

# Disseny i càlcul d'una instal·lació acústica d'informació al viatger a les andanes d'una estació de ferrocarril

Eduard Oliveras Morató

Estudiant d'Enginyeria Tècnica Industrial Electrònica Industrial

## Resum

El projecte consta d'una introducció al so i les ones sonores, així com als factors que influeixen en la seva transmissió a través del camp obert, vist desde el punt de vista purament físic. També es descriu breument el sentit de l'oïda i la percepció subjectiva i selectiva que tenim, segons la freqüència del so que escoltem.

En una instal·lació de megafonia al aire lliure, s'ha de contemplar les possibles molèsties als veïns que estiguin en habitatges propers a l'estació. Aquest es un tema delicat, perquè a vegades els habitatges estan tant aprop de la via, que les molèsties son inevitables. S'ha fet un estudi teoric, de l'efecte que provoca la orientació dels altaveus en l'espai al voltant de l'estació i s'explica un exemple d'instal·lació d'equips i cablejat, en una estació de ferrocarril.

## Introduccio

Una instal·lació acústica d'informació al viatger a les andanes d'una estació de ferrocarril, consta bàsicament de 4 elements ( fig 1 ):



Fig 1 Esquema general de megafonia

- Una font d'àudio ( micròfon, sistema de transmissió digital/analògic, etc ), que transmeti la informació de veu.
- Un sistema amplificador, que adequi el nivell del senyal fins que es pugui reproduir correctament amb el volum necessari per que el missatge es pugui escoltar bé.
- Un cablejat, que uneixi el sistema amplificador amb el sistema reproductor ( altaveus )
- Uns altaveus, col.locats en el lloc adequat en funció de les característiques de l'andana i el seu entorn ( veïns, hospitals, etc.)

Per poder sonoritzar correctament una andana, hem d'entendre primer, el mecanisme que tenen les ones de propagar-se a l'aire i la manera que té l'oïda humana per escoltar el so.

## El so [1]

El so és una successió de canvis de pressió (compressions i dilatacions) en un medi (sòlid, líquid o gas), provocats per una vibració que s'hi transmet en forma d'ones sonores. La vibració provoca alteracions mecàniques a les partícules del medi creant canvis de pressió que es propaguen en totes direccions a partir del punt on hi ha la vibració.

La velocitat del so depèn del mitjà a través del qual es transmet, a l'aire es de 343 m/s a 20°C

Una ona sonora és un canvi continu de la pressió que es transmet i viatja a través d'un medi a la velocitat del so.

Una forma gràfica de veure la propagació de les ones, es quan llencem una pedra a la superfície d'un llac amb l'aigua en repòs, es formen una serie de cercles concèntrics al voltant de la pedra que s'allunyen del punt d'impacte. Si representem un tall vertical, perpendicular a la superfície de l'aigua, veurem com es pot apreciar una ondulació molt semblant a la fig 2, amb la diferència que en lloc de ser constant l'alçada de la cresta ( amplitud ), va disminuint conforme s'allunya del centre.

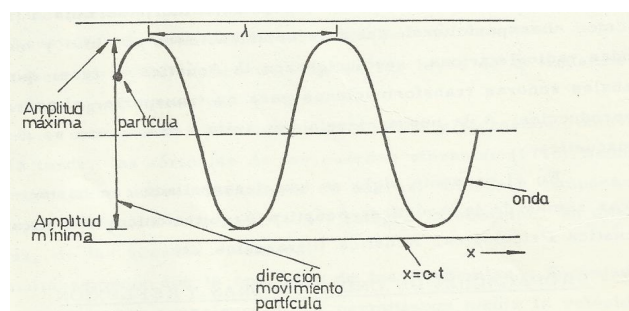


Fig 2 Variació sinusoidal de l'amplitud a l'espai

La distància entre 2 crestes (màxim ) o dues valls (mínim ) en un moviment periòdic, es constant i s'anomena longitud d'ona (  $\lambda$  ).

El període T, es el temps que triga un punt des de que es alterat per la pertorbació. de la ona, fins que torna a la posició inicial, després de passar per el màxim i el mínim. Es el temps que triga la pertorbació. en recórrer la longitud d'ona. Es l'invers de la freqüència (  $T = 1/f$  ).

