

ANEJO 6

CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

ÍNDICE

1.	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	4
2.	ESTUDIO DE COBERTURA DE RADIOCOMUNICACIONES TETRA	5
2.1.	CRITERIOS DE DISEÑO	5
2.2.	PARÁMETROS DE POTENCIA DE DISPOSITIVOS.....	5
2.3.	UMBRALES MÍNIMOS DE POTENCIA	5
2.4.	PROPAGACIÓN DE ONDAS EN ESPACIO LIBRE	5
2.5.	PROPAGACIÓN EN INTERIORES.....	7
2.6.	REQUERIMIENTOS DE ZONAS CUBIERTAS Y NIVELES DE POTENCIA.....	7
3.	SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE CCTV.....	10
3.1.	CRITERIOS DE DIMENSIONAMIENTO.....	10
3.2.	ANCHO DE BANDA ESTIMADO POR CÁMARA	10
3.3.	NÚMERO DE CÁMARAS POR UBICACIÓN.....	10
3.3.1.	CÁLCULO JUSTIFICATIVO GRABADORES.....	11
4.	SISTEMA DE MEGAFONÍA.....	13
4.1.	INTRODUCCIÓN	13
4.2.	CONSIDERACIONES ACÚSTICAS.....	13
4.2.1.	CÁLCULO DEL NIVEL DE PRESIÓN SONORA (SPL).....	13
4.2.2.	RELACIÓN SEÑAL / RUIDO (S/N).....	14
4.2.3.	ÁNGULOS DE COBERTURA.....	14
4.2.4.	CÁLCULO DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN	14
4.2.5.	OBSERVACIONES DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN.....	15
4.2.6.	DISTANCIA CRÍTICA.....	15
4.2.7.	INTELIGIBILIDAD	16
4.3.	CONDICIONES DEL ESTUDIO.....	18
4.3.1.	CARACTERÍSTICAS DEL RECINTO.....	18
4.3.2.	VISTAS DEL RECINTO	18

4.3.3.	CONDICIONES ACÚSTICAS DEL RECINTO.....	19
4.3.4.	CARACTERÍSTICAS DE LAS COLUMNAS ACÚSTICAS P08.....	20
4.3.5.	SITUACIÓN DE LOS ALTAVOCES.....	21
4.4.	RESULTADOS DEL ESTUDIO ACÚSTICO.....	22
4.4.1.	NIVEL DE PRESIÓN SONORA DIRECTA (SPL _D).....	23
4.4.2.	NIVEL DE PRESIÓN SONORA TOTAL (SPL _T).	23
4.4.3.	NIVELES DE RUIDO.....	24
4.4.4.	INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA	25
4.4.5.	INTERPRETACIÓN DE LAS GRÁFICAS.....	26
4.5.	CONCLUSIONES.	26
4.5.1.	CONDICIONES DEL ESTUDIO.....	26
4.5.2.	NIVEL DE PRESIÓN SONORA.	27
4.5.3.	INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA.	27
4.5.4.	VALORACIÓN FINAL DE LOS RESULTADOS.	27

ILUSTRACIONES

Ilustración 1: *Vista interior del andén de la estación.* 19

Ilustración 2: *Vista exterior del andén de la estación.* 19

Ilustración 3: *Distribución de altavoces del andén de la estación.* 22

Ilustración 4: *Mapa de SPL directo a 1.000 Hz.* 23

Ilustración 5: *Mapa de SPL total a 1.000 Hz.*..... 24

Ilustración 6: *Mapa de inteligibilidad (STI).*..... 26

TABLAS

Tabla 1: *Tabla resumen de requerimientos de cobertura* 9

Tabla 2: *Tabla resumen dimensionamiento del almacenamiento sistema CCTV*..... 12

Tabla 3: *Pérdida de Articulación de Consonantes.* 17

Tabla 4: *Speech Transmission Index* 17

Tabla 5: *Tiempos de reverberación del andén en función de la frecuencia.*..... 20

Tabla 6: *Speech Transmission Index* 25

1. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

El objeto de este anejo es mostrar los cálculos justificativos del sistema de almacenamiento de CCTV, cobertura de radiocomunicaciones TETRA y sistema de megafonía. Estos sistemas están dentro del alcance de "PROYECTO DE COMUNICACIONES DE LA VARIANTE DEL TOPO".

2. ESTUDIO DE COBERTURA DE RADIOCOMUNICACIONES TETRA

A continuación se realiza el estudio de cobertura de radiocomunicaciones del sistema TETRA, el cual permite dar continuidad a los servicios a lo largo del tramo a construir que se extiende desde Lugaritz a la nueva estación de Easo, a través de un túnel de longitud aproximada 4.230 metros. La cobertura del servicio de comunicaciones TETRA se deberá mantener en niveles aceptables tanto a lo largo de la sección del túnel como en el interior y cuartos técnicos de las propias estaciones de Benta-Berri, Concha y Easo.

2.1. CRITERIOS DE DISEÑO

Los criterios de diseño principales a aplicar en la definición de la solución radio del tramo Lugaritz - Easo son los siguientes:

2.2. PARÁMETROS DE POTENCIA DE DISPOSITIVOS

Los parámetros teóricos empleados para los cálculos realizados son los siguientes:

- Potencia de salida fija de señal de la BTS de 40 dBm (10 W)
- Umbral de equipamiento móvil: -88,0 dBm
- Umbral para equipamiento portátil: -73,0 dBm
- Ganancia estimada de antenas: 2 Db

Se considera equipamiento móvil a las unidades de trenes que circulan por la vía, los cuales interactúan con la red TETRA a través del cable radiante instalado longitudinalmente a lo largo del eje de las vías.

Por otro lado, se consideran dispositivos portátiles los equipos de comunicación utilizados por personal de operación, que pueden requerir conectividad en las zonas y salas técnicas de la estación.

2.3. UMBRALES MÍNIMOS DE POTENCIA

El conjunto del sistema radio debe garantizar un nivel mínimo de señal en cada ubicación. Este nivel es distinto en función del tipo de terminal a emplear:

- Umbral de recepción en túnel: -88,0 dBm (umbral relativo a los terminales móviles embarcados)
- Umbral de recepción en estación: -73,0 dBm (umbral relativo a los terminales portátiles)

2.4. PROPAGACIÓN DE ONDAS EN ESPACIO LIBRE

El espacio libre puede ser considerado como vacío y no se consideran pérdidas. Cuando las ondas electromagnéticas se encuentran en el vacío, se llegan a dispersar y se reduce la

densidad de potencia lo que es llamado atenuación. La atenuación se presenta tanto en el espacio libre como en la atmosfera terrestre. La atmosfera terrestre no se considera vacío debido a que existen partículas que pueden absorber la energía electromagnética. A este tipo de reducción de potencia se le llama perdida por absorción, la cual no se presenta cuando las ondas viajan afuera de la atmosfera terrestre.

