

udako
euskal
unibertsitatea

AKUSTIKA

IRUINEA 1978



Banco de Vizcaya
BABESTUTAKO ARGITARAPENA

EDICION PATROCINADA POR EL
Banco de Vizcaya

AKUSTIKA

Prestatzaile: Elhuyar



AKUSTIKA

- 1.- HOTSAREN AZALPEN FISIKOA
- 2.- TERMINOLOGIA ETA KONTZEPTU OINHARRIZKOAK
- 3.- SOINUAREN NEURKETA
- 4.- SOINUAREN KONTROLA
- 5.- ENTZUMENA ETA GORRERIA

Sarrera gisa

Artikulu-sail hau lehenengo asteko Fisika atalean emateko prestatua izan da.

Soinuaren kontzeptu teorikotik abiatuz, bere neurbideak, kontrolgarritasuna eta geroz eta u suago sortzen dituen eritasunak aztertzen dira.

Lan hauen sorburuaz eta iturri bibliografikoaz den bezainbatean, zera esan daiteke:

- I. Azkunek, orain dela bizpahiru urte prestaturiko "Akustika" lanetik jasoa du artikulu hau; hain zuzen ere, lan hartako ~~2.~~ kapitulua da hori.
- M. Zalbidek hiru iturri desberdinetatik jaso ditu datuak; halaz ere, mamirik gehiena " el ruido en la maquina-herramienta " izeneko e ta Donostiako CIT ek argitaraturiko lanetik bildua du, bereziki J. Irigarai eta R. Bueno irakasleen artikuluetatik.
- L. Bandresek, azkenik, bere tesi doktoraletik laburbilduz prestatu du hurrengo kapitulua.

HOTSAREN AZALPEN FISIKOA

I. Azkune

HOTSAREN AZALPEN FISIKOA

1. HIGIDUPA
2. HIGIDURA ARMONIKOA
3. HOTSAREN ERAKETA ETA HEDAKETA
4. IZPIDUN KATODOZKO OSZILOSKOPIOA
5. SINUSOIDEAREN MAPRAZKETA
6. LEHEN ONDORIOAK. FASEA. INTERFERENTZIAK
7. QUINCKE-REN TUTUA
8. HOTSAREN ABIADUPA
9. HOTSAREN BEREZITASUNAK
10. UHIN LAUNAK
11. TINBREA
12. ENTZUNDAKO-TONOAREN ALDAKETA: Doppler-Fizeau izeneko
fenomenoa



2. HOTSAREN AZALPEN FISIKOA

2-1 Higidura periodikoa

Higidura jakin bat behin eta berriz egiten duen gorputzarenari deituko diogu "Higidura periodiko".Higidura jakin bakoitze egiteko behar duen denborari berriz, "periodoa".Beraz, gorputzak bi posizio berdin hartu bitarteko denbora da periodoa.

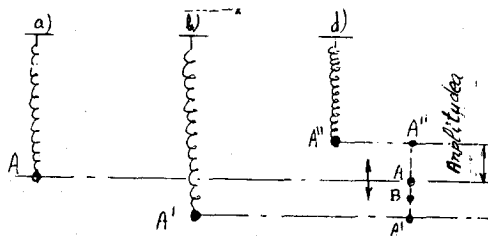
Hotsa sortzen denean, airearen molekulak oszilatuz ibiltzen di-
ra, "armoniko" erazko higidura periodiko bat eginaz.

"Higidura armonikoa", "higidura periodikoen" arteko era berezi bat da.

2-2 Higidura armonikoa

Materiadun sistema batek,leheneratzen duen indar baten eragin-
pean dagoenean,"higidura armoniko" bat egingo du puntu aldagaitz
bati buruz,baldin ziklo berdinak denbora berdinetan egiten baditu.

Metalezko bolatxo bat elastiko huts den malguki bati zintzilikatuko baldin bagenio, delako malguki hori luzatu egingo litzateke oreka lortu arte. (ikus 1.marrazkia)



1. marrazkia

Bolatxoa eskuz A raino eramaten baldin badugu, A''raino joango da libre uzten dugunean, eta marruskadura alde batera utzirik.

A'eta A'', A-ri buruz simetrikoak direla ikusiko dugu.

A'puntuan, energia potentzial jakin bat du. Energia potentzial hori, energia zinetiko bilakatzen da A puntura hurbildu ahala . A puntuan, energia potentziala zero da. Energia zinetikoa aldiz, har dezakeen handiena. Energia zinetiko honek, A''raino bultzatzen du bolatxoa. Puntu horretan, energia potentziala du bolak ; har dezakeen guzia. Energia zinetikoa berriz, zero.

Energia potentzialaren eraginez, jaisten hasiko da bolatxoa , eta A oreka puntura heltzean, energia potentziala erabat energia zinetiko bilakatua egongo da. Hurrengo, bolatxoa A'raino etorriko da, energia zinetikoa galdu eta potentziala irabaziz. Ziklo bat osatu du beraz bolatxoak.

Bolatxoa, dagoen lekuan dagoela, A puntu aldera erakarria izango da. Erakarpen indarra, bola dagoen tokitik A-rainoko tartearen arauerakoa izango da.

Teoriaz, marruskadurarik ez dagoela eta malgukia elastiko huts dela egiten baldin badugu alegia, bolaren gorabehera horiek, ez dira inoiz bukatuko. Bolatxoa, higidura armoniko bat egiten ari da . A puntuari, "oszilazioaren" zentrua deritzaz; A A'distantziari (A A''ren berdina) "oszilazioaren amplitudea", eta higidura armonikoaren ozentasuna neurtzen du. "Elongazioa", edozein puntu (B adibidez) eta oszilazio zentruaren arteko distantzia da. Beraz, amplitudea, elongaziorik handiena da.

Bolatxoak ziklo bat osatzeko behar duen T denborari "periodoa" deitzen zaio, eta segundotan neurtu ohi da. Maiztasunak (m), denbora unitateko gertatzen diren periodoak neurtzen ditu. Beraz, $m=1/T$

Maiztasuna, "Hertz"-etan neurtzen da, eta segundoko gertatzen diren zikloen zenbatekoa adierazten du.

Adibidez: A'puntutik irten eta berriro A'punturaino etortzeko bolatxoak $1/5$ segundo behar ditu. Periodoa T, $1/5$ segundo izango da. Maiztasuna berriz, $m = \frac{1}{1/5} = 5$ Hertz

Dena dela, maiztasuna adierazteko era txar bat erabili ohi da. Izan ere askotan esaten da "X ziklo da higidura horren maiztasuna" "X ziklo segunduko" esan beharrean.

Higidura armonikoak azkarrek baldin badira (goi maiztasunezkoak alegia), "higidura bibratorioak" direla esan ohi da. Aipatu dugun bolatxoaz ariko baldin bagina bibrazioa duela esango genuke.

2-3 Hotsaren eraketa eta hedaketa.

Ikusiko ditugun akustika fenomenoak airearen baitan gertatuko direnez gero, hotsa airean nola eratu eta hedatzen den aztertuko dugu batik bat. Aire, zenbait osagaik osatzen du; oxigeno (% 21), nitrogeno (% 78) eta beste zenbaitek (uraren lurrin, gai zikin eta abarrek) (% 1). Osagai hauen molekulak, alde guzietara berdin sakabatu eta nahastuak daude. Beraz, airea inguru isotropo bat da; joera guzietan propietate berdinak dituen gai bat, alegia.

Molekula bilduma hau orekan egon ohi da ezerk asaldatzen ez baldin badu, eta isurtasun ikaragarria duen inguru elastikoa da.

2. marrazkiak, indar elastikoz lotutako molekula multzo bat erakusten du, irudi konbentzional baten bidez.

Demagun, "a, b, d, e, f, g, h eta i", molekula talde bat dela; 1. posizioan molekulak orekan daudela; elkarren arteko distantziak gainera, berdinak direla.

2. posizioan ikusten denez, "a" molekula eskubi aldera aurrerartzen baldin badugu, propietate elastikoari esker "b" molekula ere eskubiratu egiten da.

3. posizioan ikusten dugunez, "b" molekula eskubiratzen ari dela, "a"-k bere ibilbide guzia burutu du.

4. posizioan, "a" ezkererartzen hasten da, bere oreka-leku bila; "b" erabat eskubiratu da dago eta "d" eskubiratzen hasi da.

5. posizioan, "a" oreka-lekura heltzen da, baina gehiago ezkereratzeko joera du, 6. posizioan ikus daitekeenez.

7. posizioan, gehien ezkereraturik dago "a".

"d" molekula, gehien eskubiraturik 5. posizioan aurkitzen da, eta "e" molekulari eragina heltzen zaio.

Era honetan, higidura molekula guzietara zabaltzen da, bakoitzak

higidura armonikoa eginaz,higidura,hedaketako lerro zuzenean egin ere.

9. posizioan,"a" molekula,oszilazio osoa egin ondoren, haserako lekuan dago."j" molekula ezik,(hau ere higitzen hasteko zorian dago), gainontzeko molekula guziak eraginak izan dira.

Higidura sortzen zuen eragilea itzaltzen denean,(uhina igarotakoan),molekulek hasieran zuten lekua hartzen dute.Beraz,higidura aldatzen da lekuz, eta ez ingurua, molekulak alegia.

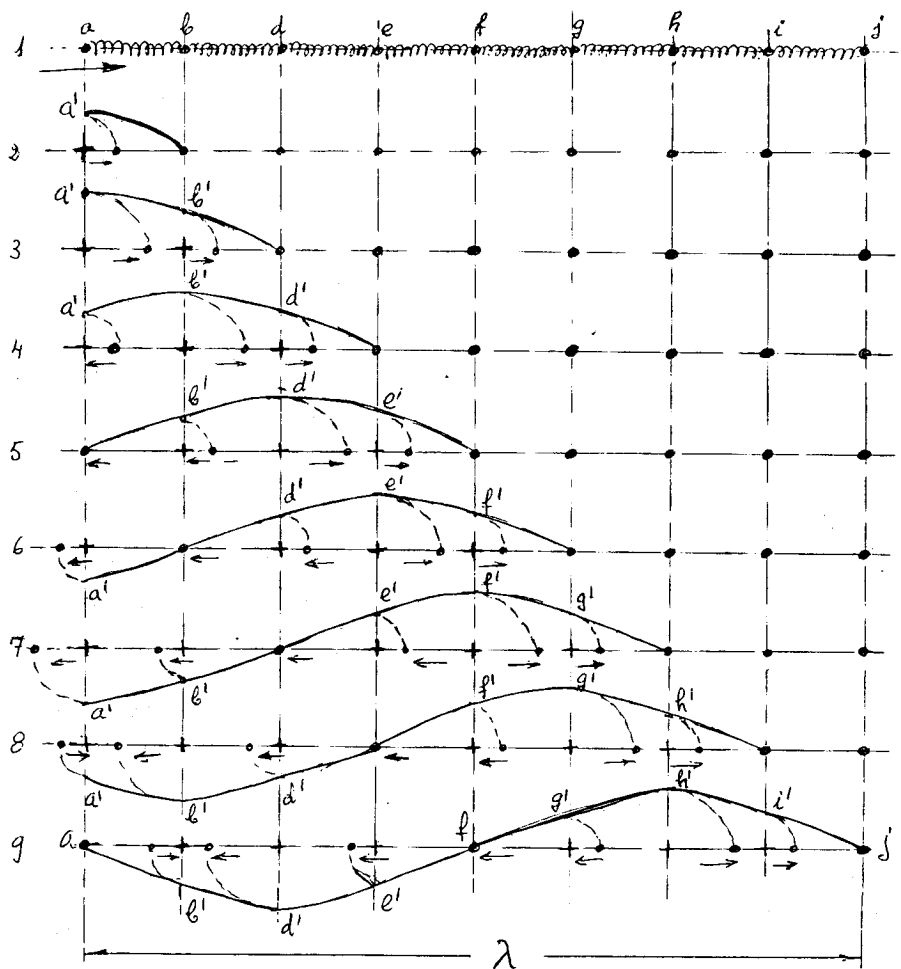
2. marrazkiari zatika begiratzen baldin badiogu,hotsaren hedaketa, molekulek duten elkartze edo presioari hasieran,eta gero urruntze edo zabaltzeari zor zaiola ikusiko dugu.

9. posizioan molekula guziak "f" erdikoari buruz duten simetria nabarmena da; bi konprensio alde daude, elkarren artean beste zabaltze une bat dutelarik.

Multzo honi,"luzerazko uhina" deitzen zaio, oszilazioak luzetaraka hedatzen direnez, eta bere "periodoa" T, uhinak sortzeko behar izan duen denbora da.

"Uhin luzetasuna", uhin osoaren bi ertzetako molekula arteko distantzia da.Beraz, "uhin luzetasuna", ziklo oso bat eragiteko behar den tarte da.Tarte hori ez egotera,uhin osorik ez da sortuko.

Gertakizun honek, berebiziko garrantzia du,hotsa hedatzen den tokiko akustikatresnen dimensioek hots beraren uhin luzetasunarekin dituzten harremanak aztertzerakoan.



2. marrazkia

Oztopo edo islada eragiten duen azal baten neurriak, ala bozgo-railu baten diametroak, izango dute zerikusia hotsaren uhin luzetasunarekin.

Maiztasun entzungarrien uhin luzetasuna 1,7 zentimetrotik hasi eta 21 metrorainokoa denez, (ikus 2. taula) asmatzekoa da edozein gaik portaera ezberdina izango duela uhin luzetasun ezberdinekiko. Uhin luzetasuna, edo bestela esan, maiztasunaren garrantzia, behin eta bider adieraziko dugu.

Oreka puntuetako lerro elkartutetan desplazamenduaren magnitudeak jarritz gero, (goi aldean desplazamendua eskubi alderakoa bada, eta behe aldean molekula ezkerrean badago) a' , b' , d' , eta apar puntuak izango ditugu. Puntu hauek lerro makurrez lotzen baldin baditugu, uhin laurdena osatuko dugu 3. posizioan; uhinerdia 5. posizioan, eta uhin osoa 9. ean. Puntu guztiak lotuta osatzen dugun lerro makurra, sinusoida da.

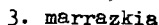
a , f , eta i puntuei, "nodo" deritze, eta heuren arteko tarteari, "sabel". Amplituderik handiena dutenak (d' eta h' 9. posizioan) "gailurrek" dira.

Molekulen oszilazioak irudikatzeko era honek, asko errazten du uhin higiduraren azterketa. Ia beti, era hau erabiltzen da. Izan ere molekulak puntu bidez (batzuk besteak baino urrerago jarriaz) irudikatzea, zail eta erabilgaitz bait da.

Baina esan bezala, molekulen aldaketak lerro elkartutetan ipintzen baldin baditugu, irudi adierazgarri bat lortuko dugu. Bere formaren berezitasunaz baliatuko gara gainera.

Lerro makur hau (sinusoida), propietate eta kantitatez da berezia. Hau da; horizontalaz goitik ala behetik egoteak, molekulak oreka puntutik ezkerreara ala eskubira dagoela esan nahi du, eta lerro makurretik horizontalera dagoen distantzia, dagokion puntuaren elongazioa dela. Sinusoida edukita, erraz itzul ditzakegu puntu hauek hots hedaketaren lerro zuzenera, molekulen posizioa zehazteko.

Uretan gertatzen den desoreka, airean gertatutakoaren ezberdina da. Uretan, molekulak gora eta behera dabilta, sinusoidetako lege baten arabera. Airean berriz, sinusoida konbentzionalki erabiltzen den irudi bat besterik ez da; molekulen atzera-aurrerak adierazten dituen lerro makur bat.

