

Proyecto de comunicaciones del tramo Altza-Galtzaraborda

ANEJO 6: CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

TTE-II-21005-GSS-TEL-ANX-0006
REV.1



We Make
Your Way Easier

Preparado para:



Nombre: Euskal Trenbide Sarea
Dirección: San Vicente, 8 Planta 14
CP: 48001
Localidad: Bilbao

Preparado por:



Nombre: CAF Turnkey & Engineering
Dirección: Laida Bidea, Edificio 205
CP: 48170
Localidad: Zamudio

Proyecto de comunicaciones del tramo Altza-Galtzaraborda

ANEJO 6: CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

TTE-II-21005-GSS-TEL-ANX-0006

REV.1

Revisión del documento		
Revisión	Fecha	Objetivo de la revisión
0	25-02-2022	Edición Inicial
1	02-05-2024	Se incluyen los comentarios de ETS

<i>Preparado por</i>		<i>Revisado por</i>		<i>Revisado por</i>	
Nombre	Unai Meabe	Nombre	Ibai Ormaza	Nombre	Mikel San Salvador
Firma	UMM	Firma	IBS	Firma	MSS
Fecha:	29-04-2024	Fecha:	30-04-2024	Fecha:	02-05-2024

Índice de Contenidos

1. OBJETO DEL DOCUMENTO	1
2. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE CCTV	2
2.1. Criterios de dimensionamiento	2
2.2. Número de cámaras por ubicación.....	2
2.3. Cálculos justificativos grabadores	2
3. ESTUDIO DE COBERTURA DE RADIOCOMUNICACIONES TETRA 4	4
3.1. Criterios de diseño	4
3.1.1. Parámetros de potencia de dispositivos	4
3.1.2. Umbrales mínimos de Potencia	4
3.1.3. Propagación de Ondas en Espacio Libre	4
3.2. Requerimientos de zonas cubiertas y niveles de potencia	5
3.3. Cálculo de Potencia	6
4. ESTUDIO ELECTROACÚSTICO.....	10
4.1. Consideraciones Acústicas	10
4.1.1. Cálculo de nivel de presión sonora (SPL)	10
4.1.2. Relación Señal a Ruido (S/N).	11
4.1.3. Niveles de ruido previstos	11
4.1.4. Ángulos de cobertura	11
4.1.5. Reflexión del sonido.....	11
4.1.6. Campo directo, reflejado y difuso.....	11
4.1.7. Cálculo del tiempo de reverberación	12
4.1.8. Observaciones del tiempo de reverberación	12
4.1.9. Distancia Crítica.....	13
4.1.10. Inteligibilidad	13
4.1.11. Software de modelización	14
4.2. Condiciones del estudio	14
4.2.1. Características del recinto.....	14
4.2.2. Vistas del recinto.....	14
4.2.3. Condiciones acústicas del recinto	15
4.2.4. Características de los altavoces.....	16
4.2.5. Situación de los altavoces.....	16
4.3. Resultados del estudio	17
4.3.1. Nivel de presión sonora directa.....	18
4.3.2. Nivel de Presión Sonora Total (SPLT).	18
4.3.3. Niveles de ruido	19
4.3.4. Inteligibilidad de la palabra.....	19
4.3.5. Interpretación de las gráficas	20

4.4. Conclusiones del estudio.....	20
4.4.1. Nivel de presión sonora total.....	20
4.4.2. Inteligibilidad de la palabra.....	20

Índice de Figuras

Figura 1: Requisitos espacios cubiertos por TETRA	6
Figura 2: Cálculos Radioeléctricos Pasaia	8
Figura 3: Cálculos radioeléctricos Altza (modificado)	9
Figura 4: Vista interior del recinto.....	15
Figura 5: Vista exterior del recinto.....	15
Figura 6: Tiempos de reverberación del recinto en función de la frecuencia	16
Figura 7: Distribución de altavoces en vista isométrica	17
Figura 8: Distribución de altavoces en vista isométrica	17
Figura 9: Mapa de presión sonora directo a 1Khz.....	18
Figura 10: Mapa de SPL total a 1Khz	19
Figura 11: Mapa de inteligibilidad STI	20

Índice de Tablas

No se encuentran elementos de tabla de ilustraciones.