El modelo de propagación en el espacio libre predice que la potencia recibida decrece a media que la separación entre las antenas receptora y transmisora aumenta. La energía recibida en el espacio libre es función de la distancia y está dada por:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L}$$

La ecuación del espacio libre muestra que la potencia recibida decae al cuadrado de la distancia de separación entre las antenas. Esto implica que la potencia recibida decae con la distancia a medida de 20 dB / década.

Las pérdidas por trayectoria que representan la atenuación de la señal como una cantidad positiva medida en dB, son definidas como la diferencia en dB entre la potencia transmitida efectiva y la potencia recibida. Puede o no incluir el efecto de ganancia de las antenas, pero cuando la ganancia de las antenas es excluida, se asume que tiene ganancia unitaria y la ecuación se convierte en:

$$PL(dB) = 10 \log \frac{P_t}{P_r} = -10 \log \left[\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right]$$

Las ondas electromagnéticas son aquellas ondas que no necesitan un medio material para propagarse, incluyéndose entre otras, la luz visible y las ondas de radio, televisión y telefonía. La velocidad de la onda depende del medio por el que se propague (por donde viaje). Todas se propagan en el vacío a una velocidad constante, muy alta (300 0000 km/s) pero no infinita. Si la onda electromagnética viaja por el vacío su velocidad es igual a la de la luz 300.000Km/segundo. Sin embargo, si se propaga por el aire cambia, pero es prácticamente igual a la del vacío.

Por tanto, expresa en decibeles:

$$L_p(dB) = 20 \log (4\pi Df/c) = 20 \log(4\pi/c) + 20 \log (f) + 20 \log (D)$$

Cuando la frecuencia se expresa en MHz y la distancia en km

$$L_p(dB) = 32.4 + 20 \log f \text{ (MHz)} + 20 \log D \text{ (km)}$$

2.5. PROPAGACIÓN EN INTERIORES

Respecto a la propagación en interiores, atravesando la construcción de la propia estación no se ha tenido en cuenta, ya que las características de propagación para sistemas de comunicación dentro de construcciones son muy peculiares. Los resultados obtenidos para edificios similares pueden ser muy diferentes debido a variaciones en los factores de materiales, número de paredes, pisos, etc.

Las predicciones de propagación en interiores dependen principalmente de parámetros propios de la construcción que a menudo no están disponibles para el cálculo de los modelos, por lo que el uso exclusivo de modelos de propagación puede ser inadecuado. La señal que se simula a menudo encuentra muchos obstáculos provocando la existencia de reflexión, multitrayectoria y la falta de conocimiento de los coeficientes de difracción para muchas estructuras interiores.

Por tanto, para este proyecto se ha considerado la instalación de una antena omnidireccional en cada sala o zona a cubrir, evitando de este modo el cálculo de pérdidas por propagación en interior. Se estima que por los niveles de potencia obtenidos en las antenas la solución proyectada permitirá que las ondas electromagnéticas se propaguen a través de al menos 1 tabique de hormigón/ladrillo, permitiendo de este modo dotar de cobertura a salas técnicas colindantes a la sala donde esté ubicada cada antena.

2.6. REQUERIMIENTOS DE ZONAS CUBIERTAS Y NIVELES DE POTENCIA

A continuación se recogen los requerimientos de cobertura en las diferentes salas y zonas de las estaciones de Benta-Berri, Concha y Easo y el túnel correspondiente que une cada una de estas estaciones.

EMPLAZAMIENTO	COBERTURA TETRA	NIVEL MÍNIMO
Túnel	SÍ	-88 dBm
Andenes	SÍ	-73 dBm
PLANTA ANDENES		
Estación Benta_Berri		
Comunicaciones y Señalización	SÍ	-73 dBm
Baja Tensión 2	SÍ	-73 dBm
Filtros Biológicos	NO	
Pozo de Bombeo (Dir. Lugaritz)	NO	
C.T.	SÍ	-73 dBm
Baja Tensión	SÍ	-73 dBm
Seccionamiento Catenaria	SÍ	-73 dBm
Baja Tensión (Dir. Morlans))	NO	
Pozo de Bombeo (Dir. Morlans)	NO	
Estación Concha		
Comunicaciones y Señalización	SÍ	-73 dBm
Filtros Biológicos	NO	
Pozo de Bombeo (Dir. Lugaritz)	NO	
C.T.	SI	-73 dBm
Baja Tensión	SÍ	-73 dBm
Seccionamiento Catenaria	SÍ	-73 dBm
Baja Tensión (Dir. Morlans)	NO	
Pozo de Bombeo (Dir. Morlans)	NO	
Estación Easo		
Comunicaciones y Señalización	SI	-73 dBm
Filtros Biológicos	NO	
Pozo de Bombeo (Dir. Lugaritz)	NO	
C.T.	SI	-73 dBm
Baja Tensión	SI	-73 dBm
Seccionamiento Catenaria	SI	-73 dBm
Baja Tensión (Dir. Morlans)	NO	
Pozo de Bombeo (Dir. Morlans)	NO	
PLAZA MEZZANINA		
Estación Benta_Berri		
Técnico de Red	SI	-73 dBm
Aseos	NO	
Euskotren	SÍ	-73 dBm
Cuarto de limpieza	NO	
Auxiliar de Comunicaciones	SÍ	-73 dBm
Cuarto de Operadores	SÍ	-73 dBm
Disponible	NO	
Estación Concha		
Baja tensión 2	SÍ	-73 dBm

Aseos	NO	
Euskotren	SÍ	-73 dBm
Cuarto de limpieza	NO	
Auxiliar de Comunicaciones	SÍ	-73 dBm
Cuarto de Operadores	SÍ	-73 dBm
Estación Easo		
Técnico de Red	SÍ	-73 dBm
Aseos	NO	
Euskotren	SÍ	-73 dBm
Cuarto de limpieza	NO	
Auxiliar de Comunicaciones	SÍ	-73 dBm
Cuarto de Operadores	SÍ	-73 dBm
Bajo Tensión 2	SÍ	-73 dBm
Disponible		
CAÑONES		
Cañón 1	SÍ	-73 dBm
Cañón 2	SÍ	-73 dBm
(Concha) Cañón 3	SÍ	-73 dBm

Tabla 1: Tabla resumen de requerimientos de cobertura

3. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE CCTV

3.1. CRITERIOS DE DIMENSIONAMIENTO

En las nuevas estaciones de Benta-Berri, Concha y Easo, se dispondrá de un sistema de videovigilancia con capacidad para monitorizar el video en tiempo real tanto desde la propia estación como desde otras ubicaciones, tal como el Puesto de Mando de Amara.

