

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE PERIFONEO EN CASO DE
EMERGENCIA PARA UN EDIFICIO DE MEDIANA ALTURA**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico, que presenta el bachiller:

Francisco Enrique Seminario Saldaña

Asesor: Ing. Ángelo Velarde Criado

Lima, julio del 2012

RESUMEN

Un problema importante en el ámbito de los edificios modernos en el Perú, en especial en los edificios de 4 a 15 pisos (llamados de ahora en adelante edificios de mediana altura, según la clasificación por tamaño del Urban Land Institute) [1], es la limitada capacidad de información que pueden brindar los sistemas de notificación en caso de emergencia instalados en ellos.

Estos sistemas de notificación, en la mayoría de edificios de esta clase en Lima, se diseñan para operar mediante alarmas sonoras, visuales, o una combinación de las dos anteriores, con lo cual se llega a resolver -en parte- el problema de la desinformación de las personas en caso de una emergencia. Sin embargo, debido a las características mismas de estos sistemas, se puede causar desesperación y pánico en las personas presentes en el lugar.

El objetivo de la presente tesis es diseñar un sistema de perifoneo en caso de emergencia para un edificio de mediana altura específico: el edificio A McGregor, ubicado en el campus de la Pontificia Universidad Católica del Perú, en la cuadra 19 de la Av. Universitaria, distrito de San Miguel. Este sistema debe ser capaz de informar a las personas que se encuentren en el interior los detalles de una emergencia producida en cualquier ambiente del recinto. El diseño deberá tener en cuenta una adecuada selección y distribución de parlantes y amplificadores, considerando las características propias del edificio estudiado, así como los costos de adquisición e instalación de los equipos utilizados.

Como se verá más adelante, el diseño del sistema de perifoneo ha tomado en cuenta los parámetros acústicos básicos como: la presión sonora, el tiempo de reverberación y la uniformidad de cobertura, cumpliendo con los requerimientos propuestos inicialmente. De esta manera se podrá garantizar que los mensajes transmitidos a las personas que se encuentran dentro del edificio lleguen de manera clara y puedan ser comprendidos por ellas, para que actúen correctamente ante eventos de emergencia.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1: IMPORTANCIA DE LA SEGURIDAD EN EDIFICIOS DE MEDIANA ALTURA EN EL PERÚ	1
1.1 Aspectos globales relativos a los sistemas de notificación actuales	1
1.2 Proveedores, clientes y organismos involucrados	4
1.3 Actualidad de los sistemas de notificación.....	6
1.4 Declaración del marco problemático.....	7
CAPÍTULO 2: SISTEMAS DE AVISO PARA EDIFICIOS EN CASO DE EMERGENCIA	9
2.1 Estado del arte	9
2.2 Modelo Teórico.....	17
CAPÍTULO 3: REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE PERIFONEO EN CASO DE EMERGENCIA.....	19
3.1 Hipótesis de la investigación.....	19
3.2 Objetivos de la investigación	20
3.3 Solución planteada	21
CAPÍTULO 4: DISEÑO DEL SISTEMA DE PERIFONEO EN CASO DE EMERGENCIA PARA UN EDIFICIO DE MEDIANA ALTURA.....	41
4.1 Elección del edificio a estudiar.....	41
4.2 Sistema de detección de emergencias	41
4.3 Parámetros de diseño del Sistema de Perifoneo	44
4.4 Elección de la fuente de emisión de señales de audio.....	55
4.5 Elección de los mensajes a transmitir.....	57
4.6 Elección del sistema de parlantes.....	59
4.7 Elección del sistema de amplificación.....	76
4.8 Elección del cableado entre el amplificador y los parlantes	79
4.9 Elección del sistema de alimentación eléctrica ininterrumpida.....	79
4.10 Costos de implementación del sistema de perifoneo	80
CONCLUSIONES.....	81
RECOMENDACIONES.....	82
BIBLIOGRAFÍA.....	83

INTRODUCCIÓN

Por estos tiempos, en el Perú se vive una época en la que la construcción de edificaciones es cada vez más frecuente y por ende, la presencia de edificios modernos en Lima será más notoria y común con el transcurrir de los años.

Dado lo anterior, se debe considerar que la seguridad de las personas que laboren, residan o visiten estos lugares es muy importante y debe ser tomada en cuenta desde el diseño inicial hasta los acabados finales del edificio, y también, por supuesto, para el diseño de los sistemas de seguridad que se implementarán una vez acabada la obra civil.

Actualmente, en una gran cantidad de edificios en el Perú se encuentran instalados sistemas de detección de emergencias (sistemas de detección de incendios, sistemas de detección de fuga de gas, sistemas de detección de inundaciones, etc.), los cuales están compuestos por sensores distribuidos adecuadamente en un edificio, bajo ciertos criterios de selección definidos por los clientes e implementados por empresas especialistas en Sistemas de Seguridad, para garantizar la seguridad del local. Estos sistemas son capaces de detectar la ocurrencia de algún evento extraño en el edificio dependiendo de los sensores instalados y del diseño del sistema. Trabajan conjuntamente con sistemas de actuación (sistema de extinción de incendios por gas, sistemas de aspersión, sistemas de drenaje automático, etc.), de modo que se puedan disminuir o incluso evitar por completo los daños materiales y personales.

Si bien los sistemas de detección de emergencia con sus respectivos sistemas de actuación son muy útiles en los edificios, necesitan fundamentalmente un sistema complementario que sea capaz de traducir e interpretar la información recibida por los sensores y transmitirla a las personas que se encuentren dentro del edificio, ya que de no hacerse esto, el sistema de detección podría darse cuenta de la emergencia, pero nadie se enteraría de lo ocurrido, lo cual haría al sistema ineficaz

y además podría ocasionar daños personales, si es que el sistema de actuación no funcionase adecuadamente.

Es por ello, que la presencia de sistemas de notificación, complementarios a un sistema de detección de emergencia es muy importante y el diseño del mismo tiene que ser estudiado y evaluado para determinar su efectividad ante eventos extraños en un edificio.

Actualmente, en la mayoría de edificios de Lima se cuenta con sistemas de aviso en caso de emergencia que utilizan alarmas sonoras como sirenas, para alertar a las personas de que algo extraño está sucediendo en el lugar donde se encuentran, sin embargo, este tipo de alarmas no es capaz de informar exactamente que es lo que está ocurriendo en el sitio, por lo que las personas podrían principalmente, ante la inseguridad de no conocer la situación presentada en el edificio, desesperarse y muchas veces actuar de una manera descontrolada, lo cual no es lo más conveniente en estos casos pues pondrían en peligro sus vidas y las de los demás.

Por todo lo descrito anteriormente, diseñar un sistema de notificación que sea capaz de informar a las personas la situación de emergencia que ha ocurrido en el lugar donde se encuentran laborando, viviendo o simplemente de visita, ayudaría a aumentar la seguridad en el edificio, la cual se transmite a las personas y con esto puede hasta incrementarse la productividad de las mismas, según estudios realizados que se detallarán en el desarrollo de la tesis.

No hay que perder de vista el aspecto económico, fundamental en la evaluación de cualquier propuesta o proyecto a realizar. Se tiene que encontrar un sistema que cumpla todos los requerimientos propuestos al menor costo posible.

El objetivo de la presente tesis es el diseño de un sistema de perifoneo que cumpla con los requisitos planteados párrafos anteriores y con el cual se pueda garantizar la clara percepción de los mensajes transmitidos, según el lugar donde ocurre la emergencia.

Por otro lado, se debe tener en cuenta el contenido de los mensajes que se transmitirán, deben ser claros y precisos, ya que ello influirá directamente en las acciones que tomen las personas. Además, el diseño deberá tener en cuenta una adecuada selección y distribución de equipos de audio, de modo que los mensajes

lleguen a los oyentes sin problemas, considerando las características propias del edificio estudiado.

De la misma manera, se deben considerar las normas de seguridad reglamentadas por el INDECI, para edificios y construcciones en el Perú, así como por el Reglamento Nacional de construcciones, el Código Nacional de Electricidad [2] y fundamentalmente las recomendaciones propuestas por la National Fire Protection Association a través de su norma NFPA 72®: National Fire Alarm Code® - Edición 2007.

El presente documento ha sido desarrollado en cuatro capítulos, que abarcan todos los puntos descritos anteriormente. En el primer capítulo se detalla la importancia de la seguridad en los edificios de mediana altura en el Perú, se mencionan los aspectos globales a los sistemas de aviso que se utilizan actualmente, se especifican los entes involucrados en este ámbito, se toca el tema de la actualidad de los sistemas de aviso y se declara la problemática principal del tema de estudio.

El segundo capítulo trata sobre los sistemas de notificación para edificios en caso de emergencia en general, las tecnologías utilizadas y la evolución de los mismos a lo largo del tiempo y un modelo teórico de lo que se desea lograr.

En el tercer capítulo, se tocan los requerimientos para el diseño del sistema de perifoneo en caso de emergencia, se revisan las hipótesis de la investigación y se establecen los objetivos de la tesis. Adicionalmente se presenta y se detalla cada parte de la solución planteada.

En el cuarto capítulo se realiza el diseño del sistema de perifoneo en caso de emergencia para un edificio de mediana altura, se hace la selección y elección de los componentes del sistema propuesto, se justifica cada detalle de la selección y se simula el diseño del sistema de perifoneo planteado. Adicionalmente se detallan los costos de importación de los equipos y de su instalación en sitio.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones con respecto al tema desarrollado. En la sección de anexos se encontrarán documentos importantes para el lector, con los que se complementará el desarrollo de la tesis, como simulaciones adicionales, hojas de datos de equipos, planos de construcción, etc.

Se espera que el presente trabajo sea de gran utilidad para futuras investigaciones sobre el tema tratado, ya que la seguridad de las personas, ya sea en sus centros de trabajo u hogares, es un tema importante que debe ser tomado en cuenta para lograr un óptimo desempeño laboral y una mejor calidad de vida.



CAPÍTULO 1: IMPORTANCIA DE LA SEGURIDAD EN EDIFICIOS DE MEDIANA ALTURA EN EL PERÚ

1.1 Aspectos globales relativos a los sistemas de notificación actuales

1.1.1 Sostenibilidad económica

La sostenibilidad económica en los sistemas de notificación mediante alarmas sonoras está ligada principalmente a lo que se debe invertir en su supervisión y mantenimiento constante.

El principal objetivo de cualquier sistema de notificación es actuar con la mayor rapidez posible y activar inmediatamente los mecanismos de alarma (ya sea visual, sonora o una combinación de ambas), con el fin de reaccionar cuanto antes y frenar el desarrollo de cualquier fenómeno hostil, con los medios disponibles.

Un aspecto especialmente importante de todo sistema de este tipo es su fiabilidad. Debido a que son sistemas de alta responsabilidad, su índice de errores debe ser reducido. Sólo deben activarse como consecuencia de un motivo justificado; en ningún caso han de hacerlo aleatoriamente (falsas alarmas).

En condiciones normales estos sistemas se encuentran en situación de reposo. Por tanto es preciso someterlos a revisiones periódicas, con el fin de mantenerlos perfectamente a punto para así asegurarnos su eficacia cuando realmente sea necesario.

Así como el diseño e instalación de estos sistemas de seguridad, el mantenimiento de los mismos es muy importante, pues ayuda a alargar la vida útil del sistema y aumenta su confiabilidad, por lo tanto el mantenimiento debe llevarse a cabo con puntualidad, seriedad y eficacia [3]. Además, debe ser sencillo, con supervisión permanente de todas las funciones y los periféricos del sistema para disponer de su plena capacidad operativa en todo momento.

1.1.2 Potencialidades

En los edificios modernos se ve la necesidad, por parte de los propietarios del mismo, de contar con mejores sistemas de notificación en general, para garantizar

la seguridad en cualquier caso de emergencia que pueda producirse al interior de la construcción.

Esto lleva a los dueños de grandes edificios a buscar constantemente mejores propuestas tecnológicas en el rubro de los sistemas de seguridad (sistemas de detección de incendios más sofisticados, mayor precisión de los sensores, sistemas alternativos de seguridad, etc.)

Debido a dichos requerimientos por parte de los usuarios (propietarios de edificios) cada vez más exigentes, se pueden diseñar sistemas más eficientes, que cumplan con mayor precisión lo que los clientes desean y de esta manera desarrollar mejoras tecnológicas de modo constante, con lo que se puede llegar a que se logre garantizar casi al máximo la seguridad en los nuevos edificios inteligentes.

Asimismo, otro punto importante que se puede desarrollar en estos sistemas es el de la integración e interacción entre sistemas similares que pueden complementarse para brindar un mayor nivel de seguridad en un edificio. Es decir, se debe buscar que los nuevos sistemas a diseñar puedan trabajar con otros ya implementados sin ningún inconveniente y con el mayor grado de compatibilidad posible.

1.1.3 Requerimientos de la sociedad

Debido al temor propio de los seres humanos de encontrarse en situaciones de peligro, es necesario que los lugares en los cuales se desenvuelven normalmente, como sus hogares o centros de trabajo, cuenten con las suficientes medidas de seguridad para que las personas que se encuentren allí se sientan seguras de que el ambiente en el cual están los podrá proteger del peligro ante cualquier emergencia.

Además, se han realizado estudios en diversos países que confirman la idea de que, encontrándose en lugares que las personas consideran seguros y confortables, ellas se desenvuelven de una mejor manera, aumentan la concentración en sus tareas y por lo tanto incrementan su productividad.

Por otra parte, en el caso específico de situaciones de emergencia, las personas que se encuentran dentro de una edificación necesitan tener información adecuada

del siniestro para que procedan a actuar de determinada manera de forma controlada y sin desesperarse, lo cual puede evitar accidentes debidos no a la misma emergencia, sino a la desesperación de las personas en los momentos críticos.

1.1.4 Tendencias mundiales

La tendencia mundial es hacia la modernización de los sistemas actuales de notificación, desarrollando los llamados “sistemas inteligentes”, es decir, redes de detectores cuyos componentes entablan una comunicación bidireccional con el panel de control, analizan entornos complejos, pueden ajustar sus propios niveles de sensibilidad y son capaces de tomar decisiones basándose en información almacenada [4].

Por otro lado, la tendencia también se orienta hacia el diseño de sistemas de aviso, consulta y modificación remota, es decir, poderse encontrar físicamente lejos del lugar protegido pero aún así tener acceso a la información de dicho lugar, conociendo en todo momento lo que allí ocurre, lo cual haría que las decisiones puedan ser tomadas por algún ente remoto y transmitirse en tiempo real para que el sistema actúe rápidamente.

También se piensa en las mejoras de los sistemas de notificación mediante voz, considerando mejores diseños y distribución de equipos y por otro lado, diseñar estos sistemas utilizando tecnología inalámbrica para poder transmitir la información a los equipos sin necesidad de cableado.

Otro aspecto importante en el cual se viene trabajando es la capacidad de integración de los sistemas, cada vez es más común hablar de una solución integral en un edificio. La integración de los mercados de la seguridad y el audio es muy importante para el tema que se está estudiando, por lo cual los sistemas deben ser compatibles y tener un rendimiento fiable y preciso en todo momento.

1.2 Proveedores, clientes y organismos involucrados

1.2.1 Proveedores de los sistemas de notificación actuales

Los principales proveedores de estos sistemas son las empresas dedicadas a los sistemas de seguridad en edificios, quienes integran los sistemas de detección elegidos por los usuarios (que pueden ser sistemas contra incendios, contra fugas de gas, contra robos y asaltos, etc.) con sistemas de notificación mediante alarmas.

La mayoría de dichos proveedores se encarga de la instalación, supervisión y mantenimiento de los dispositivos que componen el sistema, así como de brindarles la información necesaria a los clientes para operar dichos sistemas correctamente.

1.2.2 Consumidores y clientes de los sistema de aviso actuales

Los principales clientes de estos sistemas son empresas diversas que desean garantizar la seguridad en sus principales edificios para brindarles la mayor comodidad a sus trabajadores e incrementar su productividad.

Son ellos quienes requieren cada vez productos más eficientes y que respondan de acuerdo con lo que se necesita, lo cual incentiva a los proveedores a dar mejores servicios e innovar los sistemas.

Entre los principales clientes de estos sistemas se pueden destacar: arquitectos, constructores, empresas de seguridad, bancos, edificios de oficinas, universidades, institutos de idiomas, empresas de telecomunicaciones, aeropuertos, etc.

1.2.3 Recursos tecnológicos utilizados

Para la instalación de estos sistemas de seguridad con aviso mediante alarmas se debe contar en primer lugar con sensores adecuados para la detección de cada incidente (pueden ser sensores de humo, de temperatura, de fugas de gas, etc.).

Además, se necesita tener alarmas sonoras y/o visuales que permitan la recepción clara del mensaje de emergencia por las personas que ocupan el edificio.

También es necesario diseñar correctamente el cableado de los componentes del sistema, para que el sistema instalado no falle en caso crítico. Esto implica una buena selección de los conductores y una distribución e identificación tal que permita a los encargados de la revisión detectar rápidamente fallas en los cables y conexiones si es que se presenta alguna.

Por último, se debe considerar la alimentación eléctrica de los componentes del sistema, de preferencia ésta debe ser ininterrumpida, para garantizar que todos los dispositivos estén disponibles para cumplir su función durante la ocurrencia, aún en caso de corte del fluido eléctrico.

1.2.4 Importancia de los organismos reguladores

Los organismos reguladores juegan un rol importante en la construcción y desarrollo de los edificios modernos en el Perú, específicamente para los edificios estudiados (edificios de 4 a 15 pisos).

El INDECI es un organismo público ejecutor que conforma el SINAGERD (Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres). Es el responsable técnico de coordinar, facilitar y supervisar la formulación e implementación de la Política Nacional y el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, en los procesos de preparación, respuesta y rehabilitación [5]. Ya que está encargado de la supervisión de las instalaciones de seguridad en todas las edificaciones en nuestro país, los sistemas de aviso, que son parte de un sistema de seguridad más completo, no están al margen de esta supervisión.

En caso de que el INDECI determine que las medidas de seguridad no son las adecuadas para garantizar el bienestar y la seguridad de las personas que se encuentren dentro del edificio, se debe regularizar la situación a la brevedad posible para poder ocupar dicha construcción.

La National Fire Protection Association (NFPA), a través de su código NFPA 72, a manera de recomendación, brinda ciertos criterios de instalación y puesta en marcha de los sistemas de aviso en caso de incendios. Por dicho motivo es muy importante tener en cuenta estas recomendaciones para el diseño del sistema.

1.3 Actualidad de los sistemas de notificación

1.3.1 Tecnologías utilizadas actualmente

En la actualidad el desarrollo de las tecnologías de sistemas de notificación en edificios para casos de emergencia ha sido orientado hacia el diseño y mejoras de los sistemas basados en alarmas sonoras y/o visuales.

Este tipo de sistemas de aviso forman parte de un sistema de seguridad más completo que incluye sensores para la detección de eventos inesperados y un sistema de control que determina si se está produciendo o no la emergencia para, en caso sí se esté produciendo, activar el sistema de aviso mediante alarmas.

Como ya se describió, en el Perú la mayoría de edificios que tienen instalados sistemas de detección y acción contra emergencias, realizan la detección a través de sensores ubicados en lugares estratégicos y la notificación mediante alarmas sonoras (sirenas) y/o alarmas visuales (luces estroboscópicas).

1.3.2 Infraestructura actual

Actualmente en el Perú, específicamente en Lima, hay una gran cantidad de construcciones antiguas y que tienen sistemas de seguridad poco versátiles.

Las limitaciones que presentan estas construcciones son notorias en cuanto a seguridad y pueden ser resueltas modernizando los sistemas de seguridad e implementando sistemas de aviso en caso de emergencia al interior de los recintos.

En Lima existen también edificios relativamente modernos que cuentan con sistemas de seguridad de tecnología avanzada, principalmente sistemas integrados de detección/acción contra incendios, inundaciones, etc., pero por lo general utilizan sirenas para la notificación del evento.

Las principales limitaciones de estos sistemas son:

- Poca capacidad de comunicación con otros sistemas (por utilizar protocolos propietarios).
- Alarmas sonoras sin contenido específico y diferenciado.

1.3.3 Recursos humanos necesarios para la instalación, mantenimiento y operación de los sistemas

Para operar los sistemas de notificación actuales se requiere personal calificado y especializado en los mismos, ya que un mal uso de estos sistemas por parte de los clientes puede llevar a originar falsas alarmas, deterioro de los equipos o incluso del sistema, en el peor de los casos.

Este personal especializado requiere un alto grado de conocimiento acerca del sistema que maneja para no cometer errores en la instalación y mantenimiento del mismo, ya que de lo contrario podría originar su mal funcionamiento. Para ello la empresa que se contacte para la instalación, operación y mantenimiento del sistema tiene que presentar evidencias de las diversas capacitaciones y certificaciones que su personal posee en este tipo de labores para minimizar los riesgos.

1.4 Declaración del marco problemático

La seguridad es un tema importante en toda construcción, por lo que este punto debe ser considerado en todos los aspectos, desde el diseño del lugar hasta los sistemas más simples y pequeños que puedan existir en los edificios. Todo esto se debe enfocar a brindar la mayor seguridad posible a cada persona que se encuentre en el interior de la construcción en todo momento, sobretodo en casos imprevistos, como terremotos, inundaciones, incendios, etc.

Una forma de brindar seguridad a los ocupantes del edificio consiste en la correcta detección de los eventos inesperados (también pueden ser llamados emergencias) y luego de detectados, avisar a las personas que se encuentran en el interior de dicho edificio la presencia de la emergencia y detalles de ocurrencia relevantes para ellas, como la información sobre el lugar en el cual se produce, la magnitud del evento, y otro tipo de información que sea necesario, según sea el caso.

Como ya se mencionó, los sistemas de notificación en caso de emergencia instalados en la mayoría de edificios en el Perú, específicamente en la ciudad de Lima, se basan en sistemas de alarmas sonoras (sirenas). Estos sistemas, por la naturaleza de su diseño sólo alertan la presencia de un evento anormal en el edificio, sin embargo, brindan poca información a los ocupantes acerca del lugar de

ocurrencia de la emergencia y sobre las acciones a tomar (evacuación total del edificio, dirigirse a zonas seguras por piso, etc.). Esto lleva a las personas que se encuentran dentro de esa construcción a actuar, por lo general, independiente y desesperadamente (en especial si están poco preparadas o acostumbradas a estos eventos) ante una situación de emergencia, poniendo en peligro sus propias vidas e incluso, si se llega a generalizar el pánico, las vidas de los demás ocupantes del edificio.



CAPÍTULO 2: SISTEMAS DE AVISO PARA EDIFICIOS EN CASO DE EMERGENCIA

2.1 Estado del arte

2.1.1 Importancia de la seguridad en nuevos edificios inteligentes

Los problemas ambientales, como el alto consumo de energía en el transporte y construcción, emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, los desechos sólidos, etc., además del estudio, mediante encuestas, acerca de las comodidades que necesitan las personas en su lugar de trabajo u hogar para desenvolverse de manera más eficiente, y los requerimientos propios debido al rápido desarrollo de la tecnología, han propiciado que muchos científicos e investigadores busquen la manera de crear el mejor ambiente posible para que las personas sean más productivas, ya sea en su trabajo o en su hogar, y a su vez, las instalaciones de dicho lugar no ocasionen daños al medio ambiente.