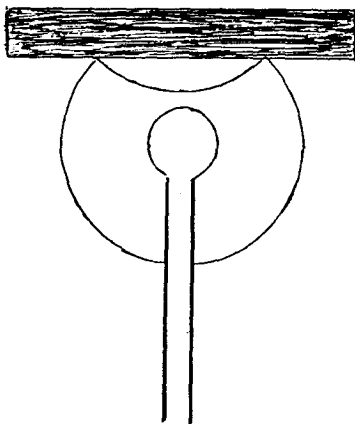


Lerro batean dauden molekula hartu beharrean, azal batean daudenak hartuko baldin bagenitu, uhin higidura radialki zabaltzen dela ikusiko genuke. Konprenzio eta expansioek gainera, zirkuluerazko koro forma dute, zentrua desoreka sortu duen puntua delarik.

Baina desoreka airearen baitan eragiten baldin bada, molekulen higidura espazioaren hiru dimentsiotara hedatzen da. Desoreka, esferikoki hedatuko da, konpresio eta expansio kapak bata bestearen ondoan sortuz. Gero eta radio handiagoko kapak sortzen dira. Baina guziek zentru berdina dute; desoreka lehendabizi sortu den puntua hain zuzen.

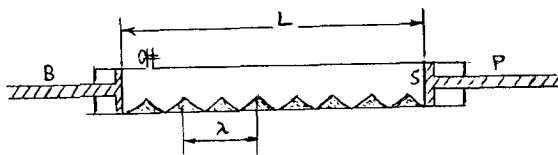
Konpresiozko kapetan molekulak hurbilago daudenez gero, aireak dentsitate handiagoa du expansiozkotan baino. Konpresiozko kapare igarotzean sortutako gainpresioa, dentsitatearen handitzeak neurtuko du. Gainpresioaren errejistratzeari esker (oszilazioaren anplitudea edo higidura ozentasunaren arabera gertatzen dena) hotsa entzun eta neurtu ahal izango dugu.

Hotsa beraz, pultsaziodun esfera baten antzera hedatzen da, bere barneko airearen dentsitatea (presioa ere bai beraz) periodikoki aldatzen delarik. Bibrazio egoera berdineko molekulak, fase ados oszilatzen edo bibratzen direla esaten da, eta airea isotropoa denez, azal esferiko batetan daude. Uhin azalaren edozein zuzen elkartzut, zentrutik (desoreka sortu den puntutik) igaroko da eta hedaketaren joera adieraziko du. Batzutan, uhin azala ordez, zuzen elkartzut hauek erabili ohi dira. Kasu honetan, "izpi" izena hartzen dute lerro zuzenek. (ikus 3. marrazkia)



4. marrazkia

Kundt-en tutaz baliaturik,uhinen forma ikus daiteke.Beirazko
tutu bat da.(Ikus 5.marrazkia.)

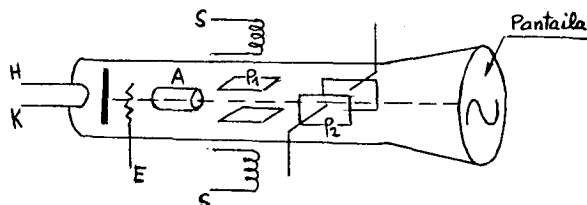


Hotsaren uhinak, osziloskopio bidez ikus daitezke. Hotsa iker-
tzeko aukera aukerako tresna da oszilopioa.

H harigoriaren bidez katodoa berotuz,elektroiak jaurtikitzen

dira. Elektroiak, A anodoak erakartzen ditu, eta E sareak, elektroien sortaren intentsitatea txikiagotu ala hazi egiten du.

Tutuerazko anodoa dela-ta, elektroiak sorta mehe mehe batetara biltzen dira, eta turuta antzeko ertz aldera zuzentzen.



6. marrazkia.

Turuta forma duen ertzeko azala, pantaila batek osatzen du. Elektroiek jotzen dutenean fluor distiraz argitzen den gai batez osatutako pantailan lerroak eta marrazkiak agertzen dira.

P_1 xafle horizontalek, eremu magnetiko bertikal bat sortzen du; S-ko korrontearen arauera jarria aldatzen duen eremu magnetikoa. Elektroiek eremu magnetiko hau zeharkatzen dutenean, gora ala behera okertuak izango dira. Goiko xaflek behekoak baino potentzial handiagoa baldin bada gora, eta batekoz bestera baldin bada behera.

P_2 xaflekin ere, berdin gertatzen da, elektroiak azal horizontal batetan okertzen direlarik.

Bi eremu magnetikoei batera eraginez, elektroien sorta bi kanpoen intentsitateen batuketara bektorialaren arauera okertu araziko dugu.

Tresna honi, "oszilografo elektronikoa" deritzea, eta zenbait makinak osagai da; telebista eta osziloskopioena adibidez.

Osziloskopioaren funtsa beraz, (ikus 7. marrazkia) oszilografoa da; sortzen diren eremuak zehatz neur ditzakeen oszilografoa. Nahierara alda daiteke gainera elektroien sortaren desplazamendu abiadura (garbiketa abiadura). Asmatuko denez, molde eta berezitasun askotako osziloskopioak daude gaur egun. Batzuk, besteak baino orratz, botoi eta posibletasun gehiago dituzte.

Osziloskopio on batek,defentsa antimagnetikoa behar du, tresnaren sensibletasun handia dela-ta,eremu arrotzen eraginez zehaztasunik galduko ez baldin badu.Bestetik,tresnaren txasisak,bibratzio arrotzetatik gordetakoa behar du, lana gaizki egin ez dezan.

Tresna konektatzearekin batera, puntu argi (ala puntu ilun) bat agertzen da pantailan.Argitasunaren intentsitatea,elektroi gehiago ala gutxiago jaurtikita alda daiteke.Puntu argi hori,pantailako edozein aldetan finka daiteke,eremu horizontal eta bertikalak agintzen dituzten botoiei eraginez.

Gehienetan,pantaila zentimetrotan laukitua edo koadrikulatua egon ohi da,neurketak erraztearren.

Pantaila batzutan,elektroiz jota sortzen den fluor distirak iraun egiten du,lerroa irudikatuta geldi dadin.Era horretan,lerroaren berezitasunak hobeto azter daitezke.

Kanpo bertikala (P_1 xaflek sortutakoa) eraginik gabe uzten baldin badugu, puntu argiaren garbiketa abiadura (edo desplazamendu horizontalaren abiadura),nahierara alda daiteke,tresnaren posibletasun barruan.

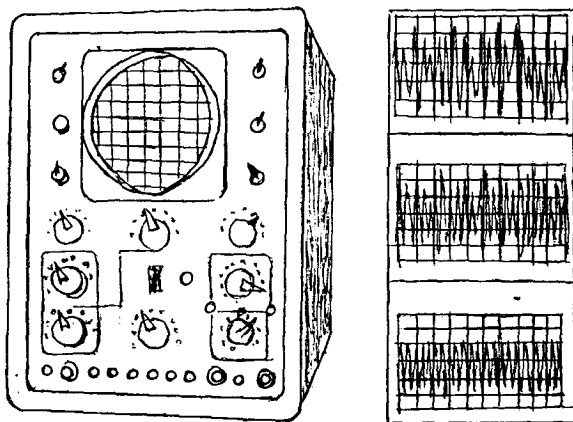
Puntua,pantailaren ezker aldean agertzen da,ezkerretik eskuinera zuzen joaten da ertzeraino horizontalki,eta berriro ezkerreko ertzean azaltzen da.Joan etorri hauek, surretz aukeratutako abiaduraren gertatuko dira.

Puntu argiak pantaila zeharkatzeko denbora,1/16 segundu (betsarean irudiak gelditzeko gutxienez behar den denbora) baino gutxiagotan galgatzen badugu,lerro zuzen argi bat azalduko zaigu.

Pantaila, fluor distira iraun arazten duenetakoa baldin bada, 1/16 segundu baino denbora askoz laburragoa beharko du lerroa ikusteko.

Desplazamendu horizontala iraunkor utzita, P_1 xaflei potentzial diferentzia bat ezartzen baldin badiegu,puntu argiari gora ala behera eragingo dio.Pantailan beraz, bi desplazamenduen (horizontal eta bertikal) konposaketari dagokion lerro makurra azalduko da.

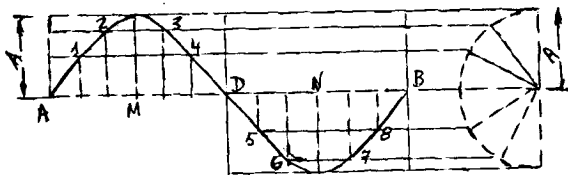
Mikrofono batek,hots uhin bati dagozkion presio aldaketak jaso eta arauera elekra seinaleak sortzen ditu.Elektra seinale hauek,osziloskopioaren eremu bertikalari lotuz gero, mikrofonoak jasotako uhina agertuko zaigu pantailan.



- 7.marrazkia. Philips etxeak egindako osziloskopio bat.Eskui-
nean, osziloskopio pantailari ateratako hiru ar-
gazki.Goitik behera:
- "a" letra gizon batek esana.Garbiketa abiadura 2 milisegundu zentimetroko.
 - "dos" silaba gizon batek esana.Garbiketa abia-
dura lehengoaren berdina.
 - Gizon txistua.Garbiketa abiadura 1,5 milisegun-
du zentimetroko

2-5 Sinusoidearen marrazketa

Sinusoidea marrazteko metodo bat,hau izan daiteke:



8. marrazkia

AB uhinaren luzera, lau pusketa berdinetan zatitu lehendabizi. D zentruan, sinusoida fasez aldatuko da. M eta N puntuetan, sinusoidaren gailurrak egongo dira A anplitudearen tartea dutelarik. Sinusoidaren gainontzeko puntuak aurkitzeko, zirkunferentzia bat egin behar da AB lerroaren jarraipenean zentrua harturik eta A anplitudea radio dela.

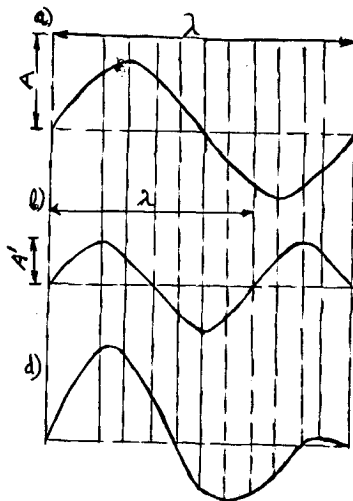
Zirkunferentzilaurdena, zenbait zati egin (8. marrazkian hiru zati egin dira) eta beste hainbeste AM, MD, DN, eta NB zuzenkiak. Puntu hauetan zuzen elkartzut bana jarri, eta zirkunferentzilaurdene-ko zatietatik lerro zuzen horizontalak eginez gero, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, eta 8 puntuak lortuko ditugu. Puntu guziak lortuz, sinusoida marraztuko dugu.

2-6 Lehen ondorioak, Fasea. Interferentziak.

Itzul gaitezen 2. marrazkira. 9. posizioan, airearen molekulak "f" zentroari buruz simetrikoki daude. Entzumenak hotse, dentsitate ala presioaren aldaketari esker entzuten duenez, ez dezake (entzumenak) bereiz entzuten ari den uhin zatia uhinerdi batekoa ala bestekoa den. Ozentasun berdinez entzungo du d'ala h' gailurrari dagokion zatia. Bi uhinerdi hauek, uhin osoaren bi faseak dira. "f" puntuan, sinusoida fasez aldatzen da. Beraz, entzumenak uhinaren faserik ez duela esan daiteke.

Airearen molekula berberak, bi bibrazio ezberdinek une berean eragiten baldin badituzte, bi bibrazioen uhinak gainjarrita ikus dezakegu ondorioa.

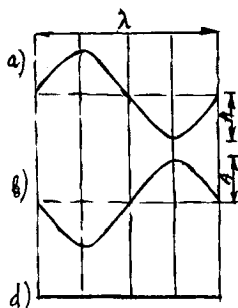
Egin dezagun anplitude eta maiztasun ezberdineko bi uhin ("a" eta "b") direla. Ikus 9. marrazkia.



9. marrazkia

Bi uhinen gainjartzearen ondorioa, d) alegia, ordenatuen batuketa bektoriala eginaz atera daiteke. Molekulek egiten dituzten desplazamenduak batutzea (norantza gogoan harturik) berdin litzateke.

Ardatzaren alde batera dauden sabelak (fasez berdinak) molekulak norantza berdinean higitzen direla adierazi nahi duenez gero, ordenatuen batuketa egingo da fase berdineko sabelak gainjartzekoan. Fase ezberdineko sabelen gainjartzea egiteko berriz, ordenatuen kenketa egingo da. Uhinen gainjartze honi, "interferentzia" deritza.

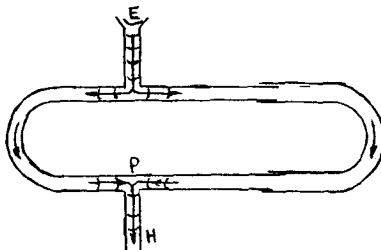


10. marrazkia

10.marrazkian,anplitude eta maiztasun berdineko uhinak ipini dira.Baina kontrafasean daude.Ondorio hau dakar bi uhin horien gainjartzeak.Molekulak,indar berdinez kontrako norantzetara eraginak direnez gero,ez dira higitzen.Beraz, bi hotsen gainjartzeak isiltasuna ekar dezakeela esan nahi du honek.

2-7 Quinke-ren tutua

Tutu honi esker, interferentzien azterketa egin daiteke.Ikus 11. marrazkia.



II. marrazkia

Hotsa hartzen duen tutu bat, bitan banatzen da,eta adar horietako baten luzera,nahierara alda daiteke.Bi adar horiek,berriro elkartzen dira;hotsa entzuten den tutuan elkartu ere.

E ahoan hotsa sortzen baldin badugu,bi adarretara banatuko da. P puntura, bi uhin helduko dira;leku baten sortu eta bi bide ezberdin egin dituzten uhinak.Bi uhinek,maiztasun berbera dute.

Esan dugunez,adar baten luzera aldatu egin dezakegu.Beraz uhinak,P puntuan elkartzen direnean,bide luzeren diferentzia hain suzen uhin luzetasuna izan baldin bada,hots ozenagoa entzungo da H puntuan.

Baina bide luzeren diferentzia uhin luzeraren erdia baldin bada,H puntuan ez da deusik entzungo.

Hotsik ozenena eta isiltasuna lortzeko egin den luzeraren aldaketa neurtuz gero, hotsareh uhin luzera atera daiteke.Beraz, Quinke-ren tutua, maiztasunak aztertzeko erabil daiteke.

2-8 Hotsaren abiadura

Aireari, presioa, temperatura eta hezetasuna alda dakieke. Aldaketa hauek, bere baitan gertatzen den hots hedaketaren abiadurarekin badute zerikusirik. Aireak duen presioa (berez duena eta ez hotsaren uhinak sortzen duena) aldagai harturik, ekuazio hau du hotsaren abiadurak:

$$H = \sqrt{1,4 \cdot \frac{P}{T}} ; P \text{ presioa eta } T \text{ dentsitatea dira.}$$

Baina Boyle-ren legeak dionez, bolumena, presioaren arau aurkako da gas perfektotan. Bestala esan, presioa, dentsitatearen arauko da. Beraz P/T zatidura, konstante bat da, eta horiek horrela, H ere bai.