1. OBJETO DEL DOCUMENTO

El objeto de este anejo es presentar los cálculos justificativos del sistema de almacenamiento de CCTV, cobertura de radiocomunicaciones TETRA y sistema de megafonía, dentro del “Proyecto de Comunicaciones Altza – Galtzaraborda”.

2. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE CCTV

2.1. Criterios de dimensionamiento

En la estación de Pasaia 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 grabación, 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 720p.
 - Flujo de vídeo en modo grabación cámara situación alarma: 24 fps / H.264 720p.
- / Tiempo promedio de grabación de imágenes: 24 horas / día.
- / Tiempo de almacenamiento: 1 mes
- / Índice grabación normal frente a situación alarma: 90% - 10%
- / Porcentaje de reserva en almacenamiento por escalabilidad: 25%

Acorde a las resoluciones 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.

2.2. Número de cámaras por ubicación

Se ha proyectado el siguiente número de cámaras en la estación de Pasaia:

- / Andenes: 8
- / Acceso a cuartos técnicos: 4
- / Ascensores: 4
- / Salida emergencia Pasaia: 1
- / Escalera andén – vestíbulo: 2
- / Vestíbulo: 2
- / Cañón de acceso: 2

Adicionalmente se han previsto 3 cámaras en la salida de emergencia de Sasuategi y 1 cámara en la salida del túnel lado Galtzaraborda.

En total se han considerado 27 cámaras para su grabación local en Pasaia.

2.3. Cálculos justificativos grabadores

A partir de los criterios anteriores, la capacidad necesaria para almacenar las imágenes de una cámara durante un mes será:

/ $(1,2 \text{ Mbps} * 0.90 + 3,6 \text{ Mbps} * 0.1) * (1 \text{ byte} / 8 \text{ bits}) * (1.000.000 / \text{M}) * (60 \text{ seg} / \text{min}) * (60 \text{ min} / \text{hora}) * (24 \text{ horas} / \text{día}) * 30 \text{ días} * 1.25 = 583 \text{ GB (aproximado)}$

Por lo tanto, para las 27 cámaras de la estación de Pasaia, será necesario un almacenamiento de 15,74 TB.

3. ESTUDIO DE COBERTURA DE RADIOCOMUNICACIONES TETRA

En este apartado se incluye el estudio de cobertura de radiocomunicaciones del sistema TETRA, el cual permite dar continuidad a los servicios actuales a lo largo del tramo en construcción que se extiende desde Altza hasta la nueva estación de Pasaia y desde la nueva estación de Pasaia hasta el final del túnel en las inmediaciones de la estación actual de Galtzaraborda.

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 la propia Estación de Pasaia.

La longitud del túnel en el tramo entre los testeros de la estación de Altza y de la nueva estación de Pasaia es de aproximadamente 1.200 m

La longitud del túnel en el tramo entre el testero de la nueva estación de Pasaia y el final del túnel en el lado Galtzaraborda es de aproximadamente 915 m

3.1. Criterios de diseño

Los criterios de diseño principales a aplicar en la definición de la solución radio del tramo Altza – Pasaia (nueva) - Galtzaraborda son los siguientes:

3.1.1. 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.

3.1.2. 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)

3.1.3. 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 le 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 atmósfera 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. 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.

Las pérdidas de espacio libre se calculan a partir de la siguiente expresión:

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

3.2. Requerimientos de zonas cubiertas y niveles de potencia

A continuación, se recogen los requerimientos de cobertura en los diferentes espacios de la estación de Pasaia y el túnel entre Altza – Pasaia y Pasaia – Galtzaraborda, así como en la salida de emergencia de Sasuategi:

EMPLAZAMIENTO	COBERTURA	NIVEL DE SEÑAL
Túnel	SÍ	-88 dBm
Andenes	SÍ	-73 dBm
Planta Andenes		
CT Comunicaciones y Señalización	SÍ	-73 dBm
CT Baja Tensión	SI	-73 dBm
Centro de Transformación	SI	-73 dBm
Seccionamiento de Catenaria	SI	-73 dBm
Cuartos de Pozo de Bombeo	NO	
Cuartos de Control de Aguas y Filtros Biológicos	NO	
Planta Cota Vestíbulo Lado Galtzaraborda		
Cuarto Técnico	SI	-73 dBm
Cuarto Auxiliar de Comunicaciones	SI	-73 dBm
Escaleras salida emergencia	SI	-73 dBm
Planta Vestíbulo		
Cuarto Técnico de Red	SI	-73 dBm
Cuarto de Servicio de Atención al Cliente	SI	-73 dBm
Cuarto de Operadores	SI	-73 dBm
Vestuarios	NO	
Cuarto de Limpieza	NO	