Adicionalmente, en la Estación se dispondrá de un equipo que permita el almacenamiento de las imágenes obtenidas por las cámaras del CCTV. Concretamente, para el dimensionado de la capacidad de la unidad de videograbación, se han considerado las siguientes hipótesis de cálculo:

- Resoluciones utilizadas:
 - Flujo de vídeo en modo visualización cámara: 18 fps / 4CIF.
 - Flujo de vídeo en modo grabación cámara situación normal: 6 fps / H.264.
 - Flujo de vídeo en modo grabación cámara situación alarma: 24 fps / H.264.
- Tiempo promedio de grabación de imágenes: 24 horas / día.
- Tiempo de almacenamiento: 31 días.
- Índice grabación normal frente a situación alarma: 90% - 10%.
- Porcentaje de reserva en almacenamiento por redundancia: 25%.
- Porcentaje de reserva en almacenamiento por escalabilidad: 25%.

3.2. ANCHO DE BANDA ESTIMADO POR CÁMARA

Acorde a las hipótesis de cálculo anteriormente descritas, se establecen los siguientes anchos de banda estimados por cámara:

- Cámara en modo grabación normal: 1,2 Mbps.
- Cámara en modo grabación alarma: 3,6 Mbps.

3.3. NÚMERO DE CÁMARAS POR UBICACIÓN

En función de los planos analizados, se han establecido unos límites de números de cámaras para las estaciones de Benta-Berri, Concha y Easo:

Galería Avda Zarautz PK 0+900:

- Nº de cámaras proyectadas: 4 unidades.
- Nº máximo de cámaras (dimensionamiento máximo): 64 unidades.

Estación Benta-Berri:

- Nº de cámaras proyectadas: 25 unidades.
- Nº máximo de cámaras (dimensionamiento máximo): 64 unidades.

Galería Pío Baroja PK 2+100:

- Nº de cámaras proyectadas: 4 unidades.
- Nº máximo de cámaras (dimensionamiento máximo): 64 unidades.

Estación Concha:

- Nº de cámaras proyectadas: 29 unidades.
- Nº máximo de cámaras (dimensionamiento máximo): 64 unidades.

Estación Easo:

- Nº de cámaras proyectadas: 24 unidades.
- Nº máximo de cámaras (dimensionamiento máximo): 64 unidades.

3.3.1. CÁLCULO JUSTIFICATIVO GRABADORES

A partir de los criterios anteriores, la capacidad necesaria para almacenar 31 días por cámara será:

$$(1,2 \text{ Mbps} * 0,90 + 3,6 \text{ Mbps} * 0,1) * (1 \text{ byte} / 8 \text{ bits}) * (1.000.000 / \text{M}) * (60 \text{ seg} / \text{min}) * (60 \text{ min} / \text{hora}) * (24 \text{ horas} / \text{día}) * 30 \text{ días} * 1,25 = 583 \text{ Gbytes (aproximado)}$$

Por lo tanto:

- Para la galería de la Avda. Zarautz en el PK 0+900 con 4 cámaras: > 2,03Tbytes
- Para la estaciones de Benta-Berri con 25 cámaras: > 14,57 Tbytes.
- Para la galería de la Pío Baroja en el PK 2+100 con 4 cámaras: > 2,03Tbytes
- Para la estación de Concha con 29 cámaras: > 16,91 Tbytes.
- Para la estación de Easo con 24 cámaras: > 13,99 Tbytes.
- Para las estaciones de Benta-Berri, Concha y Easo con un máximo de 64 cámaras: > 48,21 Tbytes.

Se establece por tanto para las estaciones de Benta-Berri, Concha, Easo y las galerías de emergencia Avda Zarautz y Pío Baroja, un equipo dimensionado y equipado con capacidad de almacenamiento neta del videograbador de 30 TB en formación de array de disco en configuración RAID-5 para garantizar la redundancia y seguridad de la información.

CÁLCULO DE CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE VÍDEO IP				
Flujo de vídeo (convencional)	1,2	Mbps	90	% de uso
Flujo de vídeo (excepcional)	3,6	Mbps	10	% de uso
Días de Almacenamiento	31	Días		
Tiempo de grabación	24	Horas/día		
Reserva redundancia	25	%		
Reserva estabilidad	25	%		
GALERÍA AVDA ZARAUTZ PK 0+900			CAPACIDAD	
Nº de Cámaras	4		2,03	TB
Nº de Cámaras (máximo)	64		37,31	TB

ESTACIÓN BENTA-BERRI			CAPACIDAD	
Nº de Cámaras	25		14,57	TB
Nº de Cámaras (máximo)	64		37,31	TB
GALERÍA PÍO BAROJA PK 2+100			CAPACIDAD	
Nº de Cámaras	4		2,03	TB
Nº de Cámaras (máximo)	64		37,31	TB
ESTACIÓN CONCHA			CAPACIDAD	
Nº de Cámaras	29		16,91	TB
Nº de Cámaras (máximo)	64		37,31	TB
ESTACIÓN EASO			CAPACIDAD	
Nº de Cámaras	24		13,99	TB
Nº de Cámaras (máximo)	64		37,31	TB

Tabla 2: Tabla resumen dimensionamiento del almacenamiento sistema CCTV

En cualquier caso, la unidad de videgrabación especificada en el PPTP tendrá la capacidad de expandirse en un futuro a una capacidad de almacenamiento neta de 60 TB, para cada estación (64 cámaras), permitiendo compensar la pérdida asociada a la estructura RAID-5, considerando el array formado por discos duros de tamaño igual o superior a 4TB.

4. SISTEMA DE MEGAFONÍA

4.1. INTRODUCCIÓN

El siguiente apartado tiene como objeto realizar el estudio electro-acústico del sistema de altavoces necesario para las estaciones de Bentiberri, La Concha y Easo que forman parte de la ETS (Euskal Trenbide Sarea). Se estudiará la distribución de altavoces y su orientación.

Como todas las estaciones son parecidas, se ha simulado una, y se podrá extrapolar a las demás estaciones.

