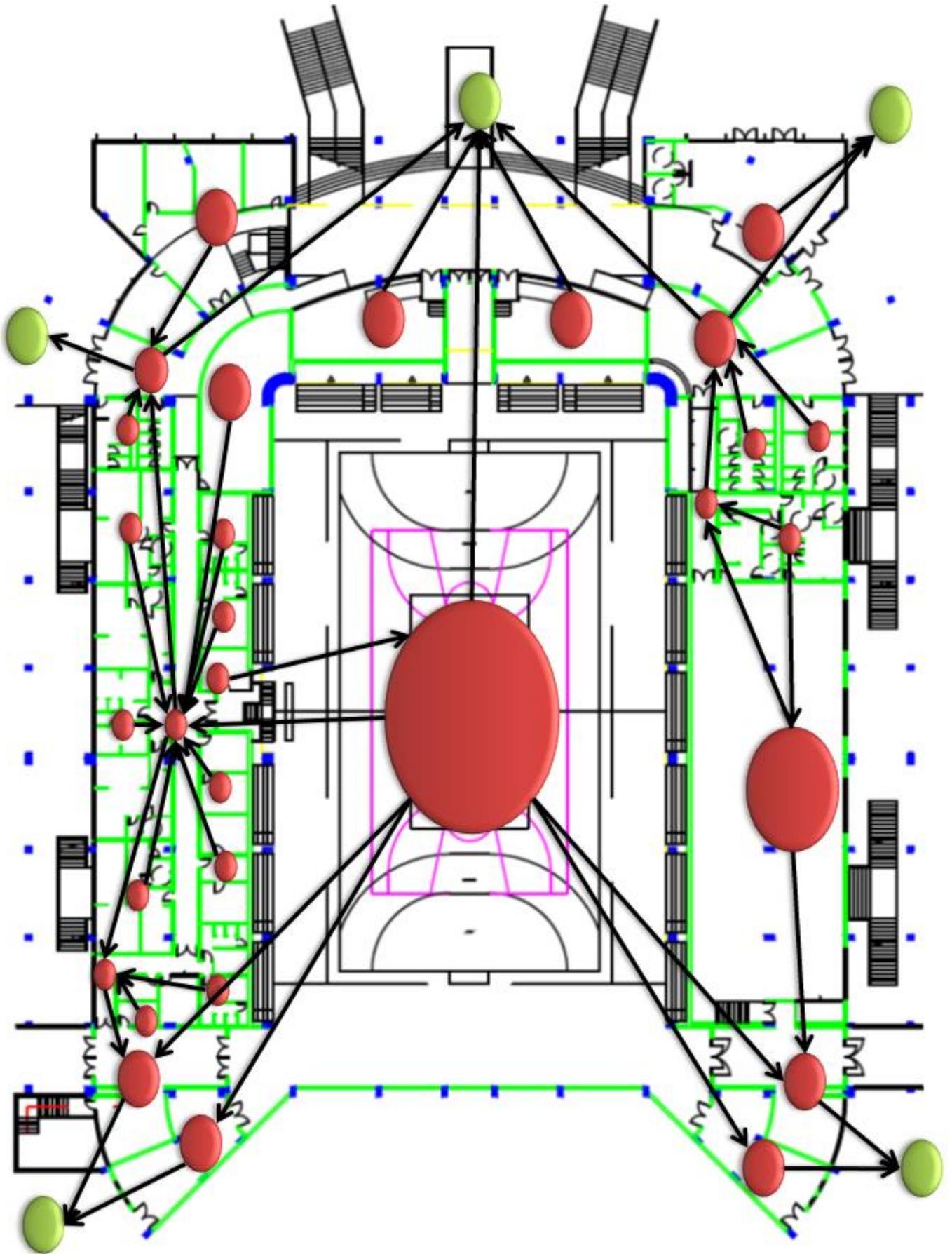


Figura 18: División en nodos de la superficie el centro de deportes de Vecindario

