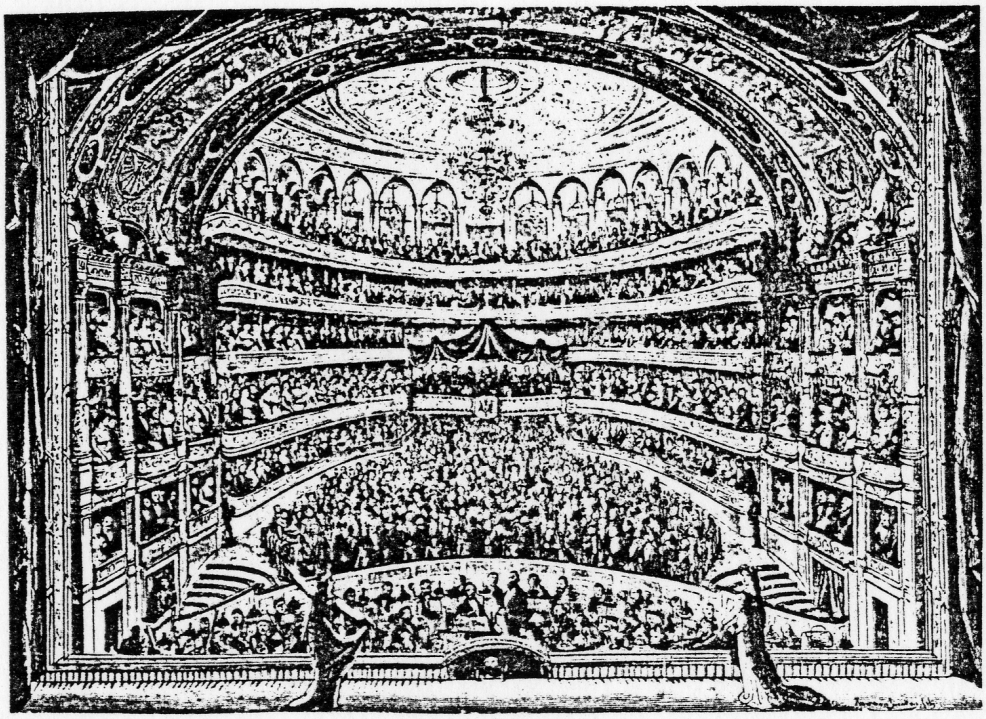
PART I

CONTRIBUCIÓ AL MODEL TEÒRIC DE L'ESMORTEÏMENT DEL SO A LES SALES



Mitjançant l'estudi teòric d'aquesta primera part, s'intenta definir en primer lloc el nou paràmetre **velocitat d'esmorteïment** de la sala, com a l'element aglutinador de l'ambient acústic, pel que fa al temps de reverberació, i del disseny arquitectònic quant a les constants geomètriques del volum i la superfície d'ocupació de la sala.

Es pretén també establir les relacions d'aquesta velocitat, per al model de sales prismàtiques, amb el lliure camí mitjà i amb les dimensions de la sala.

S'adopta com a base el model prismàtic de sala perquè pot permetre determinar amb prou exactitud el lliure camí mitjà de la teoria ondulatòria, d'acord amb les formulacions conegudes en aquest respecte. Això pot permetre observar la dependència de la velocitat d'esmorteïment de les dimensions de la sala, la freqüència escollida per a l'anàlisi i l'amplària de banda que es consideri adient adoptar.

Aquesta dependència la realitzarem mitjançant una certa constant que anomenarem **d'excitació**, l'establiment de la qual no serà immediat, però que podrà servir per a comparar l'esmorteïment ondulatori amb d'altres sistemes que aplicarem per al mateix model de sala prismàtica, com ho són els basats en els lliures camins mitjans proposats per Pujolle i Wernly, tot i que aquests no depenen de la freqüència i ampla de banda.