El consumo de materiales y energía, las emisiones a la atmósfera, la producción de residuos, etc., tienen que ser tomados en cuenta en la construcción de los edificios inteligentes, en base a su efectividad y eficacia de operación. Así mismo, es importante decir que hay evidencias que muestran que el entorno físico de trabajo puede afectar el ánimo de las personas y por lo tanto su rendimiento laboral [6].

Según Byrne [7] los principales factores que deben ser considerados para la construcción de nuevos edificios inteligentes, o renovación de los antiguos, son entre otros:

- El aumento del origen del consumo, esto es indicado por el crecimiento del consumo de energía en los sectores de transporte y construcción, aumentos de emisiones de dióxido de carbono y aumento en la producción de residuos sólidos.
- La creciente demanda por productos más sofisticados que sean amigables para el usuario.
- La importancia, cada vez mayor, de habilidades como la comunicación, trabajo en equipo, dinámicas sociales y solución de problemas.

- La influencia que puede tener la aplicación de tecnologías en desarrollo para hacer frente a los problemas existentes, que ayudaría a mejorar la calidad de vida y la productividad de un país.

Basándose en todo lo dicho anteriormente, también es importante tener en cuenta la seguridad de las personas en su centro de labores así como también en sus hogares, especialmente en caso de eventos inesperados, como terremotos, inundaciones, incendios, etc.

2.1.2 Evolución de los sistemas de notificación en caso de emergencia en edificios y tecnologías utilizadas actualmente

Actualmente, la mayoría de edificaciones de mediana altura en el Perú cuenta con sistemas de detección basados en notificación mediante alarmas para informar a las personas cuando en el lugar en donde se encuentra está ocurriendo algún evento anormal.

Los sistemas de detección existentes están conformados principalmente por sensores (en caso de incendio son sensores de humo y de temperatura, en caso de fugas de gas son detectores especiales con protección ATEX [8], etc.) monitoreados constantemente por una central de alarmas, la cual al detectar el problema procede a activar las alarmas correspondientes para que las personas en el recinto lo abandonen inmediatamente de ser necesario [9]. Estos sistemas están generalmente energizados por un sistema de alimentación eléctrica ininterrumpida (UPS) para que funcionen incluso ante la eventual pérdida de fluido eléctrico de la red durante un período de tiempo, que puede ser de algunos minutos inclusive. En caso el sistema de detección custodie un ambiente sumamente crítico se puede utilizar un grupo electrógeno de respaldo, que actúe cuando la red eléctrica comercial presente alguna falla.

Existen sistemas mejorados de este tipo que suelen ser llamados “sistemas inteligentes” ya que permiten conocer la ubicación exacta del dispositivo que se activó, saber el motivo de la alarma, alertar a las personas en caso de peligro y hasta tomar alguna acción como respuesta al problema detectado para controlar el peligro en áreas específicas (activar sistemas de extinción por gas, rociadores, bloquear salidas de aire acondicionado, etc.) [10].

Estos sistemas funcionan adecuadamente, sin embargo, presentan limitaciones que deben ser tomadas en cuenta para una futura decisión de diseño de un sistema de notificación en caso de desastres.

Una de las principales desventajas de estos sistemas es la limitada capacidad de información que proporciona una alarma o “sirena” al ser activada. Estos dispositivos únicamente avisan a las personas si es que hay algún desastre en la edificación (por ejemplo: incendio, fuga de gas, inundación, etc.), sin embargo, no brindan a los ocupantes información precisa del mismo: dónde se está produciendo, motivo de su inicio, rutas seguras de evacuación, etc.

Esta información puede parecer irrelevante para las personas, sin embargo, es importante saber, por ejemplo, dónde se produce el desastre, ya que las personas pueden, sin saberlo, dirigirse hacia el origen del mismo, poniendo en peligro sus vidas y las de todos los ocupantes del edificio, sembrando el pánico entre todos.

Otra desventaja de estos sistemas es la afección psicológica momentánea causada a las personas como consecuencia de hacer sonar una alarma en un edificio. Por lo general, si las personas no están debidamente advertidas y preparadas, suelen desesperarse y actuar de manera descontrolada ante un aviso de peligro de este tipo.

En la actualidad, en muchos países desarrollados de Europa y del mundo se utilizan sistemas de emergencia que avisan a las personas por medio de alarmas de voz (Sistemas EVAC: Emergency Voice Alarm Communication). Estos sistemas son parte de un sistema contra incendios y utilizan parlantes especiales y de alta fidelidad para avisar a los ocupantes del recinto la necesidad de tomar alguna acción de acuerdo a determinado tipo de emergencia. Son utilizados en grandes edificaciones donde la evacuación general es considerada impracticable o indeseable. En este caso, las señales de audio emitidas son utilizadas para dirigir la respuesta de las personas durante la emergencia.

Los parlantes se activan automáticamente por el sistema contra incendios y tras una pre-alerta de tono, ciertos parlantes pueden transmitir uno o más mensajes pre-grabados con instrucciones de seguridad. Dichos mensajes pueden repetirse, dependiendo de las personas que ocupan el edificio, en uno o más idiomas. Además, si se cuenta con personal capacitado, se pueden dar mensajes de voz en

tiempo real, utilizando algún micrófono, de modo que las recomendaciones y/o instrucciones puedan ser más precisas [11].

Los sistemas EVAC no son difíciles de instalar pero son más caros que los sistemas de alarmas tradicionales. Además, se tiene que considerar los siguientes requerimientos [12] para su uso:

- Las notificaciones deben hacerse por medio de anuncios de voz, ya sean pregrabados o iniciados por una persona entrenada que se encuentre en una ubicación permanente.
- Los anuncios se deben hacer a través de un sistema confiable de comunicaciones por voz o perifoneo, provistos de una fuente de energía de emergencia y cuyo volumen debe estar por encima del nivel de ruido ambiental del lugar.
- Las autoridades competentes tienen que determinar si es o no práctico tener un centro de atención con una persona permanente ubicada allí. Además de evaluar la necesidad de instalar una estación de activación manual para el sistema contra incendios.
- Estos sistemas de emergencia son requisitos en edificios altos de más de siete pisos.

Para el diseño de estos sistemas es necesario ubicar correctamente los parlantes y las estaciones de control, además de utilizar buenos conductores con apropiados métodos de cableado. Aquí se presentan algunas recomendaciones de diseño de sistemas EVAC:

- Localizar el panel de control y equipo de monitoreo del sistema en una ubicación de fácil acceso para el departamento de bomberos y personal encargado.
- Determinar si es necesaria la zonificación del sistema. Esto es preferible en construcciones de varios pisos. Por ejemplo, si ocurre alguna emergencia en el 3er piso el sistema dirigirá a los ocupantes de dicho piso a las salidas de emergencia, mientras que a los ocupantes de los demás pisos les enviará un mensaje distinto, posiblemente para dar preferencia a la evacuación de las personas más cercanas al lugar del evento.

- Medir o estimar el nivel de ruido ambiental y determinar la potencia y ubicación de los parlantes usando tablas y catálogos de fabricantes.
- Determinar si un mensaje estándar de voz es suficiente o si se necesita algún mensaje especial, como instrucciones en diferentes idiomas.
- Se debe usar un tono de alerta antes del mensaje de voz para captar la atención de las personas antes de darles las instrucciones, ya que de no existir podría omitirse cierta información.

Así mismo, para la distribución de parlantes se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Ubicar los parlantes en corredores principales o lugares de acceso frecuente.
- Asegurar que los parlantes cubran un radio de 15 metros en cada lugar.
- Considerar las pérdidas de potencia sonora producidas por las paredes y techos.
- Colocar parlantes adicionales en lugares como comedores y cafeterías, así como también en lugares aislados como salas de computadoras.

Recientemente se están desarrollando estos sistemas utilizando tecnología inalámbrica. Esto permite respuestas inmediatas de evacuación en caso de emergencia manteniendo una constante comunicación bidireccional con el centro de operaciones. Este tipo de sistema fue concebido y desarrollado por una Fundación Nacional de Ciencias financiado por el proyecto ResCUE (Responding to Crises and Unexpected Events). El investigador Sharad Mehrotra, profesor de Sistemas informáticos de la UCI, fue el que concibió el sistema mientras Chris Davison, el gerente de proyectos tecnológicos, lo ensambló físicamente.

En los edificios inteligentes modernos, que cuentan en sus instalaciones con el protocolo de red 802.11, el sistema puede tener un mapa de cada piso en el monitor con puntos indicando los lugares ocupados por personas. Esto ahorra tiempo valioso, pues elimina las búsquedas innecesarias en lugares vacíos [13].

2.1.3 Ventajas de un sistema de aviso mediante perifoneo

Tomando como base lo descrito anteriormente se puede afirmar que un sistema de aviso mediante perifoneo en un edificio de mediana altura presenta ventajas comparado con los tradicionales sistemas de notificación a través de alarmas sonoras y/o visuales.

Entre las principales ventajas de estos sistemas se considera:

- Capacidad de detallar los incidentes: Controlando los mensajes a transmitir ya sea por conocimiento humano (persona capacitada) o por un computador central (voz sintetizada) que recibe la información de los sensores pertinentes, y transmitiendo dichos mensajes, a través de los parlantes, se puede brindar información detallada de cada emergencia que pueda suceder.
- Capacidad de control de la correcta recepción de los mensajes: Diseñando adecuadamente el sistema de perifoneo y seleccionando los parlantes y amplificadores correctamente se puede controlar la potencia adecuada para que las personas que se encuentran en el interior del edificio reciban los mensajes de manera clara.
- Capacidad de tranquilizar a las personas en caso de desastre: En una situación de emergencia la afección psicológica momentánea causada a las personas como consecuencia de la misma, combinada con una manera inadecuada de aviso, puede llevar a las personas a la desesperación y al pánico, que las conduce a actuar de manera descontrolada si es que no se encuentran advertidas y preparadas.

2.1.4 Generalidades del Código NFPA 72

El código nacional de alarmas contra incendio (NFPA 72) es un estándar publicado por la National Fire Protection Association para abarcar la aplicación, instalación, ubicación, desempeño, inspección, prueba y mantenimiento de los sistemas de alarmas contra incendio, equipos de advertencia de incendio, equipos de advertencia de emergencia, y sus componentes.

El propósito de este código es el de definir los medios para activar señales, transmitir las, notificarlas y anunciarlas; asegurar los niveles de desempeño y la

confiabilidad de diversos tipos de sistemas de alarmas de incendio. Además define las características asociadas a dichos sistemas y provee la información necesaria para modernizar un sistema existente.

Finalmente, establece niveles mínimos requeridos de desempeño, grado de redundancia, y calidad de la instalación. Sin embargo, no establece los métodos únicos mediante los cuales se deberán alcanzar los requerimientos anteriormente mencionados [14].

Este código brinda la siguiente clasificación para los sistemas de alarma de incendio:

- (1) Sistemas domésticos de alarma de incendio
- (2) Sistemas de alarma de incendio para instalaciones protegidas (local)
- (3) Sistemas de alarma de incendio para estaciones de supervisión
- (4) Sistemas de alarma de incendio de notificación pública

Para el caso que se está estudiando en la presente tesis (edificio de mediana altura) aplica el ítem (2) de la clasificación mencionada: “Sistemas de alarma de incendio para instalaciones protegidas”.

2.1.5 Fundamentos de los sistemas de alarmas de incendio

Según el Código NFPA 72 el propósito principal de los sistemas de alarma de incendio será el de proveer notificación de alarmas de incendio, supervisión y condiciones problemáticas; alertar a los ocupantes; suministrar ayuda; y controlar las funciones de seguridad contra incendios.

Con respecto al equipamiento y al personal indica entre otras cosas que los equipos construidos e instalados deben estar listados con el propósito para el cual son utilizados. Los componentes del sistema de alarma de incendio deben ser instalados, probados y mantenidos de acuerdo con las instrucciones publicadas por el fabricante y por el mismo código.

Los planos y especificaciones de los sistemas de alarmas de incendio deben ser desarrollados siguiendo el código NFPA por personas con experiencia en la propia labor del diseño, aplicación, instalación, y verificación de los sistemas de alarmas

de incendio. Además, el personal de instalación deberá ser calificado o supervisado por personas calificadas en instalación, inspección y prueba de los sistemas de alarmas de incendio.

El mencionado Código también se refiere a las fuentes de alimentación de este tipo de sistemas. En primer lugar, indica que deben proveerse por lo menos dos fuentes de alimentación independientes entre sí y confiables, una primaria y otra secundaria, que cuenten con la capacidad adecuada para la aplicación.

La fuente primaria puede ser provista por una empresa de energía y luz comercial y/o por un generador de energía propio. La energía de la fuente secundaria puede ser provista por una batería de almacenamiento específicamente utilizada para el sistema de alarmas de incendio o por un generador accionado por motor de encendido automático. Además, esta fuente secundaria debe ser capaz de operar el sistema bajo carga latente por un mínimo de 24 horas y durante un incendio o emergencia (a máxima carga) por un período de 15 minutos como mínimo. Para este caso está permitido el uso de UPS.

2.1.6 Funciones del sistema

Los dispositivos para notificación de alarma para un sistema de alarmas de incendio deben producir señales diferenciadas de aquellos dispositivos similares utilizados con otros fines dentro de la misma área y su prioridad debe ser mayor. Con esto se logra que en caso de alguna emergencia la notificación del evento se brinde sin interferencias.

Por otro lado se puede considerar cada piso del edificio como una zona separada, es decir, los anuncios que tienen que enviarse no necesariamente deben ser los mismos para cada piso del edificio.

2.1.7 Documentación de los sistemas de alarma contra incendio

El Código NFPA 72 también provee información sobre la documentación relacionada a los sistemas de alarma contra incendio que debe presentarse a los involucrados en la implementación del mismo.

En primer lugar, la autoridad competente debe ser notificada con anterioridad a la instalación de los equipos y se le debe entregar la información completa con respecto al sistema, incluyendo especificaciones, tipo de sistema o servicio, planos, etc. Además, si se requiere, también deberá incluirse una declaración por escrito especificando que el sistema ha sido instalado cumpliendo con los planos aprobados, y probado de acuerdo con las instrucciones del fabricante y los requerimientos de la NFPA.

Al dueño del edificio se deberá entregar la siguiente documentación:

- Un manual del diseño e instrucciones publicadas del fabricante que cubren todo el sistema
- Planos de registro
- Una copia del registro del software específico del sitio

2.2 Modelo Teórico

Como se ha venido detallando, en toda edificación es importante contar con algún sistema de seguridad en caso de emergencia, que permita a los ocupantes del lugar saber que se encuentran en una construcción que les brinda seguridad y que en una situación de peligro responderá adecuadamente para que ninguna persona resulte afectada.

La notificación de alguna emergencia por medio de alarmas sonoras en un edificio conlleva a una respuesta no deseada de la mayoría de personas, por lo general, el sonido de una “sirena” hace que la gente que se encuentra dentro de la construcción se asuste y reaccione desesperadamente, en especial si no están debidamente preparados para ello.

Si se diseña un sistema de perifoneo capaz de avisar a las personas de una manera menos alarmante y que proporcione la información necesaria para una correcta evacuación del lugar, se lograría que los accidentes por desesperación y pánico en caso de emergencia disminuyan considerablemente.

El sistema propuesto debe ser parte de un sistema de detección de emergencias (sistema contra incendios, sistema contra fugas de gas, etc.), que se encuentre constantemente monitoreando zonas específicas del edificio mediante sensores (de

temperatura, de gas, de humo, etc.). En caso de detectar una situación anormal en alguna de las zonas se debe proceder a determinar el tipo y lugar de la emergencia, para posteriormente activar el sistema de perifoneo (que puede ser o no ser zonificado) y de esta manera avisar a las personas la ocurrencia de alguna emergencia (puede ser mediante mensajes pre-grabados o por mensajes transmitidos en directo por una persona capacitada).

Este sistema de perifoneo debe estar conformado por un grupo de parlantes, cuyo número depende de las dimensiones de cada piso del edificio, distribuidos estratégicamente de manera que la información transmitida a través de los mismos llegue a las personas de manera clara. Asimismo, se debe analizar la potencia de los parlantes a usar, tratando de que sea la menor potencia que pueda garantizar la clara percepción de los mensajes, para efectos de ahorro de energía y conservación del medio ambiente.

También se consideran los amplificadores de audio conectados a los parlantes, ya que mediante ellos se consigue que la potencia de transmisión se reduzca obteniendo una mejor calidad de la señal de audio. Asimismo dentro del diseño se tomará en cuenta el cableado entre los amplificadores y los parlantes, ya que este permitirá mejorar la eficiencia eléctrica del sistema de perifoneo.

Por último, se debe tener en cuenta el diseño del sistema de alimentación eléctrica del sistema, vital para el continuo funcionamiento de los componentes en caso de alguna interrupción en el fluido eléctrico comercial, de tal manera que asegure la disponibilidad del mismo durante el desastre.

Si se seleccionan adecuadamente los amplificadores y parlantes a utilizar, además de distribuirlos correctamente en todo el edificio, y considerando la forma de aviso a las personas, ya sea por mensajes pregrabados o por comunicación de voz directa humana desde un centro de perifoneo, así como los detalles mencionados anteriormente, se podrá contar con un sistema que ayudará a prevenir accidentes producidos por la falta de información y desesperación de las personas que ocupan el edificio, en caso de alguna emergencia.

CAPÍTULO 3: REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE PERIFONEO EN CASO DE EMERGENCIA

3.1 Hipótesis de la investigación

3.1.1 Hipótesis principal

Dado que en el Perú la mayoría de sistemas de notificación a las personas en caso de emergencia se realiza mediante alarmas, y estas no brindan detalles adicionales a las personas, como procedencia del siniestro, acciones a realizar, etc., además de causar el pánico y la desesperación en los ocupantes del edificio, entonces el diseño de un sistema de perifoneo en caso de emergencia, con la selección y distribución adecuada de parlantes y componentes adicionales, es más adecuado para informar y orientar a los ocupantes de un edificio de mediana altura, en caso de una emergencia, que el sistema tradicional de aviso mediante alarmas.

3.1.2 Hipótesis secundarias

- 1) Los sistemas de notificación mediante perifoneo son capaces de brindar mayor información relevante para las personas que ocupan un edificio de mediana altura que los tradicionales sistemas de notificación a través de sirenas, en caso de emergencia.
- 2) Una adecuada selección y distribución de los componentes de un sistema de perifoneo en un edificio de mediana altura puede cumplir los parámetros requeridos para garantizar la correcta recepción de la información enviada a las personas.
- 3) La implementación de un sistema de perifoneo en un edificio de mediana altura determinado y actualmente en funcionamiento es físicamente posible y económicamente viable.

3.2 Objetivos de la investigación

3.2.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de aviso mediante perifoneo para un edificio de mediana altura que sea capaz de informar a las personas que se encuentran dentro de la construcción, sobre detalles de una emergencia que se produzca, considerando la adecuada selección y distribución de parlantes, con la finalidad de facilitar la evacuación del lugar.

3.2.2 Objetivos específicos

- 1) Mencionar las ventajas que presentan los sistemas de notificación mediante perifoneo con respecto a los tradicionales sistemas de aviso a través de alarmas sonoras (sirenas) en una situación de emergencia y demostrar que es la opción más adecuada para el edificio estudiado en la presente tesis.
- 2) Definir la forma más conveniente de transmisión de información a las personas, ya sea por mensajes pregrabados, por mensajes transmitidos en directo por una persona capacitada, o por una combinación entre ambas opciones según sea la necesidad.
- 3) Simular el diseño del sistema de perifoneo planteado, utilizando un software para comprobar que la selección y distribución de equipos de audio (parlantes y amplificadores) ha sido correctamente planteada.
- 4) Demostrar que con la selección y distribución adecuada de los componentes que conforman el sistema de notificación se cumplen los parámetros audibles necesarios para garantizar que la información transmitida llegue claramente a los oyentes.

3.3 Solución planteada

Para cumplir el objetivo propuesto se plantea diseñar un sistema de perifoneo que funcione con las siguientes consideraciones:

- El sistema de perifoneo debe ser complementario a un sistema de detección y acción ante emergencias.
- Este sistema de perifoneo debe recibir como entrada la señal del panel de control del sistema de detección de emergencias.
- Se debe elegir el modo de emisión de los mensajes de aviso para el sistema de perifoneo además de la selección de dichos mensajes.
- Se debe buscar una adecuada selección y distribución de los parlantes y amplificadores en el área del edificio elegido.
- Se deben cumplir los parámetros audibles básicos para garantizar la inteligibilidad de los mensajes transmitidos.
- El sistema debe estar energizado por dos fuentes de energía, una comercial y la otra proveniente de un UPS.

En la Figura 3.1 se muestra el esquema de la solución que se plantea, posteriormente se detallará cada uno de los bloques componentes del sistema.

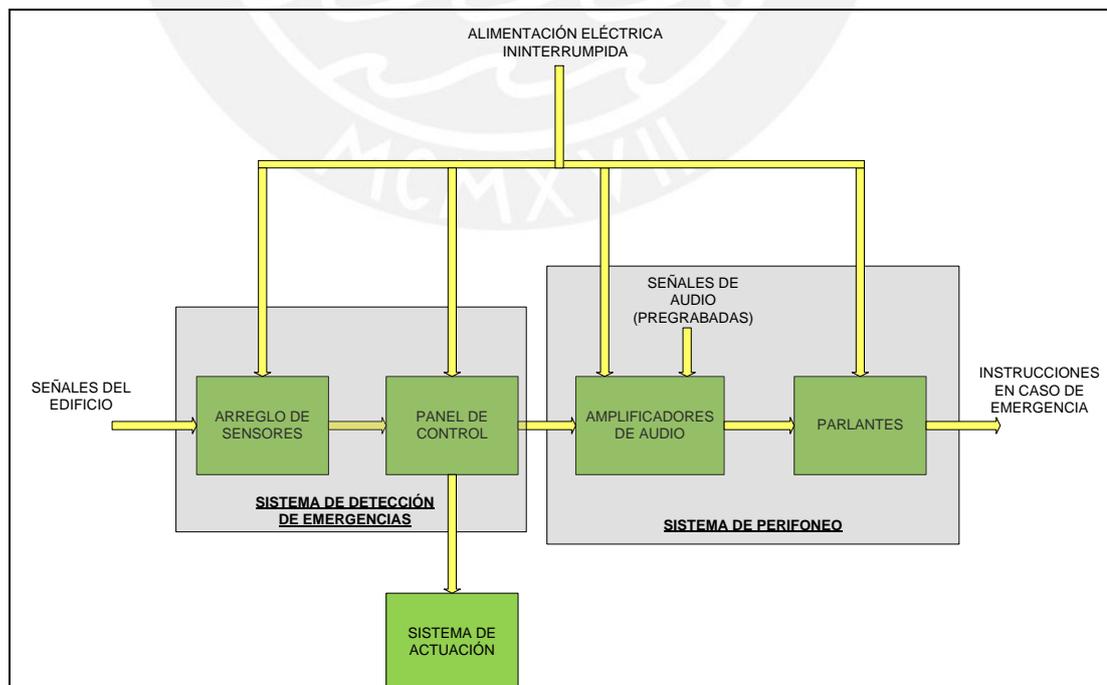


Figura 3.1: Esquema en bloques de la solución planteada

3.3.1 Modelo de edificio a estudiar

La determinación del modelo del edificio de mediana altura que se va a utilizar para el diseño del sistema de perifoneo es muy importante, ya que el correcto diseño depende directamente de las dimensiones de la construcción.