Airearen presioak ez du atmosferarena baino askoz handiagoa izan behar. Izan ere, airea asko konprimatzen baldin bada, molekulen arteko distantzia ere asko laburtzen da, eta "Van der Waals"-en indarrak azaltzen direnez gero, aireak utzi egiten dio gas perfektu izateari. Beraz, presioak ere utzi egiten dio dentsitatearen arauko izateari.

"Van der Waals"-en fenomeno hau ez izanez gero, presio aldaketak ez du erasanik hots abiadurarengan.

Temperatura aldaketak bai ordea. Materia bat osatzen duten molekulak, etengabeko oszilaziotan dabilta, eta molekula higidura honen abiadura, materiaren Kelvin temperaturaren arauko da.

Horiek horrela, airearen molekulak uhin higidura bat ezartzen zaizenean, higidura hau, temperaturari dagokion uhinari gainjartzen zaio. Honek, ondorio bat dakar berekin; zenbat eta temperatura handiago (uhin termiko handiago), hainbat eta hedaketa abiadura bizkorragoa.

Atmosferaren hezetasunak ere, (airearen baitan dagoen ur lurri-
nak alegia) alda dezake hedaketaren abiadura. Airearen dentsitatea $0,0013 \text{ gr/cm}^3$ da, eta ur lurrinarena $0,0008 \text{ gr/cm}^3$. Hezetasunak beraz, airearen dentsitatea jaitsi egiten du, presiorik aldatu gabe.

Lehengo formula hartzen baldin badugu, $H = \sqrt{1,4 \cdot \frac{P}{T}}$, T txiki-tzen badugu, H hazi egiten da.

Baina kalkuloek adierazten dutenez, abiaduraren hazkundea ez da handia; 2m/seg. gehienez ere.

Lehendabiziko taulan, tenperatura ezberdinei dagozkien hots abiadurak daude, hezetasun erlatiboa %50, denean

1. Taula

<u>Kelvin tenperatura</u>	<u>Celsius tenperatura</u>	<u>Hots abiadura m/seg.</u>
253	-20	319
263	-10	326
273	0	332
283	10	338
293	20	344
313	40	355

Normalki egin ohi diren kalkuluetarako, 340 m/seg. erabiltzen da.

Fisikalari batzuk, (frantzesak batik bat) "lastertasun" (célérité) hitza erabiltzen dute hots hedaketaren abiadura adierazteko.

Airearen zatikiak hots uhinek eragiten dituztenean hartzen duten abiadura adierazteko, "abiadura" hitza erabiltzen dute. (bibrazio abiadura).

Airea ez den materietan ere, hedatzen da hotsa. Beste abiadura batzuetan nolanahi ere.

Hona hemen zenbait materietako hots abiadurak, 20 Cº ko tenperatura dagoenean:

<u>Materia</u>	<u>Abiadura m/seg</u>
Airea	344
Ura	1460
Hormigoia	4000tik 4500era
Zura	1000tik 5000ra
Altzairua	4700 etik 5100era
Beira	5000tik 6000ra
Tsorkoa	450tik 530era
Kautxua	40tik 150era

2-9 Hotsaren berezitasunak

Tonoa: T periodoa, uhin osoaren λ luzera sortzeko behar den denbora da. Baina desplazamendua, abiadura eta denboraren biderkaketa denez gero, $\lambda = H \cdot T$ (H abiadura, eta T denbora)

Bestetik, periodoa eta maiztasuna, alderantzizkoak dira: $T=1/m$

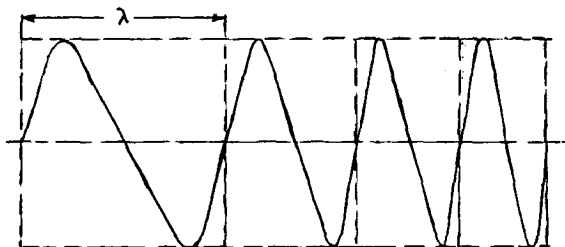
Beraz, $\lambda = H$ /m ,eta $\lambda .m=H$

H konstante denez gero, λ .m biderkaketa ren emaitza, ez da aldatuko.

Honek, zera esan nahi du; maiztasun handiko hots batek, uhin
luzera laburra izango duela, eta batekoz bestera, maiztasun txiki-
ko hots batek uhin luzera handia alegia.

Hots baten tonoa, maiztasunak erabakitzen du.Hots lodiak, maiztasun txikikoei esan ohi zaio, eta hots zoliak maiztasun handikoei.

Savart-en gurpilak ere, zerbait argitzen du maiztasun arazo hau. Delako gurpila, hořtuna da, eta biraka dabilenean, kartoi fin bati (ertz bat hortzetan duen kartoi finari) dardara eragiten dio. Hortz bakoitzak, dardara bat eragingo dio kartoi finari eta honak inguruko airearen molekuletan, dagokion uhina sortuko du.



12. marrazkia. Maistasuna hazten doakion hots baten irudia.

Uhin luzera, gero eta gehiago laburtzen zaio.

Uhin bakoitzaren periodoa,kartoi finaren bi bibrazio arteko denbora izango da,eta maiztasuna,segunduan egindako bibrazioen kopurua.

Bibrazio bakoitza hortz batek eragiten duenez gero, maiztasuna ateratzeko, gurpilak segunduko egiten dituen birak, gurpilaren hortzekin biderkatuko ditugu.

Adibidea: Gurpil batek 20 hortz baldin baditu, eta segunduan 10 bira egiten baditu, hotsaren maiztasuna $m=20 \times 10=200$ Hertz-ekoa izango da.
Aldia berriz, $T=1/m = 0,005$ seg.

Gurpilaren bira gutxi egin arazten dizkiogu hasieran, eta gero eta abiadura handiagoa harraraziko diegu.

Giza entzumenak, maiztasuna 16 Hertzetara heltzen denean aditu-ko du hotsa. Maiztasun entzungarrien behe jomuga bait da 16 Hz.

Gurpilaren abiadura azkartzen baldin badugu, hotsa gero eta zoliagoa da, 20.000 Hertzetako maiztasunera iritsi arte. Hortik aurrera, giza entzumenak ez du hotsik aditzen. 20.000 Hz bait da maiztasun entzungarrien goi jomuga.

16 Hz-etik beherako hotsei, "infra hots" deituko diegu, eta 20.000 tik gorakoei, "ultra hots".

Hotsen irudiak aztertzen baldin baditugu, hots zoliek (maiztasun handikoak beraz,) sinusoidearen gailurrak elkarren urrean izango ditu.

12. marrazkian, maiztasuna hazten doakion hots baten irudia agertzen da. Osziloskopioaren pantailan, hotsaren uhinak hestutu egiten dira hotsa zolitu ahala.

Garbiketa abiadura (osziloskopioarena) eta uhin luzetasuna (pantailan bertan neurtua) jakinez gero, maiztasuna zuzenean atera daiteke honoko formula honen bidez: $m = \frac{H}{\lambda}$

Adibidea: Egin dezagun osziloskopioaren garbiketa abiadura 300 cm/seg.koa dela, eta uhin luzera (pantailan neurtua) 2 cm. Zer maiztasunetako hotsa da?

$$m = \frac{300 \text{ cm/seg}}{2 \text{ cm}} = 150/\text{seg.} = 150 \text{ Hz.}$$

Hotsaren maiztasunak beti berdin irauten baldin badu, osziloskopioaren garbiketa abiadura aldatuz, sinusoidearen luzera arauera aldatuko dugu. Zenbait hotsen azterketa egiteko, mesedegarri izan ohi da aldaketaren bat egitea.

Maiztasun handiko hotsek, tipikoak baino zuzenkiago hedatzeko joera dute, molekulak bibrazio azkarragoz eragiten direnez. Maiztasun txikikoek, oztopoak inguratzeko edo biltzeko joera dute. Hots zoliek, zuzenkiago hedatzen direnez gero, ezer entzuten ez den halako "itzalgune" bat uzten dute oztopo atzean. Zenbait entseiek, berezitasun hau baieztatu du.

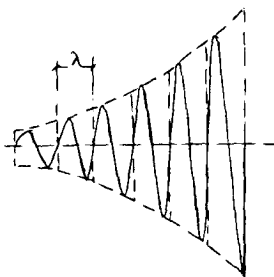
Txistu baten hotsa zolia bada, zuzenki hedatzen da, eta "gidatu" egin daiteke leku batetara. Entzuten duenak ere erraz antzemango du txistu hotsa non sortua izan den.

Edonork bere abotsa magnetofon baten ezarri eta berriro entzuten baldin badu, tresna ona izan arren, birresandakoa zolagoa dela irudituko zaio. Izan ere, hizketan egiten dugunean, maiztasun ezberdinetako osagaiak egindako hotsa ateratzen dugu, eta gertatzen dena, zera da: hitzegiterakoan, maiztasun handiko osagaiak zuzenki aldegitan dutela gure ahotik, eta maiztasun txikikoek ez; hauek gu inguratzeko joera dutenez, geure belarrietaraino heltzen dira. Beraz, norberaren ustez, berez den baino abots lodiagoa du edonork.

Ondorengo taula honetan, gehien erabiltzen diren hotsek dituzten berezitasunak datoz:

2.Taula

	Hertz	λ zentimetrotan		
Infra hotsak				
Entzumenaren behe jomuga	16	2125	Behe maiztasunak	Maiztasun entzungarriak
	32	1063		
	64	513		
	128	266		
	256	133		
	512	66	Maiztasun ertoinak	Maiztasun entzungarriak
	1024	33		
Ehntzumenaren goi jomuga	2048	17	Goi maiztasunak	
	4096	8,3		
	8192	4,1		
	16384	2		
	20000	1,7		
Ultra hotsak				



13.marrazkia.Ozentasuna hazten doakion hots baten irudia

Ozentasuna: Zenbat eta bibrazio indartsuagoa molekulai eragin, hainbat eta hots ozenagoa izango da. Indar hori, molekulen bibrazioak duen A anplitudeak neurtzen du.

O ozentasuna, molekulen oszilazioaren arauko denez gero, maiztasun berdinean ozentasuna hazten doakion hots baten irudia, l3. marrazkia bezalakoa daiteke.

Anplitude honen neurria, oso txikia da berez. Milimetro ehunen batekoa gutxi gorabehera dagokio erdi mailako ozentasuna duen hots bati.

Hotsa funtsean, energia garraio bat da. Aireak garraiatzen du hain zuzen bibratzen denean. Beraz, segunduko eta hedaketa lerroaren azal elkartzut unitatea (cm bat) zeharkatzen duen energia dela esango dugu ozentasuna.

Entseiu bidez, ekuazio hau froga daiteke:

$$O = T 2 \pi^2 H m^2 A^2 \quad (1)$$

O, ozentasuna da Watt/cm²tan (Watt= Juole/seg.)

T, airearen dentsitatea da

m, maiztasuna

A, anplitudea

Baina formula hau, oso gutxi erabiltzen da. Izan ere hots baten ozentasuna ateratzeko, molekulen A anplitudea neurtu behar da, eta neurketa zaila da inondik ere.

Bada askoz gehiago erabiltzen den beste formula bat. Ikusi dugunez, hotsa konpresio uhin bat sortuaz hedatzen da, eta gainpresio bat eragiten du airean (ikus 2.2.)

Hots ozentasuna zenbat eta handiago, gainpresioa ere handiagoa izango da. Gainpresioaren balore handienari P deitzen baldin badugu, honoko hau gertatzen da:

$$O = \frac{P^2}{2TH} \quad (T \text{ dentsitatea da, eta } H \text{ abiadura}) \quad (2)$$

Formula honetan airearen balioak jarritz gero:

$$0 = \frac{P^2}{4} \cdot 10^{-8} \quad \text{gelditzen da} \quad (3)$$

Beraz, ozentasuna jakiteko, aireak puntu batean dituen presio aldaketak neurtuko ditugu sonometro bidez (P neurtuko dugu beraz), eta formulak dioena egitea besterik ez dugu.

Bestetik, formula honetan maiztasunak ez du zerikusirik, eta ozentasuna, presioaren bigarren biderkaduraren arauko dela adierazten du.

Presioa neurtzeko unitatea "baria" erabili ohi da. (baria = 1 dina/cm²) (3) formulari presioa bariatik ipiniz gero, ozentasuna Watt/cm²-tan aterako dugu.

Unitate hauen anizkoizpeak dira beste hauek ere:

$$\text{mikrobar } (\mu \text{ bar}) = 10^{-6} \text{ baria}$$

$$\text{mikrowatt } (\mu \text{ Watt}) = 10^{-6} \text{ Watt}$$

Hotsaren ozentasuna, "Ergio/cm² tan ere neurtu ohi da, eta:

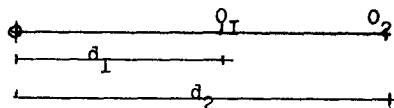
$$1 \text{ Watt/cm}^2 = 10^{-7} \text{ Erg/cm}^2.$$

Batzutan, "Pascal" izeneko presio unitatea erabiltzen da. "Pascal" bat, Newton/m² da. Beraz, baria eta Pascal-aren arteko harremana, hau da:

$$1 \text{ Pascal} = 10 \text{ baria}$$

Hotsaren sortzailea, bozgorailua izaten da batzutan, eta bere potentzia (bozgorailuarena) Watt-etan ematen da (elektra potentziaren unitatea). Arrazoi honi zor zaio batik bat akustika ozentasuna Watt/cm²-tan neurtzea. Ozentasuna eta eragiten den presioaren balioak dela-eta, ozentasuna deitzen zaie biei (ozentasunari nahiz presioari). Baina ez dugu nahastu behar hotsaren ozentasuna, ozentasun honek sortzen duen presioarekin.

Hots iturria



I4. marrazkia

Fisiologiazko unitatearen (dezibel) azterketa, ondorengo kaptuluetan egingo dugu, eta han ikusiko ditugu (3. taulan) ozentasun eta presioen balioak. Baita sonometro edo dezibelimetro izeneko tresna ere. Hotsa sortu den lekutik urrundu ahala, energia txikitzen doa: Ozentasuna beheraka doa. Izan ere, hotsaren energia hau, uhin esferikotan hedatzen da, eta hots iturritik d_1 eta d_2 distantzietara dauden bi puntu hartzen baldin baditugu, energia esferetako azalera sabalduko da. (ikus 14. marrazkia).

Esandako bi puntuetan neurtutako ozentasunak O_1 eta O_2 baldin badira, uhin azal bakoitzari dagokion energia $4\pi d_1^2 O_1$ eta $4\pi d_2^2 O_2$ izango da. Baina bi kantitateak berdinak dira, energia berbera esfera batetik bestera igaro delako:

$$\text{Beraz, } 4\pi d_1^2 O_1 = 4\pi d_2^2 O_2; \text{ eta } O_2 / O_1 = d_1^2 / d_2^2 \quad (4)$$

Ekuaizio honetan agertzen denez, ozentasuna, hots iturritarainoko distantziaren bigarren biderkaduraren arau aurkako da.