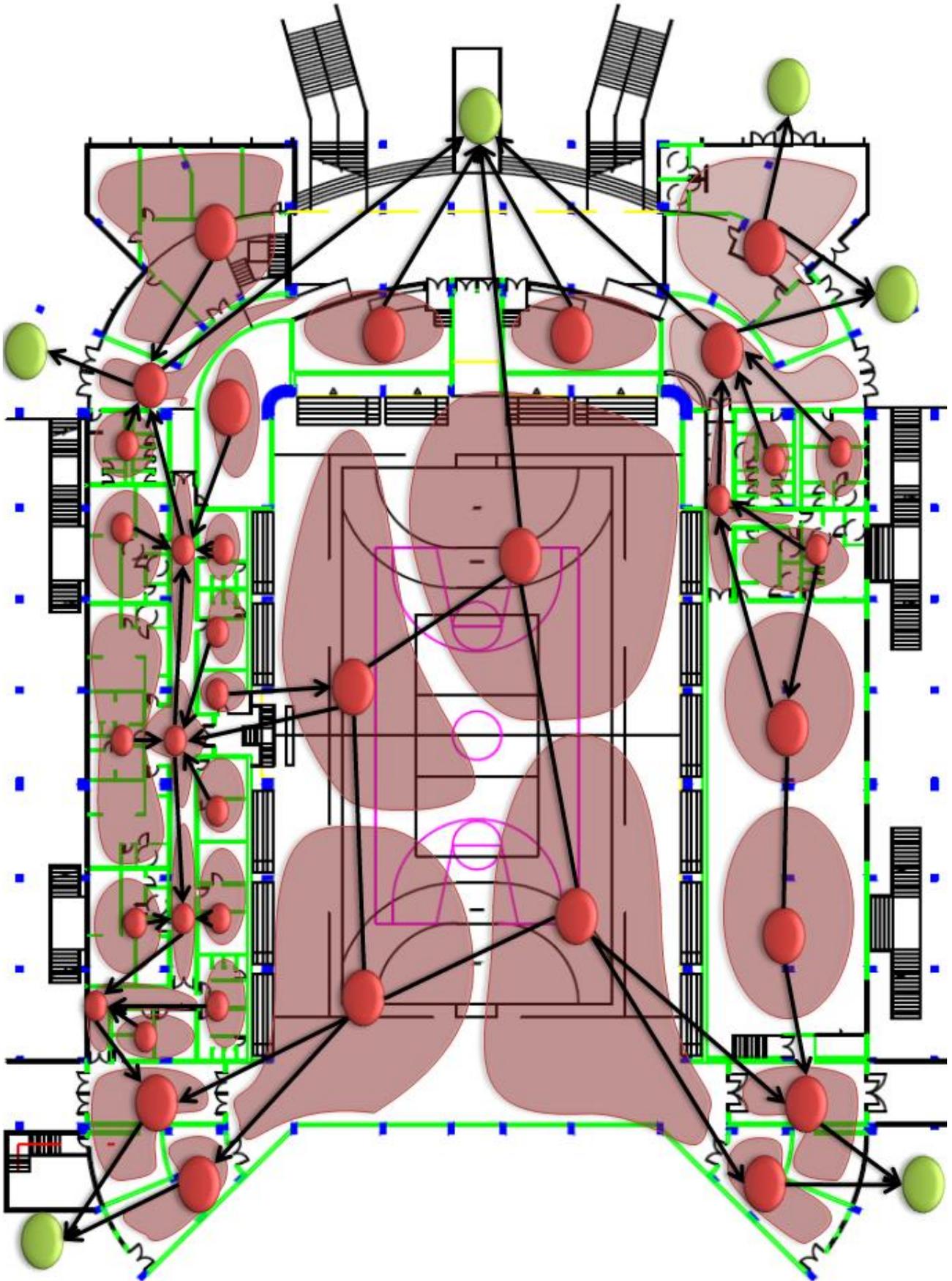


Figura 19: División de los nodos iniciales en nodos menores para cubrir el plano con mayor exactitud