Para este caso se elegirá un edificio de mediana altura (entre 4 y 15 pisos) conformado por aulas para estudio. Edificios de este tipo se encuentran en universidades, colegios e institutos. Ejemplos: Edificios del Centro de Idiomas del ICPNA (Instituto Cultural Peruano-Norteamericano), pabellones de la Universidad Católica, etc. Se está tomando en cuenta la importancia de la seguridad en lugares destinados a la educación, por lo tanto se tiene que buscar un edificio que cumpla con estas características básicas para posteriormente ser estudiado y aplicar en él el sistema de perifoneo que se diseñará.

3.3.2 Sistema de detección de emergencias

El sistema de detección de emergencias es un sistema independiente al sistema de perifoneo que se va a diseñar. Está compuesto por sensores y estaciones manuales de detección distribuidos a lo largo y ancho de todo el edificio en cuestión, de acuerdo a los requerimientos de los diseñadores y por un panel de control que interpreta los datos de los dispositivos.

La función del sistema es detectar la presencia de algún suceso anormal en el edificio, por ejemplo: incendio en el primer piso, fuga de gas en el sótano, etc.

Este bloque recibe las señales del edificio, mientras que está conectado actualmente con el sistema de actuación e irá conectado al sistema de perifoneo que se diseñará, activando o no dichos sistemas.

3.3.2.1 Arreglo de Sensores y estaciones manuales de detección en el edificio

Los sensores distribuidos en el edificio tienen la principal misión de detectar magnitudes físicas o químicas que indiquen la presencia de una emergencia en el instante en que esta se produce, para luego transformarla en algún tipo de señal eléctrica. Los sensores pueden ser de diversos tipos y para diferentes tipos de

aplicaciones (detectores de humo, detectores de gas, sensores de aniego, etc.) según se requiera.

Las estaciones manuales de detección sirven para los casos en los que una persona perciba la presencia de fuego en el recinto sin que esta haya sido detectada por los sensores por alguna razón. La activación manual de uno de estos dispositivos equivale a la activación automática de los sensores.

3.3.2.2 Panel de control

El panel de control pertenece al sistema de detección de emergencias, recibe la señal de los sensores y estaciones manuales de detección del edificio, y en base a las señales recibidas determina la ocurrencia o no de algún evento de emergencia en un área determinada del edificio estudiado. Por ejemplo: Sensor de humo activado en el baño del primer piso, activación de estación manual del corredor del tercer piso.

Se puede decir que este dispositivo es el cerebro de toda la instalación en conjunto, pues será el que enviará la orden de activación o no de los sistemas de actuación y de perifoneo según las señales que reciba de los dispositivos antes mencionados.

3.3.3 Sistema de actuación

Este sistema es complementario al sistema de detección, recibe la señal correspondiente del panel de control y en caso sea requerido activa los actuadores necesarios para mitigar la emergencia según el diseño requerido por el cliente (por ejemplo: activación de sistema de aspersión en caso de incendio, activación de descarga automática de gas en área afectada, etc.).

Cabe mencionar que la presencia o no de este sistema no se contrapone con la instalación del sistema perifoneo que se propondrá en la presente tesis, pues actúan de manera independiente entre sí.

3.3.4 Sistema de perifoneo

El sistema de perifoneo estará compuesto por las señales de audio (mensajes), los amplificadores y los parlantes. Este bloque recibe las señales del panel de control,

activando o no el funcionamiento de este sistema. En caso de estar activado, el sistema reconoce la ocurrencia del evento específico y elige los mensajes que se transmitirán.

3.3.4.1 Parámetros de diseño

Para el diseño de este sistema se tienen que tener en cuenta varios factores, los más importantes son: la presión sonora, el tiempo de reverberación, la inteligibilidad de las señales de audio, la uniformidad de cobertura y los ecos producidos. A continuación se describirá brevemente cada uno de estos factores:

3.3.4.1.1 *Presión sonora*

La presión sonora es una forma de expresar la magnitud de un campo sonoro, su unidad de medida inicialmente es el Pascal. En el oído humano, para la frecuencia de 1KHz, responde desde la presión eficaz 2×10^{-5} Pa hasta 100 Pa (umbral del dolor), sin embargo, no responde de manera lineal a los estímulos que recibe, sino que lo hace de forma logarítmica, por este motivo se utiliza una escala logarítmica para representar la presión sonora. Esta escala se expresa en valores relativos a un valor de referencia (2×10^{-5} Pa), por lo tanto el nivel de presión sonora (SPL o L_p) se mide en decibelios (dB) y la correspondencia de valores captados por el oído humano sería de 0dB – 135dB.

También se debe tener en cuenta que el oído humano no responde de la misma manera a todas las frecuencias del espectro, por lo que se deben revisar las curvas de niveles audibles en función de la frecuencia [15]. En la Figura 3.2 se muestra una gráfica con los niveles audibles para las personas en función de la frecuencia.

3.3.4.1.2 *Tiempo de reverberación*

El tiempo de reverberación (RT) se define como el tiempo que transcurre desde que el foco emisor se detiene hasta el momento en que el nivel de presión sonora cae 60 dB con respecto a su valor inicial, para una determinada frecuencia.

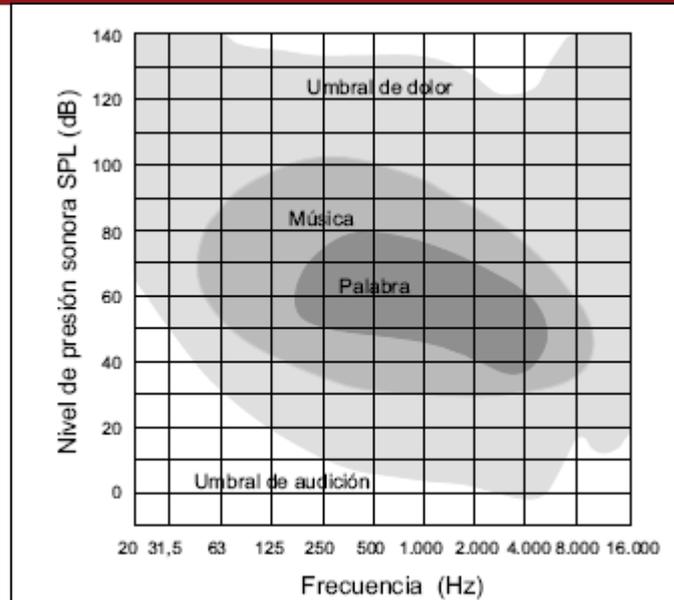


Figura 3.2: Niveles audibles para las personas en función de la frecuencia [15].

Los valores recomendados para el RT dependen tanto del volumen del recinto como de la actividad a la que está destinado. Para el caso del tipo de edificios que se tratarán en este estudio se recomienda que el valor de RT sea bajo, para facilitar una buena inteligibilidad de la palabra.

Para el cálculo del RT se aplica la fórmula de Sabine:

$$RT = 0.161 \cdot \frac{V}{\bar{\alpha} \cdot S_t} \text{ (en segundos)} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

V = volumen del recinto (en m³)

S_t = superficie total del recinto (en m²) = S₁ + S₂ + ... + S_n

$\bar{\alpha}$ = coeficiente medio de absorción = $\frac{A_{tot}}{S_t}$

Además:

$$A_{tot} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot S_i \quad \text{Ecuación (2)}$$

$$\alpha = \frac{\text{Energía _ absorbida}}{\text{Energía _ incidente}} \quad \text{Ecuación (3)}$$

En general, los recintos están formados por diversos materiales, cuyos coeficientes de absorción no son necesariamente iguales. Si una sala tiene una parte S_1 de su superficie con coeficiente α_1 , otra parte S_2 con coeficiente α_2 , y por último una parte S_n con coeficiente α_n entonces la ecuación se podría expresar de la siguiente manera:

$$RT = 0.161 \cdot \frac{V}{\alpha_1 \cdot S_1 + \alpha_2 \cdot S_2 + \alpha_n \cdot S_n} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Para edificios con aulas (como el que será tratado en la presente tesis) se recomienda usar un RT_{mid} entre 0.6 s y 1 s.

Dónde:

$$RT_{mid} = \frac{RT(500Hz) + RT(1KHz)}{2} \quad \text{Ecuación (5)}$$

En la Tabla 3.1 se puede apreciar los coeficientes de absorción para determinadas frecuencias según el material del cual está compuesto el recinto [16].

3.3.4.1.3 Inteligibilidad de las señales de audio

Se define como la claridad con la cual se reciben los mensajes provenientes de la fuente emisora de sonido. Según estudios de investigadores, la comprensión de un mensaje oral depende fundamentalmente de la correcta percepción de sus consonantes.

Para cuantificar la comprensión de la palabra se tienen diversos métodos, donde STI y %ALCons son los más conocidos.

El STI (Speech Transmission Index) fue desarrollado en principios de 1970, es una técnica de medición que determina el grado de disminución que sufre la amplitud de la modulación de la señal sonora de prueba que se entrega a la sala producto de la reverberación y ruido que existe en ella [17].

Tabla 3.1: Coeficientes de absorción de diversos materiales en función de la frecuencia [16].

Material	Coeficiente de absorción α a la frecuencia					
	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Hormigón sin pintar	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04
Hormigón pintado	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Ladrillo visto sin pintar	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Ladrillo visto pintado	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Revoque de cal y arena	0,04	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06
Placa de yeso (Durlack) 12 mm a 10 cm	0,29	0,10	0,05	0,04	0,07	0,09
Yeso sobre metal desplegado	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,03
Mármol o azulejo	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Madera en paneles (a 5 cm de la pared)	0,30	0,25	0,20	0,17	0,15	0,10
Madera aglomerada en panel	0,47	0,52	0,50	0,55	0,58	0,63
Parquet	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Parquet sobre asfalto	0,05	0,03	0,06	0,09	0,10	0,22
Parquet sobre listones	0,20	0,15	0,12	0,10	0,10	0,07
Alfombra de goma 0,5 cm	0,04	0,04	0,08	0,12	0,03	0,10
Alfombra de lana 1,2 kg/m ²	0,10	0,16	0,11	0,30	0,50	0,47
Alfombra de lana 2,3 kg/m ²	0,17	0,18	0,21	0,50	0,63	0,83
Cortina 338 g/m ²	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35
Cortina 475 g/m ² fruncida al 50%	0,07	0,31	0,49	0,75	0,70	0,60
Espuma de poliuretano (Fonac) 35 mm	0,11	0,14	0,36	0,82	0,90	0,97
Espuma de poliuretano (Fonac) 50 mm	0,15	0,25	0,50	0,94	0,92	0,99
Espuma de poliuretano (Fonac) 75 mm	0,17	0,44	0,99	1,03	1,00	1,03
Espuma de poliuretano (Sonex) 35 mm	0,06	0,20	0,45	0,71	0,95	0,89
Espuma de poliuretano (Sonex) 50 mm	0,07	0,32	0,72	0,88	0,97	1,01
Espuma de poliuretano (Sonex) 75 mm	0,13	0,53	0,90	1,07	1,07	1,00
Lana de vidrio (fieltro 14 kg/m ³) 25 mm	0,15	0,25	0,40	0,50	0,65	0,70
Lana de vidrio (fieltro 14 kg/m ³) 50 mm	0,25	0,45	0,70	0,80	0,85	0,85
Lana de vidrio (panel 35 kg/m ³) 25 mm	0,20	0,40	0,80	0,90	1,00	1,00
Lana de vidrio (panel 35 kg/m ³) 50 mm	0,30	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00
Ventana abierta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Vidrio	0,03	0,02	0,02	0,01	0,07	0,04
Panel cielorraso Spanacustic (Manville) 19 mm	–	0,80	0,71	0,86	0,68	–
Panel cielorraso Acustidom (Manville) 4 mm	–	0,72	0,61	0,68	0,79	–
Panel cielorraso Prismatic (Manville) 4 mm	–	0,70	0,61	0,70	0,78	–
Panel cielorraso Profil (Manville) 4 mm	–	0,72	0,62	0,69	0,78	–
Panel cielorraso fisurado Auratone (USG) 5/8"	0,34	0,36	0,71	0,85	0,68	0,64
Panel cielorraso fisurado Cortega (AWI) 5/8"	0,31	0,32	0,51	0,72	0,74	0,77
Asiento de madera (0,8 m ² /asiento)	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08
Asiento tapizado grueso (0,8 m ² /asiento)	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
Personas en asiento de madera (0,8 m ² /persona)	0,34	0,39	0,44	0,54	0,56	0,56
Personas en asiento tapizado (0,8 m ² /persona)	0,53	0,51	0,51	0,56	0,56	0,59
Personas de pie (0,8 m ² /persona)	0,25	0,44	0,59	0,56	0,62	0,50

Los valores que puede tomar este índice van desde 0=completamente inentendible a 1=perfectamente entendible. En cuanto a la medición de STI, el sonido de la palabra es modelado por una señal de prueba especial con características representativas de la voz humana, puede ser descrita como una forma de onda fundamental que es modulada por señales de baja frecuencia. Por lo tanto STI emplea un complejo esquema de modulación de amplitud que genera estas señales de prueba.

En la unidad de recepción del sistema de comunicación, la profundidad de modulación de la señal recibida es comparada con la profundidad de modulación de la señal de prueba en cada banda, de un número específico de bandas de frecuencia. Las reducciones en la profundidad de modulación son asociadas a la pérdida de inteligibilidad. El cálculo del valor del STI se efectúa a través de mediciones acústicas de discurso y ruido.

El %ALCons es un acrónimo en inglés de Percentage Articulation Loss of Consonants (Pérdida porcentual de articulación de las consonantes). Es un valor numérico que se utiliza en acústica para medir las cualidades de un recinto y cuantifica la inteligibilidad del habla. En un lugar con un valor %ALCons bajo será más sencillo entender un mensaje determinado que en uno con un valor %ALCons alto.

Se hicieron pruebas de audiencia en diferentes recintos con logatomos (palabras sin significado compuestas por consonante-vocal-consonante) y establecieron las estadísticas de los resultados. Al porcentaje medio de los logatomos detectados incorrectamente se le denominó %ALCons. El cálculo de este valor se determina a través de los valores de RT y la diferencia de $L_D - L_R$ (presión sonora en el campo directo – presión sonora en el campo reverberante en un punto). La fórmula para la última expresión es la siguiente:

$$L_D - L_R = 10 \log \left(\frac{QR}{r^2} \right) - 17 \quad (\text{en dB}) \quad \text{Ecuación (6)}$$

Donde:

Q = factor de directividad de la fuente sonora en la dirección considerada (Q=2 para la voz humana, dirección frontal del orador)

$$R = \text{constante de la sala (en m}^2\text{)} = \frac{S_t \cdot \bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}}$$

r = distancia del punto considerado a la fuente sonora (en m)

En la Figura 3.3 se presenta la gráfica con la que se obtiene el %ALCons.

Con los valores de RT y $L_D - L_R$ se puede determinar gráficamente el %ALCons y manejarlo para obtener una mejor inteligibilidad. Para el caso del tipo de edificios estudiado se requiere un %ALCons menor o igual que 10%.

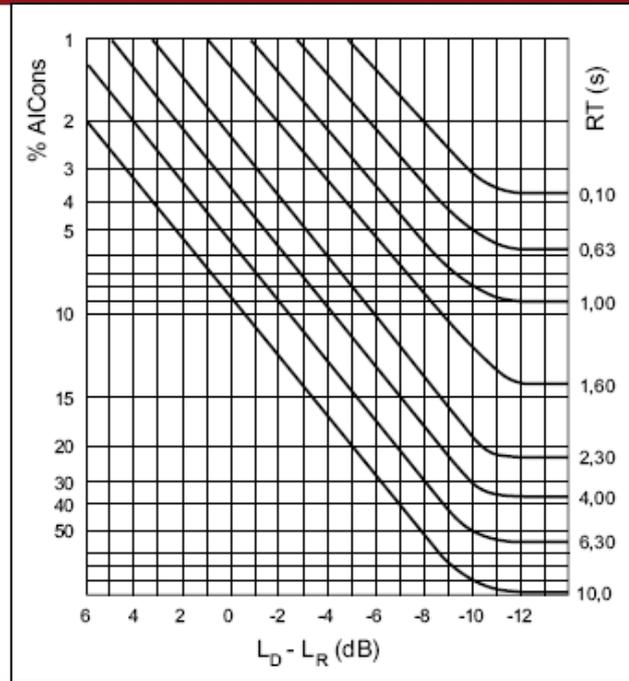


Figura 3.3: Gráfica para la obtención del %ALCons [15].

Otra forma de obtener directamente el %ALCons es a partir de la siguiente fórmula [18], que se cumple para $r < 3.5 \cdot D_c$:

$$\%ALCons = \frac{200r^2 \cdot RT^2 \cdot (1+n)}{V \cdot Q \cdot M} + K \quad \text{Ecuación (7)}$$

Donde:

r = distancia del parlante más cercano al oyente

D_c = distancia crítica

RT = tiempo de reverberación

$1+n$ = parlantes adicionales que escucha el oyente

V = volumen del recinto

Q = directividad del parlante más cercano

M = factor de corrección acústica de potencia reverberante
(se considera $M = 1$)

K = corrección del oyente

Para obtener el %ALCons cuando $r > 3.5 \cdot D_c$ se emplea:

$$\%ALCons = 9 \cdot RT + K \quad \text{Ecuación (8)}$$

3.3.4.1.4 Uniformidad de cobertura

Se define como el grado de homogeneidad que presentan los niveles de presión sonora en el recinto. Se establece que el nivel de presión sonora del ambiente no sea mayor a $\pm 3\text{dB}$, en las bandas de 500Hz y 2KHz (componentes principales de los mensajes).

3.3.4.1.5 Ecos producidos

El eco es el fenómeno más sencillo que tiene lugar en un ambiente con superficies reflectoras del sonido, consiste en una única reflexión que retorna al punto donde se encuentra la fuente unos 50 ms (o más) después de emitido el sonido. Cuando sucede esto, el oído humano no integra las señales de audio y se percibe una repetición del sonido, que es contraproducente para la buena inteligibilidad de la palabra.

Se produce después de un tiempo “t” relacionado con la distancia “d” a la superficie más próxima por la siguiente expresión:

$$t = \frac{2d}{c} \quad \text{Ecuación (9)}$$

Donde:

“c” = velocidad del sonido (345 m/s).

El factor 2 = debido al recorrido del sonido entre la fuente sonora y la superficie (ida y vuelta).

De esta fórmula se deduce que para tener un eco la superficie más próxima debe estar a unos 8.6 m. Cuando hay dos paredes paralelas algo distantes se puede producir un eco repetitivo.

En la Figura 3.4 se muestra el efecto de este fenómeno.

Este efecto se puede evitar con una buena distribución de los parlantes en el área del edificio a estudiar.

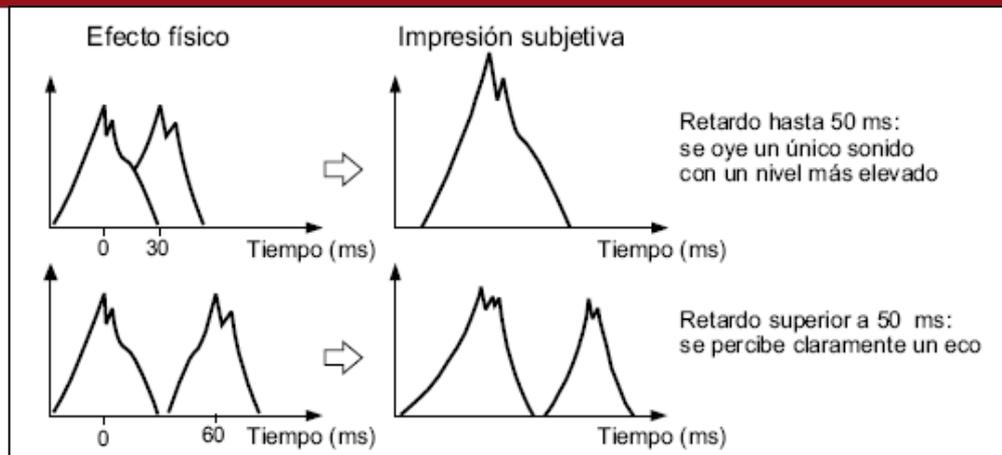


Figura 3.4: Impresión subjetiva de la percepción de mensajes con diferentes retardos [15].

3.3.4.2 Componentes del sistema

3.3.4.2.1 Señales de audio

Son las señales que irán a los amplificadores, pueden ser mensajes de voz pregrabados en un computador (voz sintetizada) o pueden ser emitidos en directo por una persona entrenada, ubicada en una cabina central con acceso a la información del panel de control, proporcionando la información necesaria a través de un micrófono.

Este bloque recibe las señales del panel de control, selecciona el mensaje adecuado de una lista predeterminada y envía dicho mensaje a los amplificadores de audio.

3.3.4.2.2 Amplificadores de audio

Este bloque es parte del sistema de perifoneo, consta de los amplificadores de audio necesarios para el correcto funcionamiento del sistema. La cantidad de estos dispositivos será estudiada más adelante.

Los amplificadores de audio están diseñados para amplificar de forma lineal todas las señales de audio frecuencia (10 Hz – 20 KHz), sin embargo, cuando se utilizan amplificadores para voz no se requiere un ancho de banda tan amplio, ya que la voz humana solo se tiene sonidos que se encuentran entre 200Hz y 2.7 KHz [19].

Además hay que tener en cuenta que la impedancia equivalente de los parlantes es muy importante para la determinación correcta del sistema de amplificación ya que, según el número de parlantes necesarios para cada sector del edificio, el sistema de amplificación podrá ser de “baja impedancia” (cuando se requieren 1 o 2 parlantes para cada zona) o de “alta impedancia” (cuando se necesitan más de 2 parlantes en un solo sector) [20].

En el primer caso los parlantes se colocan directamente a la línea de alimentación y en paralelo. La impedancia equivalente de los parlantes es calculada con la siguiente fórmula:

$$Z_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \dots}$$

Ecuación (10)

Donde Z_1 , Z_2 y Z_3 son las impedancias de cada parlante y se tendrá que escoger un amplificador que pueda manejar este valor de impedancia.

En el segundo caso, que es el más común, se tienen que utilizar transformadores justo a la entrada de los parlantes y directamente a la salida del amplificador como se muestra en la Figura 3.5:

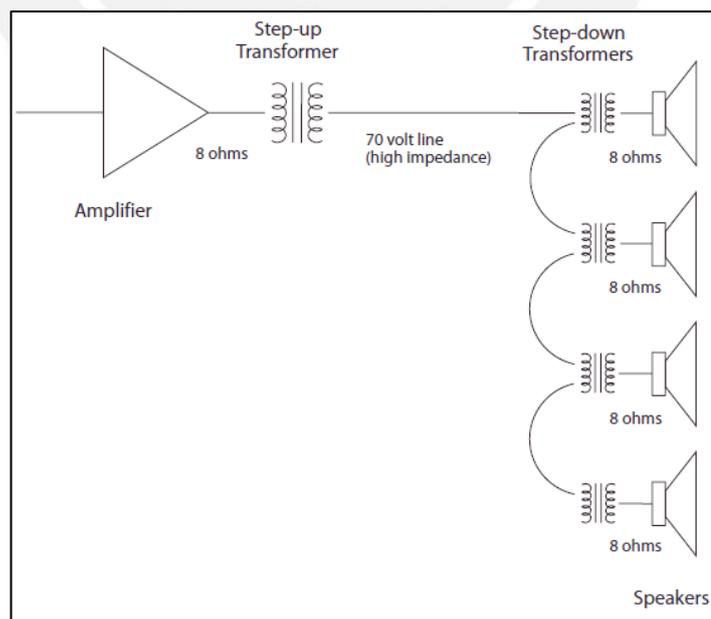


Figura 3.5: Forma de conexión de un sistema de distribución en “alta impedancia” [20].