Se proporcionarán las herramientas de cálculo y los datos para determinar los niveles de presión acústica directa (SPLD) de ambos recintos, y los niveles de presión acústica total (SPLT, o lo que es lo mismo la presión acústica directa más la reverberante), los tiempos de reverberación y los porcentajes de pérdida de consonantes (niveles de inteligibilidad, STI).

Se calcularán los niveles de presión sonora directa y total, el tiempo de reverberación y los niveles de inteligibilidad, considerando un nivel de ruido medio previsto.

Para todos los casos se ha escogido la columna acústica modelo P08-EN54 del fabricante OPTIMUS siguiendo la filosofía de las demás estaciones.

4.2. CONSIDERACIONES ACÚSTICAS.

4.2.1. CÁLCULO DEL NIVEL DE PRESIÓN SONORA (SPL).

Para determinar el nivel de presión acústica directa en función de la distancia al punto de análisis se ha partido de:

- La sensibilidad del altavoz (a 1 W a 1 m).
- La potencia nominal aplicada (RMS).
- La atenuación del sonido en campo libre (-6 dB/oct).

$$SPL_{lmt} = Sensibilidad(1W / 1m) + 10 \cdot \log(W_{RMS})$$

$$SPL(x_{mt}) = SPL_{lmt} - 20 \cdot \log(x_{mt})$$

En locales cerrados, y para calcular el valor de la presión acústica total, a estos niveles se debería sumar el nivel de presión reverberante.

$$SPL_{total} = SPL_{directo} + SPL_{reverberante}$$

4.2.2. RELACIÓN SEÑAL / RUIDO (S/N).

Para garantizar los resultados de inteligibilidad de la palabra, la relación entre el nivel de presión sonora y el nivel de ruido en un punto no debe ser inferior a 25 dB en locales cerrados y a 10 dB en espacios abiertos.

Con relaciones S/N inferiores los avisos y otros sonidos seguirán siendo perceptibles, pero se reducirá la inteligibilidad de la palabra en función de la reducción de S/N.

Para diferenciar un sonido del ruido de fondo es suficiente con disponer de una relación S/N de 3 dB aunque recomendamos no trabajar con relaciones inferiores a 10 dB.

4.2.3. ÁNGULOS DE COBERTURA.

Los ángulos de cobertura determinan los planos de curvas isosónicas y la superficie que cubrirá cada altavoz.

Fuera de los ángulos de cobertura, el SPL disminuye bruscamente, aunque no desaparece totalmente la emisión de sonido.

4.2.4. CÁLCULO DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN

El fenómeno conocido como reverberación consiste en la presencia del sonido en un recinto un periodo de tiempo después de que dicho sonido ha dejado de producirse.

El tiempo de reverberación es el tiempo, en segundos, necesario para que un campo sonoro estático decaiga 60 dB una vez apagada la fuente de sonido.

En los casos de voces humanas (anuncios, lecturas, etc.) el contenido debe ser captado con toda claridad y es deseable que el tiempo de reverberación no sea demasiado elevado. En el caso de la música, un tiempo de reverberación más prolongado enriquece los distintos tonos.

Para determinar el tiempo de reverberación se necesitan conocer los siguientes parámetros:

- El volumen del recinto a estudiar.
- Las superficies del recinto a estudiar.
- El coeficiente de absorción de los materiales que forman cada superficie.

La expresión utilizada para el cálculo es:

$$TR_{60} = \frac{0,161 \cdot V}{-S \ln(1 - \alpha_m)} \qquad \alpha_m = \frac{\sum S_i \cdot \alpha_i}{S}$$

dónde,

TR_{60} : es el tiempo de reverberación en segundos,

V : es el volumen del local a estudiar en m^3 ,

S : es el área en m^2 de superficie del local, y

α_m : es el coeficiente de absorción medio del local.

S_i : es el área en m^2 de cada superficie del local,

α_i : es el coeficiente de absorción medio de cada superficie.

4.2.5. OBSERVACIONES DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN.

Si los tiempos de reverberación son los adecuados para el volumen del recinto, la energía aportada por la reverberación favorecerá la inteligibilidad. La aportación al SPL de esta reverberación positiva aumentará la relación S/N.

Si en caso contrario, el tiempo de reverberación es excesivo, la energía reverberante se comportará como ruido añadido al existente disminuyendo la relación S/N.

En ningún caso los tiempos de reverberación deben superar los valores óptimos si se desea obtener los mejores resultados. Estos valores deben cumplirse dentro de toda la gama de frecuencias audibles.

Para obtener los tiempos de reverberación adecuados se precisa que el conjunto de superficies tenga una absorción acústica correcta.

Sus ventajas son:

- Mejorar la inteligibilidad de la palabra.
- Crear un ambiente acústico agradable (menor ruido).

Estos materiales realizan una doble función:

- Consumir la energía reverberante y excedente de los avisos.
- Consumir la energía acústica producida por fuentes externas al equipo (ruido).

4.2.6. DISTANCIA CRÍTICA

La distancia crítica es aquella para la cual el campo directo y el reverberante se igualan; o sea, la relación entre la presión acústica directa y reverberante en un punto que está a una distancia equivalente a la crítica del altavoz, es de 0 dB.

La distancia crítica se puede calcular a partir de la siguiente ecuación:

$$D_c = 0,141 \cdot \sqrt{\frac{Q \cdot V \cdot M}{TR_{60} \cdot N}}$$

dónde,

D_c : es la distancia crítica en metros,

Q : es el factor de direccionalidad del altavoz,

V : es el volumen del local a estudiar en m^3 ,

M : es el modificador de D_c en función del coeficiente de absorción del punto de análisis (normalmente se elige 1),

TR_{60} : es el tiempo de reverberación en segundos, y

N : es el número de altavoces que inciden con sonido directo sobre el punto de análisis.

4.2.7. INTELIGIBILIDAD

Uno de los métodos utilizados para evaluar y predecir el grado de inteligibilidad de la palabra existente en una sala es mediante un parámetro conocido como pérdida de articulación de consonantes (% AL_{CONS}), el cual permite predecir el porcentaje de consonantes no identificadas a partir de los datos de la sala, siempre que se disponga de relaciones señal / ruido como mínimo de 25 dB.