Adibidea: $d_1 = 3$ metroko distantziara, hots baten ozentasuna $O_1, 10^{-8} \frac{\text{Watt}}{\text{cm}^2}$ da

$d_2 = 30$ metroko distantziara, zer ozentasun izango du?

$$O_2 / O_1 = d_1^2 / d_2^2; \quad O_2 / 10^{-8} = 3^2 / 30^2; \quad O_2 = 9 \times 10^{-8} / 900 =$$

$$10^{-10} \text{ Watt/cm}^2$$

Ozentasun ordez presioak erabili nahi baldin baditugu, beste formula bat aterako dugu. Begira nola:

$$\begin{aligned} O_1 &= P_1^2 \cdot 10^{-8} / 4; \text{ lehen ikusi dugunez (3)} \\ O_2 &= P_2^2 \cdot 10^{-8} / 4; \text{ Beraz, } O_2 / O_1 = \frac{P_2^2 \cdot 10^{-8} / 4}{P_1^2 \cdot 10^{-8} / 4} = \frac{P_2^2}{P_1^2} \quad (5) \end{aligned}$$

(4) formularen O_2 / O_1 ordez bere balioak jartzen baldin badugu:

$$\frac{P_2^2}{P_1^2} = \frac{d_1^2}{d_2^2} ; \text{ eta } \frac{P_2}{P_1} = \frac{d_1}{d_2} \quad (6)$$

Ikusten denez, presioak, distantziaren arau aurkako dira.

Lehen egindako adibideak, formula hau baieztatu du. Ikus dezagun:

10 Watt/cm² , 2 bariako presioari dagokio. Presio hau, 3 metroko distantziara neurtzen baldin bada, 30 metroko distantziara:

$$P_2/2 = 3/30; P_2 = 0,2 \text{ baria.}$$

Eta hain zuzen P,2 bariako presioa, 10⁻¹⁰ Watt/cm² ko ozentasuna ri dagokio.

Hots batzuk gainkartzen direnean, heuren ozentasunak zuzenki batu daitezke; baina presioak ez. Presioak, bigarren biderkadura eginda lotuko dira, eta batuketa emaitzaren erro karratua aterako dugu, gainjartzearen presioa jakin nahi badugu.

Adibidea: Bi hots gainjarrita, zer ozentasun legoke?. Bi hotsen ozentasunak hauek dira:

$$O_1 = 10^{-8} \text{ Watt/cm}^2, \text{ eta } O_2 = 10^{-10} \text{ Watt/cm}^2$$

$$\text{Ozentasuna } O = O_1 + O_2 = 10^{-8} + 10^{-10} \text{ Watt/cm}^2$$

Emandako bi ozentasunei (O₁ eta O₂), P₁ = 2 eta P₂ = 0,2 bariako presioak dagozkie.

$$\text{Beraz, } P = \sqrt{P_1^2 + P_2^2} = \sqrt{2^2 + 0,2^2} = 2,01 \text{ bar}$$

P presio hau, O ozentasunari dagokiola froga daiteke:

$$O = \frac{P^2}{4} \cdot 10^{-8} \text{ ikus (3) ; } O = \frac{2,01^2}{4} \cdot 10^{-8} = 101 \times 10^{-10} \text{ Watt/cm}^2$$

Hotsaren abiaduraz aritu garenean, ozentasuna eta maiztasuna, alde batera utzi ditugu, hedaketaren abiadurak hauek zer ikusirik ez duelakoan. Baina hori ez da guziz egia. Hotsaren ozentasuna gehiegizkoa denean, abiadura handiagoa da. Extenda ikaragarri batek

sortzen duen uhina, erdi mailako ozentasuna duen hotsarena baino azkarrago hedatzen da. Dena dela, berezitasun hau eztanda lekua-
ren inguruetan bakarrik gertatzen da. Distantzia dela-ta, ozenta-
suna jaitsi egiten bait da, eta abiadura ere bai. Bestetik, entsei-
uei baino molekulen teoriako arrazoiketari ezker, maiztasunare-
kin batera hotsaren abiadura ere aldatu egiten dela ikus daiteke.
Baina aldaketa hau, milatik bat adinakoa besterik ez da gutxi gora-
behera.

2-10 Uhin launak.

Hotsa esferazko uhinetan hedatu ordez uhin launetan hedatuko baldin balitz, hedaketa ardatzaren azal elkartzutetan uhinen ozen-
tasuna berdina litzateke distantzia guzietara. (motelitzea alde ba-
tera utzirik). Izan ere energia ez litzateke gero eta azalera han-
diagotara zabalduko.



15. marrazkia

Kontzeptu hau zabalki harturik, tutu hestu eta luze baten ba-
rruan sortutako hotsak, ozentasunik ez duela galtzen distantzia lu-
zea egon arren esan daiteke.

Uhinak, azalera txikia eta esferatasun handia dutenez, tutu ar-
datzaren azal elkartzut eta laun bezala har daiteke.

Berezitasun honi ezker, tutu luzearen zehar ozentasunik ez da
galtzen, eta urrutira entzun daiteke hotsa.

Hots bat, 15. marrazkian bezala jarritako bozgorailu askotatik
ateratzen baldin bada, guzien uhinekin beste handi bat osatuko da;
ia uhin laun den beste bat alegia.

2-11 Tinbrea

Savart-en gurgpilean, Kartoi finezko pusketa kendu eta metalezko xaflatxo bat jartzen baldin badugu, maiztasun berdina izan arren, entzumenak igarriko dio zerbaiten diferentzia hotsari. Alde hori, "tinbrea"-ri zor zaio; hots iturriari bere berezitasuna ematen dion tinbreari.

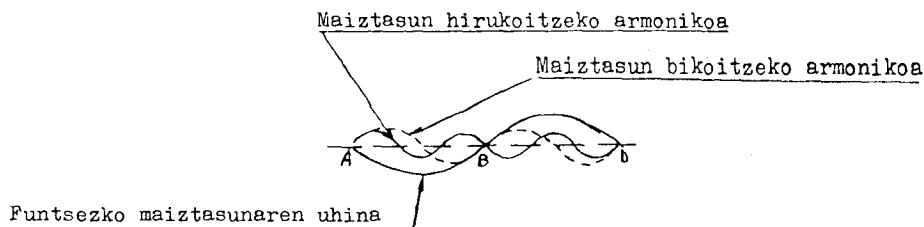
Fisika aldetik aztertuz gero, tinbrea bigarren mailako maiztasunek erabakitzen dute; funtsezko maiztasunari gainjartzen zaizkion ozentasun txikiagoko maiztasunek. Gainera, bigarren mailako maiztasunak, funtsezko maiztasuna baino handiagoak dira.

Uhin baten eraketa erakutsi dugunean, airearen molekulak pultsazio bakar bat hartzen dutela esan dugu. Baina pultsazio bakarra hartze hori, ia inoiz ere ez da gertatzen. Gehienetan, hotsa sortzen duen bibrazioak, molekulai bigarren mailako pultsazioak ere eragiten dizkie; maiztasun aldaerako pultsazioak.

Baina pultsazio guztiak iturri berberak sortzen dituenek gero, zerikusi bat izango da maiztasun guztien artean. Zerikusirik ez baldin badute, hotsaren sorgailuak bere forma nahiz neurriak direlata, lege arauera bibratzerik ez duelako da.

Bere ertzetatik lotuta atezuan dagoen hari batek adibidez, lege jakin batzuen arauera bibratzen du. Hariaren luzera eta atezuaren arauera hain zuzen. Sortutako hotsa, funtsezko maiztasun batek eta beste bigarren mailako maiztasun batzuk osatuko dute. Bigarren mailako maiztasunak, funtsezkoaren anizkoitzak dira, eta ozentasun txikiagokoak. "Armonikoak" deritzaie bigarren mailako maiztasunei.

Metalezko xafla handi bat mailuz joko baldin bagenu, inguruko airearen molekulak pultsazio erabat ezberdinez eragiaz izango litrateke, eta sortuko litzatekeen hotsaren maiztasunek, ez lukete elkarrekiko zerikusirik. ("armoniko-ekorrak"). Hots mota honi, "zarata" deitzen diogu, eta osatzen duten maiztasunak jakitea, alferrikakoa litzateke.



I6. marrazkia

2. marrazkiko 9.posizioan aurrera eta atzerako desplazamenduak zuzen elkartutetetan ipinita,uhin oso bati dagokion sinusoida ezartzen genuen.

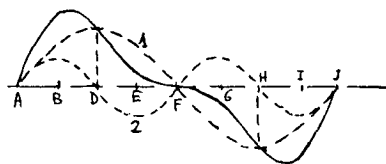
16.marrazkian ere,sinusoida berbera jartzen dugu,beste bi armonikorekin (tinbrearen osagai direnekin) batera.

Hiru uhinen maiztasunek,badute elkarrekiko harreman bat.A,B eta D puntuak,hiru uhinenak dira, eta armonikoen maiztasunak ,funtsezkoaren bikoitz eta hirukoitz.

Funtsezko uhinaren periodoa,T da; lehen armonikoarena $T/2$, eta bigarrenarena, $T/3$.

Armonikoen desplazamenduekin bektorezko batuketa eginez gero,uhin berezi bat aterako dugu; armonikoeak osatutako tinbrea bereizten duen uhina.

17.marrazkian, bi uhinen bektorezko batuketa egin da.Funtsezko uhina eta maiztasun bikoitz nahiz ozentasun txikiagoko"2" uhinarena.

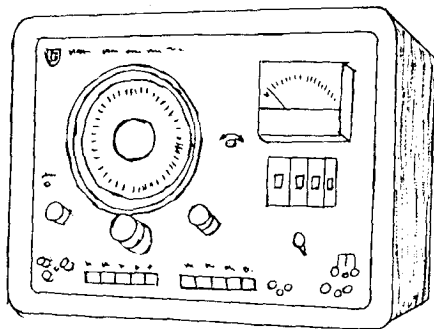


I7. marrazkia

Trésnen bidez maiztasun bakarreko hotsak ateratzea,zail da . Tutu itxiek,eta batez ere diapasciekin sortu ohi dira maiztasun bakarreko hotsak.Tutuaren luzetasuna ala diapasciaren neurriaren arauerako maiztasuna izaten du hots horrek.

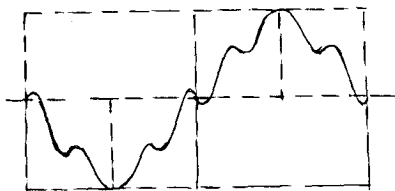
Beraz, maiztasun ezberdinetako hotsak sortzeko(maiztasun bakarreko hotsak),diapasoi asko beharko ditugu.

Hala ere, oszilagailu edo seinale sorgailuei esker,nahi dugun maiztasuneko hotsa sor dezakegu.Ikus 18.marrazkia.



18.marrazkia. Philips etxeko 5140 tipoko sorgailua.20 eta 20.000 Hz.arteko hotsak sor ditzake, $\frac{1}{2}$ baino zehaztasun handiagoz.Voltimetro baten bidez, (eskuineko goi aldean) irteerako hotsaren maila kontrola dezakegu.

Bestetik,maiztasun bakarreko hotsak,ez dira entzuteko atseginak.Edozein musikatresnek jotako nota bati,bigarren mailako maiztasunak edo armonikoak iragazten baldin badizkiogu (funtsezko maiztasuna huts hutsik utzita),zail izango zaigu zein musikatresnek sortua den igartzea.Tinbrea kenduz gero, musikatresnaren berezitasuna galtzen du hotsak.Ikus 19.marrazkia.



19. marrazkia.Xirula hotsaren ezaugarri den uhina

Elektronikazko musika,(elektronikaz sortutako hotsez osatua) oso hots zehatzekoa da; hots garbiegiak dituen, eta horregatixe hain zuzen entzumenarentzat mingarri samarra.

Fourier-en teorema dionez,higidura periodiko guztiak,armoniko gainjartzez osatuak dira.Osaketa legea zenbat eta korapilotsuago,hainbat eta armoniko gehiagoz osatua izango da higidura periodikoa.

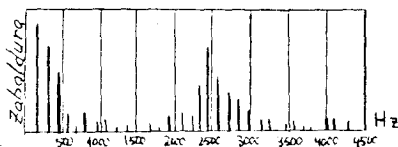
16.marrazkian,maiztasun jakin batek eduki dezakeen lehen armonikoen irudia dago.Armoniko sail honen maiztasunak, ezagutzen ditugu; baina ez heuren ozentasunak.Maiztasuna hazi ahala,ozentasuna txikiago dela bakarrik dakigu.

Funtsezko maiztasunaren uhina lehen armonikoarenarekin bektorialki batuz, eta bien batuketarena bigarren armonikoarenarekin, eta abar, eta abar, gero eta uhin bihurriago bat izango dugu.Periodotasuna gordeko duen uhin bihurri bat inola ere.

Uhin bihurri hau ezarrita, osatu duten armonikoak kenduz gero, zail izango litzaiguke berriro armonikoen uhinak ateratzea.

Uhinaren azterketa egiten ohitua dagoenak, bat batean esango luke zein armoniko osatzen duten uhina,baldin lehendabiziko eta bigarren armonikoz bakarrik osatua bada.Baina gehienetan ohi denez, hotsa armoniko ugari duna bada, bakoitzaren maiztasuna eta ozentasuna jakiteko,tresna berezi batzuk behar dira.

Azterketa horiek,maiztasun aztergailuei esker burutzen dira.Tresna hauek,iragazki batzuk dituzte (elektronikazko iragazkiak dira eta maiztasun jakin batzuk bakarrik iragazten dituzte).



20.marraskia. 137 hertzetako "i" bokalaren espektro akustikoa. Bertikaletako magnitudeek, maiztasun bakoitzari dagokion ozentasuna adierazten dute. Frogatu ahal izan denez, 375 eta 2300 Hz inguruko ozentasunak, funtsezko maiztasunarekin (letra ebakitzera erabiltako tonoarekin), ez dute zerikusirik.

Azterketarik onena, Hertz bateko maiztasun bandena izango litzateke. Baina hori ezinezko da. Gehienetan, maiztasun bandak oktabetan datoz. Iragazki sail bat osziloskopioari lotuz gero, azterketa irudi bidez egin daiteke.

Hots bati bere osagaien maiztasun eta ozentasunak aurkitzea, bere akustika espektroa egitea da. Beraz, aztergailuak, "espektrometro" izenez ere ezagutu ohi dira.

Musikatresna jakin batek nota bakoitza jotzen duenean sortutako espektroa aztertuz, hots horiek beste era batetara sortu ahal izango ditugu, espektroa birreginez.

Maiztasun bakarreko hotsak behar bezala gainjarritz, musikatresnaren "tinbre" berdineko hotsa osa daiteke.

Maiztasun bakarreko 100 hots, inguru elektroniko batzuen bidez sortzea lortu zuen Bell Telephone etxeko Harvey Fletcher jaunak. Hots horien ozentasunak, nahierara alda zitzazkeen. 100 hots horiek behar bezala nahastuz, zenbait musikatresnen notak osatu zituen Fletcher-ek.

Giza abotsak ere, bere espektro bereziak ditu. 20.marraskian (Fletcher-ek dionez), 137 Hz etako tonoa ebakitako "i" bokalaren espektroa agertzen da.

Bokalen azterketak adierazten duenez, armoniko aldagaitz batzuk daude, hitzegiteko tonoarekin zerikusirik ez dutenak.

Musikatresnen hotsa bezala, osa ote daiteke giza abotsa artifizialki. Elektronikazko sistema korapilotsu bati esker, Bell

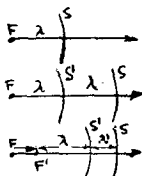
Telephone-ko Voder jaunak, hitz osoak sortu ditu. Baita esaldi motz batzuk ere. Abots sintetikoa osatzea lortu zuen beraz,

Massachusetts-eko tekniko talde bat, pertsona jakin baten abotsa sintetikoki sortzekotan dabilta. Pertsona baten abotsa aztertu eta gero tresna baten bidez hots horixe sortzea nahi dute alegia.

2-19 Entzundako tonoareen aldaketa: Doppler-Fizeau izeneko fenomenoak.