Figura 1: Requisitos espacios cubiertos por TETRA

3.3. Cálculo de Potencia

Se incluye a continuación un esquema con la justificación de ubicación de equipos y cálculo de potencia de cobertura radioeléctrica en los emplazamientos citados anteriormente.

Además de para la estación de Pasaia, se incluye también la actualización de la distribución RF TETRA de Altza, donde se añade un combinador para el servicio Tren – Tierra y se prolonga la señal hacia Pasaia.

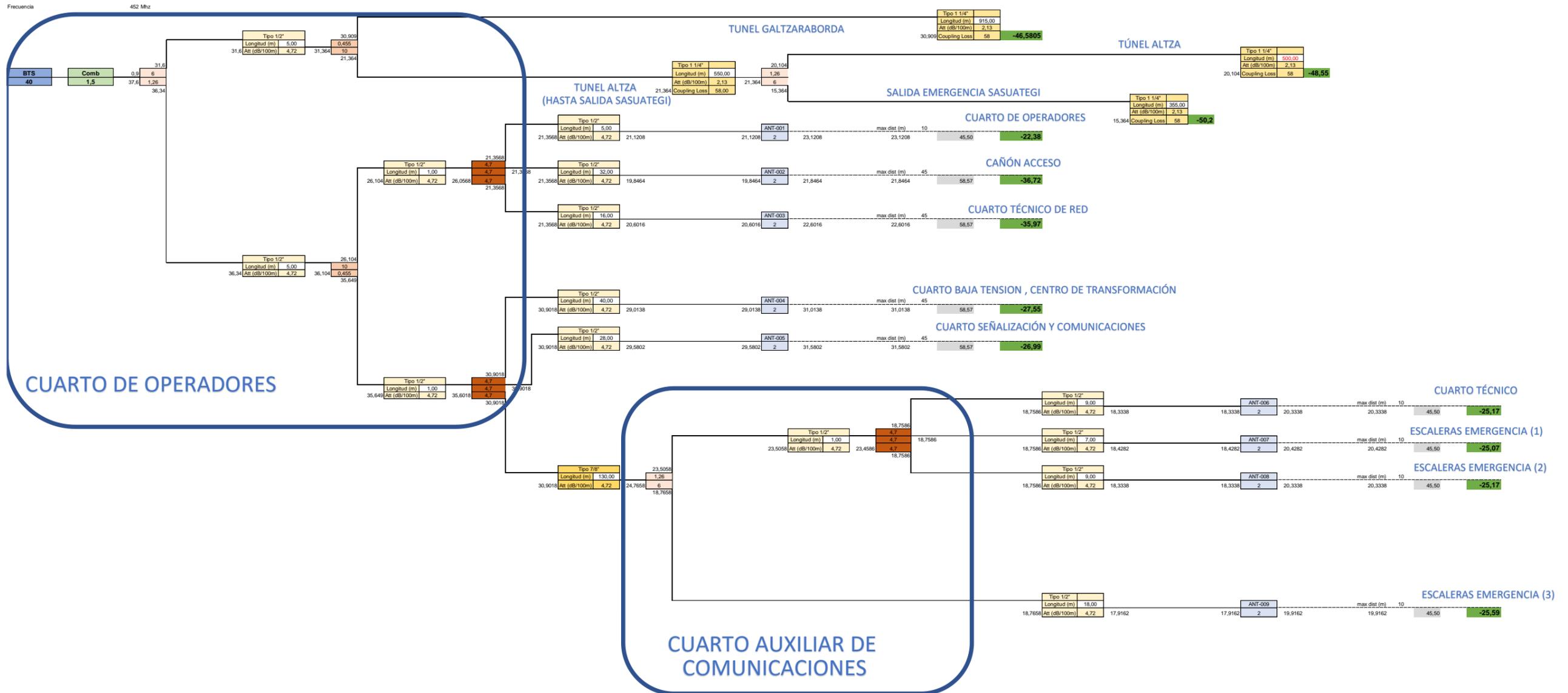