La fase fa referència al moment en el qual considerem l'inici de l'ona. En general la fase pren importància quan

comparem dues ones.

## Fenòmens que afecten la transmissió del so

Hi ha una sèrie de paràmetres que afecten la transmissió del so: L'Absorció de l'energia incident per un material. La reflexió de l'ona sonora incident al xocar contra un objecte, provocant un eco, si la distància es igual o superior a 17m i el rebot del missatge arriba a l'emissor en un temps igual o superior a 0,1 sg. La reverberació, si la diferència entre el so emès i el reflectit, es inferior a 0,1 segons. La refracció, que fa que si el so passa d'un medi a un altre de densitat, o temperatura, diferent, produeix una desviació en la seva trajectòria. La difracció es la capacitat que tenen les ones de rodejar un objecte que s'interposa en la seva direcció, rodejar-lo i seguir propagant-se. També es important l'efecte del vent: si bufa a favor, el so té tendència a baixar; si bufa en contra, la tendència es a pujar.

El so es propaga en totes direccions de forma esfèrica; la superfície d'una esfera es proporcional al quadrat del seu radi i la intensitat del so disminueix de forma inversa al quadrat del radi, es a dir, de la distància a l centre de la font d'àudio.

## Psicoacústica i decibels

Des de que s'emet un so des d'una determinada font sonora, fins que podem afirmar que l'hem sentit,

hi ha tot un procés: Es genera a la font, es transmet a través de l'aire, es captat per l'orella i finalment es interpretat per el cervell. La fig 3, ens mostra una secció esquemàtica de l'orella humana.

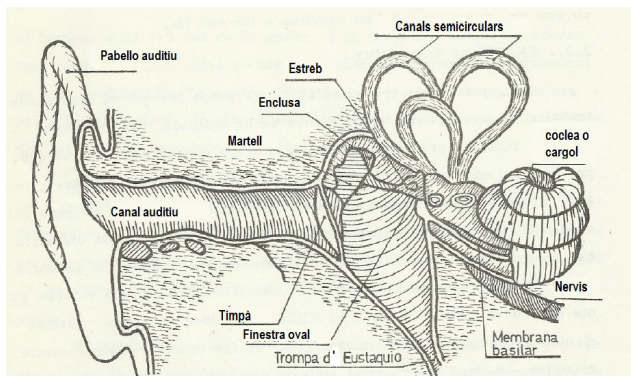


Fig 3 Anatomia de l'orella

L'amplitud fa que sentim un soroll mes fort o mes fluix. La pressió sonora mes dèbil que pot escoltar una persona mitja, a 1 kHz, es de 20 micro pascals ( $20\mu\text{Pa} = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa} = 2 \times 10^{-5} \text{ Nw/m}^2$ ) i la mes forta sense sentir dolor, es de l'ordre de  $200 \text{ Pa} = 200 \text{ Nw/m}^2$ , cobrint una gama dinàmica de  $1 : 10.000.000$ . Tenint en compte que el so a la natura, pot tenir una gama dinàmica de 1012 i que la percepció del so no es lineal, sinó logarítmica, a l'hora de mesurar la pressió sonora s'ha preferit una escala relativa logarítmica.

Es defineix el Bel, com una relació logarítmica en base 10 entre 2 potències  $B = \log(W/W_0)$

A la pràctica el Bel es una unitat massa gran i es fa servir el decibel, que es una dècima part del Bel

$$dB = 10 \log(W/W_0)$$

L'orella humana es sensible a la pressió que provoca el so sobre el timpà, per tant es raonable mesurar la pressió del so.

Definirem el nivell de pressió sonora (SPL) de la manera següent:  $SPL = 20 \log(P_{\text{real}}/P_{\text{ref}})$  on  $P_{\text{real}}$  es la intensitat del so que volem mesurar i  $P_{\text{ref}} = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ , es la intensitat de referència

Cada vegada que doblem la distància, disminueix en 6 dB la SPL [2].