Esta forma de conexión presenta ventajas importantes frente a la conexión en baja impedancia, entre las más importantes están las siguientes:

- El acople de impedancias es mucho más fácil, ya que eligiendo los transformadores adecuados se pueden controlar varios parlantes.
- La pérdida en las líneas de transmisión es menor, especialmente cuando la distancia entre el amplificador y los parlantes es muy grande.
- El amplificador está eléctricamente aislado de los parlantes, por lo que está protegido ante cualquier falla de los últimos.
- El cálculo de la potencia del amplificador necesario es sencillo ya que solo se debe sumar la potencia de cada uno de los parlantes y elegir el amplificador más conveniente considerando opcionalmente un factor de sobredimensionado.
- Gracias a los transformadores de entrada a los parlantes se pueden seleccionar diferentes niveles de sonido para diferentes zonas, lo que proporciona una gran flexibilidad del sistema.

Estos amplificadores reciben como entradas las señales de audio que serán transmitidas y la señal del panel de control, que indica si es que hay algún evento de emergencia en el edificio.

La salida de este bloque va conectada a los parlantes para su transmisión a las personas.

3.3.4.2.3 Parlantes

Es un bloque perteneciente al sistema de perifoneo y es fundamental para el buen diseño del sistema. Se estudiará la selección de los parlantes adecuados para la correcta percepción de los oyentes en el edificio, además, se considerará la mejor distribución de estos dispositivos en el área del edificio, así como la cantidad necesaria de parlantes a utilizar.

El funcionamiento de cualquier tipo de parlantes (o altavoces) se divide en dos etapas: en la primera, convierte las ondas eléctricas en energía mecánica y en la segunda convierte la energía mecánica en energía acústica (sonora).

Para el diseño del sistema de perifoneo se debe tener en cuenta las características principales de los parlantes: su respuesta en frecuencia (adecuada para transmitir los mensajes pregrabados), potencia, rendimiento, directividad (para que los mensajes lleguen de manera clara a los oyentes), entre otras [21].

Por otro lado también se debe considerar la correcta distribución de los altavoces para que no se presenten ecos en el lugar.

Además es importante considerar la distorsión armónica total (THD) que se produce cuando se le aplican señales de una frecuencia determinada a un altavoz que no funciona correctamente. En este caso, el parlante genera respuestas con nuevas componentes espectrales (señales de frecuencias múltiplos de la frecuencia inicial), que reciben el nombre de armónicos y producen el desaprovechamiento de una parte de la potencia entregada al parlante, la cual se distribuye entre los diferentes armónicos y da lugar a un sonido desagradable.

Este bloque recibe como entrada la señal proveniente de los amplificadores y se encarga de transmitir dicha información a las personas.

3.3.4.2.4 Cableado entre el amplificador y los parlantes

Como ya sabemos, los principales parámetros de un cable son: impedancia (oposición a la corriente eléctrica en función de la frecuencia), capacitancia (comportamiento similar al de un condensador) e inductancia (comportamiento similar al de una bobina). Sin embargo, diversos estudios han concluido en que las diferencias entre los cables son muy pequeñas en cuanto a la capacitancia e inductancia, siendo la impedancia el parámetro más representativo [22].

En ese sentido, nos fijaremos principalmente en el grosor del cable, en lo que se refiere a las características eléctricas.

Primero, se define Factor de Amortiguamiento como la capacidad de un amplificador para controlar el movimiento de la bobina de un altavoz. Un factor de amortiguamiento alto es deseable para obtener un sonido seco y compacto en las frecuencias bajas. Un amplificador ideal tenderá a tener un factor de amortiguamiento infinito; sin embargo, en la práctica, los amplificadores exhiben

cierta impedancia de salida, lo que da lugar a factores de amortiguamiento típicos entre 300 y 600 para una carga de 8 ohmios.

El factor de amortiguamiento se calcula como la relación entre la impedancia de la carga y la impedancia de salida:

$$\text{Factor_de_Amortiguamiento} = \frac{Z_{carga}}{Z_{salida}} \quad \text{Ecuación (11)}$$

Normalmente se recomienda un factor de amortiguamiento mayor a 50, siendo el valor crítico 25.

Lo descrito anteriormente se aplica para cables ideales, es decir sin pérdidas. Cuando se le añade dicha variable la ecuación varía ligeramente. Como es conocido, la impedancia de un cable es directamente proporcional a su longitud e inversamente proporcional a su sección transversal, es decir, cuanto más grueso y corto el cable, presenta menor impedancia.

La Ecuación (12) describe cómo se calcula el factor de amortiguamiento con un cable real, de una longitud y grosor definidos, entre el amplificador y el altavoz, allí se puede apreciar un término adicional que es precisamente la impedancia del cable.

$$\text{Factor_de_Amortiguamiento} = \frac{Z_{carga}}{Z_{salida} + Z_{cable}} \quad \text{Ecuación (12)}$$

Dado que la impedancia del cable está en serie con la impedancia del altavoz, el amplificador está entregando energía a ambos. Además, al subir el cable la impedancia total del sistema, el amplificador entregará menos potencia.

Se puede decir que una pérdida de 1 dB es aceptable y una pérdida de 3 dB es razonable. Aunque la pérdida de potencia esté dentro de límites razonables, eso no quiere decir que el factor de amortiguamiento sea igualmente razonable. De hecho, una reducción de nivel de presión sonora mayor a 0.3 dB no es aceptable desde el punto de vista del factor de amortiguamiento. Sin embargo, para aplicaciones de perifoneo, donde el factor de amortiguamiento no es crítico, se puede utilizar un criterio para la selección del cable basado únicamente en la pérdida de potencia.

3.3.4.2.5 Líneas de transformador a la entrada de los parlantes

Las líneas de transformador permiten el uso de cables más delgados que en instalaciones de conexión directa (instalaciones sin transformador). La impedancia de entrada de un altavoz equipado con un transformador de entrada oscila típicamente entre varios cientos y varios miles de ohmios, lo que quiere decir que la impedancia del cable es ahora pequeña comparada con la impedancia de los altavoces. En la práctica esto significa que se puede utilizar un cable más delgado, (y por ende más económico) o bien llevar grandes longitudes de cable sin que se afecte significativamente el rendimiento del amplificador.

En este tipo de instalaciones el único criterio a la hora de seleccionar el cable ha de ser la pérdida de potencia, descartando el efecto del factor de amortiguamiento.

La Tabla 3.2 muestra el factor de amortiguamiento, pérdida de señal, atenuación e impedancia resultantes para diferentes longitudes y secciones de cable. La pérdida de señal representa el desperdicio de potencia en el cable, mientras que la atenuación es la disminución del nivel de presión sonora asumiendo el mismo amplificador. (Factor de amortiguamiento del amplificador: 400 a 8 ohmios)

3.3.5 Alimentación eléctrica ininterrumpida

Este bloque es muy importante para el sistema propuesto. Se encargará de proveer alimentación eléctrica de manera ininterrumpida para garantizar la continuidad operativa de los sistemas diseñados.

Los UPS (Uninterrupted Power System) son dispositivos que se encargan de proporcionar energía eléctrica para estos fines. Gracias a sus baterías, puede alimentar eléctricamente a todos los dispositivos que tenga conectados. Otra de las funciones de los UPS es la de mejorar la calidad de la energía eléctrica que llega a las cargas, filtrando subidas y bajadas de tensión y eliminando armónicos de la red eléctrica comercial.

Tabla 3.2: Valores de factor de amortiguamiento, pérdida de señal, atenuación e impedancia para diversas longitudes y calibres de cables [22].

Longitud del cable en metros Cable length in m	Sección de cable Wire section	Número del cable AWG, american wire gauge	Factor de Amortiguamiento Damping Factor		Pérdida de señal Signal loss		Atenuación Attenuation		Impedancia Impedance
			4 ohm	8 ohm	4 ohm	8 ohm	4 ohm	8 ohm	
5 m	0.33	22	7	15	12%	6%	-1,1 dB	-0,6 dB	0,53
	0.52	20	11	23	8%	4%	-0,7 dB	-0,4 dB	0,33
	0.82	18	17	35	5%	3%	-0,4 dB	-0,2 dB	0,21
	1.30	16	26	53	3%	2%	-0,3 dB	-0,1 dB	0,13
	2.08	14	39	78	2%	1%	-0,2 dB	-0,1 dB	0,08
	3.31	12	55	111	1%	1%	-0,1 dB	-0,1 dB	0,05
	5.26	10	76	152	1%	0%	-0,1 dB	0,0 dB	0,03
	8.37	8	98	197	1%	0%	0,0 dB	0,0 dB	0,02
	13.30	6	121	243	0%	0%	0,0 dB	0,0 dB	0,01
10 m	0.33	22	4	7	21%	12%	-2,0 dB	-1,1 dB	1,06
	0.52	20	6	12	14%	8%	-1,3 dB	-0,7 dB	0,67
	0.82	18	9	18	9%	5%	-0,9 dB	-0,4 dB	0,42
	1.30	16	14	28	6%	3%	-0,6 dB	-0,3 dB	0,26
	2.08	14	22	43	4%	2%	-0,4 dB	-0,2 dB	0,17
	3.31	12	32	64	3%	1%	-0,2 dB	-0,1 dB	0,10
	5.26	10	47	94	2%	1%	-0,1 dB	-0,1 dB	0,07
	8.37	8	65	131	1%	1%	-0,1 dB	0,0 dB	0,04
	13.30	6	87	174	1%	0%	-0,1 dB	0,0 dB	0,03
20 m	0.33	22	2	4	35%	21%	-3,7 dB	-2,0 dB	2,12
	0.52	20	3	6	25%	14%	-2,5 dB	-1,3 dB	1,33
	0.82	18	5	9	17%	9%	-1,7 dB	-0,9 dB	0,84
	1.30	16	7	15	12%	6%	-1,1 dB	-0,6 dB	0,53
	2.08	14	11	23	8%	4%	-0,7 dB	-0,4 dB	0,33
	3.31	12	18	35	5%	3%	-0,4 dB	-0,2 dB	0,21
	5.26	10	26	53	3%	2%	-0,3 dB	-0,1 dB	0,13
	8.37	8	39	78	2%	1%	-0,2 dB	-0,1 dB	0,08
	13.30	6	56	111	1%	1%	-0,1 dB	-0,1 dB	0,05
50 m	0.33	22	1	2	57%	40%	-7,3 dB	-4,4 dB	5,30
	0.52	20	1	2	45%	29%	-5,3 dB	-3,0 dB	3,33
	0.82	18	2	4	34%	21%	-3,7 dB	-2,0 dB	2,10
	1.30	16	3	6	25%	14%	-2,5 dB	-1,3 dB	1,32
	2.08	14	5	9	17%	9%	-1,6 dB	-0,9 dB	0,83
	3.31	12	7	15	12%	6%	-1,1 dB	-0,5 dB	0,52
	5.26	10	12	23	8%	4%	-0,7 dB	-0,3 dB	0,33
	8.37	8	18	35	5%	3%	-0,4 dB	-0,2 dB	0,21
	13.30	6	27	53	3%	2%	-0,3 dB	-0,1 dB	0,13
100 m	0.33	22	0	1	73%	57%	-11,2 dB	-7,3 dB	10,59
	0.52	20	1	1	62%	45%	-8,5 dB	-5,3 dB	6,66
	0.82	18	1	2	51%	34%	-6,2 dB	-3,7 dB	4,19
	1.30	16	2	3	40%	25%	-4,4 dB	-2,5 dB	2,63
	2.08	14	2	5	29%	17%	-3,0 dB	-1,6 dB	1,66
	3.31	12	4	8	21%	12%	-2,0 dB	-1,1 dB	1,04
	5.26	10	6	12	14%	8%	-1,3 dB	-0,7 dB	0,66
	8.37	8	9	19	9%	5%	-0,9 dB	-0,4 dB	0,41
	13.30	6	14	29	6%	3%	-0,5 dB	-0,3 dB	0,26

Para el diseño de este sistema se deben considerar algunos factores importantes:

En primer lugar se debe conocer la potencia que consume la totalidad del sistema que se quiere alimentar. Esta debe conseguirse por suma de consumos de cada elemento, ya sea mediante las especificaciones técnicas de los dispositivos o por medición del consumo una vez instalado el sistema, lo cual no es recomendable en este caso pues dejaríamos sin protección eléctrica al sistema durante cierto período de tiempo.

Otro factor a considerar es la decisión de qué problemas eléctricos se deben resolver. Una vez conocida la potencia necesaria de la fuente de alimentación ininterrumpida se debe tener en cuenta el entorno en el cual se instalará y los problemas de la red eléctrica en el lugar. Los principales problemas que se podrían presentar son los siguientes:

- Cortes de energía
- Variaciones de tensión
- Picos de tensión
- Problemas de ruido eléctrico
- Variaciones de frecuencia
- Distorsión armónica

Según los problemas que se quieran solucionar, se elegirá una topología para el Sistema de Alimentación Ininterrumpida.

Las principales topologías de funcionamiento de los UPS se mencionarán a continuación:

3.3.5.1 Topología ON-LINE

En este tipo de configuración la red alimenta al cargador de baterías y al inversor, es decir, las baterías se encuentran en paralelo con el inversor, por lo cual cualquier corte o micro-corte queda respaldado por las baterías. La tensión de salida la proporciona el inversor, con lo que se garantiza que el voltaje y la frecuencia de salida estarán estabilizados. En la Figura 3.6 se puede apreciar el esquema de la topología On-Line.

En esta topología existe un tiempo de transferencia de la red al UPS cuando la primera falla, sin embargo, este tiempo es muy corto (aproximadamente 1 ms.), lo cual permite que los condensadores de filtro de carga mantengan la energía y no se produzca corte eléctrico del sistema.

En este caso existen los mismos bloques que en la configuración On-Line con la adición de un Supervisor de Red, que permite detectar un posible fallo de ésta y activar el conmutador para que el inversor alimente la salida. En la Figura 3.8 se puede apreciar esta configuración.

Cabe recalcar que este tipo de configuración es útil sólo en lugares donde la red eléctrica es estable y/o está respaldada por un grupo electrógeno.

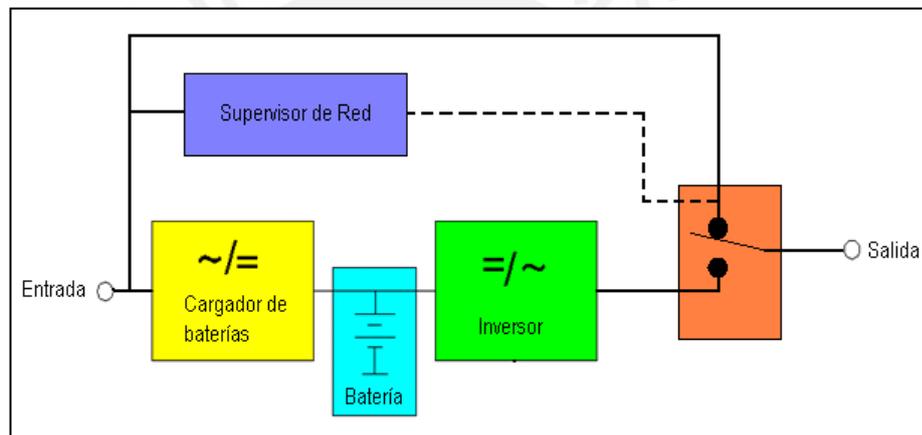


Figura 3.8: Esquema de topología Off-Line para UPS de distribución en "alta impedancia"

CAPÍTULO 4: DISEÑO DEL SISTEMA DE PERIFONEO EN CASO DE EMERGENCIA PARA UN EDIFICIO DE MEDIANA ALTURA

4.1 Elección del edificio a estudiar

El edificio a estudiar en el presente trabajo de investigación será el edificio A de los Edificios McGregor, ubicado en la entrada del campus principal de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Se ha hecho la selección de este edificio ya que cumple con todos los requerimientos propuestos en el capítulo anterior. Cabe resaltar que el edificio A tiene 5 pisos. Los 4 primeros están conformados por 4 aulas de estudio en cada piso con capacidad para 41 alumnos cada una, un pequeño hall para acceder al ascensor, un corredor principal y servicios higiénicos para damas y para caballeros. El último piso está conformado por 2 aulas de estudio (con capacidad para 41 alumnos cada una), el hall para acceder al ascensor, 1 corredor principal, los servicios higiénicos y una cafetería. Las dimensiones de cada aula del edificio son las siguientes aproximadamente: 9.40m de largo x 7.00m de ancho x 2.75m de altura [23]. (Para observar los detalles de los planos utilizados ver Anexo N° 1).

El diseño del sistema de perifoneo se basa en la correcta selección y distribución de sus componentes (parlantes, amplificadores, cables, tipo de alimentación eléctrica, etc.) para poder hacer llegar la información deseada a cada aula, ya que allí es donde se encontrarán principalmente las personas, y a cada ambiente adicional en los diferentes pisos del edificio (pasillos, corredores de entrada a los baños, hall de ascensor, cafetería del 5to piso).

4.2 Sistema de detección de emergencias

Dado el estudio que se viene realizando, se requiere utilizar como indicadores de emergencia los sensores de humo y estaciones manuales de detección que actualmente se encuentran instalados en el Edificio McGregor.

Adicionalmente, dicho edificio cuenta con un panel de control de incendios inteligente y direccionable de la marca Johnson Controls, modelo IFC-640 (para ver las especificaciones técnicas del panel de control ver Anexo N° 2). Entre sus principales características:

- Se le pueden configurar hasta 2 lazos independientes para detección
- Soporta hasta 159 detectores y 159 módulos de control por lazo
- Puede ser monitoreado a través de la red
- Puede ser programado tanto en sitio, como remotamente a través de una computadora.
- Posee una batería interna que puede durar hasta 90 horas en Standby
- Soporta hasta 64 circuitos programables de salida

Este panel de control debe ser configurado para que envíe las señales a través de uno de los circuitos programables hacia la computadora principal del sistema de perifoneo, la cual se encargará de hacer la elección de los mensajes a transmitir y enviarlos a las personas.

En la Figura 4.1 se muestra la trama de las señales enviadas por el panel de control hacia el sistema de perifoneo.

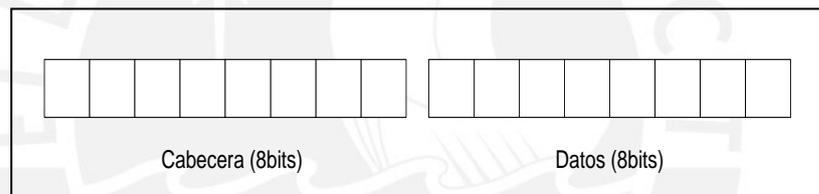


Figura 4.1: Estructura de la trama de bits enviados por el panel de control.

Como se aprecia en la figura anterior, se considerará una cabecera compuesta por 8 bits (1 byte) para que se pueda determinar cuando se haya activado algún sensor o estación manual de detección en el edificio. Esta cabecera podrá tomar los siguientes valores:

- 00000000, si es que no hay ningún sensor/estación manual de detección del edificio emitiendo alguna señal de emergencia.
- 11111111, si es que por lo menos un sensor/estación manual de detección del edificio detecta un evento anormal.

Los datos serán de 8 bits cada uno e indicarán cual de los dispositivos es el que detectó la emergencia y en qué zona se encuentra. Estos datos serán procesados por el panel de control del sistema de detección de emergencia y luego enviado al sistema de perifoneo. Según esta disposición se puede recibir la información de

hasta 255 dispositivos, lo cual es suficiente para un sistema de detección de emergencias para un edificio de las características del estudiado. En la Tabla 4.1 se puede observar la correspondencia asumida entre el valor de la variable “dato” y los sensores y estaciones manuales de detección del edificio. (Para ver la distribución de los dispositivos de detección en el edificio ver Anexo N° 3).

Tabla 4.1: Correspondencia entre los dispositivos de detección y los bits de datos enviados cuando se activan estos.

Sensor Activado	Trama bits de Datos
<i>Estación manual de detección - Corredor - Piso # 1</i>	00000000
<i>Sensor de humo - Cuarto comunicaciones - Piso # 1</i>	00000001
<i>Sensor de humo - Hall - Piso # 1</i>	00000010
<i>Sensor de humo - Depósito - Piso # 1</i>	00000011
<i>Sensor de humo - Aula 101 - Piso # 1</i>	00000100
<i>Sensor de humo - Aula 102 - Piso # 1</i>	00000101
<i>Sensor de humo - Aula 103 - Piso # 1</i>	00000110
<i>Sensor de humo - Aula 104 - Piso # 1</i>	00000111
<i>Estación manual de detección - Corredor Baño - Piso # 1</i>	00001000
<i>Estación manual de detección - Corredor - Piso # 2</i>	00001001
<i>Sensor de humo - Cuarto comunicaciones - Piso # 2</i>	00001010
<i>Sensor de humo - Hall - Piso # 2</i>	00001011
<i>Sensor de humo - Depósito - Piso # 2</i>	00001100
<i>Sensor de humo - Aula 201 - Piso # 2</i>	00001101
<i>Sensor de humo - Aula 202 - Piso # 2</i>	00001110
<i>Sensor de humo - Aula 203 - Piso # 2</i>	00001111
<i>Sensor de humo - Aula 204 - Piso # 2</i>	00010000
<i>Estación manual de detección - Corredor Baño - Piso # 2</i>	00010001
<i>Estación manual de detección - Corredor - Piso # 3</i>	00010010
<i>Sensor de humo - Cuarto comunicaciones - Piso # 3</i>	00010011
<i>Sensor de humo - Hall - Piso # 3</i>	00010100
<i>Sensor de humo - Depósito - Piso # 3</i>	00010101
<i>Sensor de humo - Aula 301 - Piso # 3</i>	00010110
<i>Sensor de humo - Aula 302 - Piso # 3</i>	00010111
<i>Sensor de humo - Aula 303 - Piso # 3</i>	00011000
<i>Sensor de humo - Aula 304 - Piso # 3</i>	00011001
<i>Estación manual de detección - Corredor Baño - Piso # 3</i>	00011010
<i>Estación manual de detección - Corredor - Piso # 4</i>	00011011
<i>Sensor de humo - Cuarto comunicaciones - Piso # 4</i>	00011100
<i>Sensor de humo - Hall - Piso # 4</i>	00011101
<i>Sensor de humo - Depósito - Piso # 4</i>	00011110
<i>Sensor de humo - Aula 401 - Piso # 4</i>	00011111
<i>Sensor de humo - Aula 402 - Piso # 4</i>	00100000
<i>Sensor de humo - Aula 403 - Piso # 4</i>	00100001

Sensor de humo - Aula 404 - Piso # 4	00100010
Estación manual de detección - Corredor Baño - Piso # 4	00100011
Estación manual de detección - Corredor - Piso # 5	00100100
Sensor de humo - Cuarto comunicaciones - Piso # 5	00100101
Sensor de humo - Hall - Piso # 5	00100110
Sensor de humo - Depósito - Piso # 5	00100111
Sensor de humo - Aula 501 - Piso # 5	00101000
Sensor de humo - Aula 502 - Piso # 5	00101001
Estación manual de detección - Corredor Baño - Piso # 5	00101010

4.3 Parámetros de diseño del Sistema de Perifoneo

4.3.1 Presión sonora

De acuerdo con las especificaciones detalladas en el capítulo anterior, para el diseño que se presenta se considerará un L_p mayor o igual que 80dB considerando un margen de reserva de 10dB para los picos de sonido y teniendo en cuenta que, según las recomendaciones de la NFPA, el nivel de sonido de los mensajes debe ser mayor al ruido ambiental presente en el área protegida.