Figura 2: Cálculos Radioeléctricos Pasaia

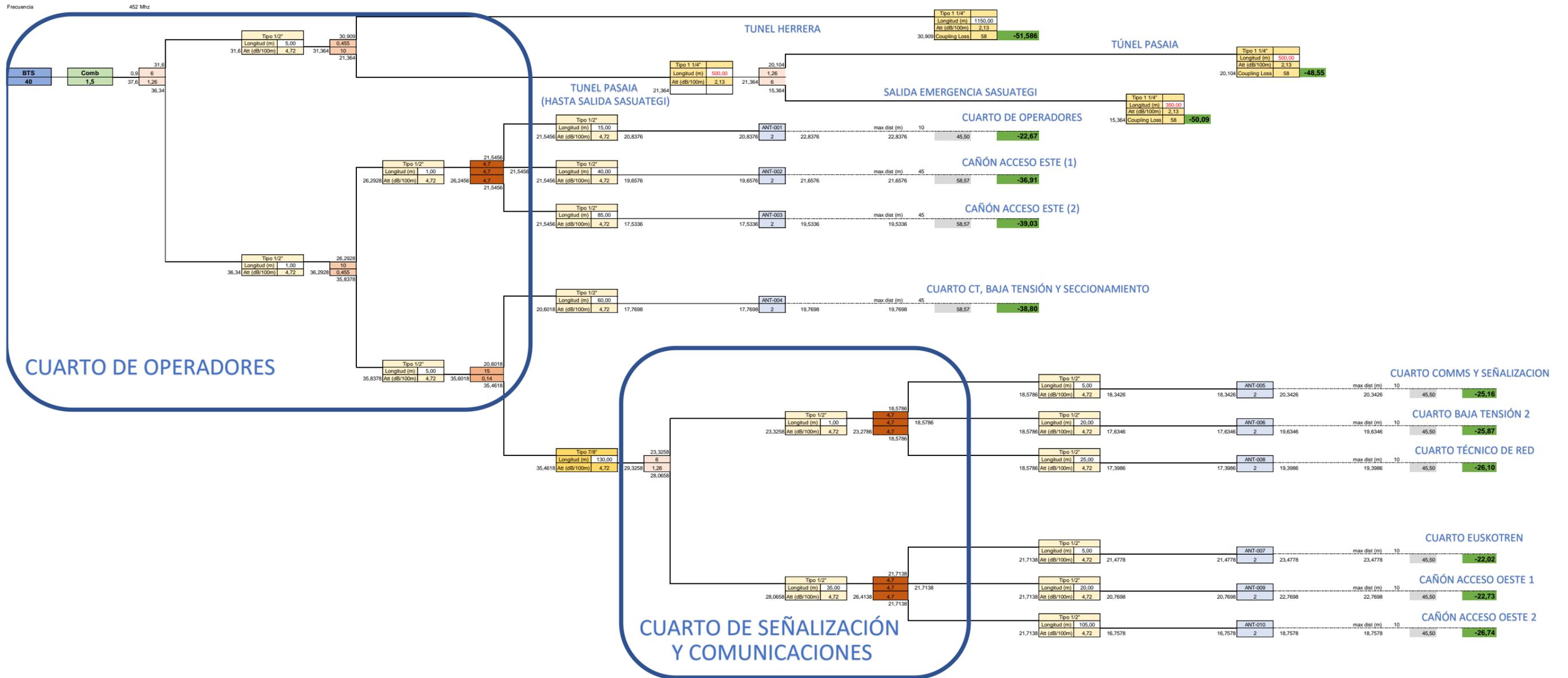


Figura 3: Cálculos radioeléctricos Altza (modificado)

4. ESTUDIO ELECTROACÚSTICO

Se ha realizado el estudio electroacústico de la estación de Pasaia para determinar la distribución de altavoces y su orientación.

Este estudio permite proporcionar las herramientas de cálculo y los datos para determinar los niveles de presión acústica directa (SPLD), 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) que proporciona la distribución de altavoces propuesta.