El mínim increment (o decrement) que percep l'orella es de 3dB; això vol dir doblar o reduir a la meitat la potència aplicada

El rang de sons audible per els éssers humans joves, es situa en una franja que va des dels 20 Hz als 20 kHz. A partir dels 25 anys aproximadament, la capacitat de sentir les freqüències mes altes, es va reduint.

Per mesurar la pressió sonora s'utilitza el sonòmetre que mesura la Leq (Equivalent continuous sound level) [3], es a dir el nivell equivalent de so continuat

L'orella no capta totes les freqüències igual, a igual pressió hi ha sons que sembla que sonin mes forts o mes fluixos, en funció de la seva freqüència. Es per això que per determinar l'efecte de so, s'han establert les corbes isofòniques es a dir de igual sonoritat.

Aquestes corbes calculen la relació existent entre la freqüència i la intensitat, (en decibels) de dos sons per a que siguin percebuts com igual de forts per l'orella. Tots els punts situats sobre una mateixa corba isofònica tenen la mateixa sonoritat. La unitat es el fon

## El soroll

Segons la definició que dona la Llei 16/2002, de protecció contra la contaminació acústica de la Generalitat de Catalunya, el soroll es un contaminant físic que consisteix en una barreja complexa de sons de freqüències diferents, que produeix una sensació auditiva considerada molesta o incòmoda i que amb el pas del temps i per efecte de la seva reiteració pot esdevenir perjudicial per a la salut de les persones. Per tal de minimitzar aquestes molèsties hi ha una legislació que protegeix les persones en front del soroll.

## Altaveus i so

Per sonoritzar una andana exterior, necessitem saber: Les zones de cobertura dels altaveus, la potència acústica necessària per cobrir la zona, la geometria de l'andana, el soroll de fons, la normativa legal aplicable a la zona de veïns.

Les zones de cobertura dels altaveus, es determinen a partir de la informació que dona el fabricant, ja sigui a través d'un diagrama polar de radiació - que indica en quines direccions el so te una atenuació o be un reforç (fig 4), o bé segons l'angle de cobertura (a una freqüència determinada) que indica l'angle dins del qual el nivell de la pressió sonora (SPL), disminueix en 6 dB respecta la SPL del l'eix de l'altaveu (fig 5.). Hem de procurar que tot l'espai a sonoritzar, estigui dins de l'angle de cobertura d'algun dels altaveus instal·lats, per evitar zones "fosques", zones on el so no te la intensitat necessària per que el missatge sigui entès correctament

L'angle de cobertura es pot veure afectat si hi ha objectes entre l'altaveu i la persona que ha d'escoltar el missatge )

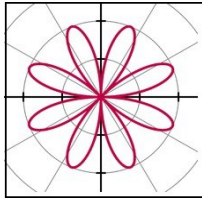


Fig 4 Diagrama polar

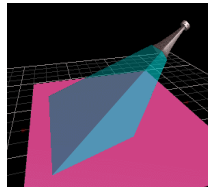


Fig 5 Angle de cobertura

La potència acústica necessària per cobrir l'espai que volem sonoritzar, la determinarem en base al nombre d'altaveus a instal·lar i a la potència que tingui cada altaveu

No totes les andanes son iguals, n'hi ha rectes i sense gaires obstacles, d'altres tenen una forma corba i d'altres tenen obstacles grans, per exemple la paret de la caixa de l'ascensor.

Per una bona intel·ligibilitat de la megafonia en locals oberts- com en el cas de l'estació- es suficient una relació senyal/soroll ( SNR signal-to-noise-ratio ) de 15 dB

Els factors mes importants que caracteritzen una font sonora son: el diagrama de directivitat i el rendiment, ambdós dependents de la freqüència. El fabricant facilita entre d'altres paràmetres, el rendiment, el diagrama de directivitat ( o l'angle de cobertura ) i la sensibilitat, que indica la relació que hi ha entre l'energia elèctrica consumida en watts i el nivell de pressió sonora en dB.

Hi ha dues configuracions a l'hora de connectar altaveus a la sortida d'un amplificador:

Connexió a baixa impedància, on cada altaveu es connecta directament a la sortida de l'amplificador. Els altaveus tenen una impedància de 4  $\Omega$ , 8  $\Omega$ , 16  $\Omega$ .