Una vez elegidos los parlantes y realizada la simulación a través del software de TOA Electronics se podrá visualizar el valor de L_p en todo el recinto.

4.3.2 Tiempo de reverberación

Para el diseño propuesto se aplicará la fórmula de Sabine para salas formadas con diversos materiales (Ecuación (4)) para el cálculo del Tiempo de reverberación en los ambientes del edificio.

a) Para el caso de las aulas de estudio:

Aquí es donde principalmente se concentrará la mayor cantidad de personas que estén ocupando el edificio en determinado momento. Según las dimensiones obtenidas de los planos del edificio, el volumen aproximado de cada aula es de: 180.95 m^3 (9.40m de largo x 7.00m de ancho x 2.75m de altura)

Se ha verificado que 3 de las paredes están hechas de hormigón pintado y en la restante se ubica una ventana de vidrio, el techo presenta cielorraso y el piso está

hecho de parquet. En la Figura 4.2 se puede apreciar mejor lo descrito anteriormente.

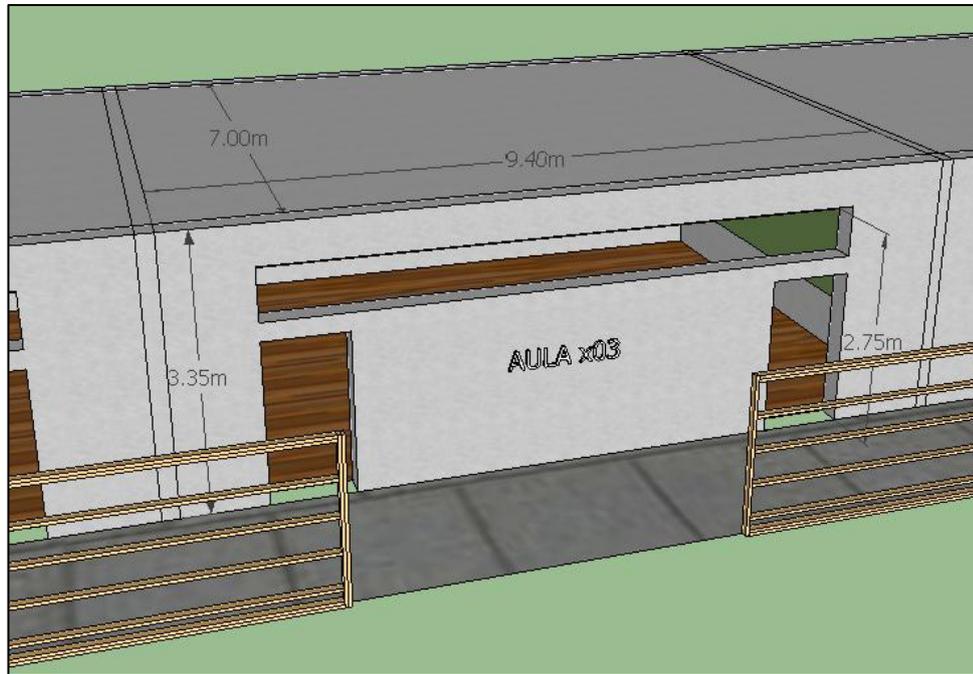


Figura 4.2: Dimensiones de las aulas de estudio del Edificio A - McGregor

De las medidas detalladas en la figura anterior y los valores observados correspondientes al coeficiente de absorción según la frecuencia de cada material que se puede apreciar en la Tabla 3.1, se obtienen los datos relevantes para el cálculo del RT por cada aula, que se muestran en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2: Datos para cálculo de RT para cada aula de estudio del Edificio A - McGregor

<u>Superficie</u>	<u>Descripción</u>	<u>Material</u>	<u>Área (m²)</u>	<u>Coeficiente "α" para 500Hz</u>	<u>Coeficiente "α" para 1KHz</u>
S ₁	Superficie donde se encuentran las puertas	Hormigón Pintado	25.85	0.01	0.02
S ₂	Superficie donde se encuentra la pizarra	Hormigón Pintado	19.25	0.01	0.02
S ₃	Superficie que se encuentra frente a la pizarra	Hormigón Pintado	19.25	0.01	0.02
S ₄	Superficie donde se encuentra la ventana	Vidrio	25.85	0.02	0.01
S ₅	Superficie del piso	Parquet	65.8	0.07	0.06
S ₆	Superficie del techo	Cielorraso modelo Acusticdom	65.8	0.61	0.68

Reemplazando la fórmula de Sabine con los datos anteriores obtenemos:

- Para la frecuencia de 1 KHz:

$$RT_{1K} = 0.161 \cdot \frac{180.95}{0.02 \times 25.85 + 0.02 \times 19.25 + 0.02 \times 19.25 + 0.01 \times 25.85 + 0.06 \times 65.8 + 0.68 \times 65.8}$$

$$RT_{1K} = 0.5799s$$

- Para la frecuencia de 500 Hz:

$$RT_{500} = 0.161 \cdot \frac{180.95}{0.01 \times 25.85 + 0.01 \times 19.25 + 0.01 \times 19.25 + 0.02 \times 25.85 + 0.07 \times 65.8 + 0.61 \times 65.8}$$

$$RT_{500} = 0.6346s$$

Por lo tanto:

$$RT_{mid} = \frac{0.6346 + 0.5799}{2}$$

$$RT_{mid} = 0.6072s$$

Con lo que se cumple la recomendación para edificios con aulas (RT_{mid} entre 0.6 y 1 segundo).

b) Para el caso de los pasillos:

Según las dimensiones obtenidas de los planos del edificio, el volumen del pasillo en cada piso es de: 287.06 m^3 (38.95m de largo x 2.20m de ancho x 3.35m de altura).

Se considerará que la pared que colinda con las aulas de estudio está hecha de hormigón pintado y habrán tres lados libres (donde van las vallas de seguridad, al

inicio del pasillo y al final del mismo), y el piso y techo están hechos de hormigón pintado.

En la Figura 4.3 se puede apreciar mejor lo descrito anteriormente.



Figura 4.3: Dimensiones del pasillo de cada piso del Edificio A - McGregor

Según las medidas observadas en la imagen anterior y los valores de α según la frecuencia correspondiente a los materiales que componen cada superficie se obtienen los datos relevantes para el cálculo del RT para los pasillos del edificio, que se muestran en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3: Datos para cálculo de RT para los pasillos del Edificio A - McGregor

<u>Superficie</u>	<u>Descripción</u>	<u>Material</u>	<u>Área (m²)</u>	<u>Coefficiente "α" para 500Hz</u>	<u>Coefficiente "α" para 1KHz</u>
S ₁	Superficie colindante con las aulas	Hormigón Pintado	130.5	0.01	0.02
S ₂	Superficie inicial del pasillo	Vacío	7.37	1	1
S ₃	Superficie final del pasillo	Vacío	7.37	1	1
S ₄	Superficie donde se encuentra la valla de seguridad	Vacío	130.5	1	1
S ₅	Superficie del piso	Hormigón Pintado	85.7	0.01	0.02
S ₆	Superficie del techo	Hormigón Pintado	85.7	0.01	0.02

- Para la frecuencia de 1 KHz:

$$RT_{1K} = 0.161 \cdot \frac{287.06}{0.02 \times 130.5 + 1 \times 7.37 + 1 \times 7.37 + 1 \times 130.5 + 0.02 \times 85.7 + 0.02 \times 85.7}$$

$$RT_{1k} = 0.3055s$$

- Para la frecuencia de 500 Hz:

$$RT_{500} = 0.161 \cdot \frac{287.06}{0.01 \times 130.5 + 1 \times 7.37 + 1 \times 7.37 + 1 \times 130.5 + 0.01 \times 85.7 + 0.01 \times 85.7}$$

$$RT_{500} = 0.3117s$$

Por lo tanto:

$$RT_{mid} = \frac{0.3055 + 0.3117}{2}$$

$$RT_{mid} = 0.3087s$$

c) Para el caso del hall:

Según las dimensiones obtenidas de los planos del edificio, el volumen del hall en cada piso, sin considerar el ambiente del ascensor, depósito, acceso a escaleras de emergencia ni el cuarto de comunicaciones, es de aproximadamente: 63.95 m³ (4.60m de largo x 4.15m de ancho x 3.35m de altura).

Se considerará que 3 de las paredes están hechas de hormigón pintado, al igual que el piso y techo, mientras que la pared restante (por donde acceden las personas) no está limitada por ningún material.

En la Figura 4.4 se puede apreciar mejor lo descrito anteriormente.

Según las medidas observadas en la figura y los valores de α según la frecuencia correspondiente a los materiales que componen cada superficie se obtienen los datos relevantes para el cálculo del RT para los pasillos del edificio, que se muestran en la Tabla 4.4.

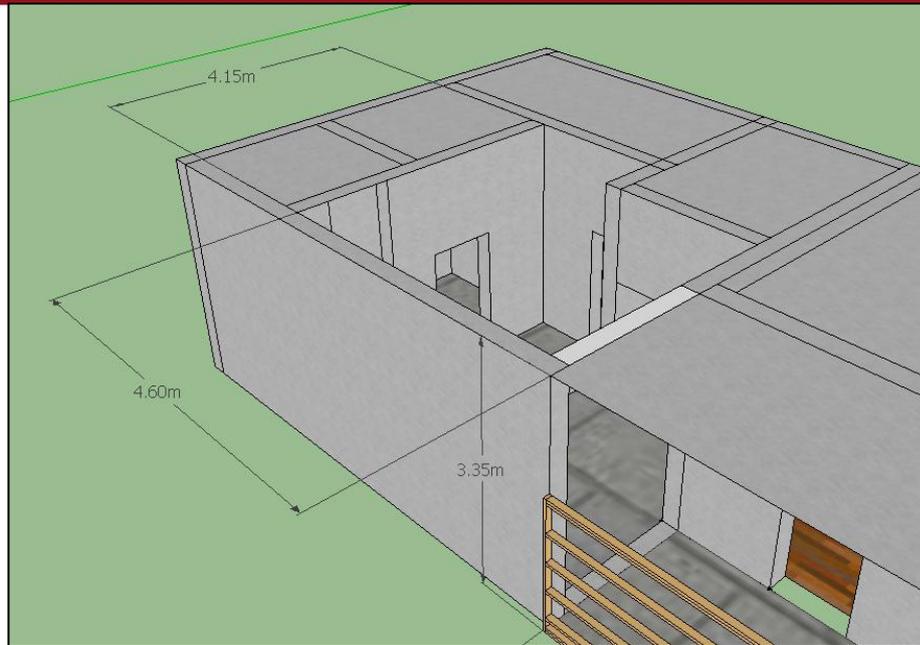


Figura 4.4: Dimensiones del hall de cada piso del Edificio A - McGregor

Tabla 4.4: Datos para cálculo de RT para el hall de cada piso del Edificio A - McGregor

<u>Superficie</u>	<u>Descripción</u>	<u>Material</u>	<u>Área (m²)</u>	<u>Coeficiente "α" para 500Hz</u>	<u>Coeficiente "α" para 1KHz</u>
S ₁	Superficie colindante con el pasillo hacia las aulas	Vacío	13.9	1	1
S ₂	Superficie colindante con el ascensor	Hormigón Pintado	13.9	0.01	0.02
S ₃	Superficie colindante con el cuarto de comunicaciones	Hormigón Pintado	15.4	0.01	0.02
S ₄	Superficie colindante con el vacío (frente al cuarto de comunicaciones)	Hormigón Pintado	15.4	0.01	0.02
S ₅	Superficie del piso	Hormigón Pintado	19.1	0.01	0.02
S ₆	Superficie del techo	Hormigón Pintado	19.1	0.01	0.02

- Para la frecuencia de 1 KHz:

$$RT_{1K} = 0.161 \cdot \frac{63.95}{1 \times 13.9 + 0.02 \times 13.9 + 0.02 \times 15.4 + 0.02 \times 15.4 + 0.02 \times 19.1 + 0.02 \times 19.1}$$

$$RT_{1K} = 0.6617s$$

- Para la frecuencia de 500 Hz:

$$RT_{500} = 0.161 \cdot \frac{63.95}{1 \times 13.9 + 0.01 \times 13.9 + 0.01 \times 15.4 + 0.01 \times 15.4 + 0.01 \times 19.1 + 0.01 \times 19.1}$$

$$RT_{500} = 0.6989s$$

Por lo tanto:

$$RT_{mid} = \frac{0.6617 + 0.6989}{2}$$

$$RT_{mid} = 0.6803s$$

- d) Para el caso del corredor de entrada a los baños:

Según las dimensiones obtenidas de los planos del edificio, el volumen del corredor de entrada a los baños en cada piso es de: 33.66 m³ (10.20m de largo x 1.20m de ancho x 2.75m de altura).

Se considerará que las paredes están hechas de hormigón pintado, habrá un lado libre (hacia donde van las vallas de seguridad), el piso está hecho de parquet y el techo presenta cielorraso.

En la Figura 4.5 se puede apreciar mejor lo descrito anteriormente.

Según las medidas observadas en la imagen y los valores de α según la frecuencia correspondiente a los materiales que componen cada superficie se obtienen los datos relevantes para el cálculo del RT para los pasillos del edificio, que se muestran en la Tabla 4.5.

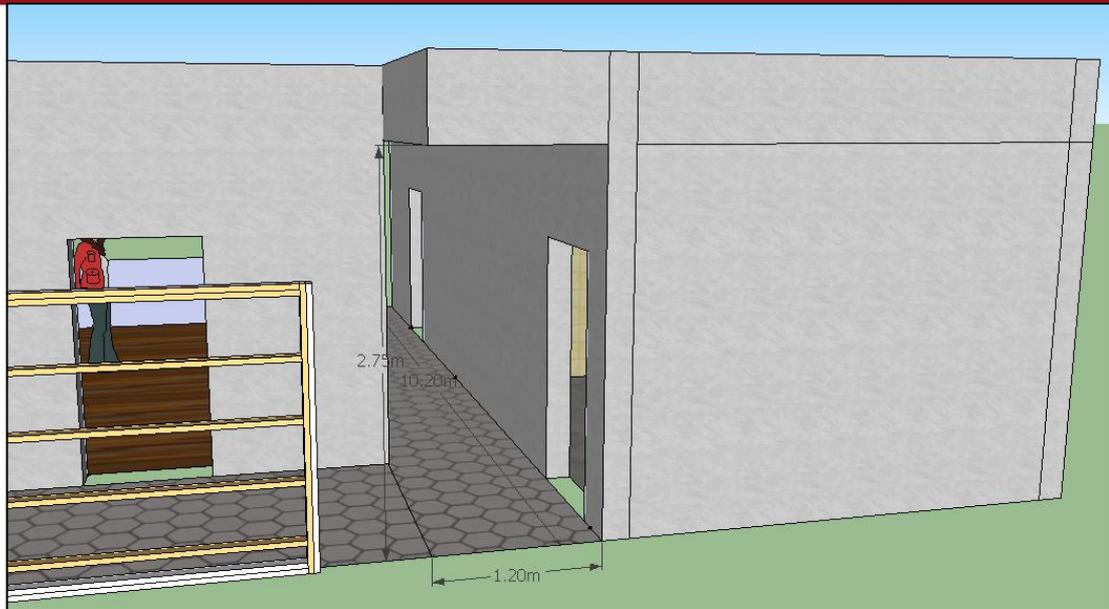


Figura 4.5: Dimensiones del corredor de entrada a los baños de cada piso del Edificio A - McGregor

Tabla 4.5: Datos para cálculo de RT para los corredores de entrada a los baños del Edificio A - McGregor

<u>Superficie</u>	<u>Descripción</u>	<u>Material</u>	<u>Área (m²)</u>	<u>Coeficiente "α" para 500Hz</u>	<u>Coeficiente "α" para 1KHz</u>
S ₁	Superficie colindante con las aulas	Hormigón Pintado	28.05	0.01	0.02
S ₂	Superficie inicial del corredor (hacia donde están las vallas de seguridad)	Vacío	3.3	1	1
S ₃	Superficie final del corredor	Hormigón Pintado	3.3	0.01	0.02
S ₄	Superficie colindante con los baños	Hormigón Pintado	28.05	0.01	0.02
S ₅	Superficie del piso	Parquet	12.24	0.07	0.06
S ₆	Superficie del techo	Cielorraso modelo Acusticdom	12.24	0.61	0.68

- Para la frecuencia de 1 KHz:

$$RT_{1K} = 0.161 \cdot \frac{33.66}{0.02 \times 28.05 + 1 \times 3.3 + 0.02 \times 3.3 + 0.02 \times 28.05 + 0.06 \times 12.24 + 0.68 \times 12.24}$$

$$RT_{1K} = 0.40s$$

- Para la frecuencia de 500 Hz:

$$RT_{500} = 0.161 \cdot \frac{33.66}{0.01 \times 28.05 + 1 \times 3.3 + 0.01 \times 3.3 + 0.01 \times 28.05 + 0.07 \times 12.24 + 0.61 \times 12.24}$$

$$RT_{500} = 0.4436s$$

Por lo tanto:

$$RT_{mid} = \frac{0.40 + 0.4436}{2}$$

$$RT_{mid} = 0.4218s$$

e) Para el caso de la cafetería del 5to piso:

Según las dimensiones obtenidas de los planos del edificio, el volumen de la cafetería es de aproximadamente: 445.55 m³ (19.00m de largo x 7.00m de ancho x 3.35m de altura).

Se considerará que dos de las paredes están hechas de hormigón pintado, las otras dos restantes tendrán principalmente vidrio, el piso está hecho de parquet y el techo está compuesto principalmente de hormigón pintado. Adicionalmente se considerará que hay personas en el ambiente según lo indicado en la Tabla 4.6.

En la Figura 4.6 se puede apreciar mejor lo descrito anteriormente.

Según las medidas observadas en la imagen y los valores de α según la frecuencia correspondiente a los materiales que componen cada superficie se obtienen los datos relevantes para el cálculo del RT para el ambiente de la cafetería, que se muestran en la Tabla 4.6.

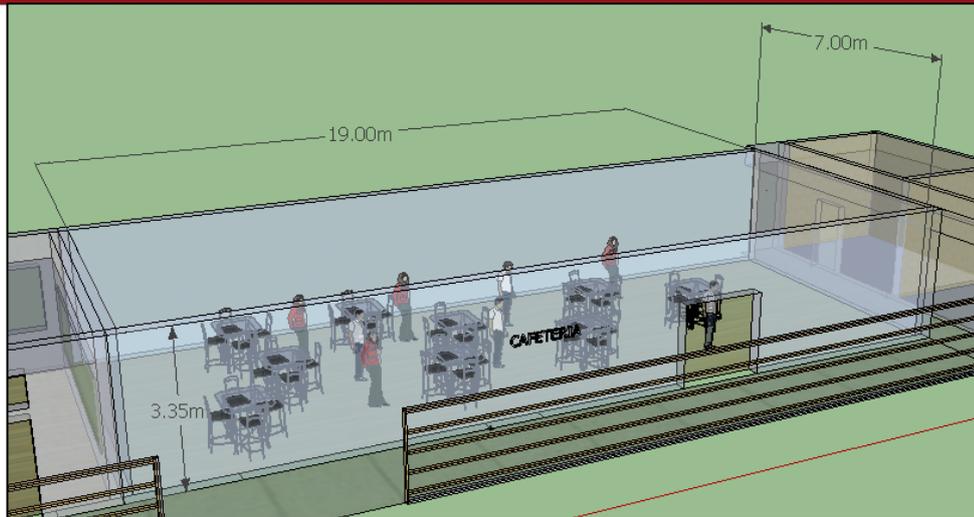


Figura 4.6: Dimensiones de la cafetería en el 5to piso del Edificio A - McGregor

Tabla 4.6: Datos para cálculo de RT para la cafetería del Edificio A - McGregor

<u>Superficie</u>	<u>Descripción</u>	<u>Material</u>	<u>Área (m2)</u>	<u>Coeficiente "α" para 500Hz</u>	<u>Coeficiente "α" para 1KHz</u>
S ₁	Superficie colindante con las aulas	Hormigón Pintado	23.45	0.01	0.01
S ₂	Superficie colindante con el corredor de baños	Hormigón Pintado	23.45	0.01	0.02
S ₃	Superficie colindante con el vacío	Vidrio	63.65	0.02	0.01
S ₄	Superficie colindante con el pasadizo principal	Vidrio	63.65	0.02	0.01
S ₅	Superficie del piso	Parquet	133	0.12	0.1
S _{5b}	Personas de pie (asumimos 15)	Personas de pie	12	0.59	0.56
S _{5c}	Personas sentadas en asientos de madera (asumimos 15)	Personas sentadas en asientos de madera	12	0.44	0.54
S _{5d}	Asientos de madera (asumimos 40)	Asientos de madera	32	0.03	0.04
S ₆	Superficie del techo	Hormigón Pintado	133	0.01	0.02

- Para la frecuencia de 1 KHz:

$$RT_{1K} = 0.161 \cdot \frac{445.55}{0.02 \times 23.45 \times 2 + 0.01 \times 63.65 \times 2 + 0.1 \times 133 + 0.56 \times 12 + 0.54 \times 12 + 0.04 \times 32 + 0.02 \times 133}$$

$$RT_{1K} = 2.197s$$

- Para la frecuencia de 500 Hz:

$$RT_{500} = 0.161 \cdot \frac{445.55}{0.01 \times 23.45 \times 2 + 0.02 \times 63.65 \times 2 + 0.12 \times 133 + 0.59 \times 12 + 0.44 \times 12 + 0.03 \times 32 + 0.01 \times 133}$$

$$RT_{500} = 2.133s$$

Por lo tanto:

$$RT_{mid} = \frac{2.197 + 2.133}{2}$$

$$RT_{mid} = 2.165s$$

4.3.3 Inteligibilidad de las señales de audio

Tal como se mencionó en el capítulo anterior, para el caso del tipo de edificios estudiado se requiere que el valor del %ALCons sea menor o igual que 10%. Este valor será obtenido utilizando la Ecuación (7) una vez que los parlantes ya se encuentren distribuidos en el recinto.

4.3.4 Uniformidad de cobertura

Este parámetro, al igual que la inteligibilidad de las señales de audio se podrá medir una vez los parlantes estén distribuidos. En este caso, en el gráfico en el que se muestra la simulación del comportamiento del sonido en el aula se podrá observar si la cobertura es uniforme o no. Para ello el gráfico deberá presentar uniformidad en la coloración del aula de estudio y de los pasillos.

4.3.5 Ecos producidos

De la Ecuación (9) se ha podido deducir que para que se produzca un eco la superficie más próxima a un parlante esta debe encontrarse a 8.6 m de distancia. Como en este caso se trabaja principalmente con aulas de estudio medianas, el eco que se pudiese producir no será notorio al oído de las personas. El caso del hall es

similar al de las aulas de estudio. Por otro lado, para el caso de los pasadizos, en los que sí podría generarse un eco repetitivo, se considerará una distribución de parlantes tal que cada uno de ellos, en su rango de cobertura, sea capaz de opacar el eco producido.