Lehen arazoa:

Burnibidean doan trenaren txistu hotsa, kanpoan geldik dagoen gizonak ez du berezko maiztasunez entzuten. Trena gizonari hurbiltzen ari baldin bazaio, txistu hotsa, berez den baino zolagoa entzuten du, eta trena urruntzen ari bazaio, lodiagoa.



Hots iturri batek $-F-$ (ikus 21. marrazkia) bibrazioa eragiten dio inguruari eta sortzen duen S uhina, distantzia jakin bate-taraino hedatzen da T denboran (T -aldia) Beraz, distantzia hori $\lambda = H \cdot T$ (H hotsa-ren abiadura da)

21. marrazkia

T denbora igarotakoan, lehengoa bezalako beste uhin bat hasten da hedatzen eta abiadura berdinean hedatzen denez, bi uhinen artean λ distantziak iraungo du. T denbora horretan, (bi uhin sortu arteko denbora, periodoa), hots iturria F puntutik F' raino etorri baldin bada: $FF' = H' \cdot T$ (H' hots iturriaren abiadura da)

Bi uhinen arteko distantzia, lehengoa λ baino FF' laburragoa izango da. Izan ere S , F geldik egonda legokeen toki berdinean bait dago, eta S' -a λ hedatu da; baina F' an hasita; F baino aurrerago hasita beraz.

Trenetik at geldik dagoenak, entzundako uhin luzera, λ' izango da: $\lambda' = \lambda - H' \cdot T$

m eta m' , "berezko" eta "entzundako" maiztasun bezala hartuz gero;

$$\lambda = H.T \text{ denez, } \lambda = H/m \quad \lambda' = H.T' = H/m'$$

$$H/m' = H/m - H'/m = \frac{H-H'}{m}; \text{ eta } m' = m \frac{H}{H-H'} \quad (7)$$

H, hotsaren abiadura da, eta H'trenarena.

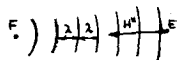
Trena gizonari hurbiltzen bazaio, $H > H-H'$ eta $m < m'$. Beraz entzundako txistua zoliagoa da.

Trena urrundu egingo balitz, arrazonamendu berbera erabilita formula honetara iritsiko ginateke: $m' = m \frac{H}{H+H'}$ (8)

$m' < m$, eta entzundako txistua, berez den baino lodiagoa litza-teke.

Guk, (7) formula erabiliko dugu. H' positiboa izango da iturria entzunlearengana datorrenean.

Bigarren arazoa:



Geldik dagoen E gizon batek, m (maiztasun) uhin berdín entzuten ditu segunduko. Hots iturriari hurbiltzen bazaio, $m + H''/\lambda$ entzungo ditu segunduko.

22. marrazkia

$$\text{Beraz, } m'' = m + H''/\lambda = m + \frac{m}{H} \frac{H''}{H} = \frac{m}{H} \frac{H + H''}{H}$$

$$m'' = m \frac{H + H''}{H} \quad (9)$$

$H + H'' > H$ denez, $m'' > m$. Beraz, entzundako hotsa, berez den baino zoliagoa da.

$$\text{Gizona hots iturritik aldentzen baldin bada; } m'' = m \frac{H-H''}{H} \quad (10)$$

Entzundako hotsa, berez den baino lodiagoa da.

Guk, (10) formula erabiliko dugu, entzunlea aldentzen denean H'' positibo hartuta

Hirugarren arazoa:

Hots iturria eta entzunlea, biak batera higitzen direnean, gizonak entzundako maiztasun (m''), (10) formulako m -ren ordezt (7) formulako m' ipinita aterako dugu.

$$\text{Beraz: } m''' = m \frac{H-H''}{H-H'} \quad (11)$$

m , berezko maiztasuna; H , hotsaren abiadura; H'' entzunlearen abiadura; H' trenaren abiadura.

Doppler-Fizeau izeneko fenomenoak, ez da hotsarekin bakarrik gertatzen. Gure zentzuek ala tresnek jasotzen dituzten uhin handura guzietan baizik.

TERMINOLOGIA ETA KONTZEPTU OINHARRIZKOAK

M. Zalbide

TERMINOLOGIA ETA KONTZEPTU OINHARRIZKOAK

1. SOINUA
2. ZARATA
3. BIBRAZIOA
4. SOINU-PRESIOA
5. SOINU-INTENTSITATEA
6. SOINU-POTENTZIA
7. INTERFERENTZIA
8. SOINUAREN FORMA ETA ESPEKTROA

1.- SOINUA

Era askotara definitu izan da. Hona hemen bide batzuk:

- a) inguru material elastiko batean barrena (hutsean ez) hedatzen den perturbazioa, inguru horretako abiadura karakteristiko batez mugituz.
Espazioko edozein lekunetan hedatu ahala, bertako presioa aldatzen da, mugimendu bat nabaritzen eta, generalean, energi-isuri bat gertatzen.
- b) uhin akustiko batek sortutako zentzazio auditiboa.
- c) zentzazio auditibo bat sor dezaken bibrazio akustikoa.
- d) presio-ozilazioa (soinu garbiaren kasuan, ozilazio sinusoidal luzerazkoa izango da), partikulen abiadura inguru barneindardun batean.

Beraz, soinua bi ikuspuntutatik azter liteke: subjektiboki, burumuineko zentzazio auditibo baten gisa; objektiboki, mugimendu uhinkorraren alderdi fisikoak agertuz.

1.1.- Infrasoinua

Soinu grabeegi bat da ($m < 20$ Hz), gizonarengan inolako soinu-zentzaziorik sortzen ez duena. "Trepidazio" ere esaten zaio; hots, maiztasun entzungarrien azpitiko bibrazio mekaniko aldiskakoa.

1.2.- Ultrasoinua

Soinu zorrotzegi bat da ($m > 20.000$ Hz) gizonak orobat ezin entzun dezakeena.

2.- ZARATA

Zenbait autorek soinua eta zarata elkar bereizten dituzte, hori egitean eremu subjektiboetan barrena sartzen badira ere. Ezaguna da, puntu honi dagozkionez, harako definizio zelebre hura: "nik egiten dudana, soinua da", baina "nere hauzokoak egiten duena, zarata".

Garbiagoa da, nola nahi ere, zarataren eta doinuaren arteko bereizketa. Ondoren, zarataren definizio-andana bat ematen da:

- zentrazio akustiko desatsegin bat sortzen duen fenomeno akustiko edo soinua.
- soinu ez desiraturia.
- bere espektroak maiztasun garbi definiturik ageri ez duen soinua, generalean zorizko izaerakoa.

3.- BIBRAZIOA

Sistema mekaniko baten posizioa edo mugimendua deskribatzen duen magnitude baten balioaren denborarekiko aldaketa.

3.1.- Bibrazio aldizkakoa

Denbora-tarte berdinetan behin eta berriz balio berdinak hartzen dituenak.

3.2.- Bibrazio zorizkoa

Bere anplitudea, aldiune jakin baterako, analitikoki aurrez ikusi ezin dena.

3.3.- Espektroa

Magnitude baten deskripzioa, maiztasunaren edo uhin-luzeraren araberrakoa.

3.4.- f Maiztasuna (Hz)

Soinu garbi batean, presio-perturbazioak bere balio medioaz goitik eta behetik oszilatzen duen zenbatekoa da. Hertzetan neurtzen da.

3.5.- T aldia (seg)

Ziklo oso bat betetzeko behar den denbora da. Zera kunplitzen da, $T = \frac{1}{f}$. Segundotan neurtzen da.

3.6.- Uhin-luzera (m)

T denboran soinuak kurritu duen distantzia. Zera kunplitzen da: $\lambda = v \cdot T = \frac{v}{f}$. Metrotan neurtzen da.

3.7.- v soinu-abiadura (m/seg)

Soinu-uhinaren hedatze-abiadura da, transmititzen ari den arartean. Aire lehorrean, 0°C eta 1egt.-etan, $v = 331,45 \pm \left(\frac{m}{seg}\right)$. Beste tenperaturetan, hau kunplitzen da: $v = 331,45 \sqrt{\frac{^{\circ}K}{273}}$ (m/seg).

4.- P SOINU-PRESIOA $\left(\frac{N}{m^2}\right)$ edo (Pa)

Soinu baten eguratsaz goitik eta behetiko presio oszilakorra da.

4.1.-Soinupresioaren balio maximoa, P_{max} .

Soinupresioaren balio gorena da.

4.2.-Soinupresioaren balio medioa, $\bar{P}$

$$\bar{P} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} p(t) \cdot dt}{t_2 - t_1}$$

Soinu aldizkako batean, balio medioa zero litzateke, eta beraz neurri hau ez da egokia akustikan.

4.3.-Balio efektiboa edo balio medio koadratikoa P_{ef} (r.m.s.)

$$P_{ef} = \left[\frac{\int_{t_1}^{t_2} p^2(t) \cdot dt}{t_2 - t_1} \right]^{1/2}$$

$p(t)$ sinusoidala denean, zera kunplitzen dira:

$$P_{ef} = \frac{P_{max}}{\sqrt{2}}$$

5.- I SOINU-INTENTSITATEA (W/m^2)

Hedatuz doan soinu-uhin batean, soinu-intentsitatea zera da: denbora-unitatean, eta hedatze-direkzioaz elkartutiko gain-azal-unitatetik, uhinak garraiatzen duen energia medioa.

Soinu sinusoidal garbiaren kasu konkretuan (uhin laun eta esferikoak) zera kunplitzen da:

$$I = \frac{P_{max}^2}{2\rho v} = \frac{P_{ef}^2}{\rho v} \quad \text{non}$$

P_{max} = presio-aldaketek beren aldaera sinusoidalean duten anplitudea.

P_{ef} = presioaren balio erangikorra

ρ = airearen dentsitatea.

v = uhinaren hedatze-abiadura

Intentsitatea zaila da neurtzen, eta bere ordeztasunaren P_{ef} balio efektiboa neurtzen da, ondoren $I = \frac{P_{ef}}{\rho v}$ expresioaz intentsitatea aurkitzeko.

Esate baterako, normalean hitzegiten ari den pertsona batek gutxi gorabehera $100 \frac{erg}{seg}$ -ko soinu potentzia kanporatzen du. Hitzetan ari deneko ahoaren irekidura 10 cm^2 ingurukoa izaten da. Hizlaria kartoizko tubo zilindriko batetik ari bada, energia osoa tubo horren direkzioan doala, soinuaren intentsitatea $I_o = \frac{100}{10} = 10 \frac{erg}{cm^2 \cdot seg}$ izango da.

Pertsona garraisa ari denean, intentsitatea $100 I_o$ -tara igotzen da; $100 I_o$ -tik $1000 I_o$ artean entzuleak min hartzen du. Bestalde, entzun litekeen soinu-intentsitaterik ahulena maiztasunaren araberrakoa da. 440 Hz -etarako, entzumen-ataria $10^{-10} \cdot I_o$ da. Ikusten denez, hortaz, giza entzumen oso eremu zabalerakoa da, $10^{-10} \cdot I_o$ -tik $100 \cdot I_o$ -raino bait doa.

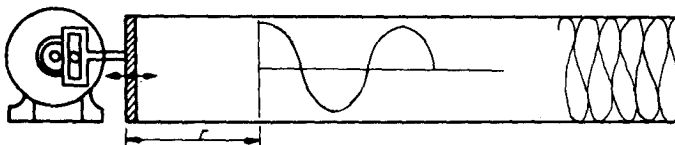
6.- W SOINU-POTENTZIA

Soinuiturri batek soinu-potentzia bat emititzen du: aurreko adibidean ahotiko $100 \frac{erg}{seg}$ ekin ikusten zenez. Denbora-unitatean iturriak kanporatzen duen energia honi soinu-potentzia esaten zaio.

Transmisio-bidean galerarik ez dela izaten pentsatuz, hiru kasutako soinu-potentzia agertuko da ondoren:

6.1.- Uhin laun direkziobakarra

Uhin-fronte launa izaten du, direkzio bakar batean hedatuz doana. Honelako uhinak sortuko lituzke, esate baterako, airea daukan tubo luze batek, mutur batean pistoi batez eraginarekin, beste muturra anekoikoa (oihartzunik gabekoa) balu.



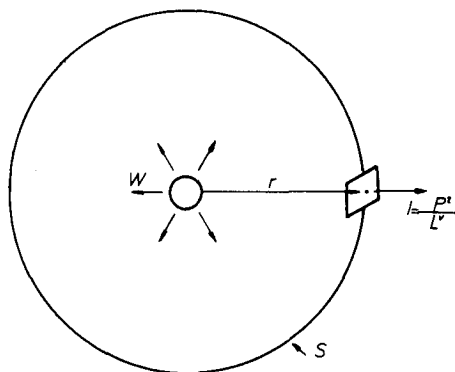
Bistan denez, kasu honetan iturriak sortutako W potentzia osoak konstante dirau tuboaren edozein partetan. Bere azalera zeharkakoa ere konstantea denez gero, soinu intentsitatea orobat konstantea izango da

$$I = \frac{P_{ef}^2}{\rho \cdot v}$$

6.2.-Uhin esferikoa

Bere uhin-frontea esferikoa da, arradialki hedatuz doana. Iturriak sortutako uhina esferikoa izango da, bala din aurreko adibideko tuboaren ordean baloi esferiko bat hartzen badugu, bere gainazala jarraiki puzten eta hestuzten ari dena. Kasu honetan, uhin-fronteak esfera zentru-kideak izango dira.

Bedi W iturritik denborazko unitatean irtetzen den energia konstantea. W izango da, era berean, uhin esferikoak airean zehar garraiatuko duena, eta W horrek zeharkatu beharko du hortaz iturria biltzen duen edozein gainazal esferiko. Zenbat eta gainazala handiago, hainbat eta txikiago izango da soinu intentsitatea.



2. Irudia

Soinuiturria ez bada direkzionala, $W = I \cdot S$. Orduan, bi gainazal esferiko zentrukide hartzen badira, r_1 eta r_2 arradiotakoak, eta azal biek iturria osorik estaltzen badute, zera dugu:

$$W = 4\pi r_1^2 \cdot I_1 = 4\pi r_2^2 \cdot I_2 \longrightarrow \boxed{\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}}$$

Eta bestetik

$$I_r = \frac{P_{ef}^2}{\rho \cdot v} \quad (r \text{ distantzian}) = \frac{W}{4\pi r^2}$$

Honela, P_{ef} bidez, W potentzia aurki daiteke ondoko espresioaren laguntzaz:

$$W = \frac{4\pi r^2 P_{ef}^2}{\rho \cdot v}$$

Expresio hau r_1 eta r_2 balioetara aplikatuz:

$$P_1 \cdot r_1 = P_2 \cdot r_2 \implies \boxed{\frac{P_1}{P_2} = \frac{r_2}{r_1}}$$

Hortaz, bi ondorio hauetara iritsi gara:

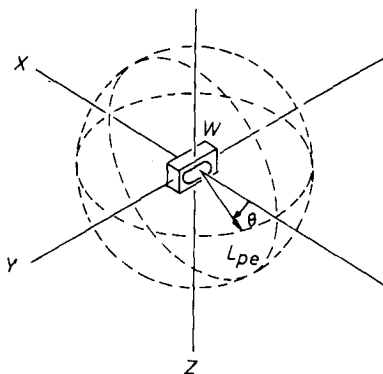
-Soinu-intentsitatea, iturritiko distantzia herbituaren alderantziz proportzionala da.

-Soinupresioa, iturritiko distantziaren alderantziz proportzionala da.

6.3.-Soinuiturri direkzionala

Orain arteko kasuak oso partikularrak ziren: batean soinua direkzio bakar batez hedatzen zen; eta bestean arradialki, alde orotara guztiz era berean.