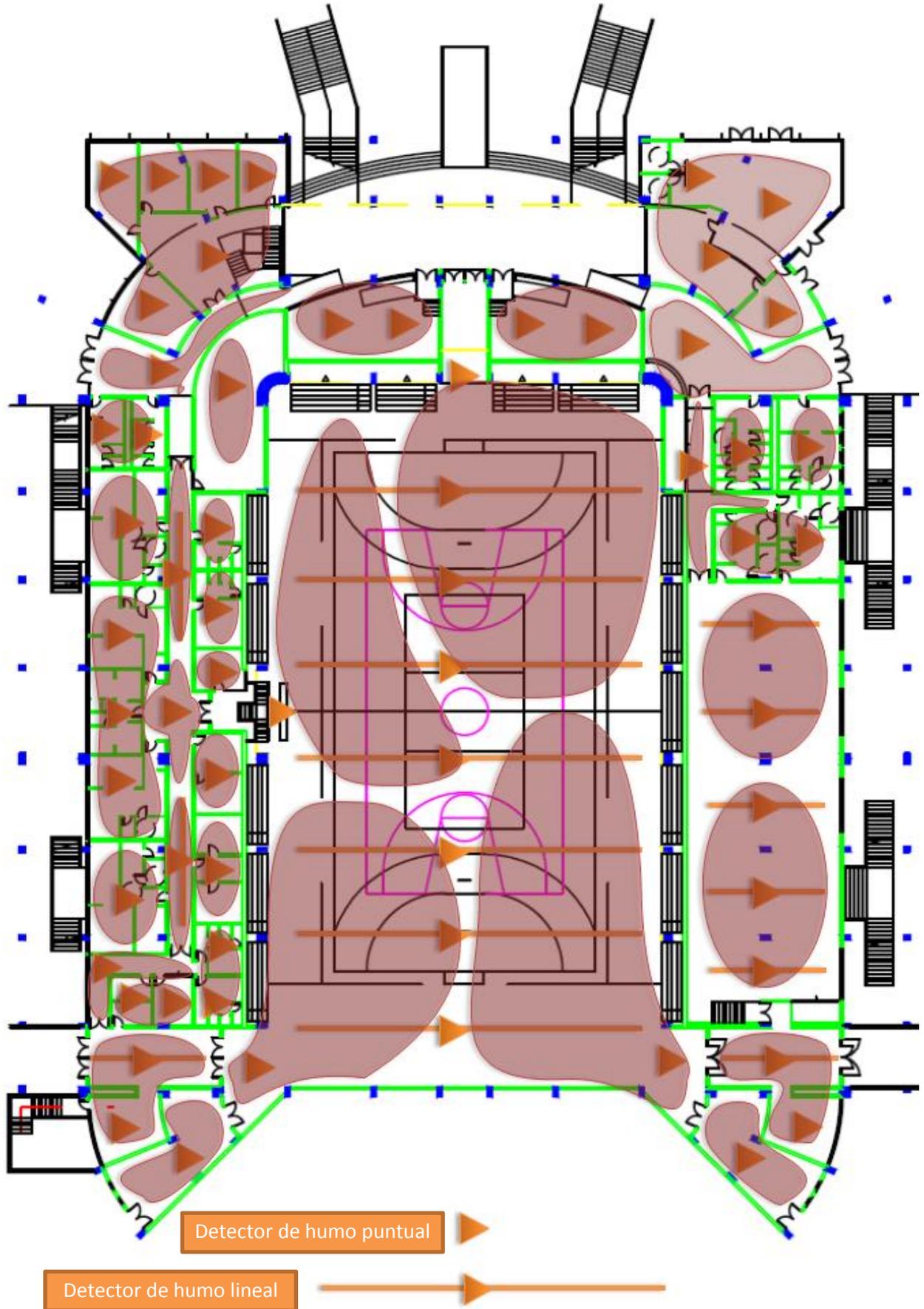


Figura 20: Distribución propuesta de sensores de humo y asignación de los nodos a los que afecta cada sensor