4.4 Elección de la fuente de emisión de señales de audio

Para el sistema de perifoneo propuesto se debe elegir entre dos opciones para ser la fuente de emisión de las señales que serán transmitidas a las personas en el edificio: Una opción es utilizar señales de audio pregrabadas en un computador (voz sintetizada), la otra opción es emitir los mensajes mediante la voz humana, emitida en vivo y en directo por una persona entrenada, desde una cabina central y a través de un micrófono, para dar determinados mensajes de una lista predeterminada.

A continuación, en la Tabla 4.7 se presentan las ventajas y desventajas de cada opción planteada:

Tabla 4.7: Ventajas y desventajas de los dos tipos de fuente de emisión de mensajes

	Señales pregrabadas en un computador	Voz en vivo y en directo
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - El timbre y tono de la voz sintetizada siempre será el mismo, sea cual sea la emergencia. - La elección depende únicamente de las señales enviadas por el panel de control. - El computador no se verá afectado por el miedo y la desesperación en caso de ocurrencia de algún desastre. 	<ul style="list-style-type: none"> - Es una solución más barata, solo se contabilizaría el sueldo de la persona encargada. - No es necesario un mantenimiento y revisión periódicos exhaustivos del lugar de trabajo.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Es una solución más costosa por requerir de un computador y su software de audio correspondiente. 	<ul style="list-style-type: none"> - La persona puede ponerse nerviosa en el momento de la emergencia y huir de su posición.

	<ul style="list-style-type: none"> - Es necesario que se de mantenimiento y revisión periódica al computador para que no falle en el momento de la emergencia. 	<ul style="list-style-type: none"> - En caso de emergencia el tono y timbre de voz de la persona pueden alterarse. - La elección del mensaje a transmitir puede no ser siempre la más adecuada. - No se puede asegurar que la cabina donde se encuentre la persona encargada sea del todo segura. - El cansancio y/o aburrimiento puede influir en la velocidad de reacción de la persona encargada.
--	---	--

Considerando lo expuesto en el cuadro anterior y haciendo un balance de las ventajas y desventajas de cada opción propuesta, se llega a la conclusión de que lo mejor es contar con señales de audio pregrabadas en un computador, que elija los mensajes de una lista predeterminada de acuerdo a las señales que emita el panel de control (señales de dispositivos de detección en el edificio).

Para esta elección principalmente se considera el hecho que las personas, en determinadas situaciones de emergencia, actúan de manera descontrolada por el temor a que sus vidas corran peligro. Esto puede afectar directamente y de diferentes maneras a la persona que esté destinada a transmitir los mensajes de audio en caso que tuviera que hacerlo en vivo y en directo: podría huir de su lugar asignado, con lo que no se transmitiría ningún mensaje; podría elegir incorrectamente los mensajes, por causa del pánico o podría alterar su tono y timbre de voz, con lo cual asustaría a las personas del edificio. También se considera la influencia del cansancio y/o aburrimiento de la persona que se encuentra en la cabina principal, ya que una situación de emergencia no se presenta frecuentemente. Cualquiera de estas posibilidades haría que la persona no cumpla su función adecuadamente.

4.5 Elección de los mensajes a transmitir

Como ya se eligió que la fuente emisora de los mensajes de audio sea un computador con mensajes pregrabados, es necesario que la lista de mensajes que estén en la memoria del computador sea la adecuada, que contenga mensajes claros y directos y que principalmente no alteren a las personas en el edificio [24].

Como ya se mencionó anteriormente, los anuncios de emergencia deben ser claros, directos y despojados de todo lenguaje innecesario. Los mensajes tienen dos propósitos principales: informar a la gente sobre la situación que está teniendo lugar y guiar el comportamiento de las personas.

Deberían contener tres o cuatro elementos críticos: lo que ha sucedido, lo que debe hacerse, el “porqué” debe hacerse y la identificación de la persona que está dando la orden. Tener en cuenta que “lo que debe hacerse” debe ser el último elemento mencionado, dado que será el más recordado.

Algunos criterios para la selección de los mensajes a transmitir son:

- En los mensajes se debe evitar el uso de la palabra “NO”, ya que de no ser escuchada puede ocasionar reacciones totalmente contrarias a lo que se desea.
- Debe evitarse el uso de palabras o frases que puedan alterar o crear inseguridad y pánico en las personas en el edificio. Por ejemplo: “¡Alerta, peligro!” o “¡Corran hacia las zonas de evacuación!”
- La voz que se debe escuchar tiene que ser tranquila y pausada, para que se puedan oír claramente los mensajes transmitidos.
- El volumen de la voz en los mensajes debe ser el adecuado para que el mensaje pueda ser recibido de manera óptima.

Según las señales enviadas por el panel de control a través del puerto serial, el computador principal del sistema de perifoneo elegirá los mensajes correspondientes y los reproducirá en la computadora, la cual irá conectada al sistema de amplificación para su transmisión.

Los mensajes a transmitir serán del siguiente tipo:

“Atención, atención, hay un incendio en el lugar X. Por su seguridad, el jefe de bomberos pide evacuar los salones utilizando las escaleras de emergencia”

Se escoge este tipo de mensajes ya que no generan desesperación en los oyentes debido a que en todo momento los invoca a mantener la calma. Aquí la variable “X” corresponde a la trama de bits enviada por el panel de control que hace referencia a un dispositivo activado (sensores y/o estaciones manuales).

Para la generación de los mensajes se ha utilizado el software SodelsCot, el cual es capaz de transformar líneas de texto en archivos de sonido en formato .wav. De esta manera, se digitaron los anuncios deseados para luego transformarlos a sonido con el aplicativo en mención. (Los mensajes pregrabados se pueden escuchar dirigiéndose al Anexo N° 5 formato digital).

Para la elección automática de los mensajes se ha utilizado el entorno de programación Microsoft Visual Basic 2010 Express, debido a que es capaz de proporcionar una interfaz gráfica visualmente agradable para el usuario, por la facilidad para establecer la comunicación entre el panel de control y la computadora y además por la versatilidad que ofrece este lenguaje de programación para realizar la elección de los mensajes y su reproducción.

En la Figura 4.7 se muestra la ventana principal que se mostrará al usuario antes de iniciar la sincronización con el panel de control.



Figura 4.7: Interfaz gráfica principal para la comunicación entre el sistema de perifoneo y el panel de control

Al activar el botón “Leer” se procederá a empezar a leer por el puerto serial de la computadora principal las señales que envía el panel de control.

Cuando la computadora detecte la secuencia de bits “11111111” significará que hay un dispositivo de detección activado en el edificio y leerá la secuencia siguiente para identificar la ubicación del mismo y proceder a transmitir el mensaje pregrabado. Para ver el código del programa desarrollado revisar el Anexo N° 4.

4.6 Elección del sistema de parlantes

Para el sistema de perifoneo que se va a diseñar es muy importante considerar la elección los parlantes a utilizar. Estos no deben ser difíciles de conseguir, deben provenir de una empresa confiable, y que brinde soporte técnico y mantenimiento a los mismos en caso de algún desperfecto.

Por estas razones principalmente se ha elegido a la corporación TOA como principal proveedora de los equipos con los que se desarrollará el presente estudio.

TOA es una corporación dedicada al desarrollo, fabricación y distribución de productos de audio y seguridad. Ha sido fundada hace 70 años en Japón (uno de los países más avanzados tecnológicamente), por lo cual tiene un prestigio ganado con el tiempo, que ha hecho que aún hasta ahora sea una de las empresas líderes del mercado en este rubro.

Otra ventaja importante de elegir los productos de la empresa TOA por sobre otras marcas, es que esta corporación opera en más de 100 países alrededor del mundo, por lo cual se cuenta con un sólido respaldo tecnológico de países desarrollados como China, Estados Unidos, Alemania, Canadá, entre otros. Adicionalmente, TOA brinda una gran variedad de productos de audio como amplificadores, parlantes, mezcladores, micrófonos, etc., proporcionando información detallada de una manera amigable a través de su página web, desde la cual inclusive puede brindar soporte técnico en línea.

Además, TOA pone a disposición de sus clientes especificaciones técnicas, manuales de instalación, información relacionada y detalles adicionales para cada uno de los equipos que comercializa, e incluso pueden utilizarse programas de simulación de audio muy confiables, que permiten a los usuarios hacer pruebas,

ayudándolos a elegir adecuadamente los equipos que se necesiten para diseñar diversos sistemas de audio, antes de adquirirlos.

En el Perú el principal representante de los productos que TOA ofrece al mercado es la empresa DENKY Audio Pro, cuya sede se encuentra en la Av. Oscar R. Benavides 5247 – Callao [25].

Por todas las razones expuestas líneas atrás y considerando las ventajas que se tiene al trabajar con equipos diseñados y fabricados por profesionales de una empresa sólida, confiable, de prestigio a nivel mundial y con representación local, los parlantes a utilizar para el diseño del sistema de perifoneo en caso de emergencia para el edificio estudiado serán de la compañía TOA (su sucursal en Estados Unidos es llamada TOA Electronics Inc., y principalmente de sus catálogos de productos se hará la selección de los equipos).

Dentro de la gran variedad de parlantes comercializados por esta compañía se encuentran altavoces para pared, para piso, para techo, para diseño de interiores, etc., los cuales a su vez varían según el tipo de señales que se quieren transmitir a través de ellos, ya sean señales de música, señales de voz, una combinación de ambas. Otra forma de clasificarlos es por su adaptación a condiciones climáticas, por ejemplo algunos son resistentes al agua y son adecuados para implementarlos en lugares al aire libre.

Como se especificó en el capítulo anterior, en el sistema de perifoneo que se está diseñando se utilizarán parlantes para techo, ya que el edificio está compuesto principalmente por aulas de estudio, no estarán expuestos a condiciones climáticas desfavorables y son más agradable a la vista en términos estéticos.

La empresa TOA Electronics ha diseñado 3 familias de parlantes para techo: Los parlantes de la serie F, los parlantes de la serie H y los parlantes de la serie PC. Los parlantes de la serie F son los más comercializados y los más comunes para la aplicación que se está estudiando, tienen una buena respuesta en frecuencia para los componentes de la señal de voz y de música. Los parlantes de la serie H son especiales para diseño de interiores, son fáciles de instalar y presentan una muy buena calidad de sonido. Los parlantes de la serie PC poseen una alta sensibilidad, aunque solo funcionan con 25V y 70.7V.

Por las razones expuestas y considerando la importancia de elegir parlantes diseñados principalmente para edificios como el estudiado en esta tesis, se han elegido los parlantes de la serie F de la compañía TOA Electronics [26], para realizar el diseño del sistema de perifoneo.

Dentro de la serie F de parlantes de la compañía TOA se encuentran diversos modelos de parlantes, los principales son:

- F-2852C
- F-122CU
- F-2352C
- F-2322C
- F-2352SC
- F-1522SC

Todos ellos presentan diversas características y la elección de los mismos dependerá de factores propios de los ambientes que se desean cubrir, en este caso las dimensiones de las aulas de estudio del edificio A de los Edificios McGregor de la PUCP y de la altura de los usuarios, que en este caso son alumnos y principalmente se encontrarán sentados, por lo que se asume una altura promedio de 1.2m. Además se debe tener en cuenta que la voz humana presenta principalmente componentes de frecuencia entre las bandas de 500Hz y 2kHz, por lo que la respuesta de los parlantes debe ser óptima en esta porción del espectro.

Como se especificó en el capítulo anterior, se considera un nivel de presión sonora adecuado de 80dB, por lo que los parlantes elegidos deben poder brindar este nivel de L_p .

En la página web de la compañía TOA Electronics se encuentra una comparación entre los diversos tipos de parlantes para techo de la serie F de la compañía. La Tabla 4.8 nos muestra las principales diferencias entre dichos parlantes.

Tabla 4.8: Comparación entre los diversos tipos de parlantes para techo de la serie F de la compañía TOA Electronics

Model	F-2852C	F-2322C	F-2352C	F-122CU	F-2352SC	F-1522SC						
Type	Co-axial	Full-Range	Co-axial	Full-Range	Co-axial	Full-Range						
Enclosure	Bass-reflex type					—						
Rated Input (high impedance)	60 W	30 W	30 W	30 W	6 W	6 W						
Dispersion (1 to 4k Hz avg.)	120 degrees	170 degrees	170 degrees	180 degrees (hemispherical)	155 degrees	160 degrees						
Power Handling Capacity	Bass-reflex type					—						
							Continuous Pink Noise:		60 W (8 ohms)		9 W (8 ohms)	
							60 W (16 ohms)		30 W (16 ohms)		6 W (16 ohms)	
							Continuous Program:		120 W (8 ohms)		18 W (8 ohms)	
120 W (16 ohms)		60 W (16 ohms)		12 W (16 ohms)								
Impedance	70.7 V:	60 W (83 ohms)		30 W (170 ohms)		6 W (830 ohms)		6 W (830 ohms)				
		30 W (170 ohms)		15 W (330 ohms)		3 W (1.7k ohms)		3 W (1.7k ohms)				
		15 W (330 ohms)		5 W (1k ohms)		1.5 W (3.3k ohms)		1.5 W (3.3k ohms)				
		7.5 W (670 ohms)		1.5 W (3.3k ohms)		0.5 W (10k ohms)		0.5 W (10k ohms)				
		1.5 W (3.3k ohms)		0.5 W (10k ohms)		0.25 W (20k ohms)		0.25 W (20k ohms)				
	25 V:	7.5 W (83 ohms)		3.7 W (170 ohms)		0.75 W (830 ohms)		0.75 W (830 ohms)				
		3.7 W (170 ohms)		1.9 W (330 ohms)		0.4 W (1.7k ohms)		0.4 W (1.7k ohms)				
		1.9 W (330 ohms)		0.6 W (1k ohms)		0.2 W (3.3k ohms)		0.2 W (3.3k ohms)				
		0.9 W (670 ohms)		0.2 W (3.3k ohms)		0.06 W (10k ohms)		0.06 W (10k ohms)				
	100 V:	0.2 W (3.3k ohms)		0.06 W (10k ohms)		0.03 W (20k ohms)		0.03 W (20k ohms)				
		60 W (170 ohms)		30 W (330 ohms)		6 W (1.7k ohms)		6 W (1.7k ohms)				
		30 W (330 ohms)		10 W (1k ohms)		3 W (3.3k ohms)		3 W (3.3k ohms)				
15 W (670 ohms)		3 W (3.3k ohms)		1 W (10k ohms)		1 W (10k ohms)						
3 W (3.3k ohms)		1 W (10k ohms)		0.5 W (20k ohms)		0.5 W (20k ohms)						
Low Impedance (adjustable)	8 and 16 ohm direct mode (transformer bypass)											
Sensitivity (1 W,1 m)	91 dB SPL	90 dB SPL	90 dB SPL	90 dB SPL	89 dB SPL	88 dB SPL						
Frequency Response (1/2 space)	60 - 20k Hz (-10 dB)		70 - 20k Hz (-10 dB)		80 - 20k Hz (-10 dB)		65 - 18k Hz (-10 dB)					
	45 - 20k Hz (-20 dB)		50 - 20k Hz (-20 dB)		50 - 20k Hz (-20 dB)		45 - 20k Hz (-20 dB)					

Comparando las características presentadas en la tabla anterior, se puede precisar que todos los parlantes de la serie elegida (serie F – TOA Electronics) tienen una respuesta en frecuencia que cumple con los requisitos de diseño además de tener una sensibilidad similar y que es la adecuada para el sistema que se está diseñando. Todos los parlantes se pueden alimentar con 25V, 70.7V o 100V, según lo que se desea, la principal diferencia que se puede apreciar es la potencia eléctrica que se le suministra al parlante, de aquí, con ayuda del software de simulación y las recomendaciones que presenta el mismo, se determinará el tipo de parlantes adecuados para el sistema de perifoneo que se diseñará.

El software de simulación que se utilizará para la verificación de la correcta distribución de los parlantes a lo largo de las aulas del Edificio A – Edificio McGregor de la PUCP se llama TOA Speaker Placement Viewer y es proporcionado gratuitamente por la compañía TOA Electronics Inc. a través de su página web.

Este software es muy útil para aplicaciones de diseño y revisión de sistemas de audio. Se encarga de simular la presencia real de los parlantes en un área determinada y determina la uniformidad de la cobertura y respuesta en frecuencia de cada punto del recinto. Adicionalmente, entrega parámetros importantes como la presión sonora promedio de todo el lugar y el valor de potencia recomendado para el amplificador de audio (que se elegirá más adelante).

El procedimiento para realizar la simulación del sistema de perifoneo a través del software TOA Speaker Placement Viewer correctamente, es el siguiente:

1. Descargar el programa TOA Speaker Placement Viewer de la página web de la compañía TOA Electronics Inc.
2. Elegir las dimensiones del área que se desea cubrir.
3. Seleccionar el/los modelo/s de parlantes a utilizar, así como el voltaje de alimentación y la posición del "tab".
4. Realizar la distribución de los parlantes a lo largo del área de la zona elegida.
5. Verificar que la dispersión del sonido en el lugar sea uniforme y responda adecuadamente en los rangos de frecuencia deseados.

Si el sistema diseñado no responde adecuadamente a las necesidades planteadas inicialmente se puede intentar la solución variando alguno o algunos de los siguientes factores: número de parlantes a utilizar, ubicación de los mismos, voltaje de alimentación, posición del "tab".

De las simulaciones realizadas se pudo observar que la principal diferencia entre los parlantes que se consideraron fue la potencia emitida, que hacía que el nivel de presión sonora sea demasiado alto para los alumnos, con esto, los mensajes no se podrían recibir de una manera adecuada.

Otro punto que se pudo observar de las simulaciones fue la gran diferencia de trabajar con diversos valores de voltaje de alimentación para los parlantes: 25V, 70.7V o 100V, trabajar con más voltaje hacía que la presión sonora se eleve demasiado, mientras que trabajar con un voltaje menor originaba que el sonido no llegara a los oídos de las personas, por lo que se tuvo que llegar a un punto de equilibrio entre estos factores.

Adicionalmente se observó que la presión sonora en el aula no solo depende del valor de voltaje con el cual se alimentan los parlantes sino también de la posición del “tab” de los parlantes, que se encargan de variar la impedancia de los mismos y consecuentemente la potencia emitida.

Por estas razones, realizar la distribución óptima de los parlantes en un aula del edificio estudiado ha implicado realizar un balance de las ventajas y desventajas de trabajar con mayor o menor voltaje, y con mayor o menor impedancia de los altavoces. Se empezó con seleccionar un voltaje intermedio 70.7V para observar el comportamiento de los diversos modelos de parlantes ante diversas posiciones del “tab”.

La elección del valor de voltaje 70.7V se hizo en base a las ventajas que posee sobre las otras opciones. En primer lugar, se consigue una buena dispersión del sonido y una potencia adecuada para la transmisión de los mensajes a las personas del edificio, ya que por la altura de las aulas no se requiere demasiada potencia para que las señales enviadas lleguen claramente a los oyentes. Sin embargo, es un valor de voltaje lo suficientemente grande como para que la señal llegue hasta los oídos de los alumnos, a diferencia de lo que se obtiene con un voltaje menor de alimentación para los parlantes, como 25V.

En segundo lugar, el valor de 70.7V es el valor RMS de 100V, línea de alimentación principal en varios países del mundo, por lo que es muy común utilizar este valor de voltaje para alimentar equipos como estos. En nuestro país se puede obtener transformando la línea de 220V a 110V, de ahí se conseguiría el valor RMS necesario para alimentar los parlantes.

a) En las aulas de estudio:

Haciendo las pruebas respectivas en el software de simulación de la compañía TOA Electronics (TOA Speaker Placement Viewer) se ha determinado que los parlantes más adecuados para las aulas del edificio que se está estudiando son los parlantes F-1522SC, alimentados con 70.7V y 1.5W. Se han utilizado 9 parlantes de este tipo, distribuidos simétricamente en el aula por ser la forma más óptima de obtener una distribución del sonido adecuada. (Para observar las simulaciones con los otros modelos de parlantes revisar el Anexo N° 6)

En la Figura 4.8 se muestra la respuesta en frecuencia del punto central con los parlantes F-1522SC y en la Figura 4.9, la dispersión del sonido en el aula. Ambos gráficos han sido obtenidos del software de simulación.

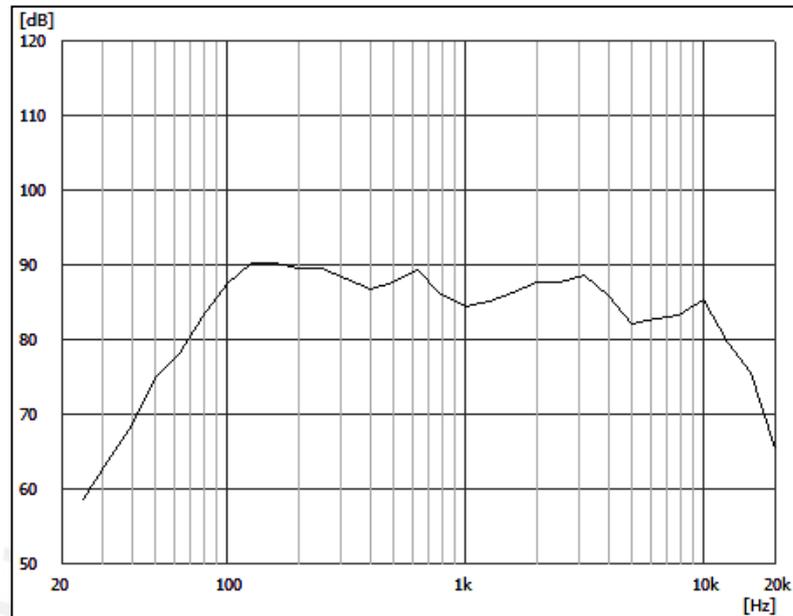


Figura 4.8: Respuesta en frecuencia del punto central de una de las aulas del edificio en estudio.

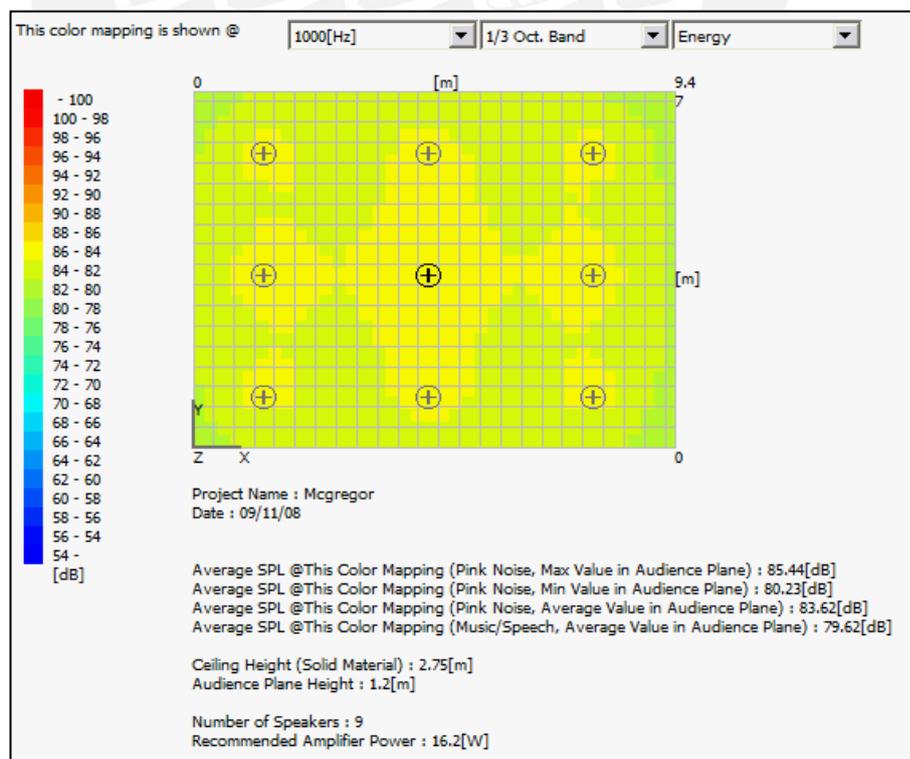


Figura 4.9: Dispersión del sonido en el aula del edificio estudiado.