Egiazko kasuak ez dira, ordea, ia inoiz hain sinpleak izaten. Normalean suertatzen diren soinuiturriak direkzionalak dira; hau da, hurrengo irudian ikusten ahal denez, direkzio batzutan bestetan baino energia gehiago emititzen dutenak. Gainera, maiztasun apaletan ez direkzionalak diren iturri asko, direkzionalak bihurtzen dira maiztasuna handitzean.



3. Irudia

Iturria ezdirekzionala izan balitz,soinu-intentsitatea berdina zitekeen iturritiko r distantziara zeudekeen puntu guztietan;kasu hartan, intentsitatearen expresioa honako hau litzateke:

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \left(\frac{W}{m^2} \right) \longrightarrow W = 4\pi r^2 \cdot I(w)$$

Gure egiazko kasuan,ordea,expresio hau ez da kunplitzen Soinu-potentzia kalkulatzeko,horregatik,honako bide hau jarraitzen da:gainazal itxi edozeinbat hartu,zatikatu,zati bakoitzeko azalera bere soinu-intentsitateaz biderkatu eta biderkadura guztiok batu.Beraz,

$$W = \sum_i I_i \cdot S_i(w)$$

Eta gainazal hori eremu librean badago (aire librean edo gela anekoikoan),zera dugu:

$$I_i = \frac{P_i^2}{\rho \cdot v} \quad \text{eta balio hau aurreko expresioan ordezkatuz:}$$

$$W = \frac{1}{\rho \cdot v} \sum_i P_i^2 \cdot S_i(w)$$

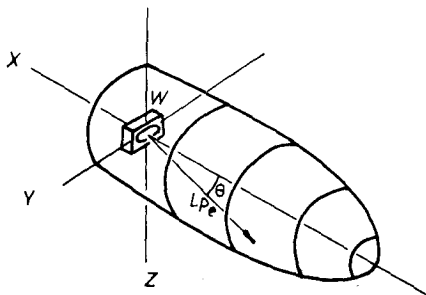
izanik P_i presioaren balio efektiboa S_i puntuan.

6.4.-Direkzionaltasuna

Beraz, iturri gehieneko soinu-potentzia ongi ezagutzeko beren direkzioaltasuna ere ezagutzea komeni da.

Honetarako, direkzionaltasun-patroi bat eginaz abia liteke.

Eman dezagun, ondoko irudian agertzen den legez, ardatz batekiko soinu-eremu simetriko bat dugula



4. Irudia

Zentrua soinu-iturrian duen esfera batean r, φ, θ bidez adierazitako puntu bakoitzean L_p presiomaila neurtzen da, eta ondoren espazioko (L_p, φ, θ) puntua definitzen: horrela lortzen da direkzionaltasun-patroia.

Direkzionaltasuna neurtzeko bide bat bere Q difekzio-
naltasun-faktorea da,edo hartatik erakarritako (DI) Di-
rekzionaltasun indizea.

7.- INTERFERENZIA

Uhin sinusoidal bat eta paretean isladaturikoa gainezkatzan direnean, oso fenomeno bitxia gertatzen da: bien ondorioko uhin berria ez da denboraren arabera transladatzen. Aitzitik, uhin geldikoi bat sortzen da: espazioko puntu bakoitzean, soinupresioa sinusoidalki aldatuz doa denborarekin, beti zero balioan irauten duen puntu batzutan salbu. Honelako uhinak edozein hesparru geometriaz erregularretan sortzen dira. Uhin geldikoi bakoitzari bibrazio-modu normala esaten zaio, edo are erresonantzia. Sor litezkeen uhin geldikoi erresonanteen maiztasunak,

gainazal isladatzailleen arteko distantziaren menpekoak dira.

7.1.-Bi soinu sinusoidal garbien konposaketazko presioaren balio efektiboa

Bitez P_1 eta P_2 soinu bakoitzaren presioak.

$$\text{Orduan, } p^2 = p_1^2 + p_2^2 \quad \text{baldin } f_1 \neq f_2$$

$$p^2 = p_1^2 + p_2^2 + 2p_1 p_2 \cos(\theta_1 - \theta_2) \quad \text{baldin } f_1 = f_2$$

izanik θ_1 eta θ_2 norberaren faseak.

7.2.-Bi soinu sinusoidal garbiren emaitzazko soinumaila

Kasu askotan, belarrira datorkigun soinua ez da, sor-tez, iturri bakar batekoa, askotako baizik.

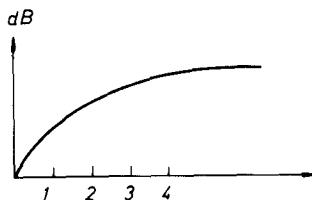
Horregatik, industrilanean eta abar, garrantzizkoa ger-ta liteke ondoko hau: bi makina (soinuiturri) lanean ari badira eremu batean, nor bere maiztasun desberdinaz, eta azterpuntuan bakoitzak soinupresiomaila jakin bat badu adibidez, 88 eta 85 dB-zera aurkitu nahi da, ea bien ar-tean zenbateko soinupresio-maila osatuko duten azterpun-tu horretan.

$$88 = 10 \log \frac{p_1^2}{p_0^2} \quad \frac{p_1^2}{p_0^2} = \text{anti-log} \frac{88}{10}$$

Beraz, makina baten ordeztu bi jartzean, soinua 3 dB etan igo da. Eta 88 dB-eko hiru makina jarriko balira:

$$10 \cdot \log \frac{p^2}{p_0^2} = 10 \cdot \log 3 + 10 \cdot \log 6,31 \times 10^8 = 5 + 88 = 93$$

5 dB etan igoko litzateke soinua. Ondoko irudiak zera agertzen du, makina gehiago sartuz, dB ak nola goratzen diren

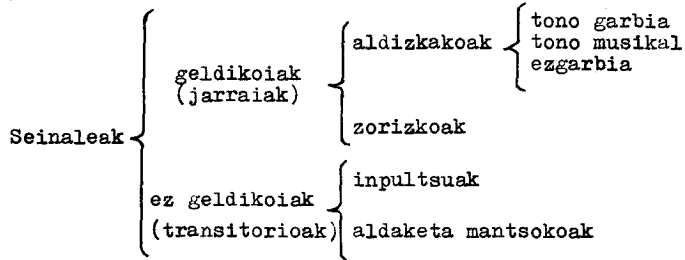


5. Irudia

8.- SOINUAREN (seinalearen) FORMA ETA ESPEKTROA

Soinua (edo, beste hitz batzutan esanaz, seinalea), denboraren funtzioan, bere potentzi, presioen aldaketaz deskriba daiteke, edo bera espektroaz.

Askotan eman ohi den sailkapena ondorengo hau da:



8.1.- Seinale geldikoiak (jarraiak)

Beren ω edo p -ren espektroa denboraren harian aldatzen ez dutenak.

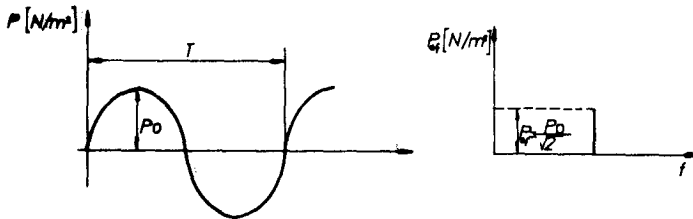
8.2.- Seinale aldizkakoak

Zera kunplitzen dute $p(t) = p(t+T)$

T hori aldia delarik

8.3.- Tono garbiko soinu musikala

Uhin sinusoidal garbi batez osaturik dago, eta beraz maiztasun bakar batekoa da: diapasoi batek ematen duena, adibidez. Laborategi-girotik kanpora ez dira normalak holako soinuak.

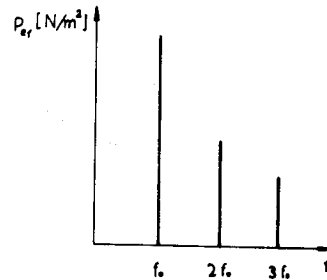
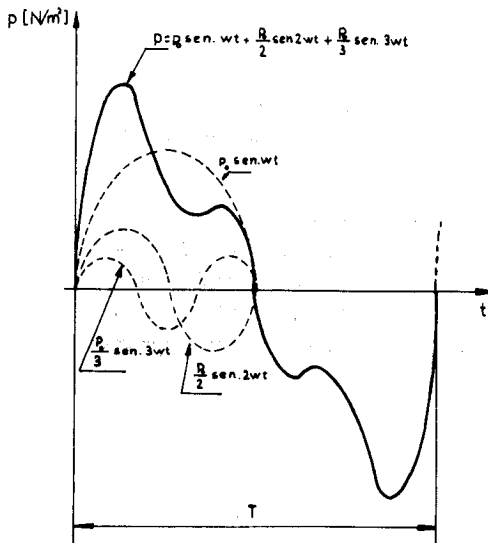


8.4.-Soinu musikal,edo nota ez garbia

Zera izaten da,uhin sinusoidal garbizko konposaketa bat: generalean anplitude eta faseak desberdinak dituzte uhinok,baina beren maiztasunak armonikoki elkarkoturik daude; maiztasun apalenari "oinharrizkoa"esaten zaio.Beste maiztasunak,oinharrizko horren multiploak,bere "armonikoak" dira.

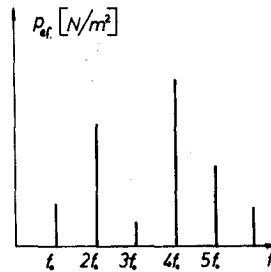
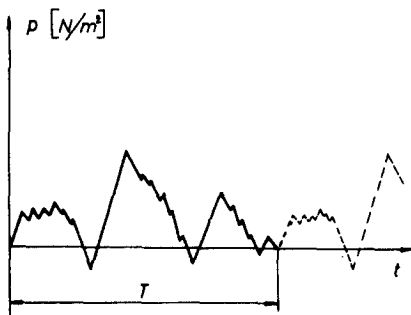
Ikus ditzagun,grafiko bidez,bi kasu adierazgarri:

Lehenengoan hiru uhin ditugu,hirurak fasean.Oinharrizkoa eta bere armonikoak puntuz marratu dira,eta emaitza marra jarrai batez.



7.Irudia

Bigarrengoan,aldiz,uhinak ez daude fasean:inpultsu-sorta errepikakor bat dago hor, eta ondoko emaitza lortzen da.



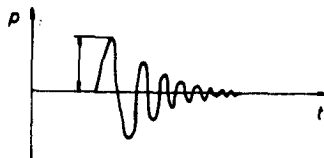
8.Irudia

8.5.-Soinu zorizkoak

$P(t) \neq P(t+T)$ konplizten ez denean, nahiz eta "W" edo "p" ren balioek aldaketa funtsezkorik ez izan. Urjauzi batetikoina, adibidez, honelakoa izaten da.

8.6.-Soinu ez geldikoiak (transitorioak)

W edo p ren balioak aldatzen direnekoak. Aldaketa hori bat-batekoa bada, inpulso baten kasuan gaude (ik. ondoko irudia). Honelakoak dira, adibidez, tiro baten danbatekoa, idazmakina batek edo mailu pneumatiko batek sortzen dutena, etabar.



9.Irudia

Aldiz, aldaketa hori astiro-astiro gertatzen denean (zeru gainean hegazkin bat pasatzean, auditorio bateko zurrumurroa edo txaloak igon-jaiatean,) aldaketa mantsoko kasuan gaude.

SOINUAREN NEUFKETA

M. Zalbide

SOINUAREN NEURKETA

1. SOINU BATEN MAILA FISIKO EDO OBJEKTIBOAREN ADIERAZPIDEA

- 1.1. Maila erabiliak
- 1.2. Maila logaritmikoak erabiltzearen arrazoia
- 1.3. L_w, L_I , eta L_p mailen elkarloturak
- 1.4. Soinu baten analisi espektrala
- 1.5. Neurketarako parametroak

2. SOINU EDO ZAPATAREN MAILA SUBJEKTIBOAREN ADIERAZPIDEA

- 2.1. Soinuinpresio-maila edo maila isosonikoa (F); fonoa
- 2.2. Soinuinpresioa, (S); sonoa
- 2.3. Soinuinpresio-mailaren kalkulua soinu ez-puruetan
- 2.4. N C kurbak; P N C kurbak
- 2.5. Giza entzumena, filtro bezala

3. SOINU-NEURGAILUAK

SOINUAREN NEURKETA

Soinu bat zenbatekoa den neurtzeko, hurrengo puntuak izan behar dira kontuan.

- . Soinuaren espektroa nolakoa den: ez bait dira berdinak maiztasun-tarte estu bateko soinua eta banda zabalekoa.
- . Soinu horren neurri objektiboa lortu nahi den, ala gure belarriek jasotzen duten zentzazio subjektiboa.
- . Soinu horren potentzia, intentsitatea ala presioa jakin nahi den.

Ikasgai honetan jarraituko den bidea honako hau da: Lehenik, soinu baten maila fisiko edo objektiboaren adierazpidea emango da, gero maila subjektiboarena. Eta azkenik, soinupresio-mailaren neurketa azalduko da.

1.- SOINU BATEN MAILA FISIKO EDO OBJEKTIBOAREN ADIERAZPIDEA

Gero emango diren arrazoiengatik, soinuaren zenbatekoa adierazteko maila logaritmikoak erabiltzen dira. Mailok, kasu bakoitzeko soinu neurria jakin batekin alderatuz lortzen dira.

1.1.- Maila erabiliak

ISO/131 eta ISO/357 normen arabera, praktikan honako adierazpideak erabiltzen dira:

- . soinupotentzi-maila

$$L_W = 10 \log_{10} \frac{W}{W_0} \quad (\text{dB})$$

$$\text{non } W_0 = 10^{-12} \text{ (W)}$$

- . soinu intentsitate-maila

$$L_I = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} \quad (\text{dB})$$

$$\text{non } I_0 = 10^{-12} \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

. Soinupresio berbituaren maila

$$L_p = 10 \log_{10} \frac{P^2}{P_0^2} \text{ (dB)} = 20 \log_{10} \frac{P}{P_0} \text{ (dB)}$$

$$\text{non } p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \left(\frac{N}{m^2} \right) \text{ edo (Pa)}$$

Era berean, L_w , L_I edo L_p jakinik W , I edo P ren balioak ondoko ekspresio hauetatik lortuko dira

$$W = W_0 \text{ antilog } 10 \frac{L_w}{10} \text{ (w)}$$

$$I = I_0 \text{ antilog } 10 \frac{L_I}{10} \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

$$P = P_0 \text{ antilog } 10 \frac{L_p}{20} \left(\frac{N}{m^2} \right)$$

L_w mailak, soinuiturri batek egotzitako potentzia osoa adierazten du. L_p mailak, aldiz, puntu jakin batean sortzen den soinu-perturbazioa: bere balioa ez da potentziaren menpekoa soilik, baizik baita iturritiko distantziaren, aireko gailaren, gelaren bolumenaren, hormetako isladatze-zurgatzearena ere.

Analogi bidez esateko, L_w mailak labe batetik irteten den berokopurua neurtzen du, eta L_p mailak, aldiz, horren ondorioz gelako puntu batetan dagoen tenperatura.

1.2.- Maila logaritmikoak erabiltzearen arrazoia

Ikus dezagun, orain, zergatik ez den neurtzen potentzia watten, intentsitatea, $\frac{\text{watt}}{m^2}$ -tan eta presioa $\frac{\text{Newton}}{m^2}$ -tan.

a) entzute-ataritik ezin jasate-atarira, giza belarriari dago

kionez, oso neurri desberdineko soinuak daude: muturbalioen aldea 10^{12} ordenakoa da intentsitatearentzat, eta 10^7 koa presioarentzat.