Però el que serà molt interessant és l'estudi a través de la fórmula d'Eyring de la relació entre velocitat d'esmorteïment i reflexió, en aplicar tant aquells lliures camins mitjans com el de Knudsen. Així, mentre la condició d'igualtat d'aquesta relació entre dues sales, ens obligarà que en la teoria ondulatòria s'iguali el quocient dels sumatoris de les constants d'excitació amb el cub del quocient entre les alçàries, en les de Pujolle, Wernly i Knudsen, solament s'exigirà la igualtat entre certes funcions del prisma unitari adimensional que resulta de dividir les dimensions de la sala per la més petita. Aquestes últimes funcions, d'altra banda, bastant similars entre si, es veurà que no tenen cap mena de vinculació amb l'alçària de la sala, sinó exclusivament amb les proporcions del seu prisma unitari.

Buscant la manera de fer desaparèixer la dependència de les constants d'excitació amb les alçàries de les sales, es veurà que això només succeeix quan s'igualen certes magnituds d'ambdues sales, com el volum, la superfície d'ocupació, la superfície de pell interior, o bé les relacions entre aquestes magnituds, cosa que generalment no s'esdevé.

A més a més, caldrà veure que el càlcul del quocient dels sumatoris de constants d'excitació de dues sales serà una feina molt feixuga i que solament serà vàlida per a sales exactament prismàtiques. Com que les sales reals on es voldran aplicar les formulacions s'allunyen bastant del model prismàtic, s'adoptarà com a lliure camí hipotèticament generalitzable, el més pragmàtic en sales reals d'Eyring.

Sobre aquestes bases, s'intenten establir certes **relacions d'homofonia i homotècia** com a resultat d'igualar les característiques acústiques entre dues sales prismàtiques o entre qualsevol sala i un altra de prismàtica. L'objecte d'aquestes relacions és que permetin representar, mitjançant un sol punt d'un diagrama, la condició acústico-geomètrica de qualsevulla sala.

Així, amb el lliure camí mitjà de Knudsen i el temps de reverberació d'Eyring, es desitja d'obtenir les expressions que permetin representar aquest quocient entre la velocitat d'esmorteïment resultant i la reflexió, cosa que s'intenta fer mitjançant certa constant geomètrica que anomenarem **coeficient de contorn,** i que representarà el quocient entre la superfície de pell interior de la sala i la seva superfície d'ocupació.

Es desenvoluparan les relacions d'homotècia per a sales prismàtiques de geometria molt regular, però no solament per a les rectangulars. Tot i que el mètode teòric que es proposarà es fonamenta en el model de sala prismàtica de pell llisa, es desitja la seva aplicació en altres sales, com és el cas de les prismàtiques rectangulars i trapezoïdals amb o sense balcó d'anfiteatre, encara que el mètode ens demani de continuar considerant llisa la pell d'aquestes sales.

L'anàlisi específic de les diferents intervencions dels coeficients d'absorció dels revestiments i l'àrea d'ocupació, ens podrà ajudar a entendre millor la intervenció de cada material. També s'estudiarà la intervenció del plegament de les superfícies de revestiment, cosa que es presenta gairebé sempre en les sales reals, i s'iniciaran els

criteris sobre la repercussió de la difusió del so que s'origina amb aquests plegaments, i que poden tenir molta influència en la velocitat d'esmorteïment.

Estructura

S'ha estructurat aquesta primera part de **contribució al model teòric** en sis capítols corresponents a les lletres A a F, en els quals es desenvolupen els següents punts :

I.A. Constants i definicions de la **sala prismàtica** de planta rectangular que s'adopta com a model de referència i que seran emprades al llarg del treball. **Prisma unitari** adimensional que s'obté a partir de la sala prismàtica, constants i definicions anteriors en funció de les seves proporcions, així com definicions específiques d'aquest prisma.