El cálculo de este parámetro se determina a partir de:

$$\% AL_{CONS} = \frac{641,81 \cdot D^2 \cdot RT_{60}^2 \cdot (n + 1)}{V \cdot Q \cdot M}$$

dónde,

$\% AL_{CONS}$:es el porcentaje de pérdida de articulación de consonantes,

D :es la distancia entre el altavoz y el oyente en metros,

RT_{60} : es el tiempo de reverberación en segundos,

V : es el volumen del local en m^3 ,

Q : es el factor de direccionalidad del altavoz,

n : es el número de altavoces idénticos al grupo 1, y

M : es el modificador de D_c (normalmente se elige 1).

A partir del valor de este parámetro se puede realizar una valoración cualitativa de la inteligibilidad de la palabra del local:

CLASIFICACIÓN	% AL_{CONS}
Mala	> 27,0
Pobre	15,4 a 24,2
Buena	5,3 a 15,2
Notable	1,6 a 4,8
Excelente	< 1,4

Tabla 3: Pérdida de Articulación de Consonantes.

Como referencia para todos los locales, para asegurar una correcta inteligibilidad de la palabra, la pérdida de articulación de consonantes (AL_{CONS}) no debe ser superior a 15 %.

Se puede valorar la pérdida de inteligibilidad con otro parámetro adimensional clasificado entre 0 y 1: el STI o "Speech Transmission Index". En este caso, los límites a utilizar para poder efectuar una valoración cualitativa son:

CLASIFICACIÓN	STI
Mala	0,00 a 0,29
Pobre	0,30 a 0,39
Aceptable	0,40 a 0,44
Buena	0,45 a 0,59
Notable	0,60 a 0,74
Excelente	0,75 a 1,00

Tabla 4: Speech Transmission Index

Como referencia para todos los locales, para asegurar una correcta inteligibilidad de la palabra, el valor de **STI** debe ser igual o superior a **0,45**.

Particularidades de los índices de inteligibilidad en recintos cuyo destino principal y diseño no ha sido concebido para la reproducción de la palabra.

Para recintos donde el destino y diseño no ha sido concebido para la reproducción de la palabra, índices con 0,30-0,40 suele considerarse como válido. Hay que tener presente que los índices teóricos de referencia están tomados de bibliografía que se centra en recintos cuyo destino principal es la reproducción de la palabra por oradores que realizan conferencias.

También debe insistirse que en este tipo de recintos, el uso de la palabra estará principalmente centrado en la emisión de mensajes, anuncios o emergencias, donde las frases serán cortas, pausadas, vocalizadas y repetidas. Los resultados, a pesar de unas condiciones acústicas justas, pueden ser totalmente válidos.

4.3. CONDICIONES DEL ESTUDIO.**4.3.1. CARACTERÍSTICAS DEL RECINTO.**

Para realizar los análisis acústicos de los recintos se ha utilizado como herramientas de cálculo el programa de diseño acústico EASE v4.4 (*Enhanced Acoustic Simulator for Engineers*) propiedad de "EASE Software © ADA Acoustic Design Ahnert".

Se han estimado los distintos coeficientes de absorción de los materiales previstos y que se ha supuesto para este estudio, que cubren las diferentes superficies que delimitan el interior de los recintos.

4.3.2. VISTAS DEL RECINTO

En las siguientes imágenes se puede observar el volumen de los recintos estudiados desde vistas interiores y exteriores.

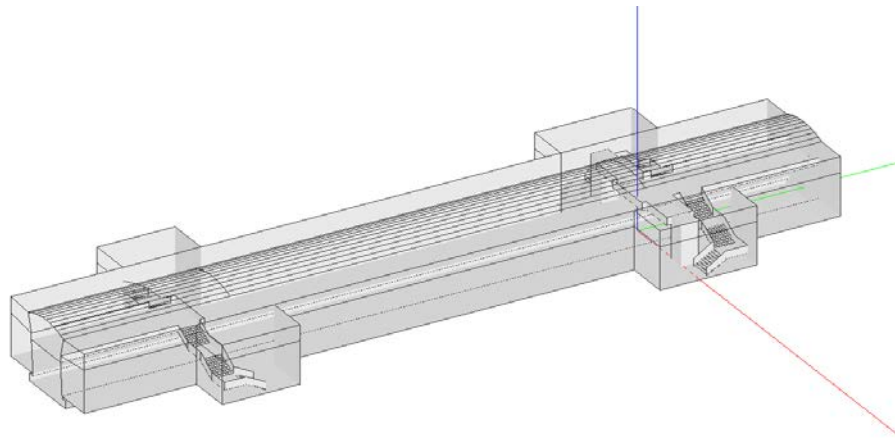


Ilustración 1: Vista interior del andén de la estación.

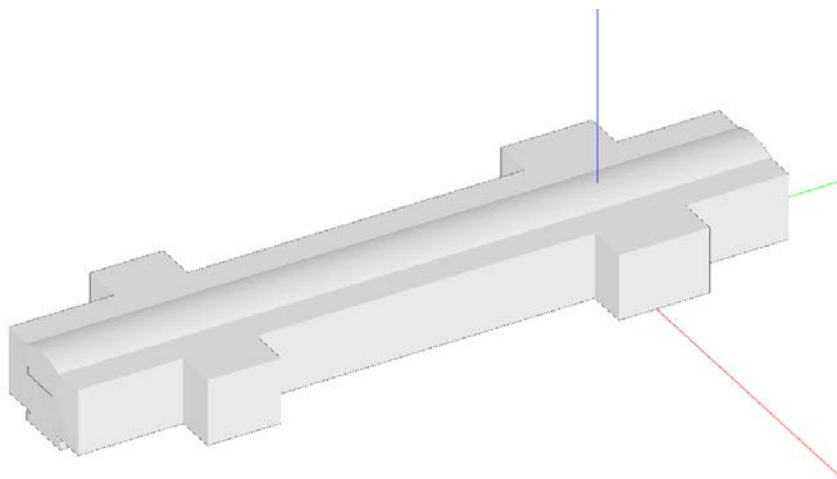


Ilustración 2: Vista exterior del andén de la estación.