- b) Weber-Fechneren lege psikofisiologikoak dionez, zentzazio baten magnitudea zirrikadaren logaritmoaren araberakoa da. Beraz soinu-zentzazio bat ez da bere potentziaren proportzionala, potentziaren (edo intentsitatearen) logaritmoarena baizik.

Idazkera matematikoz adierazteko, hortaz,

$$Z(\text{zentzazioa}) = K \cdot \log I \text{ (intentsitatea)}$$

erreferentziako I_0 intentsitaterako, zentzazioaren Z_0 balioa zera da

$$Z_0 = K \cdot \log I_0$$

Eta gogora dezagun soinu-intentsitate-maila zero esaten zaien: Ieta I_0 intentsitateko bi soinu entzutean nabaritzen dugun zentzatzio-diferentziari. Beraz

$$Z - Z_0 = K \log I - K \log I_0 = K \log \frac{I}{I_0}$$

K honi balio desberdinak eman dakizkioke. Honela,

$K = 1$ eginaz,

$$S - S_0 = \log \frac{I}{I_0} \text{ (Bel)}$$

Giza belarriak 0,1 Belekoko soinu-diferentziak berez ditzake. Horregatik eta beste arrazoiengatik, praktikan erabiltzen den unitatea ez da Bela, (dB) dezibela baizik:

$$S - S_0 = L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} \text{ (dB)}$$

Era berean adieraz daitezke L_w eta L_p mailak ere.

Beraz, magnitudeak logaritmo bidez adieraziko ditugu, -

"L maila" izendapenaz. Generalean,

$$L = \log_r \frac{q}{q_0}$$

bidez adierazten da edozein eratako maila. Horretarako, -
aldeztatik definitu behar daude

- logaritmoaren r basea

- erreferentziako q_0 magnitudea

- magnitude konkretuaren dimentsioak:

akustikan, q hori soinu-potentzia izaten da edo beste
magnitude proportzionalen bat (soinuintentsitatea, pre-
sio berbitua)

1.3.- L_w , L_I eta L_p mailen elkarloturak

$$a) L_I = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} = 10 \cdot \log \frac{p^2}{\rho \cdot v \cdot I_0} = 10 \log \left[\frac{p^2}{p_0^2} \cdot \frac{p_0^2}{\rho v I_0} \right] =$$

$$= 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} + 10 \log \frac{p_0^2}{\rho v I_0}$$

$$\text{eta nola } \frac{p_0^2}{\rho v I_0} = \frac{4 \cdot 10^{-10}}{10^{-12} \cdot \rho v} = \frac{400}{\rho v} = K, \text{ zera dugu}$$

$$L_I = L_p + 10 \cdot \log K$$

egurats presioa 760 mm Hg-koa denean eta tenperatura 39°C ,

$$\rho \cdot v = 400$$

$$\boxed{L_I = L_p}$$

Generalean, nahiko ongi kunplitzen

da berdintza hau.

b) Intentsitatea S azalera batean uniformea bada, badakigu

$$W = I \cdot S. \text{ dela. Orduan}$$

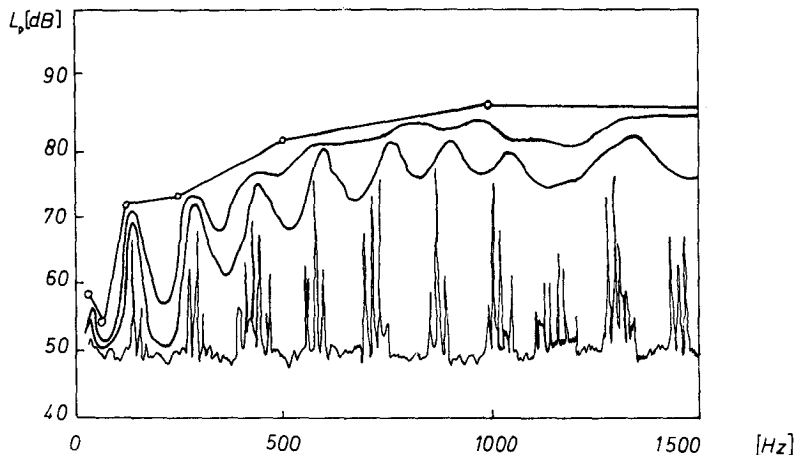
$$L_w = 10 \log \frac{W}{10^{-12}} = 10 \log \frac{I \cdot S}{10^{-12}} = 10 \log \frac{I}{10^{-12}} + \\ + 10 \log S$$

$$L_w = L_I + 10 \log S$$

S bezala, normalean, $4\pi r^2$ edo $2\pi r^2$ hartzen da.

1.4.- Soinu baten analisi espektrala

Seinale baten energia edo potentzia determinatzeko, askotan, maiztasunaren arabera aztertzea komeni izaten da: horri esaten zaio analisi espektrala. Horretarako iragazki edo filtro batzuk erabiltzen dira, bakoitza bere banda-zabalera jakin baten ari direla eta bandok elkarren ondokoak izanik. Honela, analisisa soinuaren maiztasun-sorta osora iristen da. Banda-zabalera bakoitzean, bertako L_w (edo L_p) maila lortzen da dB linealean. Teknika hau ezinbestekoa da soinuaren gutxitze aktibozko analisisia burutzeko, iturrian bertan atakatuz. Soinu iturria, adibidez, makina-erreminta bat izan daiteke; seguru asko, maiztasun desberdineko zenbait soinu sortuko ditu makina horrek eta, soinua bere osoan aztertuko bagenu, ezin ikertuko genuke zein makina-zatik sortu duen harako soinu-tipo horra, eta ezin beraz konponduko genuke problema bere sortokian. Horregatik, esan bezala, soinua maiztasun-banda jakineko batzuren arabera aztertzen da. Beheko irudian ikusten denez, zenbat eta banda horik estuagoak izan, hainbat eta zehatzasun handiagoz neurtzen da soinua.



1.5.- Neurketarako parametroak

1.5.1.- Filtro edo iragazkia

Uhin-filtro bat zera da, oszilazioak maiztasunaren arabera bereizteko zirkuitu elektroniko bat. Praktikan, atenua zio txiki bat sortzen du banda bateko uhinetan, eta handi bat beste guztietan. Filtro ideal batek iragazpen unitarioa izango luke banda pasakorrean, eta nulua handik kanpora.

1.5.2.- Banda pasakorra

Zera da, ebakitze-goimaiztasun eta azpimaiztasunaren arteko maiztasunen banda.

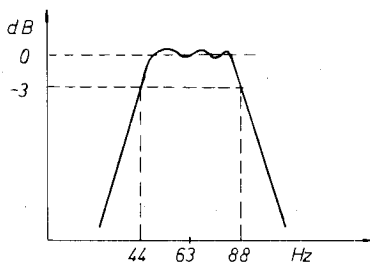
1.5.3.- Pasabandako Filtroa

Bere ebakitze azpimaiztasuna zeroz gainerikoa da eta goimaiztasuna, bestea baino handiago izanik ere, finitua da.

1.5.4.- Ebakitze-maiztasun nominalak, goi eta azpikoak

Seinale sinusoidal baten erantzuna, erantzun maximotik 3 dBez apalagoa ematen duten maiztasunak dira, erantzun maximotik gora eta behera. Ikus, adibidez, bandazabalera oktaba

batekoa duen filtro errealeko baten kurba karakteristikoa.



banda-zabalera : oktaba bat (44 Hz etik 88 ra)

Ebakitze-maiztasun nominalak, goi eta azpikoak: 88 eta 44 Hz.

Maiztasun zentrala: $\sqrt{44 \times 88} = 63$ Hz

1.5.5.- Banda-zabalera (nominala)

Ebakitze-maiztasun nominalen arteko diferentzia da.

Era askotara adierazten da

-Hertz-etan

-banda pasakorreko maiztasun zentralaren portzentu bidez.

- bi ebaki-maiztasun nominalen arteko tartea bezala, okta-
batan.

ikus ditzagun, banan bana, zenbait banda-zabalera ezagun:

a) Banda-zabalera konstantea

Hzetan adierazten da, esate baterako: binaka Hzetan. Ba-
tzutan beharrezko izaten da honelako filtro bat soinuitu-
rria egokiro aztertzeke. Baina oso nekoso da, eta denbo-
ra asko eskatzen du.

b) Banda-zabalera propo~~rt~~ionala

Kasu honetan, zabalera maiztasunaren araberakoa da, e.b.
oktaba bateko, $1/3$ ekoa, etc. Bere traba hau da: zenbat
eta maiztasuna handiagoa izan, hainbat handiagoa da zaba-
lera ere.

c) Oktaba

Muturbalioen arrazoia 2koa den maiztasun-tartea.

d) Oktabaerdia

Muturbalioen arrazoia $\sqrt{2} = (1,414)$ koa den maiztasun-tartea.

e) Oktabaherena

Muturbalioen arrazoia $2^{\frac{1}{2}} = (1,2599)$ koa den maiztasun-tartea.

1.5.6.- Oktaba edo oktabahereneko banda-zabalerako filtroa

zera da, ebakitze-goimaiztasun eta azpimaiztasunen arteko diferentzia oktaba batekoa edo hereneko duena.

1.5.7.- Maiztasun zentrala

Banda pasakorreko bi ebakitze-maiztasun nominalen media geometrikoa da, $\sqrt{f_1 \cdot f_2}$

1.5.8.- Banda-zabalera proportzionalakako maiztasun norma -

lak, soinu-neurketa ez-musikaletan

Oinharri bezala 1000 Hz hartzen da, balio honek akustikan duen garrantziagatik ("fono"aren definizioan, adibidez). On doko taulak, pasabandako filtroen maiztasun zentralak x batez markaturik dauzka.

Maiztasun normalak	1/1 okt	1/2 okt	1/3 okt	Maiztasun normalak	1/1 okt	1/2 okt	1/3 okt	Maiztasun normalak	1/1 okt	1/2 okt	1/3 okt
16	x	x	x	160			x	1 600			x
18				180		x		1 800			
20			x	200			x	2 000	x	x	x
22,4		x		224				2 240			
25			x	250	x	x	x	2 500			x
28				280				2 800		x	
31,5	x	x	x	315			x	3 150			x
35,5				355		x		3 550			
40			x	400			x	4 000	x	x	x
45		x		450				4 500			
50			x	500	x	x	x	5 000			x
56				560				5 600		x	
63	x	x	x	630			x	6 300			x
71				710		x		7 100			
80			x	800			x	8 000	x	x	x
90		x		900				9 000			
100			x	1 000	x	x	x	10 000			x
112				1 120				11 200		x	
125	x	x	x	1 250			x	12 500			x
140				1 400		x		14 000			
160			x	1 600			x	16 000	x	x	x

2.- SOINU EDO ZARATAREN MAILA SUBJEKTIBOAREN ADIERAZPIDEA

Ikusi berriak ditugu soinuaren maila objektiboa neurtzeko zenbait bide. Azkenean, ordea, soinu horik gizonen belarri-burumuinetara iristen dira. Eta han sortzen duten eragina ez da, huts-hutsean, neurri objektibo horren arabera.

Horrela, nahiz eta bi soinuk soinuintensitate-maila berdina izan, maiztasun desberdinekoak badira giza-belarriak ez ditu berdintzat joko: inpresio desberdina egiten diote. Horregatik sortu dira, hain zuzen, soinuak entzuleak nola sentitzen dituen kalkulatzeko, soinu-neurketarako maila subjektiboak.

2.1.- Soinuinpresio-maila edo maila isosonikoa (F); fonoa

Lehen adierazi dugunez, soinu baten maila subjektiboa aidentzeko ez da aski bere L_I maila ematea dB tan; horretaz gainera, bere maiztasuna ere esan behar da.

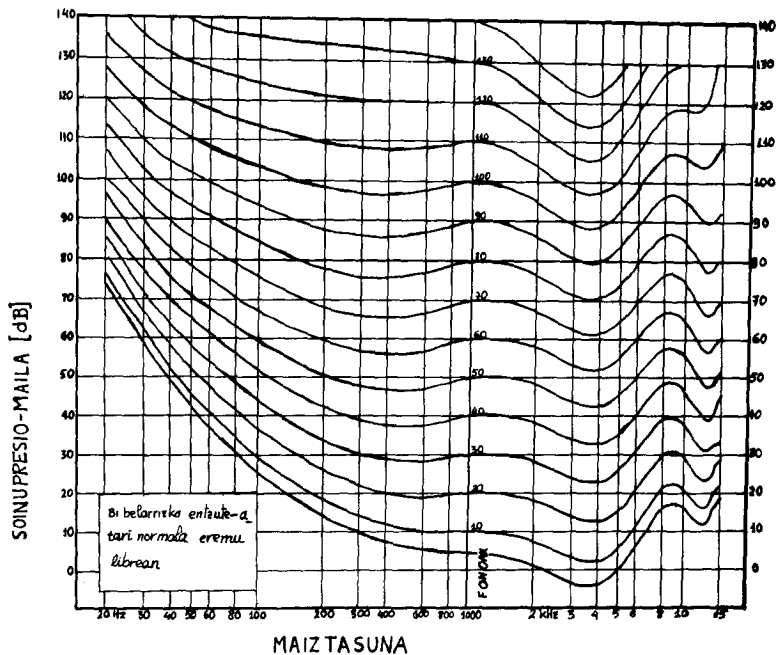
Horretarako, soinu edo zarata baten maila isosonikoa zehazteko, dimentsiorik gabeko unitate bat definitu da, fono-a, parametro biak (L_I eta maiztasuna) kontutan hartzen dituen. Soinu edo zarata baten F soinu-inpresio-maila (hots, maila isosonikoa) "n" fonotakoa da, baldin soinu horrek entzule normal batengan sortzen duen soinu-zentzazioa 1000 Hz eta soinu-presio-mailaz "n" dB etakoa den soinu puru baten berdina bada. Neurketarako baldintza jakineko batzuk adierazten dira definitzio hau emana duen (ISO/R 131) norman, ondoko puntuok kontutan hartuz; soinuiturria, soinuaren hedapenaren direkzioa, neurketa-gunea, entzute-modua eta entzulearen izakera otologikoa.

2.1.1.- Kurba isosoniko normalizatuak, aire librean entzundako soinu puruetarako.

Emandako definizioaren arabera, 1000 Hz etako soinu puru batek 40 dB etako L_I badauka, 40 fonotakoa dela esango dugu. Interesgarria litzateke, orduan, beste maiztasun batzuetarako, maila objektibuak zenbat dB tako izan behar duen ikustea entzulearengan 40 fono horietako zentzazioa sortzeko. Puntu guzti horik lotuz, 40 fonotako kurba isosonikoa genuke. Era berean egin daiteke beste fono neurriekin ere; horrela, azkenean, ondoko irudia lortzen da, soinu puruentzako kurba isosoniko normalizatuena, Fletcher eta Munsonen lehengo aldiz eratu zituztenetik aldaera gutxirekin orain artean maiz asko erabiltzen direnak.

Kurba hauen bidez garbi ageri da giza-entzumenaren zenbait berezitasun. Ikusten denez, maiztasun apaletan giza-entzumena irabazpen eskasekoa da, eta maiztasun altuetan berdintsu gertatzen da. Entzumena zorrotzagoa da 2000 eta 5000 Hz en arteko tartean. Gauzak are gehiago korapilatatzeko, fenomeno hau nabarmenagoa da maila isosoniko apaletan altuetan baino.