Como se puede apreciar en las figuras anteriores, con los parlantes elegidos se obtiene una distribución de energía muy consistente en los rangos de frecuencia requeridos (espectro de la voz humana) y se puede intuir que se obtendrá una clara percepción de los mensajes ya que el sonido se encuentra en los niveles de presión sonora deseados a lo largo de toda el aula de estudio. Sin embargo, es muy importante realizar el cálculo del nivel de inteligibilidad de la palabra para que se pueda garantizar completamente la correcta percepción.

Para determinar el nivel de inteligibilidad de la palabra se emplea la Ecuación (7), que fue presentada en el capítulo anterior:

$$\%ALCons = \frac{200r^2 \cdot RT^2 \cdot (1+n)}{V \cdot Q \cdot M} + K$$

Para utilizar la fórmula anterior elegimos los siguientes valores:

- $r \approx 2.53m$, porque es la distancia entre el parlante más cercano a un oyente que se encuentre en la esquina de la habitación (peor de los casos).
- $RT = 0.6072s$, valor obtenido en el capítulo 4.3.2, acápite a).
- $1+n$, se considerará que aproximadamente 4 parlantes tienen efecto directo sobre una persona (debido a que el ángulo de cobertura de cada parlante es de 160°).
- $V = 9.4m \cdot 7m \cdot 2.75m = 180.95m^3$, es el volumen de cada aula del edificio estudiado.
- $M = 1$, se asume este valor por ser una práctica conservadora.
- $Q = 2.6$, es el factor de directividad promedio de los parlantes elegidos, entre las bandas de 500Hz - 2Khz (banda principal de los componentes de frecuencia de la voz humana). Estos valores se han obtenido de la hoja técnica del parlante F-1522SC (Ver Anexo N° 7).
- $K = 2$, se asume este valor por considerarse la presencia de buenos oyentes en el edificio (personas con buen oído).

Reemplazando con los valores mencionados anteriormente obtenemos:

$$\%ALCons = \frac{200 \cdot 2.53^2 \cdot 0.6072^2 \cdot 4}{180.95 \cdot 2.6 \cdot 1} + 2 = 6.01\%$$

Este valor cumple con los requerimientos de diseño vistos en el capítulo anterior, por lo tanto se garantiza la correcta percepción de los mensajes transmitidos por parte de los oyentes.

b) En los pasillos:

Luego de realizarse varias pruebas en el software de simulación se encuentra que los parlantes más adecuados para los pasillos del edificio A McGregor son los parlantes F-1522SC, alimentados con 70.7V y 1.5W. Se han utilizado 11 parlantes de este tipo, distribuidos uniformemente en el pasillo para obtener la mejor dispersión del sonido. (Para observar las simulaciones con los otros modelos de parlantes revisar el Anexo N° 6).

En la Figura 4.10 se muestra la respuesta en frecuencia del punto central entre 2 parlantes en uno de los pasillos del edificio A – McGregor, con los parlantes F-1522SC mientras que en la Figura 4.11, se muestra la dispersión del sonido en el ambiente. Ambos gráficos han sido obtenidos del software de simulación.

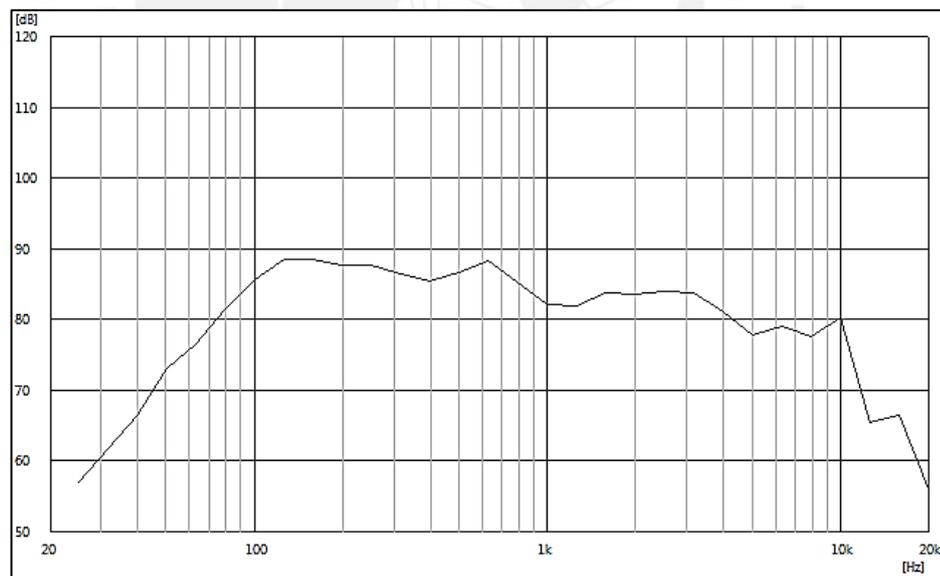


Figura 4.10: Respuesta en frecuencia del punto central entre 2 parlantes en uno de los pasillos del edificio A – McGregor.

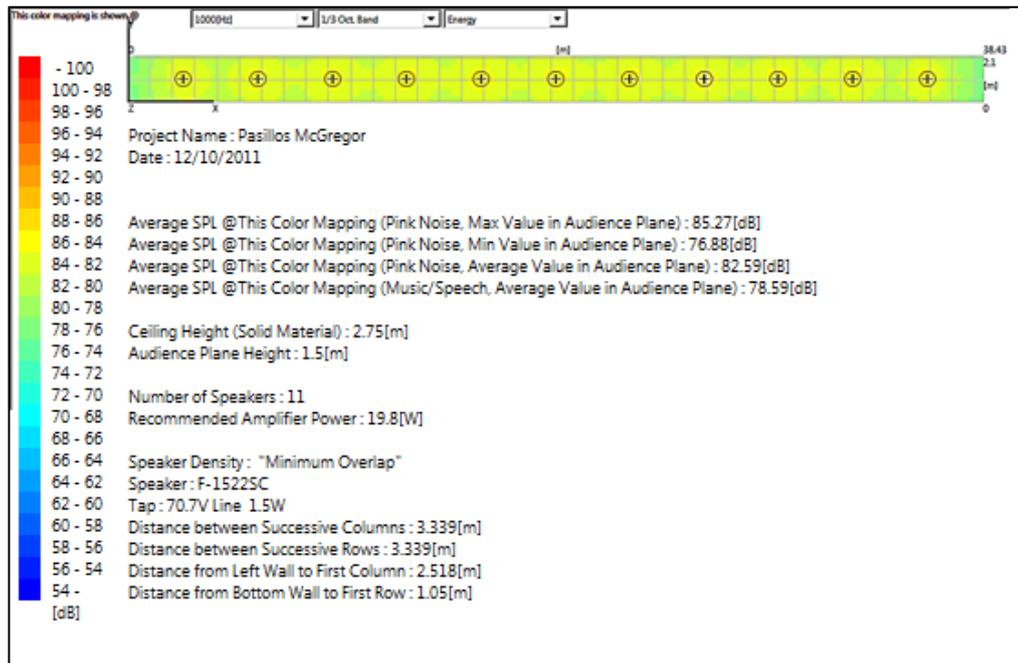


Figura 4.11: Dispersión del sonido en el pasillo del edificio estudiado.

Al igual que en el caso de las aulas, se puede apreciar que con los parlantes elegidos se obtiene una distribución de sonido adecuada a lo largo del pasillo, con lo cual se garantiza que los niveles de presión sonora sean uniformes en el ambiente. Para complementar el estudio se analizará el nivel de inteligibilidad de la palabra para garantizar la percepción.

Utilizando la Ecuación (7):

$$\%ALCons = \frac{200r^2 \cdot RT^2 \cdot (1+n)}{V \cdot Q \cdot M} + K$$

Los valores a reemplazar son los siguientes:

- $r \approx 2.63m$, porque es la distancia entre el parlante más cercano a un oyente que se encuentre en la esquina de la habitación (peor de los casos).
- $RT = 0.3087s$, valor obtenido en el capítulo 4.3.2, acápite b).
- $1+n$, se considerará que aproximadamente 2 parlantes tienen efecto directo sobre una persona (debido a que el ángulo de cobertura de cada parlante es de 160°).
- $V = 38.95m \cdot 2.2m \cdot 3.35m = 287.06m^3$, es el volumen de cada pasillo del edificio estudiado.

- $M = 1$, se asume este valor por ser una práctica conservadora.
- $Q = 2.6$, es el factor de directividad promedio de los parlantes elegidos, entre las bandas de 500Hz - 2Khz (banda principal de los componentes de frecuencia de la voz humana). Estos valores se han obtenido de la hoja técnica del parlante F-1522SC (Ver Anexo N° 7).
- $K = 2$, se asume este valor por considerarse la presencia de buenos oyentes en el edificio (personas con buen oído).

Reemplazando con los valores mencionados anteriormente obtenemos:

$$\%ALCons = \frac{200 \cdot 2.63^2 \cdot 0.3087^2 \cdot 2}{287.06 \cdot 2.6 \cdot 1} + 2 = 2.35\%$$

Al igual que en el caso anterior este valor cumple con los requerimientos de diseño planteados, por lo tanto se garantiza la correcta percepción de los mensajes de voz.

c) En el hall de ascensores del edificio

Se realizaron algunas pruebas en el software de simulación para obtener la mejor distribución de parlantes posibles para el ambiente del hall de ascensores en el edificio A – McGregor. De dichas pruebas se ha podido concluir que los parlantes más adecuados para este ambiente son los parlantes F-1522SC, alimentados con 70.7V y el tab situado en 1.5W. (Para observar las simulaciones con los otros modelos de parlantes revisar el Anexo N° 6).

En la Figura 4.12 se muestra la respuesta en frecuencia de un punto central en el hall de ascensores de uno de los pisos edificio A – McGregor, con los parlantes escogidos. En tanto, la Figura 4.13 muestra la dispersión del sonido en el ambiente. Ambos gráficos han sido obtenidos del software de simulación.

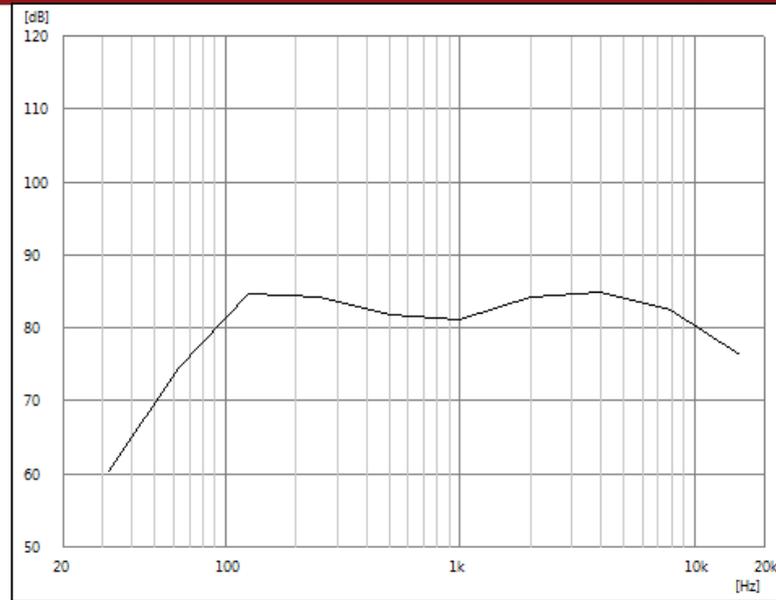


Figura 4.12: Respuesta en frecuencia de un punto en el hall de ascensores en el edificio A – McGregor.

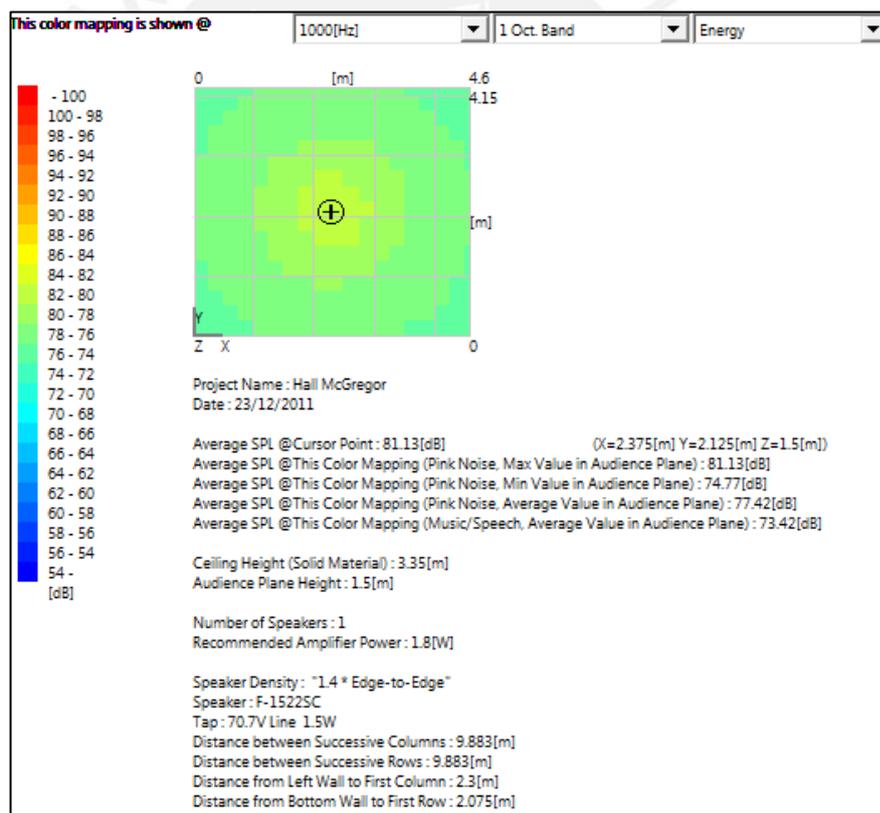


Figura 4.13: Dispersión del sonido en el hall del edificio estudiado.

Dada las dimensiones del ambiente del hall, se ha utilizado únicamente 1 parlante para cubrir el área, el cual se ha colocado en el punto central del hall para obtener la mejor dispersión del sonido.

Se puede apreciar que con los parlantes elegidos se obtiene una distribución de sonido uniforme en todo el ambiente. Para complementar el estudio se analizará el nivel de inteligibilidad de la palabra para garantizar la percepción de los mensajes.

Utilizando la Ecuación (7):

$$\%ALCons = \frac{200r^2 \cdot RT^2 \cdot (1+n)}{V \cdot Q \cdot M} + K$$

Los valores a reemplazar son los siguientes:

- $r \approx 3.19m$, porque es la distancia entre el parlante más cercano a un oyente que se encuentre en la esquina de la habitación (peor de los casos).
- $RT = 0.6803s$, valor obtenido en el capítulo 4.3.2, acápite c).
- $1+n$, se considerará que solamente 1 parlante tiene efecto directo sobre una persona (debido a que sólo se ha ubicado un parlante en el ambiente).
- $V = 4.6m \cdot 4.15m \cdot 3.35m = 63.95m^3$, es el volumen del hall del edificio en cada piso.
- $M = 1$, se asume este valor por ser una práctica conservadora.
- $Q = 2.6$, es el factor de directividad promedio de los parlantes elegidos, entre las bandas de 500Hz - 2Khz (banda principal de los componentes de frecuencia de la voz humana). Estos valores se han obtenido de la hoja técnica del parlante F-1522SC (Ver Anexo N° 7).
- $K = 2$, se asume este valor por considerarse la presencia de buenos oyentes en el edificio (personas con buen oído).

Reemplazando con los valores mencionados anteriormente obtenemos:

$$\%ALCons = \frac{200 \cdot 3.19^2 \cdot 0.6803^2 \cdot 1}{63.95 \cdot 2.6 \cdot 1} + 2 = 7.66\%$$

El valor alcanzado cumple con los requerimientos de diseño planteados, con lo cual se garantiza la correcta percepción de los mensajes que se enviarán a través de los parlantes.

d) En los corredores de ingreso a los baños

Análogamente a lo realizado anteriormente, se han realizado simulaciones utilizando el TOA SPV para encontrar la distribución de parlantes más adecuada para los corredores de ingreso a los baños de cada piso del edificio A – McGregor. En este caso, los parlantes F-1522SC, alimentados con 70.7V y el tab situado en 1.5W son los más adecuados para el ambiente estudiado. Se han utilizado 2 parlantes de este tipo, distribuidos uniformemente en el corredor para lograr la mejor distribución del sonido.

En la Figura 4.14 se muestra la respuesta en frecuencia del punto central entre 2 parlantes en uno de los corredores de entrada a los baños del edificio A – McGregor, con los parlantes F-1522SC mientras que en la Figura 4.15, se muestra la dispersión del sonido en el ambiente. Ambos gráficos han sido obtenidos del software de simulación.

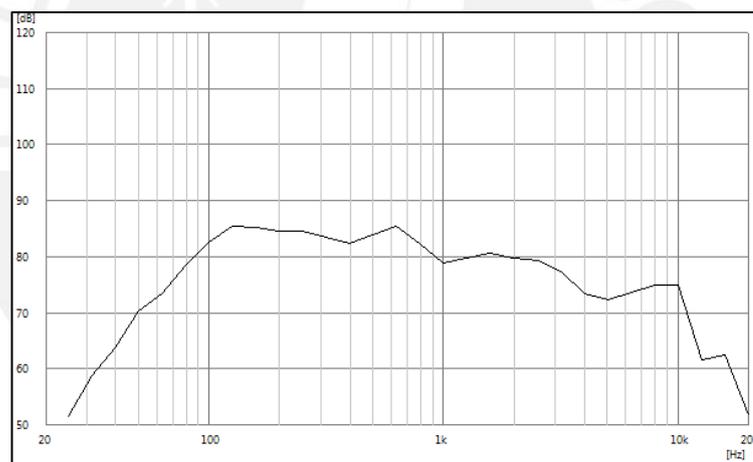


Figura 4.14: Respuesta en frecuencia del punto central entre 2 parlantes en uno de los corredores de entrada a los baños del edificio A – McGregor.

Analizando las Figuras 4.14 y 4.15 se puede apreciar que con los parlantes elegidos se obtiene una distribución de sonido adecuada a lo largo del corredor, con lo cual se garantiza que los niveles de presión sonora sean uniformes en el ambiente. Para complementar el estudio se analizará el nivel de inteligibilidad de la palabra para garantizar la percepción.

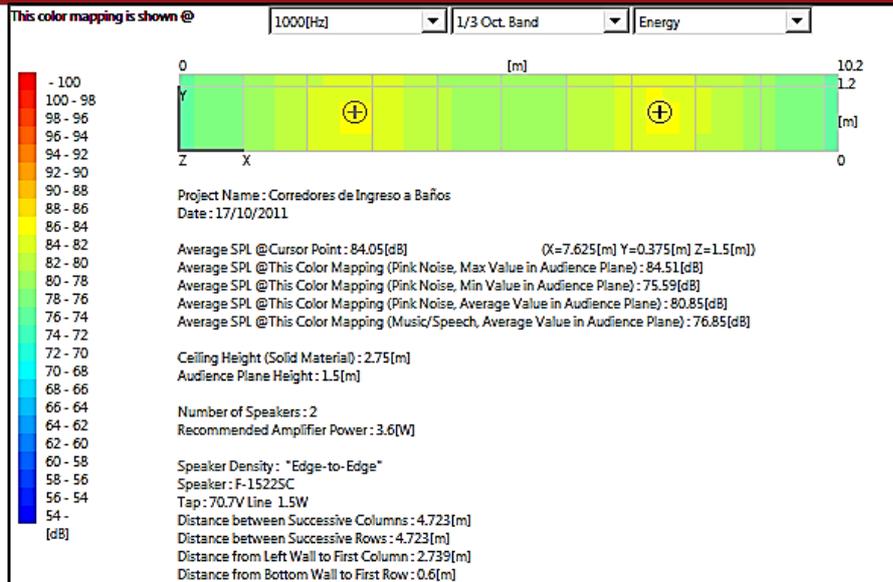


Figura 4.15: *Dispersión del sonido en unos de los corredores de entrada a los baños del edificio.*

Utilizando la Ecuación (7):

$$\%ALCons = \frac{200r^2 \cdot RT^2 \cdot (1+n)}{V \cdot Q \cdot M} + K$$

Los valores a reemplazar son los siguientes:

- $r \approx 2.69m$, porque es la distancia entre el parlante más cercano a un oyente que se encuentre en la esquina de la habitación (peor de los casos).
- $RT = 0.4218$, valor obtenido en el capítulo 4.3.2, acápite d).
- $1+n$, se considerará que aproximadamente 2 parlantes tienen efecto directo sobre una persona (debido a que el ángulo de cobertura de cada parlante es de 160°).
- $V = 10.20m \cdot 1.20m \cdot 2.75m = 33.66m^3$, es el volumen de cada corredor de entrada a los baños del edificio estudiado.
- $M = 1$, se asume este valor por ser una práctica conservadora.
- $Q = 2.6$, es el factor de directividad promedio de los parlantes elegidos, entre las bandas de 500Hz - 2Khz (banda principal de los componentes de frecuencia de la voz humana). Estos valores se han obtenido de la hoja técnica del parlante F-1522SC (Ver Anexo N° 7).
- $K = 2$, se asume este valor por considerarse la presencia de buenos oyentes en el edificio (personas con buen oído).

Reemplazando con los valores mencionados anteriormente obtenemos:

$$\%ALCons = \frac{200 \cdot 2.69^2 \cdot 0.4218^2 \cdot 2}{33.66 \cdot 2.6 \cdot 1} + 2 = 7.88\%$$

Al igual que en el caso anterior este valor cumple con los requerimientos de diseño planteados, por lo tanto se garantiza la correcta percepción de los mensajes de voz.

e) En la cafetería del 5to piso:

También se han realizado simulaciones para encontrar la distribución de parlantes más adecuada para la cafetería ubicada en el 5to piso del edificio A – McGregor. En este caso, los parlantes F-1522SC, alimentados con 70.7V y el tab situado en 1.5W son los más adecuados para el ambiente estudiado. Se han utilizado 4 parlantes de este tipo, distribuidos uniformemente para lograr la mejor distribución del sonido.

En la Figura 4.16 se muestra la respuesta en frecuencia del punto central entre 2 parlantes de la cafetería del edificio A – McGregor, con los parlantes F-1522SC mientras que en la Figura 4.17, se muestra la dispersión del sonido en el ambiente. Ambos gráficos han sido obtenidos del software de simulación.