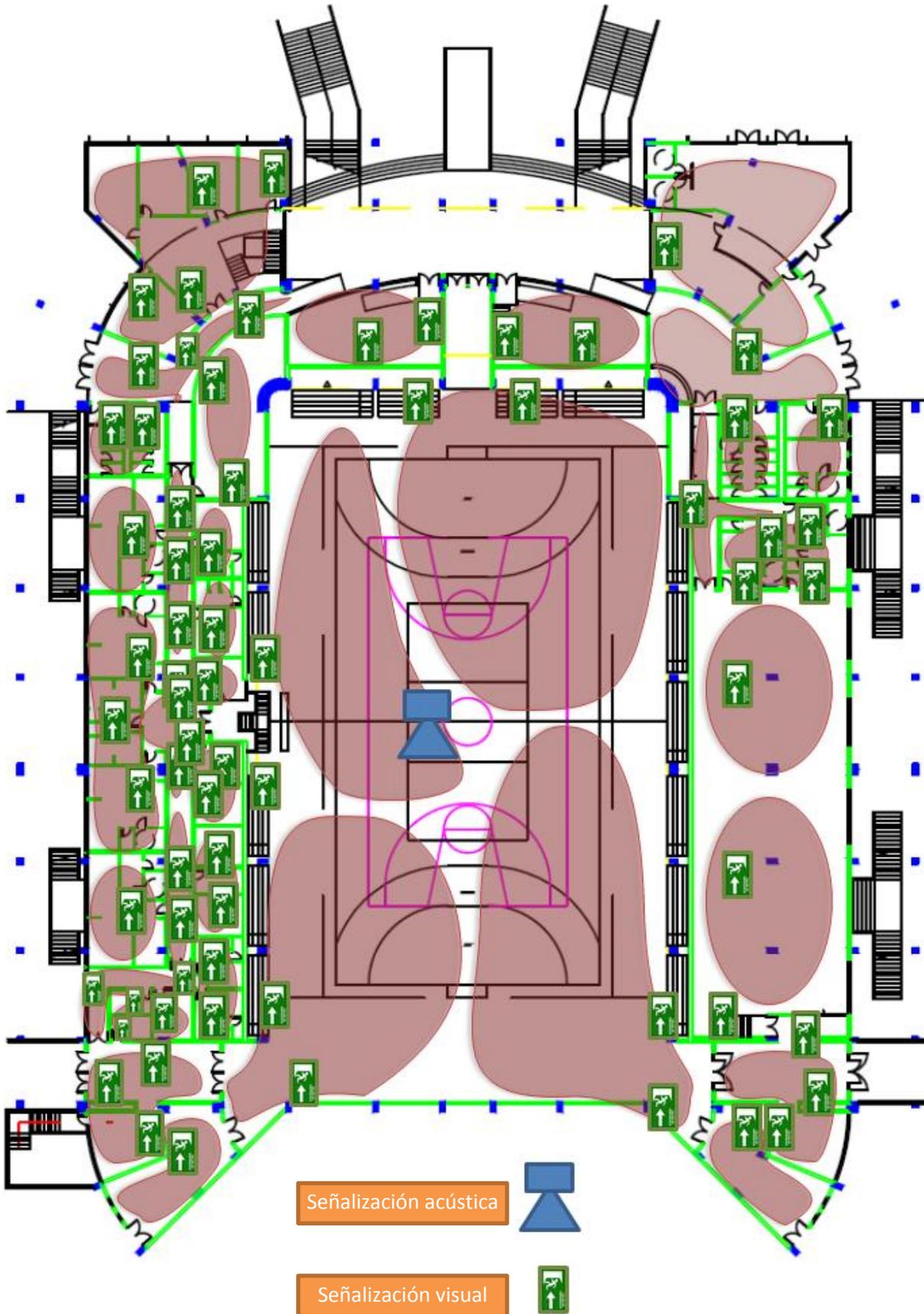


Figura 21: Posible distribución de los elementos de señalización del sistema