Este estudio culmina con la mejor distribución de altavoces y los modelos de altavoces idóneos, para que, en función de los materiales instalados en las superficies del recinto, se alcancen los niveles óptimos de distribución del sonido y de inteligibilidad de palabra.

Este estudio proporciona los niveles de presión sonora directa y total que se conseguirá en el área de audiencia del recinto a estudiar, y los tiempos de reverberación y niveles de inteligibilidad, considerando un nivel de ruido medio previsto.

El tipo de altavoz seleccionado para los andenes es una columna acústica microprocesada, similar a los últimos modelos instalados en la estación de Zarautz.

4.1. Consideraciones Acústicas

4.1.1. Cálculo de 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).

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

$$SPL(x_{mt}) = SPL_{1mt} - 20 \cdot \log(x_{mt})$$

- / SPL_{1mt}: Presión sonora a 1 metro del altavoz.
- / Sensibilidad(1W/1m): Presión sonora proporcionada por el fabricante a 1W y 1 metro del altavoz.
- / W_{RMS}: Potencia eficaz suministrada (normalmente la potencia nominal) al altavoz.
- / SPL_{xmt}: Presión sonora a X metros del altavoz.
- / X_{mt}: Distancia, en metros, a considerar.

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

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

4.1.2. Relación Señal a 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 la recomendación es no trabajar con relaciones inferiores a 10 dB.

4.1.3. Niveles de ruido previstos

El nivel de ruido variará según la situación y la hora del día. Se considera que el valor MEDIO de la estación será de 75 dBSPL.

Si en alguna zona el nivel es superior sería necesario aumentar el número de altavoces que cubran esa área.

4.1.4. 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.

4.1.5. Reflexión del sonido

Al chocar la onda sonora contra una superficie, una parte se refleja, otra se refracta y/o absorbe y otra se transmite. El sonido se refleja bien en superficies duras y rígidas, y mal en superficies porosas, blandas y deformables. Los materiales de paredes, techo y suelo de los recintos a sonorizar influyen mucho en la solución final adoptada. El vidrio, el mármol o el metal reflejan mucho el sonido y reducen la inteligibilidad del mensaje emitido. La madera, la tela o un falso techo de corcho absorben el sonido y facilitan la inteligibilidad. Las personas, muebles, asientos... influyen también y deben tenerse en cuenta en el cálculo de la sonorización.

Por consiguiente, el tipo de material influye directamente en el campo acústico y su influencia directa al confort acústico de la sala y al rendimiento del sistema electroacústico.

4.1.6. Campo directo, reflejado y difuso

El recinto acústico, debido a los materiales y a su forma estructural, modifica las condiciones de propagación del sonido. El sonido rebota en las paredes y las ondas se superponen unas con otras. Si las distancias son largas, el tiempo que tardan los rebotes en llegar al oyente se perciben y aparecen efectos indeseables, como el eco y la reverberación, reduciendo la inteligibilidad de la palabra en mayor o menor medida.

El material de paredes, suelo y techo, así como el mobiliario y los propios oyentes, influyen y exigen una ubicación cuidadosa de los altavoces, un procesado de la señal de audio y una aplicación de potencia controlada. No obstante, los altavoces no pueden solucionar, ni compensar, los efectos de propagación del sonido en función de los materiales del recinto.

4.1.7. 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.

También se puede expresar el parámetro RTMID, que será el resultado de la media aritmética del tiempo de reverberación en las bandas de frecuencias de 500 Hz y 1 kHz.

Una sala acústicamente “apagada” (de dimensiones reducidas y notablemente amueblada) presentará un tiempo de reverberación corto, mientras que una sala acústicamente “viva” presentará un tiempo de reverberación largo.

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:

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

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.

4.1.8. 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).

4.1.9. Distancia Crítica

La distancia crítica es aquélla 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.

4.1.10. 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 (% ALCONS), 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.

Como referencia para todos los locales, para asegurar una correcta inteligibilidad de la palabra, la pérdida de articulación de consonantes (ALCONS) 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

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.

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 para este tipo de recintos.

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.

4.1.11. Software de modelización

Se ha utilizado el software de modelización EASE.