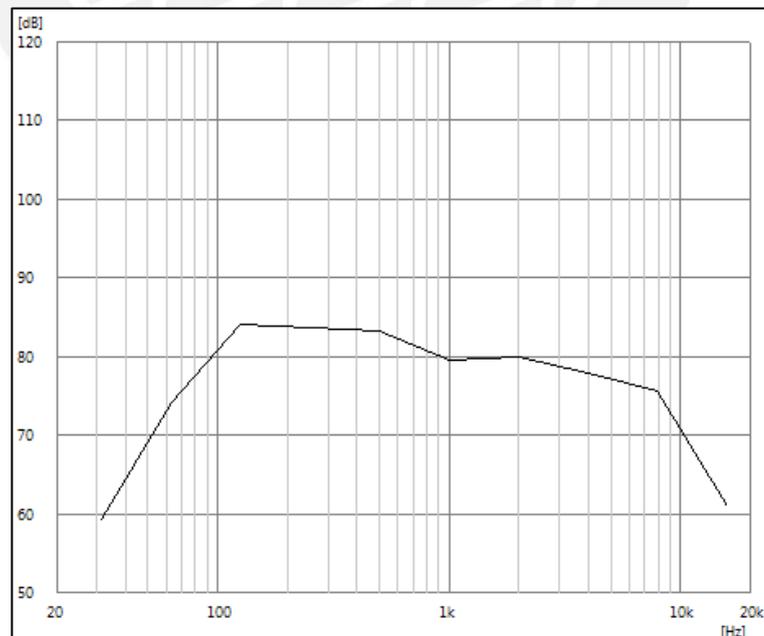


Figura 4.16: Respuesta en frecuencia del punto central entre 2 parlantes en la cafetería del edificio A – McGregor.

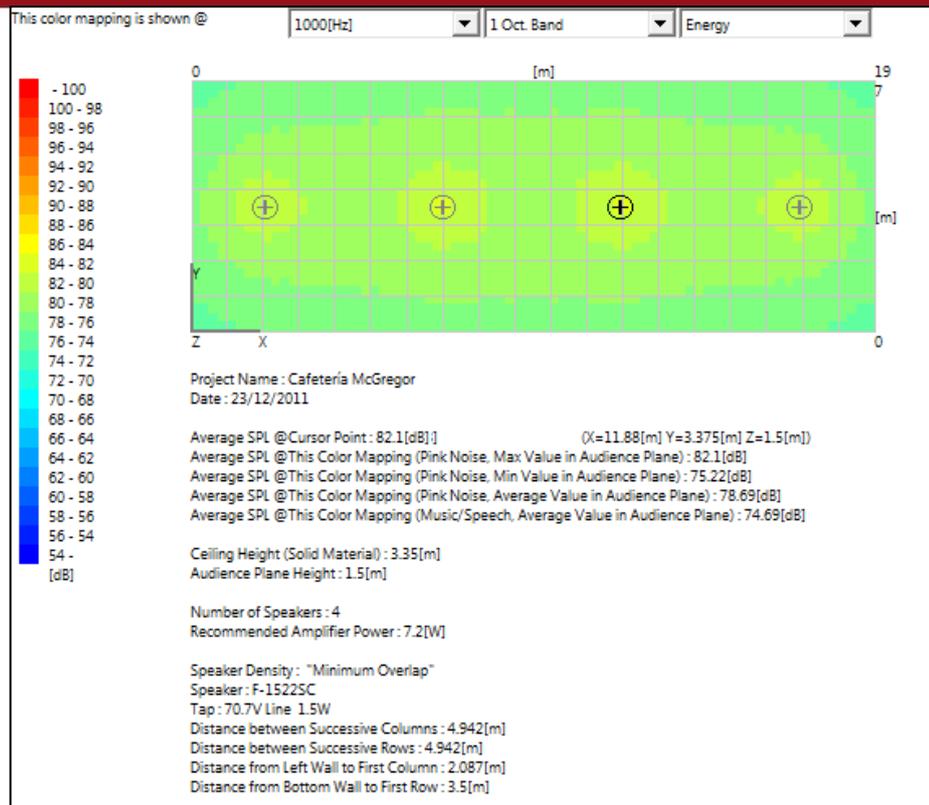


Figura 4.17: Dispersión del sonido en la cafetería del edificio.

Se puede apreciar que con los parlantes elegidos se obtiene una distribución de sonido uniforme en todo el ambiente. Para complementar el estudio se analizará el nivel de inteligibilidad de la palabra para garantizar la percepción de los mensajes.

Utilizando la Ecuación (7):

$$\%ALCons = \frac{200r^2 \cdot RT^2 \cdot (1+n)}{V \cdot Q \cdot M} + K$$

Los valores a reemplazar son los siguientes:

- $r \approx 3.86m$, porque es la distancia entre el parlante más cercano a un oyente que se encuentre en la esquina de la cafetería (peor de los casos).
- $RT = 2.165$, valor obtenido en el capítulo 4.3.2, acápite e).
- $1+n$, se considerará que 2 parlantes tienen efecto directo sobre una persona (debido a que el ángulo de cobertura de cada parlante es de 160°).
- $V = 19m \cdot 7m \cdot 3.35m = 445.55m^3$, es el volumen de la cafetería.
- $M = 1$, se asume este valor por ser una práctica conservadora.

- $Q = 2.6$, es el factor de directividad promedio de los parlantes elegidos, entre las bandas de 500Hz - 2Khz (banda principal de los componentes de frecuencia de la voz humana). Estos valores se han obtenido de la hoja técnica del parlante F-1522SC (Ver Anexo N° 7).
- $K = 2$, se asume este valor por considerarse la presencia de buenos oyentes en el edificio (personas con buen oído).

Reemplazando con los valores mencionados anteriormente obtenemos:

$$\%ALCons = \frac{200 \cdot 3.86^2 \cdot 2.165^2 \cdot 2}{445.55 \cdot 2.6 \cdot 1} + 2 = 26.12\%$$

Observamos que este valor, si bien no es el óptimo, aún cumple con los requerimientos de diseño planteados, por lo tanto se garantiza la correcta percepción de los mensajes de voz.

4.7 Elección del sistema de amplificación

Para la elección del sistema de amplificación adecuado se sigue el método recomendado por la compañía TOA Electronics:

Una vez elegidos los parlantes, la cantidad necesaria de los mismos para cubrir el sector designado y la potencia de cada uno de ellos (según el software de simulación) se elige un transformador que por lo menos pueda brindar la potencia necesaria para cada parlante. Para los parlantes elegidos el transformador adecuado es el de 1.5W (el cual es regulable a ciertos valores descritos en la hoja técnica). Luego de ello se suman las potencias parciales de cada transformador y el resultado se multiplica por un factor de reserva de 1.25. El amplificador recomendado debe ser capaz de proporcionar este valor de potencia.

El software de simulación TOA Speaker Placement Viewer también nos muestra el valor de potencia del amplificador recomendado para cada diseño y distribución de parlantes en una zona, resumiendo:

- Para la distribución de dispositivos de notificación en las aulas, el software recomienda un amplificador de 16.2 W. (Figura 4.9)

- Para la distribución de dispositivos de notificación en los pasillos, el software recomienda un amplificador de 19.8 W. (Figura 4.11)
- Para la distribución de dispositivos de notificación en el hall del edificio, el software recomienda un amplificador de 1.8 W. (Figura 4.13)
- Para la distribución de dispositivos de notificación en los corredores de entrada a los baños, el software recomienda un amplificador de 3.6 W. (Figura 4.15)
- Para la distribución de dispositivos de notificación en la cafetería, el software recomienda un amplificador de 7.2 W. (Figura 4.17)

Para el presente diseño se considerará la presencia de un amplificador por piso en los pisos 1, 2, 3 y 4 (que incluirá la distribución de parlantes en 4 aulas, 1 pasillo, 1 hall y 1 corredor de entrada a baños). La suma parcial en potencia de los parlantes de cada piso nos permitirá elegir el amplificador adecuado a instalar, en este caso, para los primeros pisos es: 4 x 16.2 W (para las aulas) + 1 x 19.8 W (para el pasillo) + 1 x 3.6 W (para el corredor de entrada a los baños) + 1 x 1.8 W (para el hall). Para el 5to piso sería: 2 x 16.2 W (para las aulas) + 1 x 19.8 W (para el pasillo) + 1 x 3.6 W (para el corredor de entrada a los baños) + 1 x 1.8 W (para el hall) + 1 x 7.2 W (para la cafetería).

A partir de los parámetros mostrados, se determina la necesidad de contar con amplificadores de aproximadamente 100 W para cada piso del edificio. En total serían 5 amplificadores en todo el edificio.

Para la elección del tipo de amplificadores se tiene que tener en cuenta que estos brinden como mínimo 90 W. El valor de potencia más cercano que admiten como máximo los amplificadores de la compañía TOA Electronics es de 120W. Además se tiene que tener en cuenta que la entrada de los amplificadores serán las señales de audio emitidas por una computadora.

En la Tabla 4.9 se presenta una comparación entre diversos tipos de amplificadores de la compañía.

De acuerdo con las características mostradas en la Tabla, se utilizarán amplificadores de la serie 900 de la compañía TOA Electronics [27], los cuales presentan las características técnicas que se requieren para este caso y pueden ser utilizados en aplicaciones similares a la estudiada. Como se puede apreciar los

amplificadores de la serie mencionada pueden brindar hasta 120 W, a diferencia de los demás tipos de amplificadores.

Según las hojas técnicas de los amplificadores de esta serie se determina que el tipo de amplificadores más adecuado para este caso es el A-912-MK2. Para mayor información sobre las características principales de este tipo de amplificadores revisar el Anexo N° 8.

La ubicación de los amplificadores sería en el cuarto de comunicación de cada piso del edificio. El plano de distribución de los parlantes y amplificadores en los diversos ambientes del edificio estudiado se podrá visualizar en el Anexo N° 9.

Tabla 4.9: Comparación entre los principales amplificadores de la compañía TOA Electronics [27].

Model	Description	Power	Total Inputs	Input Types	Output Channels	Main Output Type
A-706	Mixer/Amplifier	60 W	9	1 Module Port, 6 Bal. Mic/Line (Rem. Term. Btk), 2 Unbal.	1	4 Ω, 25 V, 70.7 V, Record (Unbal. Line)
A-712	Mixer/Amplifier	120 W	*	*	*	*
A-724	Mixer/Amplifier	240 W	*	*	*	*
A-503A	Mixer/Amplifier	30 W	6	2 Bal. Mic (expandable to 4), 1 Unbal. Mic/Phono, 1 Unbal. Mic/Line, 2 Unbal.	1	4 Ω, 25 V, 70.7 V, Record (Unbal. Line)
A-506A	Mixer/Amplifier	60 W	*	*	*	*
A-512A	Mixer/Amplifier	120 W	*	*	*	*
A-901A	Mixer/Amplifier	10 W	3	2 Module Ports, 1 Unbal. Line (single RCA)	1	4 / 8 Ω, 25 V, 70.7 V, Aux (Unbal. Line)
A-903MK2	Mixer/Amplifier	30 W	8	8 Module Ports	1	4 / 8 Ω, 25 V, 70.7 V, Aux (Unbal. Line)
A-906MK2	Mixer/Amplifier	60 W	*	*	*	*
A-912MK2	Mixer/Amplifier	120 W	*	*	*	*
BG-1015	Mixer/Amplifier	15 W + 1 W	5	1 Module Port, 1 Bal. Mic, 1 Transformer-Bal. Line, 1 Active-Bal. Line, 1 Unbal. (Dual RCA)	1 Main, 1 MOH	4 Ω, 25 V, 70.7 V
BG-1030	Mixer/Amplifier	30 W + 1 W	*	*	*	*
BG-1060	Mixer/Amplifier	60 W + 1 W	*	*	*	*
BG-1120	Mixer/Amplifier	120 W + 1 W	*	*	*	*
BG-115	Mixer/Amplifier	15 W	3	1 Transformer-Bal. Mic/Line, 1 Active-Bal. Line, 1 Unbal. (Dual RCA)	1 Main, 1 MOH	4 Ω, 25 V, 70.7 V
BG-130	Mixer/Amplifier	30 W	*	*	*	*
CA-115	Mobile Mixer/Amplifier	15 W	3	2 Lo-Z Unbal. Mic, 1 Bal. Line	1	4 / 8 Ω
CA-130	Mobile Mixer/Amplifier	30 W	*	*	*	*
CA-160	Mobile Mixer/Amplifier	60 W	*	*	*	*
IP-300D	Power Amplifier	300 W/Ch. @ 4 Ω 200 W/Ch. @ 8 Ω 600 W Mono @ 8 Ω	2	1 Bal. Line per channel (Screw terminats, Female XLR, Male XLR)	2	4 / 8 Ω, optional 25/70.7 V using MT-300M
IP-450D	Power Amplifier	450 W/Ch. @ 4 Ω 300 W/Ch. @ 8 Ω 900 W Mono @ 8 Ω	*	*	*	4 / 8 Ω, optional 25/70.7 V using MT-450M
IP-600D	Power Amplifier	600 W/Ch. @ 4 Ω 400 W/Ch. @ 8 Ω 1200 W Mono @ 8 Ω	*	1 Bal. Line per channel (Female XLR, Male XLR, Screw terminats)	*	4 / 8 Ω, optional 25/70.7 V using MT-600M
P-906MK2	Power Amplifier	60 W	1	1 Module Port	1	4 / 8 Ω, 25 V, 70.7 V
P-912MK2	Power Amplifier	120 W	*	*	*	*
P-924MK2	Power Amplifier	240 W at 4 or 8 Ω, 220 W at 25 or 70.7 V	*	*	*	*
W-906A	In-Wall Mixer/Amplifier	60 W	6/8	6 Module Ports, Expandable to 8 Ports w/ WE-2	1	4 / 8 Ω, 25 V, 70.7 V
W-912A	In-Wall Mixer/Amplifier	120 W	*	*	*	*

4.8 Elección del cableado entre el amplificador y los parlantes

Para la instalación propuesta se considera que los parlantes presentan líneas de transformador, las cuales permiten el uso de cables más delgados que en instalaciones de conexión directa. Como se mencionó en el capítulo anterior, esto significa que se puede utilizar un cable más delgado o bien llevar grandes longitudes de cable sin que se afecte significativamente el rendimiento del amplificador.

Observando la distribución del cableado en el Anexo N° 9, la máxima longitud de cable, en el peor de los casos será de aproximadamente 4.5 metros. Dado esto, y utilizando los valores mostrados en la Tabla 3.2, se pueden utilizar cables N° 20 AWG, ya que son cables comerciales y económicos, que adicionalmente no presentan una alta impedancia en comparación con los dispositivos que conectarán.

Adicionalmente, de lo observado en el plano de distribución del cableado eléctrico desde el amplificador hacia los parlantes, se considerará un metrado de aproximadamente 30 metros de cable por aula, 15 metros para llegar hasta el corredor de entrada a los baños, 50 metros para cubrir todo el pasadizo y 10 metros para el dispositivo ubicado en el hall del ascensor. Por consiguiente, de acuerdo con el cálculo realizado se necesitarían aproximadamente 200 metros de cable por cada piso del edificio, considerando la reserva.

4.9 Elección del sistema de alimentación eléctrica ininterrumpida

Según las recomendaciones detalladas en el capítulo 3.3.5 para el diseño del sistema eléctrico de alimentación ininterrumpida se debe considerar, en primer lugar, la potencia que consumirá el sistema a proteger, en este caso, el sistema de notificación, que consta de los amplificadores y parlantes distribuidos en todo el edificio.

De acuerdo con las características propias de los equipos propuestos y las cantidades de cada uno, obtenemos la potencia total que consumirá el sistema de perifoneo, en este caso 18.1 KW aproximadamente. (Para observar el detalle completo revisar el Anexo N° 10).

Considerando este valor de potencia activa consumida por el sistema (en caso de activación total) se calcula la potencia aparente que deberá poder proveer el UPS necesario considerando un factor de potencia de 0.8 (común en estos elementos) y teniendo en cuenta un factor de reserva de 1.2 para crecimiento del sistema.

Es de esta manera que se llega al siguiente valor de potencia que debería entregar el UPS: $18.1 * 1.2 / 0.8 = 27.15 \text{ KVA}$. En este caso se solicitará cotizar un UPS de 30 KVA, valor comercial para uno de estos equipos.

Por otro lado, se utilizará la topología On-Line para UPS, de manera que cualquier corte o microcorte queda respaldado por las baterías durante 15 minutos, según las recomendaciones del código NFPA 72, para poder alertar a los ocupantes del edificio en caso de un incendio.

4.10 Costos de implementación del sistema de perifoneo

Como se mencionó desde un inicio, el tema económico es muy importante para la viabilidad de la implementación del sistema de perifoneo propuesto en la presente tesis. Es por ello que se ha solicitado cotización a una empresa privada, CIME Comercial, por la compra de los materiales y equipos necesarios y por el servicio de instalación de los mismos en el edificio estudiado. La cotización detallada se muestra en el Anexo N° 11.

Tal como se ha podido observar, la cotización global asciende aproximadamente a \$60,000, valor que debe ser considerado para la implementación del sistema en caso las autoridades competentes de la institución lo requieran.

CONCLUSIONES

- 1) El estudio realizado demuestra que los sistemas de notificación mediante perifoneo presentan ventajas significativas en comparación con los tradicionales sistemas de aviso a través de sirenas. La principal es su capacidad de brindar mayor información de los detalles de un evento, con lo cual se puede controlar el comportamiento y moderar las diversas reacciones de los ocupantes del edificio estudiado en caso de una emergencia.
- 2) La forma más conveniente de transmisión de información a las personas en un sistema de perifoneo para un edificio de mediana altura en caso de emergencia es a través de mensajes pregrabados en una computadora, ya que presenta grandes ventajas sobre la opción de enviar los mensajes a través de una persona transmitiéndolos directamente.
- 3) Se ha comprobado que la correcta distribución de parlantes en toda el área de cobertura, tomando en cuenta parámetros acústicos básicos como la inteligibilidad de la palabra, presión sonora y tiempo de reverberación, garantiza que los mensajes transmitidos llegarán de manera clara a los oyentes que se encuentren presentes en el Edificio A McGregor, de modo que estos puedan actuar de la manera que se indique en los mensajes de voz en caso de una eventual emergencia.
- 4) Se concluye que el diseño del sistema de perifoneo en caso de emergencia, aplicable al Edificio A McGregor planteado en la presente tesis cumple con los parámetros acústicos necesarios para garantizar la correcta recepción de los mensajes enviados automáticamente hacia los oyentes y su implementación es físicamente posible y económicamente viable.

RECOMENDACIONES

- 1) Se debe considerar que la selección de los equipos de audio y de cada componente del sistema en general, ha sido realizada en base a la tecnología existente en la actualidad, sin embargo, en el futuro este trabajo puede ser perfectible debido a las mejoras tecnológicas que aparecen con el transcurso de los años, es por ello que se recomienda que para futuras investigaciones sobre el tema desarrollado se investiguen las nuevas opciones en los equipos a seleccionar, de esta manera podrían obtenerse mejores resultados y garantizar aún más la seguridad en las personas en caso de alguna emergencia en un edificio de mediana altura.
- 2) Ya que se ha demostrado que el diseño del sistema de perifoneo desarrollado cumple la función esperada y se han presentado los costos de implementación de la solución global, se recomienda que las autoridades competentes de la PUCP evalúen la opción de instalarlo en el futuro cercano, con la finalidad de garantizar aún más la seguridad para sus estudiantes.
- 3) Si se decide implementar el sistema diseñado es muy importante que la instalación de los equipos se haga por profesionales técnicos especializados, ya que de no ser así el sistema podría actuar de una manera no deseada, principalmente en lo que respecta a la claridad en la recepción de los mensajes.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] REPORTE INMOBILIARIO, Octubre 2009. [En línea]. Disponible: <http://www.reporteinmobiliario.com/nuke/article88-clasificacion-de-oficinas.html>.
- [2] MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, 2006. [En línea]. Disponible: <http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dge/publicaciones/compendio/secciones/Secci%C3%B3n%20240%20-%20Sistemas%20de%20emergencia.doc>.
- [3] ICE SEGURIDAD S.L, 2007. [En línea]. Disponible: <http://www.iceseguridad.com/mto.htm>.
- [4] REVISTA NEGOCIOS DE SEGURIDAD, 2008. [En línea]. Disponible: http://www.rnds.com.ar/articulos/036/RNDS_176.pdf.
- [5] Instituto Nacional de Defensa Civil, 2012. [En línea]. Disponible: <http://www.indeci.gob.pe>.
- [6] D. Clements-Croome, Intelligent Buildings. Design, management and operation, Londres: Thomas Telford., 2004.
- [7] L. Byrne, Forethought: Britain in 2020, Londres: Social Market Foundation, 2003.
- [8] PCE GROUP, 2008. [En línea]. Disponible: <http://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/medidores/detectores-de-gas-vision-general-c.htm>.
- [9] FIRE & SECURITY SYSTEMS, 2008. [En línea]. Disponible: <http://www.firesecurityperu.com/porifoneo.htm>.
- [10] LA-FORTALEZA.COM, 2008. [En línea]. Disponible: <http://www.la-fortaleza.com/incendio.htm>.
- [11] A. E. Cote, 18va ed., N. F. P. Association, Ed., 1997.
- [12] P. Rosemberg, 2000. [En línea]. Disponible: http://ecmweb.com/mag/electric_facility_security_voice/. [Último acceso: 23 Setiembre 2010].
- [13] WIRELESS NEWS, «Calit2 Unveils Wearable Communication System that Aids Emergency Response,» *Wireless News*, p. 1, 20 Julio 2006.
- [14] NFPA, NFPA 72: National Fire Alarm Code, 2007.
- [15] A. Carrión Isbert, Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos, Barcelona: Edicions UPC, 1998.

- [16] F. Miyara, *Acústica y Sistemas de Sonido*, 3ra. ed., Argentina: UNR Editora, 2003.
- [17] J. Sommerhoff y C. Rosas, 2008. [En línea]. Disponible: http://www.sea-acustica.es/Buenos_Aires_2008/a-194.pdf.
- [18] SENGPIELAUDIO, 2008. [En línea]. Disponible: <http://www.sengpielaudio.com/calculator-ALcons-STI.htm>.
- [19] ELECTRONICA2000, 2008. [En línea]. Disponible: <http://www.electronica2000.com/amplificadores/amplif.htm>.
- [20] TOA ELECTRONICS INC., 2008. [En línea]. Disponible: http://www.toaelectronics.com/manuals/TOA_Amplifier_Guide.pdf.
- [21] E. Winer, «Audiophoolery,» *Skeptic*, 06 Enero 2010.
- [22] DOCTOR PRO AUDIO, 2011. [En línea]. Disponible: <http://www.doctorproaudio.com/doctor/temas/cable.htm>.
- [23] Belaunde-Reiser Arquitectos, *Planta General 1er Nivel Edificio A,B,C*, Lima, Lima, 2007.
- [24] R. Schifiliti, «¿Puedes oirme (y entenderme) ahora?,» *NFPA Journal Latinoamericano*, 2011.
- [25] DENKY AUDIOPRO, 2011. [En línea]. Disponible: <http://www.denky.com>.
- [26] TOA ELECTRONICS INC., 2008. [En línea]. Disponible: <http://www.toaelectronics.com>.
- [27] TOA ELECTRONICS INC., 2008. [En línea]. Disponible: <http://www.toaelectronics.com/amp0001.asp>.