I.B. Lliure camí mitjà que resulta de la teoria ondulatòria per a locals perfectament prismàtics. Deducció de la formulació general de la velocitat d'esmorteïment d'acord amb aquest lliure camí mitjà, i formulació reduïda en descomptar els modes axials i tangencials enfront del gran nombre de modes oblics per a freqüències mitjanes i altes. Deducció de la formulació de la **velocitat d'esmorteïment** d'acord amb el lliure camí mitjà de Knudsen i la reverberació d'Eyring per a sales amb diferències de tipologia i/o acabats respecte a la prismàtica. Relació velocitat d'esmorteïment-reflexió en funció de les constants geomètriques de disseny de la sala, la comparació amb les relacions obtingudes amb els lliures camins mitjans per a sales prismàtiques de Pujolle i Wernly, i les corbes d'igual relació en funció del prisma adimensional unitari adoptat com a model. Discussió d'aquesta condició d'igualtat en comparar sales prismàtiques amb constants geomètriques i acústiques diverses.

I.C. Discussió sobre la relació entre les constants d'excitació en funció de l'alçària en sales homòfones i no homòfones, segons el lliure camí mitjà de la teoria ondulatòria i segons els estadístics de Pujolle, Wernly i Knudsen.

I.D. Definició de sala homòfona i homotètica, d'acord amb la relació velocitat d'esmorteïment-reflexió. Prisma unitari homotètic, **constant d'homofonia** i altres propietats d'homofonia i homotècia. Relacions d'homotècia en sales prismàtiques amb balcó, sales trapezoïdals, sales trapezoïdals amb balcó i d'altres tipologies.

I.E. Discussió sobre la reflexió en sales homotètiques i homòfones, distingint entre absorcions corresponents a les diverses àrees de revestiment i d'ocupació de la sala prismàtica. Relació entre coeficient d'absorció, unitats d'absorció i densitat superficial per a l'àrea d'ocupació. Valors usuals d'aquesta densitat en sales existents. Valors de les unitats d'absorció i coeficient d'absorció de l'àrea d'ocupació segons diferents autors. Condicions d'igualtat de la velocitat d'esmorteïment en sales homòfones i homotètques. Anàlisi de la variació de velocitat en sales prismàtiques, prismàtiques amb balcó, trapezoïdals i trapezoïdals amb balcó conservant invariables els coeficients d'absorció.

I.F. Plegament de la superfície de revestiment i **factor de plegament.** Estudi de tipologies de plegament usuals : ones, dents de serra, greques, enreixats, ranures i plegaments mixtos. Variació de la velocitat d'esmorteïment en funció del plegament adoptat. Difusió originada pel plegament.

CAPÍTOL I. A.

CONSTANTS I DEFINICIONS DE LA SALA PRISMÀTICA

I .A. CONSTANTS I DEFINICIONS DE LA SALA PRISMÀTICA

I.A.a. INTRODUCCIÓ

Per tal de permetre la màxima simplificació dels termes emprats en el desenvolupament d'aquest treball, s'ha considerat adient dedicar íntegrament aquest primer capítol a certes definicions i constants geomètriques de les sales d'audicions, sense excloure la possibilitat, si així ho aconsella el seguiment del text, de fixar-ne d'altres en algun apartat en concret.

Com que les bases teòriques plantejades per a les **sales prismàtiques** constitueixen el pes específic de la primera part d'aquest treball, se'ls dedica la meitat d'aquest capítol, on es defineixen els diferents paràmetres geomètrics d'aquestes sales.

Cal entendre que molts dels conceptes especificats podran ser extrapolats per a les sales d'audicions no prismàtiques. Per aquesta raó, en referir-nos a les sales existents, s'emprarà, si és possible, la mateixa nomenclatura.

A la segona part d'aquest capítol, es defineixen les constants d'un **prisma unitari.** Aquest prisma és el resultat de dividir les dimensions de la sala prismàtica per la més petita (usualment coincident amb l'alçària). Això constitueix un model simplificat, adimensional i proporcional a la sala, que serà emprat com a eina de treball en les demostracions dels següents capítols.

I.A.b. CONSTANTS I DEFINICIONS DE LA SALA PRISMÀTICA

S'adopta com a model de **sala prismàtica** la de planta rectangular amb totes les cares perfectament llises, i sense cap altra superfície interior tret de les sis cares corresponents.

Per a aquesta sala, es defineixen els següents conceptes :

L, A, H — **Dimensions de la sala prismàtica** (m).