Todas las simulaciones acústicas realizadas, en el presente documento, se han llevado a cabo teniendo en cuenta las siguientes condiciones atmosféricas:

Temperatura	20,0°
Humedad	60,00%
Densidad del aire	1,20 kg/m ³

Tabla 3. Condiciones atmosféricas.

Los parámetros considerados para la simulación son los siguientes:

Parámetros de simulación	Observaciones
Absorción del aire	Considerada
Ruido de fondo (cálculo STI)	75 dB
Suma con interferencia	Considerada
Mapa con sombras	Considerado
Resolución	1 m
Algoritmo de cálculo	Standard mapping (EASE 4.4)
Cálculo de STI	Standard
Definición de nivel – Señal de test o excitación	Ruido rosa “broadband”. Los niveles por bandas de frecuencias se suman de acuerdo la RTA

4.2. Condiciones del estudio

4.2.1. Características del recinto

Para realizar los análisis acústicos del recinto 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”.

La estación está formada por dos andenes de 77 metros de largo con una altura de 8 metros aproximadamente.

4.2.2. Vistas del recinto

A continuación, se muestran las imágenes que representan el volumen del recinto estudiado desde vistas interiores y exteriores:

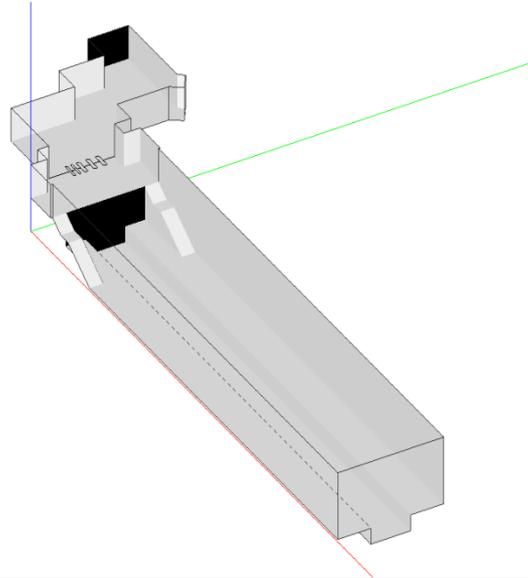


Figura 4: Vista interior del recinto

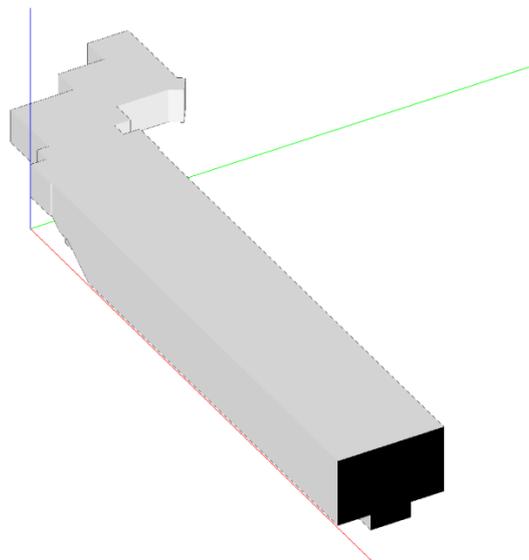


Figura 5: Vista exterior del recinto

4.2.3. Condiciones acústicas del recinto

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

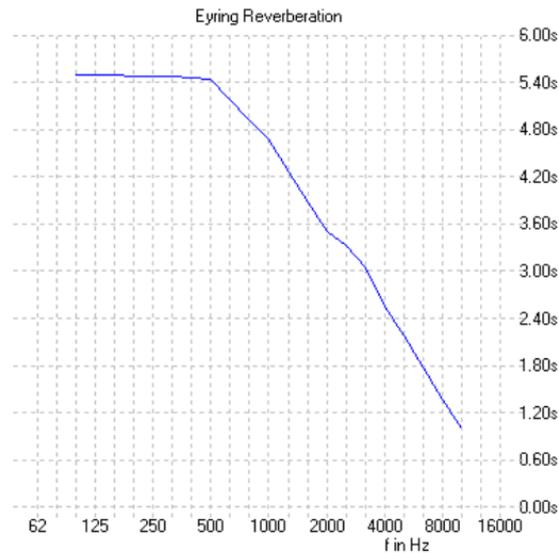


Figura 6: Tiempos de reverberación del recinto en función de la frecuencia

Tiempo de reverberación, a 1kHz, es de 4,68 segundos.