4.3.3. CONDICIONES ACÚSTICAS DEL RECINTO.

Introduciendo los datos de forma, volumen y materiales que delimitan las superficies internas, los tiempos de reverberación para cada octava deberían resultar los especificados en la gráfica siguiente:

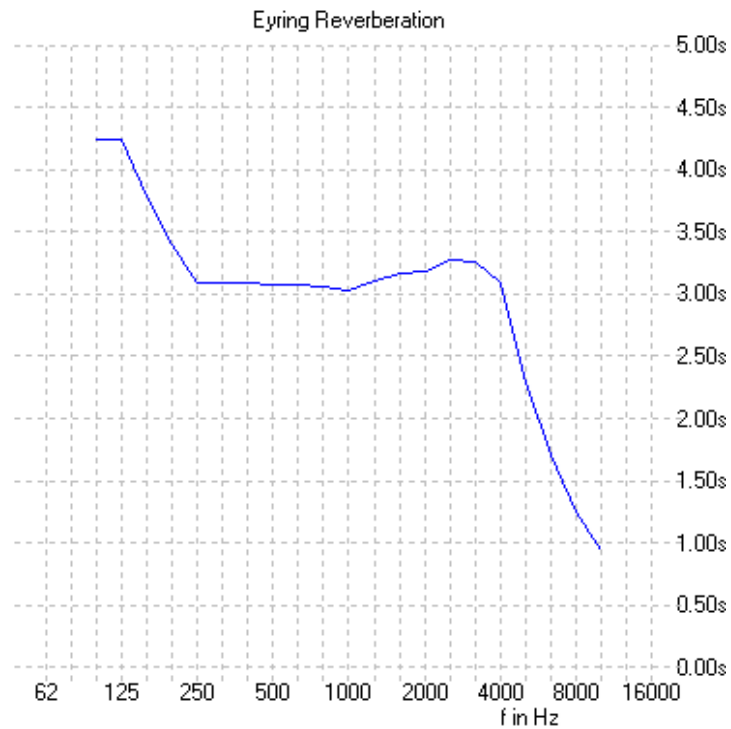
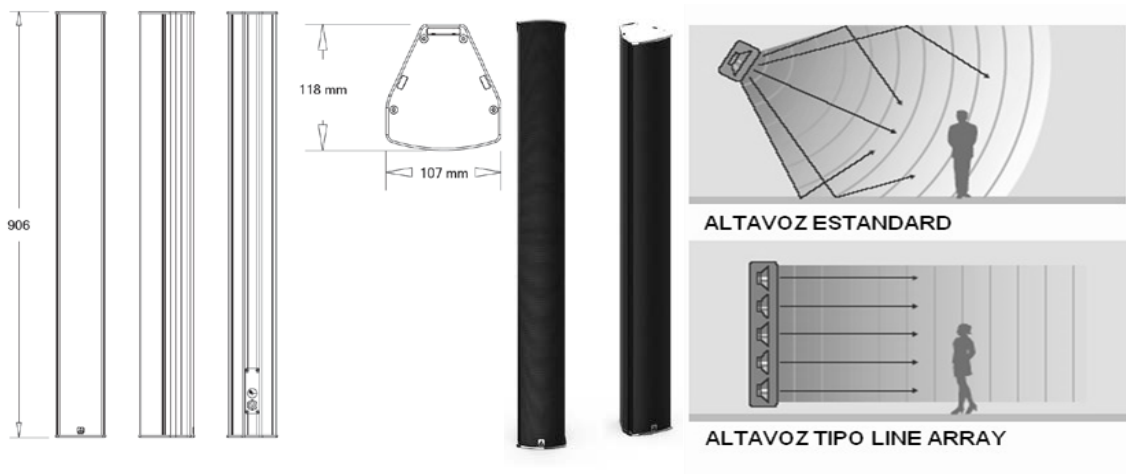


Tabla 5: *Tiempos de reverberación del andén en función de la frecuencia.*

4.3.4. CARACTERÍSTICAS DE LAS COLUMNAS ACÚSTICAS P08.

Columna acústica con 8 altavoces de 3,5” y 125 W de potencia nominal en línea de 100 V, adecuada para palabra y música en sistemas de alarma y evacuación por voz. Cumple la normativa de alarma por voz EN 54-24. Sensibilidad 79 dB (1 W, 4 m y 1 kHz). Respuesta en frecuencia de 140 a 15 kHz. Presión acústica máxima 98,8 dB (152 W, 4 m y 1 kHz). Cobertura horizontal 215º (1 kHz), 100º (4 kHz). Cobertura vertical 37º (1 kHz), 8º (4 kHz). Dimensiones 906 x 107 x 118. Peso 5,55 kg. Dispone de filtro paso alto (HPF) y circuitos de protección integrados. Modelo P08-EN54 del fabricante OPTIMUS.



P08-EN54

Altavoces	8 x 3,5"
Potencia	125 W
Respuesta en frecuencia	140 – 15.000 Hz (-10 dB, +6 dB, HPF off)
Cobertura	Horizontal 215° (1 kHz), 100° (4 kHz), Vertical 37° (1 kHz), 8° (4 kHz)
Alcance típico	20 m
Sensibilidad (1 W / 4 m)	79 dB SPL (1 W, 4 m y 1 kHz)
SPL máximo	98,8 dB SPL a 4 m
Conexión	Terminal cerámico y fusible térmico
Acabado	Aluminio y rejilla metálica
Colores posibles	RAL 9006 (aluminio), RAL 9010 (blanco) o RAL 9005 (negro)
Dimensiones (mm)	906 (alto) x 107 (ancho) x 118 (fondo)
Peso	5,55 kg

4.3.5. SITUACIÓN DE LOS ALTAVOCES.

Los altavoces Line array P08-EN54 se instalarán en el báculo pertinente, a 2,4 metros de altura respecto a la parte superior de la columna.

Los altavoces Line array P08-EN54 se instalarán longitudinalmente en el andén. La altura de instalación será de 1,50 metros con un ángulo vertical de -4°. En total serán 8 por estación, 4 por andén.

Los altavoces se instalarán como muestra la siguiente figura.