Connexió a alta impedància, línia de 100V, 70V, 50 V. Els altaveus es connecten en paral·lel a la sortida de l'amplificador. El nombre màxim d'altaveus va en funció de la potència de l'amplificador, de la sortida seleccionada ( 100V, 70V, 50 V. ) i de la potència de cada altaveu.

Es important connectar els altaveus en fase, per evitar interferències que dificultin la intel·ligibilitat dels missatges.

Segons el tipus d'altaveu, i si l'andana no presenta obstacles grans, podem tenir una bona cobertura amb pocs altaveus, si li donem un volum adequat als altaveus; això implica que potser amb molta potència podem instal·lar pocs altaveus. Això xoca frontalment amb les molèsties que podem ocasionar als veïns: a mes volum mes molèstia. Per tant hem de baixar el volum al mínim per evitar molèsties. Això significa augmentar el nombre d'altaveus, amb el que això comporta de cara al pressupost. Per tant, necessitem establir un equilibri entre les necessitats del client - que el pressupost sigui el mes ajustat possible- i els veïns que, en el cas ideal, voldrien un soroll zero.

No sempre es fàcil instal·lar pantalles acústiques per esmorteir el soroll: Hi ha factors estètics que no permeten posar un mur davant dels habitatges, o bé el pressupost d'obra civil es mes elevat que el necessari per augmentar el nombre d'altaveus.

Per tant utilitzarem un tipus d'altaveu molt direccional

## Consideracions

Renfe disposa de material suficient per fer diferents composicions de trens segons la línia i l'horari. La mínima longitud correspon a 1 tren de les series 447, 451, 464 amb una longitud aproximada de 80 m. La composició mes habitual es la 1 o 2 trens amb un total de mes de 300 m de longitud [4]. Normalment, els viatgers es situen en un radi d'uns 100m de l'accés a les andanes, per tant sonoritzarem una longitud d'andana de 200 m i cobrirem la major part de les andanes de les diferents estacions i composicions de trens

S'ha triat un altaveu exponencial de 30W de potència en línia de 100V per la seva gran directivitat. en la línia de l'eix

S'instal·laràn 17 de altaveus per andana, ajustats a 5W de potència, amb una separació entre ells de 12, m i, per minimitzar les molèsties als veïns. i si és necessari, es giraran de forma que els habitatges quedin el mes lluny possible del feix de l'angle de cobertura dels altaveus.

## Amplificador, micro i cables

Cada línia de megafonia corresponent a una andana, serà alimentada per una unitat de potència de 120W rms, de tal manera que tindrem tants amplificadors com andanes tinguem, o zones diferents volguem sonoritzar.

Les unitats de potència es col·locaran dins d'un rack de megafonia de 19" i 9U d'alçada.

El cable d'alimentació del rack serà de coure de 3x2,5mm de secció, lliure d'halògens, no propagador d'incendi ni de flama.

Per assegurar que la caiguda de tensió a la línia de megafonia no superi el 10% per efecte de la distància, s'instal·larà cable de coure de 2x2,5mm de secció, lliure d'halògens, no propagador d'incendi ni de flama.

Per poder transportar el senyal del micro a una distància màxima de 80 m, s'ha triat un pupitre microfònic preamplificat a 0dB ( 775 mV ) amb senyal simètrica.

L'entrada de micro de la unitat de potència es fa amb un conector RJ45.

S'instal·larà un cable utp de cat 6 des de'l pupitre microfònic fins l'entrada de la unitat de potència, perquè a part de ser un cable de parells trenat, cosa que va bé per transmetre el senyal simètric del pupitre microfònic, te un bon comportament enfront de la diafonia i el soroll elèctric. També ens permetrà portar informacions de selecció i prioritat desde el pupitre microfònic fins el rack de megafonia.