4.2.4. Características de los altavoces

Se han considerado los siguientes altavoces:

- / Caja acústica de 125 W RMS, 100 V. Selección de potencia a 125, 62, 32 y 15 W. Cumple la normativa de alarma por voz EN 54-24. Respuesta en frecuencia de 140 a 15 kHz. Sensibilidad 79 dB (1 W, 4 m y 1 kHz). Presión acústica máxima 98,8 dB (152 W, 4 m y 1 kHz). El modelo concreto utilizado para la simulación ha sido el: Modelo OPTIMUS ref. P08-EN54. Los resultados serán extrapolables a cajas acústicas de características similares a las indicadas.

4.2.5. Situación de los altavoces

Los altavoces se instalarán longitudinalmente en el andén y equidistantes entre sí. La altura de instalación será de 1,50 metros con un ángulo vertical de -4° . En total serán 8 para esta estación, 4 por andén.

La posición absoluta de los ocho altavoces es la siguiente:

x [m]	y [m]	z [m]	Hor [°]	Ver [°]
14.50	0.30	1.50	100.0	-4.0
29.50	0.30	1.50	100.0	-4.0
44.50	0.30	1.50	100.0	-4.0
59.50	0.30	1.50	100.0	-4.0
14.50	15.80	1.50	80.0	-4.0
29.50	15.80	1.50	80.0	-4.0
44.50	15.80	1.50	80.0	-4.0
59.50	15.80	1.50	80.0	-4.0

La distribución de los altavoces en vista isométrica es la siguiente:

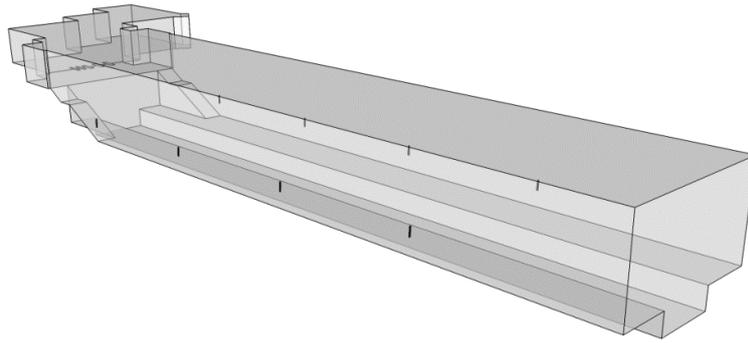


Figura 7: Distribución de altavoces en vista isométrica

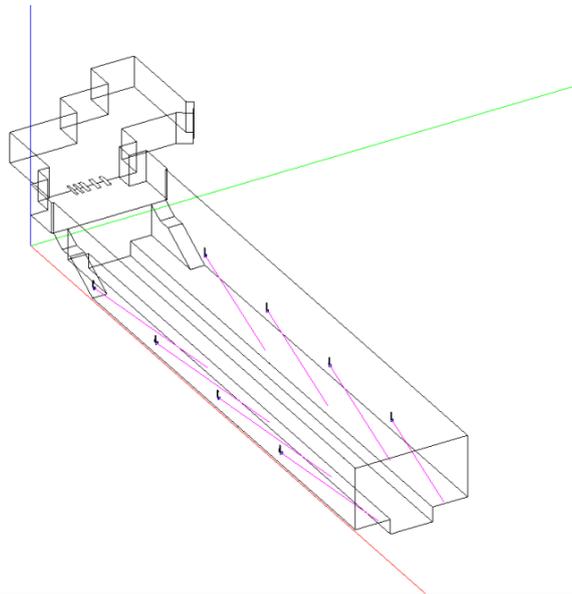


Figura 8: Distribución de altavoces en vista isométrica

4.3. Resultados del estudio

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 del recinto, y en las que se reflejan, mediante una variación de colores, los distintos valores de los parámetros utilizados para analizar el funcionamiento del sistema.