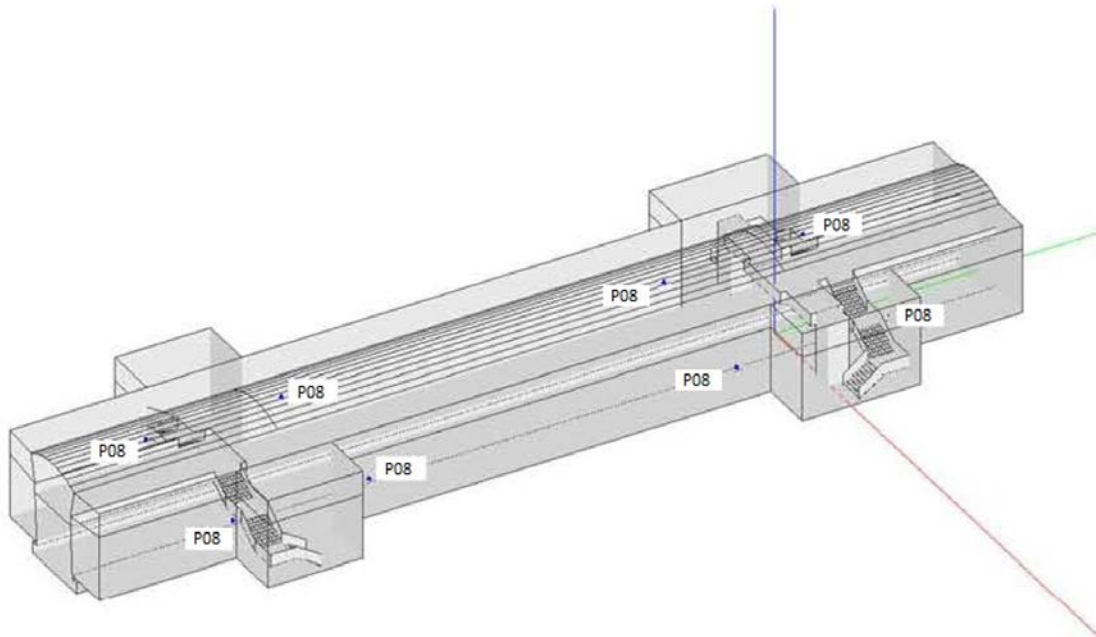


Ilustración 3: *Distribución de altavoces del andén de la estación.*

4.4. RESULTADOS DEL ESTUDIO ACÚSTICO.

Se ha utilizado el programa EASE v4.4 (*Enhanced Acoustic Simulator for Engineers*), propiedad de “EASE Software © ADA Acoustic Design Ahnert”, para realizar el estudio acústico con las características de los materiales que cubren las distintas superficies que delimitan los recintos, y con la distribución de los altavoces especificados en el apartado 4.3.5.

El estudio se ha realizado según:

- El modelo de altavoces escogidos.
- Distribución de altavoces según la arquitectónica del recinto.
- Tiempos de Reverberación considerados del recinto.
- Ruido considerado en el recinto.
- Distancias a cubrir por el altavoz.

Como resultado aparecen unas gráficas que representan en planta el área de audiencia de los recintos, y en las que se reflejan, mediante una variación de colores, los distintos valores de los parámetros utilizados para analizar el funcionamiento del sistema.

4.4.1. NIVEL DE PRESIÓN SONORA DIRECTA (SPL_D).

Corresponde al mapa de niveles obtenidos por la incidencia de los altavoces en todos los puntos, sin considerar las aportaciones de los rebotes en las paredes (energía reverberante).

En este apartado se valoran los niveles de presión acústica directa en todos los puntos de la superficie estudiada (a una altura del suelo de 1,20 metros) en función de los siguientes parámetros:

- Distribución de altavoces elegida.
- Modelos de altavoces escogidos.
- Distancias a cubrir por el altavoz.

A continuación se adjuntan las gráficas correspondientes al nivel de presión sonora directa en toda la superficie del área de audición de cada recinto, a la frecuencia de 1.000 Hz.

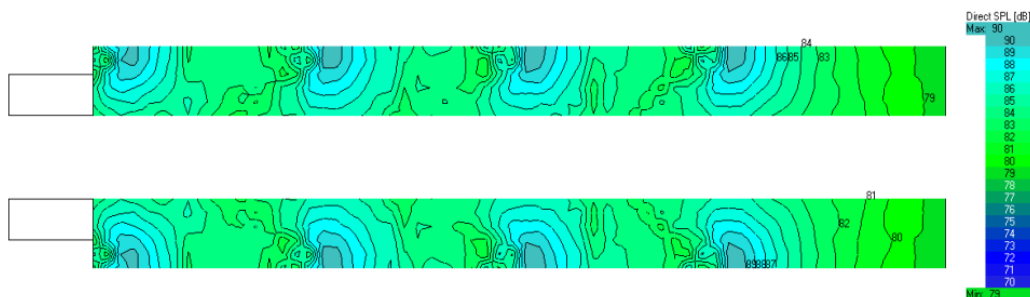


Ilustración 4: Mapa de SPL directo a 1.000 Hz.

4.4.2. NIVEL DE PRESIÓN SONORA TOTAL (SPL_T).

Es el nivel final que apreciarán los oyentes, y es el resultado de la aportación directa de los altavoces sumada a la reverberación del recinto.

En este apartado se valoran los niveles de presión acústica total (o lo que es lo mismo, directa más reverberante) en todos los puntos de la superficie estudiada (a una altura del suelo de 1,20 metros) en función de los siguientes parámetros:

- Distribución de altavoces elegida.
- Modelos de altavoces escogidos.
- Distancias a cubrir por el altavoz.
- Tiempos de reverberación.

A continuación se adjuntan las gráficas correspondientes al nivel de presión sonora total (directa + reverberante) en toda la superficie del área de audición del andén, a la frecuencia de 1.000 Hz.

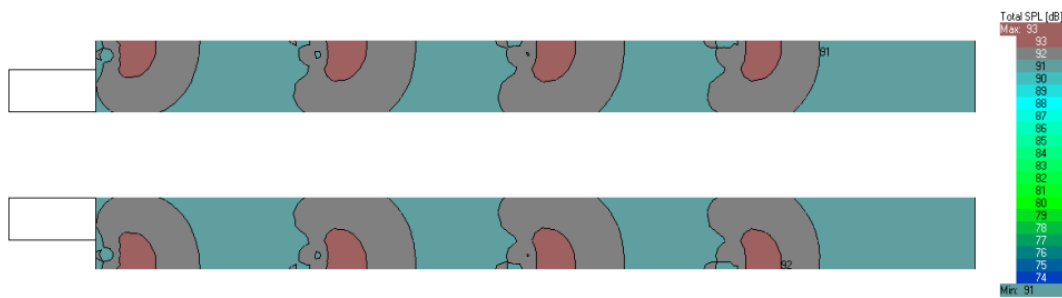


Ilustración 5: Mapa de SPL total a 1.000 Hz.

4.4.3. NIVELES DE RUIDO

El nivel de ruido medio considerado para este estudio es de:

- **Andenes:** 75 dB_{SPL}

El nivel de ruido variará según la situación y la hora del día. Si en alguna zona el nivel es superior será necesario aumentar el número de altavoces que cubran esa área.

Se considera que el nivel de ruido existente en los recintos está generado principalmente por los vehículos y usuarios de la estación. Este nivel variará según el tránsito y número de usuarios.