## Descripció de la instal·lació

.Si considerem una estació amb 4 vies, una andana a la sortida de l'edifici de viatgers i dues andanes mes, podem sonoritzar l'estació tal com indica la fig 6

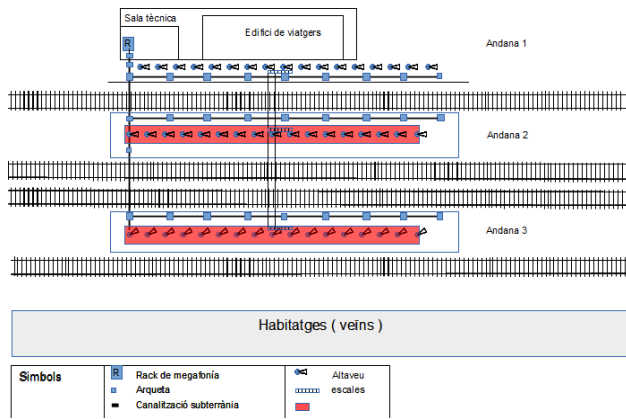


Fig 6 Exemple de sonorització d'una estació

Hi ha 3 andanes, això vol dir que necessitarem tres amplificadors de 120W i tres línies independents de megafonia

El cablejat que va des d'el sistema amplificador fins els altaveus, va per l'interior de canalitzacions, que poden ser subterrànies, sota les andanes, o entubades en tubs de PVC o d'acer.

Des del rack de megafonia., situat a la sala tècnica, surten els cables cap a les andanes ( en el nostre exemple 3, un per andana ), a través d'una arqueta que comunica la sala tècnica amb l'andana 1, on hi ha una altre arqueta que comunica les canalitzacions de l'andana 1 , amb el pas de via cap a les andanes 2 i 3. Per facilitar l'estesa de cables a la canalització, hi ha diverses arquetes al llarg de l'andana.

Les canalitzacions entre arquetes d'una mateixa andana, estan formades per diferents tubs enterrats i formigonats sota el paviment

La col·locació dels altaveus a les andanes, independentment de la seva orientació a l'espai, poden ser o bé dins de marquesines si n'hi ha, o be en pals metàl·lics verticals.

Es important fer les connexions dels altaveus en fase

### Proves i posta en servei de instal·lació

Un cop s'ha instal·lat el cablejat i els altaveus i s'han fet totes les connexions, es fa una prova de la impedància de la línia amb el mesurador d'impedàncies. Un cop verificades les diferents línies, es connectaran al seu respectiu amplificador i s'ajustarà el volum de cadascun d'ells amb un senyal de prova. Esprova i s'ajusta també el volum del pupitre microfònic.

### Conclusions

En base a l'experiència personal com a tècnic de manteniment en una empresa dedicada a instal·lació i manteniment de megafonia en estacions de Renfe-Adif, he vist que es molt difícil aconseguir un encaix perfecte entre les necessitats de Renfe i dels veïns que viuen aprop de l'estació.

Per part de Renfe, es important tenir un volum de megafonia suficientment alt per que es puguin donar avisos i tots els clients els sentin, especialment si son avisos de perill o d'emergència ( no creuin les vies, tren sense

parada ).

Per part dels veïns, l'anunci constant de missatges de pas de trens, de perill, etc, crea molèsties si l'habitatge es molt aprop de la via i no es una solució econòmicament viable posar altaveus cada dos metres i mig.

Encara que la forma tradicional d'anunci de trens es a través de megafonia, una possible millora per els veïns, seria la supressió dels anuncis rutinaris de megafonia, que serviria només per donar informacions urgents o d'emergència. La informació de pas de trens es podria potenciar instal·lant mes sistemes d'informació visual: teleindicadors i monitors, que actualment actant de forma conjunta amb la megafonia.

### Referències

- [1] Acoustics and psychoacoustics; David M. Howard and Jamie A.S. Angus; cap 1 pag 5 i seg.accessible a la web: <http://www.sciencedirect.com/science/book/9780240521756>
- [2] Espacio, volúmenes y sonido; Guia de sonorización FidexBouyer
- [3] <http://es.wikipedia.org/wiki/Sonometro>
- [4] [http://www.renfe.com/CA/viajeros/nuestros\\_trenes/cercanias446\\_ficha.html](http://www.renfe.com/CA/viajeros/nuestros_trenes/cercanias446_ficha.html)