Rectangle base — **la base constituïda pels costats L i A.**

P — **Perímetre del rectangle base**

$$P = 2(A+L) \quad m. \qquad (I.A.1)$$

p — **Factor de pendent del rectangle base**

$$p = L/A \quad \text{adimensional.} \qquad (I.A.2)$$

D — **Sumatori de les tres dimensions**

$$D = A+L+H \quad m. \qquad (I.A.3)$$

t — **Talla o relació perímetre-base.** Es refereix a la divisió del perímetre del rectangle base per la superfície d'aquest rectangle.

$$t = 2(A+L)/AL \quad m^{-1}. \qquad (I.A.4)$$

S — **Superfície de pell.** Correspon a la superfície interior de les sis cares de la sala primàtica.

$$S = 2(AH+LH+AL) \quad m^2. \qquad (I.A.5)$$

S_T **Superfície ocupada pel públic, cors i orquestra,** també definida com a **superfície d'ocupació.** En aquest cas de sala prismàtica correspon exactament al rectangle-base.

$$S_T = AL \quad m^2. \tag{I.A.6}$$

S_R **Superfície de revestiment.** Correspon a tota superfície de pell diferent de la d'ocupació S_T.

$$S_R = S - S_T \quad m^2. \tag{I.A.7}$$

σ **Relació superfície revestiment-públic.** Resulta de la divisió entre la superfície de revestiment i l'ocupada pel públic, cors i orquestra.

$$\sigma = S_R/S_T \quad \text{adimensional.} \tag{I.A.8}$$

V **Volum interior**

$$V = A\,L\,H \quad m^3. \tag{I.A.9}$$

f_f **Factor de forma.** Relaciona la superfície de pell amb el volum.

$$f_f = S/V \quad m^{-1}, \tag{I.A.10}$$

i conseqüentment resulta

$$f_f = (2/H) + t. \tag{I.A.11}$$

C **Raó de contorn.** Relaciona la superfície de pell S de la sala amb la superfície d'ocupació S_T.

$$C = S/S_T \quad \text{adimensional,} \tag{I.A.12}$$

i evidentment,

$$C = \sigma + 1. \tag{I.A.13}$$

I.A.c. CONSTANTS I DEFINICIONS DEL PRISMA UNITARI

Com ja s'ha indicat, el **prisma unitari** correspon al prisma de costats adimensionals, però proporcionals als costats de la sala prismàtica.

S'adopta com a raó de proporció la dimensió H que, en general, resulta ser la més petita.

y, x i 1 **Proporcions del prisma unitari,** definides per

$$y = L/H,$$

$$x = A/H, \qquad \text{(I.A.14)}$$

$$1 = H/H.$$

p **Factor de pendent del prisma unitari**

$$p = y/x, \qquad \text{(I.A.15)}$$

i òbviament és idèntica a la definida per al rectangle-base.

Pel que fa a les constants establertes en l'apartat anterior, es transformen en:

Sumatori de les tres dimensions

$$D = (x+y+1)H. \qquad \text{(I.A.16)}$$

Talla

$$t = 2(x+y)/xyH. \qquad \text{(I.A.17)}$$

Més endavant, en el capítol I.D., es definirà aquesta relació $2(x+y)/xy$ com a certa constant d'homofonia.

Superfície de pell

$$S = 2(x+y+xy)\,H^2. \qquad \text{(I.A.18)}$$

Superfície d'ocupació

$$S_T = x\,y\,H^2. \qquad \text{(I.A.19)}$$

Superfície de revestiment

$$S_R = [2(x+y)+xy]\,H^2. \qquad \text{(I.A.20)}$$

Relació superfície de revestiment-públic

$$\sigma = [2(x+y)/xy] + 1. \qquad \text{(I.A.21)}$$

Volum

$$V = xyH^3. \qquad \text{(I.A.22)}$$

Factor de forma

$$f_f = 2(x+y+xy)/xy\,H. \qquad \text{(I.A.23)}$$

Raó de contorn

$$C = 2(x+y+xy)/xy, \qquad \text{(I.A.24)}$$

i òbviament :

$$C = f_f\,H. \qquad \text{(I.A.25)}$$