El nivel de ruido considerado corresponde a los recintos llenos de usuarios, que mantienen conversaciones en un tono normal, y donde no existen otras fuentes sonoras (maquinaria haciendo ruido, etc.) que generen ruido de forma continua o en periodos largos de tiempo.

Los resultados que se obtienen de inteligibilidad serán válidos para niveles de ruido de hasta 75 dB_{SPL}.

4.4.4. INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA

En este apartado se valorará el grado de inteligibilidad en función de la distancia entre altavoz y oyente en todos los puntos de la superficie estudiada (a una altura del suelo de 1,20 metros).

Los valores de inteligibilidad especificados a continuación solamente serán válidos si se cumplen las condiciones siguientes:

- El nivel de ruido en el andén es de 75 dB_{SPL} o inferior.
- El tiempo de reverberación del andén de la estación a 1.000 Hz es 4,68 segundos o inferior.
- El modelo y situación de los altavoces es la especificada en los apartados 4.3.4 y 4.3.5.

Se ha utilizado el programa EASE v4.4 para realizar el estudio acústico con los tiempos de reverberación indicados y con las distribuciones de los altavoces especificadas.

Como resultado aparece una gráfica en la que se refleja mediante una variación de colores los distintos valores de STI conseguidos en toda la superficie del área de audición para el andén.

Se ha codificado, por colores, los valores de inteligibilidad STI según el nivel de claridad de la palabra.

CLASIFICACIÓN	STI
Mala	0,00 a 0,29
Pobre	0,30 a 0,39
Aceptable	0,40 a 0,44
Buena	0,45 a 0,59
Notable	0,60 a 0,74
Excelente	0,75 a 1,00

Tabla 6: *Speech Transmission Index*

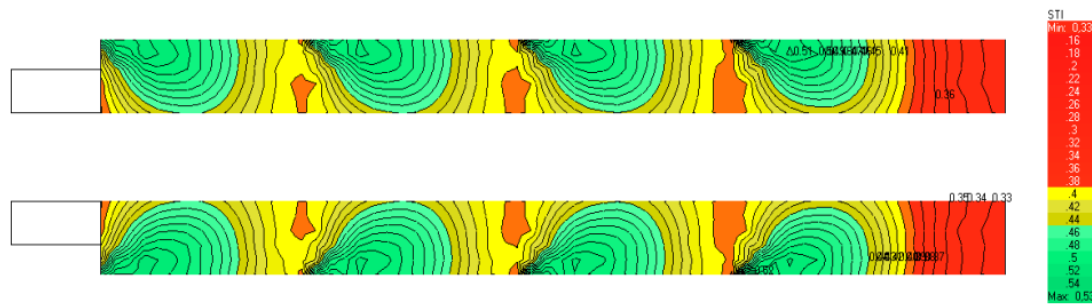


Ilustración 6: Mapa de inteligibilidad (STI).

4.4.5. INTERPRETACIÓN DE LAS GRÁFICAS

Estas gráficas están realizadas a escala, aunque no siguen ninguna escala normalizada.

En los mapas que presentan los niveles de presión sonora directa, total e inteligibilidad, las zonas de un mismo color indican que poseen un mismo valor de SPL_D , SPL_T o STI.

Dichos valores están cifrados en dB_{SPL} , dB_{SPL} e índice STI respectivamente.

4.5. CONCLUSIONES.

4.5.1. CONDICIONES DEL ESTUDIO.

Recordamos las condiciones en las que ha sido efectuado el estudio:

- Se ha considerado un nivel de ruido medio de 75 dB_{SPL} en los andenes.
- El tiempo de reverberación del andén a 1.000 Hz es $4,68$ segundos.
- El modelo de altavoces es el especificado en el apartado 4.3.4.
- La situación y orientación de los altavoces es la especificada en el apartado 4.3.5.
- Se ha realizado la simulación con la columna acústica P08-EN54 conectada a su potencia nominal.

Hay que tener en cuenta que este estudio acústico se centra en el análisis estadístico de la distribución de los diferentes niveles e índices considerados para las superficies de audición.

En este estudio no se trabajan las superficies punto a punto, por este motivo no se entra en el análisis de ecos o diferencias entre la señal directa y las primeras reflexiones, como por ejemplo serían los ecos.

4.5.2. NIVEL DE PRESIÓN SONORA.

Los niveles de presión sonora total conseguidos, permiten disponer de la relación S/N adecuada (superior a 25 dB_{SPL}) en cualquier punto del área de audiencia para ruidos de 75 dB_{SPL}. Esta relación S/N adecuada influye positivamente en la inteligibilidad de la palabra. Los avisos y otros sonidos serán correctamente perceptibles y diferenciados del ruido existente en el andén.

La cobertura, o lo que es lo mismo, la variación de niveles de SPL total máximo y mínimo entre puntos, es de aproximadamente $\pm 1,30$ dB_{SPL} en el andén de la estación.

Esta variación permite conseguir una buena uniformidad de cobertura, es decir, una baja fluctuación de los niveles de presión sonora en el andén.

Aspectos a remarcar sobre los niveles de presión sonora obtenidos.

Para realizar el estudio se ha partido de un dato de ruido supuesto.

Aunque el sistema de altavoces considerado es suficiente para proporcionar la relación S/N necesaria con ruidos promedios de hasta 75 dB_{SPL}, si finalmente los ruidos medios son superiores, los resultados esperados de inteligibilidad podrán ser inferiores.

4.5.3. INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA.

En los andenes, con los coeficientes de absorción de los materiales y la distribución de altavoces utilizados en la simulación (Line array P08-EN54), se consiguen unos resultados de inteligibilidad con clasificación media ACEPTABLE para las superficies de audiencia estudiadas.

Se obtiene un STI medio de 0,431 (los valores oscilan entre 0,323 y 0,524).

4.5.4. VALORACIÓN FINAL DE LOS RESULTADOS.

Se ha realizado un estudio para el andén con un nivel de ruido de 75 dB_{SPL} y tiempo de reverberación a 1.000 Hz de 4,68 segundos. Se ha estudiado la distribución de altavoces y su orientación.

En los **andenes**, con las condiciones del estudio y los altavoces **Line array P08-EN54** se consigue un nivel de presión sonora total suficiente (superior a 25 dB_{SPL}), y una inteligibilidad de la palabra con clasificación **ACEPTABLE** con un valor de STI medio de 0,431.

Los resultados se alcanzarán siempre y cuando las condiciones acústicas de los recintos, los niveles de ruido, el modelo y la distribución de los altavoces sean los indicados.