4.3.1. Nivel de presión sonora directa

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 del recinto, a la frecuencia de 1.000 Hz

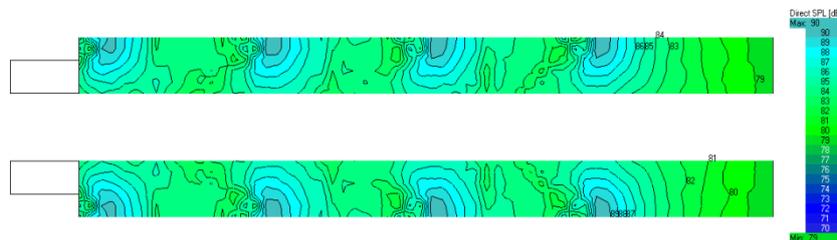


Figura 9: Mapa de presión sonora directo a 1Khz

4.3.2. Nivel de Presión Sonora Total (SPLT).

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 adjunta la gráfica correspondiente al nivel de presión sonora total (directa + reverberante) en toda la superficie del área de audición del recinto, a la frecuencia de 1.000 Hz

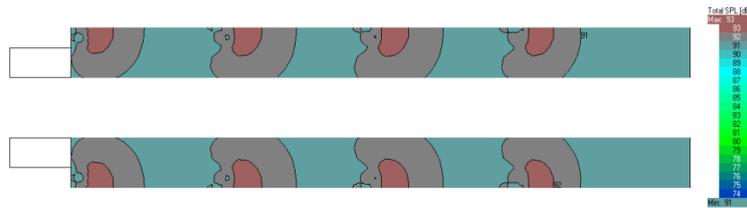


Figura 10: Mapa de SPL total a 1Khz

4.3.3. Niveles de ruido

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

- / 75 dBSPL

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.

Los resultados que se obtienen de inteligibilidad serán válidos para niveles de ruido de hasta 75 dBSPL.

4.3.4. 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 recinto es 75 dBSPL o inferior.
- / El tiempo de reverberación del recinto a 1.000 Hz es 4,68 segundos o inferior.
- / El modelo y situación de los altavoces es la especificada en los apartados anteriores

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 del recinto.

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

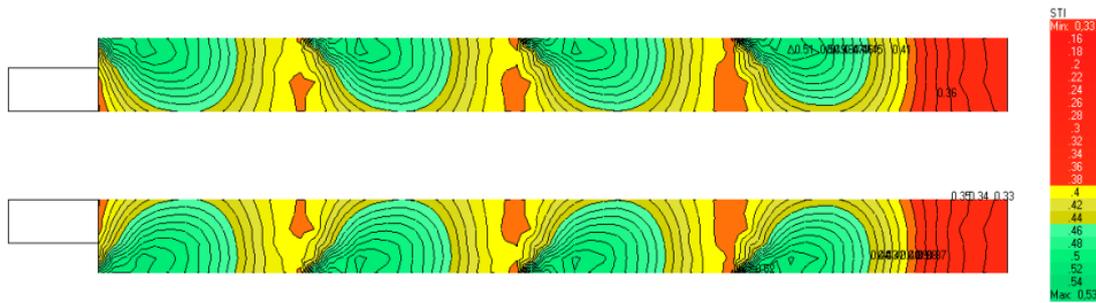


Figura 11: Mapa de inteligibilidad STI

4.3.5. 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 SPLD, SPLT o STI. Dichos valores están cifrados en dBSPL, dBSPL e índice STI respectivamente.

4.4. Conclusiones del estudio

4.4.1. Nivel de presión sonora total

Los niveles de presión sonora total conseguidos, permiten disponer de la relación S/N adecuada (superior a 25 dBSPL) en cualquier punto del área de audiencia del recinto para ruidos de 75 dBSPL.

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 recinto.

La cobertura, o lo que es lo mismo, la variación de niveles de SPL total máximo y mínimo entre puntos, es de aproximadamente $\pm 1,30$ dBSPL.

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

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 dBSPL, si finalmente los ruidos medios son superiores, los resultados esperados de inteligibilidad podrán ser inferiores.

4.4.2. Inteligibilidad de la palabra

Resultados con los tiempos de reverberación estimados para los coeficientes de absorción acústica de las superficies previstas.

Con los coeficientes de absorción de los materiales y la distribución de altavoces utilizados en la simulación, se consigue 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).