Ez da ahaztu behar, nolana ere, kurbok soinu puruetarako prestatu direla; ezin dira, beraz, zuzen-zuzenean, soinu konposatueta aplikatu.

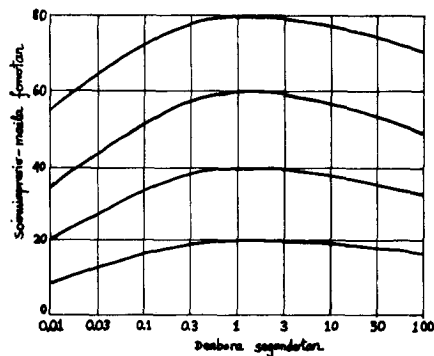


Aspaldi batean entzute-atarirako mutil gazte bati egin zitzaion neurketa zuzen izan balitz, 0 fonotako kurba isosoni-koak 1000 Hz eta $2 \cdot 10^{-5} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ soinupresioko puntutik pasa behar luke.

Baina ez da hala gertatzen: grafikoan ikus daitekeenez, entzute-ataritari dagokion kurba 4,2 fonotakoa da; eta oina -zeari dagokion atari-kurba, aldiz, 140 fonotakoa. Hona hemen maila subjektiboen eskala adierazgarri bat

130/140 font	Oinaze-ataria
120	Abioi-erreaktorea 10 mm
110	Kalderagintzako lantegia
100	Mailu elektrikoa
90	Orkesta sinfonikoa
80	Kale zaratatsua
60	Elkarriketa bizia
50	Musika suabea
40	Elkarriketa normala
30	Leku lasaia
20	Irrat-estudio ongi isolatua
10	Marmarra
5	Laborategi akustiko ongi isolatua
4,2	Entzute ataria

Azken ohar bat ere egin beharra dago giza entzumenaren bidez atzematen den soinuinpresio-mailaz: soinu bat ezartzean, belarriek ez dute berehala, bat-batean, jasotzen soinu horren inpresioa bere osotasunean. Hasieran inpresioa biziki hazten da, ondoko koadroan ageri denez, eta gero astiro astiro hur - biltzen zaio bere balio gorenari; gerorakoan, ordea, berriro jaisten hasten da soinuinpresioa.



Irudia: Soinu-irresio-mailaren eta irautealdiaren arteko erlazioa.

2.2.- Soinu-irresioa, (S); sonoa

Fonoak, esana dugunez, soinuak belarrietan eragiten duen irresio maila neurtzen du, soinu horren neurri objektiboa gabe. Halaz ere ezin esan liteke, adibidez, belarriak soinu bat bestea baino bi aldiz ozenago sentitzen badu bata**k** besteak bezalako bi fono dituenik. Soinuak, hortaz, fonoen eska**la**n ezin dira batu.

Soinuaren "indarra" neurtzeko, soinu-irresioa neurtzeko alegia, beste unitate bat definitu da, sonoa. Definizioz, so**no**a zera da: 40 fonotako maila isosonikoa duen soinu batek sortzen duen irresioa.

Sonoetako eskala hau ezartzeko metodo desberdinak daude. Ikus ditzagun haietariko bi.

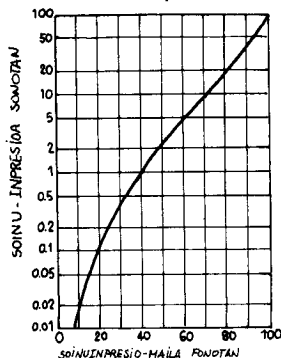
- a) Eman dezagun oinharritzat, soinu batek bi belarrietatik entzutean bakar batetik entzunda bezalako soinu-irresio bikoitza eragiten duela. Ipin dezagun entzulea belarritako birekin eta bidal diezaiogun, adibidez, 40 fonotako soinu

bi aurikulareetatik. Sono bateko soinua bidaltzen diogu belarri banatara, beraz bi sonotako inpresioa jasoko du. Ondoren bidal diezaiogun beste soinu bat aurikulare bakar batetik, eta entzuleak berak gradua dezala azken soinu hau bi aurikulareen bidezko 40 fonoetakoaren inpresio berdinerira iritsi arte. Orduan, soinu berriak 2 sono balioko du.

- b) Pertsona bati 1000 Hz eta 40 dB etako soinu puru bat entzun arazten zaio (honela 40 fono edo sono bateko inpresioa jasoko luke) eta gero beste soinu desberdin bat esku ratzen. Galdera hau egiten zaio ondoren: bigarren soinuak lehenengoak bezainbat zenbat aldiz balio du? Entzuleak, adibidez, 8 erantzuten badu, zera esan nahi du horrek: erantzulearengan, soinu horrek 8 sonotako soinu-inpresioa egin duela.

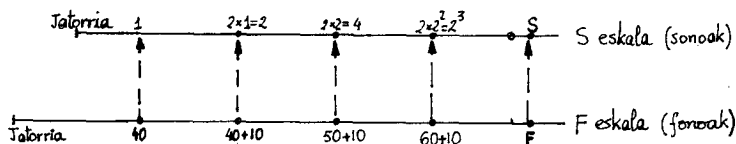
Saiakuntza asko egin dira, fonoen eta sonoen eskalen arteko erlazioak argitzeko.

Guzti horien emaitza dugu, hain zuzen, ondoren agertzen den grafikoa. Bertan ikusten denez, azpiko portzioan grafikoa kurbatu samarra bada ere, sono batetik gorako portzioari dagokionez lerro zuzen samarra da.



Goiko zona honetan, zeinetan soinuinpresio-mailak gozotasunetik desatsegintasunera artekoak baitira, soinu inpresio-mailaren 10 fonotako gorapen batek bikoiztu egiten du, gutxi gorabehera, soinu-inpresioa; eta fonoterdiko gorapena da, hor nonbait, soinu-inpresiozko aldaketa ohargarri minimoa.

Sono eta fonoen eskalak aurrez aurre parekatuz, hortaz, honako irudiok dauzkagu



Idazkera matematikoz, beraz, erlazio hau honela eman daiteke:

$$S = 2^{\frac{F-40}{10}}$$

$$F = 10 \cdot \log_2 S + 40$$

Soinu-inpresio, bestalde, soinu-intentsitatearekin ere erlazona daiteke. 40 eta 100 fonoen tarterako, honako ekuazio hau erabil daiteke:

$$S I = 445 \cdot I^{0,33}$$

non: S I: Soinu-inpresioa, sonotan

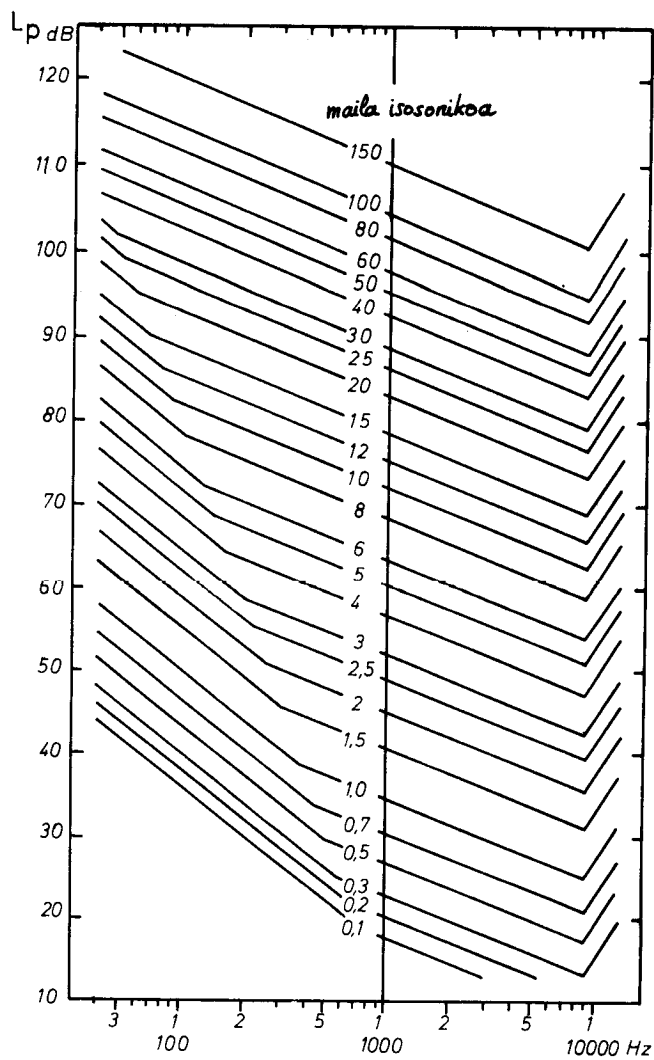
I : Soinu-intentsitatea, $\frac{\text{watt}}{\text{m}^2}$ tan

Labur bilduz, zera esan daiteke soinu-inpresioaz eta bere mailaz: fonoak ezin dira aritmetikoki batu; sonoak, ordea, bai. Soinu puru baten maiztasuna eta presio-maila ezagutzen badira, kurben bidez berehala atera ditzakegu bere fonoak eta sonoak. Soinua purua ez denean, ordea, bide horretatik ezin daitezke aurki. Horretarako, hurrengo pun tuan ematen da bide bat.

2.3.- Soinuinpresio-mailaren kalkulua soinu ez-puruetan

Honako bide hau jarraitu behar da:

- a) Soinu azterkizunaren L_p ren neurketa dB linealetan; ho - rren bidezko analisi-espektrala oktaba edo oktaba-herene tan.
- b) Analisi espektralean erabilitako maiztasun zentral bakoitzak, sonometroak emandako L_p neurketarekin batera, ondo ko grafikoko puntu bat determinatzen du. Handik pasatzen den isolineaz, oktaba edo oktaba-hereneko banda bakoitze-ko "s" sonoak lortuko ditugu.



c) Datu guzti horiekin, sonoen kopuru totala ateratzen da

$$S_t = S_m + F (\sum S - S_m)$$

non:

- . S_m = Aurkitutako soinu-indize gorena
- . S = Banda guztietarako aurkitutako soinu-indizeen batura
- . F letrak balio hauk hartzen ditu:
 - 0,3 oktabako bandetan
 - 0,2 oktabaerdiko bandetan
 - 0,15 oktaba-hereneko bandetan

d) F maila isosonikoaren kalkulu finala ondoko formularen bidez lortzen da

$$F = 40 + 10 \log_2 S_t$$

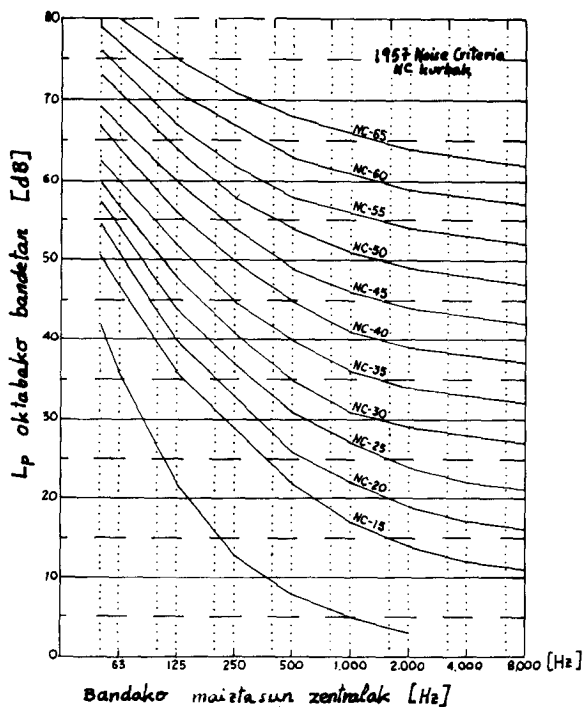
edota berrikitan eman ditugun abakoen bidez.

2.4.- NC kurbak ("Noise Criteria", 1957); PNC kurbak ("Preferred Noise Criteria", 1971)

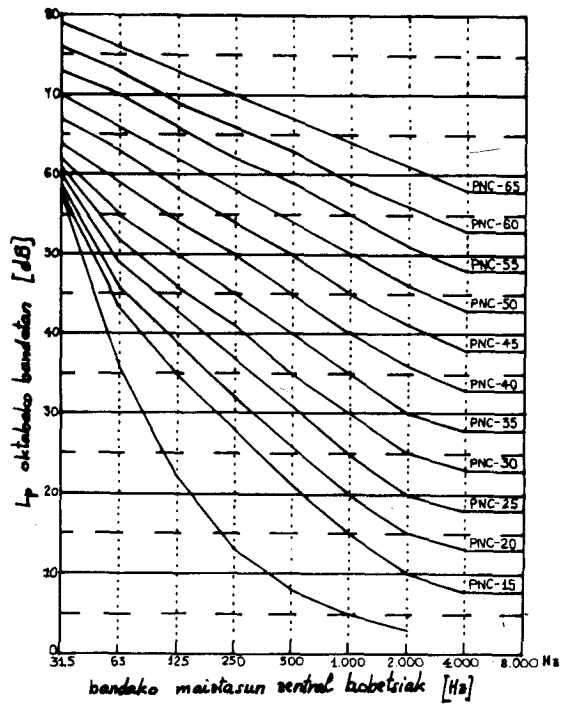
NC balioak soinu jarraietan aplikatzen dira, eta zera adierazten dute: oktaba bakoitzean onhar litekeen soinu-maila maximoa. Adibidez, espezifikazio batek soinu-mailak NC-20 az azpitikoak izatea eskatzen badu, L_p soinu-presio-mailek oktaba-bandabakoitzean NC-20 kurbak emandako balioaz azpitikoak izan beharko dute.

Eta alderantziz, soinu baten NC zifra honela determinatzen da: banda bakoitzean soinuak emandako puntuak situatu, eta kurbetan barrena sartzen den puntuak emango du NC zifra. Honela, soinu jakineko baten oktabazko analisi espektrala, 63 Hztik hasiaz, jarraiko hau bada: 50, 55, 58, 60, 55, 50, 45 eta 39 dB, soinuaren zifra NC-57 izango da, (500 Hz, 60 dB)

bikoteak adierazten duen puntua bait da kurbetan barrena
gehien sartzen dena.



Kurba honen antzekoak dira, orobat, PNC kurbak ere. Du-
ten berezitasuna zera da, besteak baino zehatzago gertatzea
rren irizpide pesimistago batez prestatuak daudela.



2.5.- Giza entzumena, filtro bezala

Esana dugu lehendik, giza entzumenak ez dituela intentsitate berdineko soinu guztiak berdín jasotzen, duten maiztasunaren arabera baizik. Beraz, gure belarriek filtro batzuen gisan funtzionatzén dute, 20 eta 15000 Hz arteko bandako filtro batzuen moduan. Beraien kurba karakteristikoa, $G = \varphi(f)$ ondoko prozeduraz determinatzen da.

Baldin:

p_2 = soinuaren presio efikaza belarrirako sarrerán

p_1 = soinuaren presio efikaza belarritiko irtera eta burmuinerako sarrerán

p_0 = erreferentzi presioa, $2 \cdot 10^{-5} \left(\frac{N}{m^2} \right)$

$G = \frac{p_1}{p_2}$ filtroaren irabazpena, maiztasunaren arabera-
koa

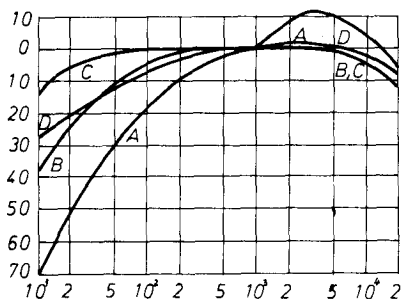
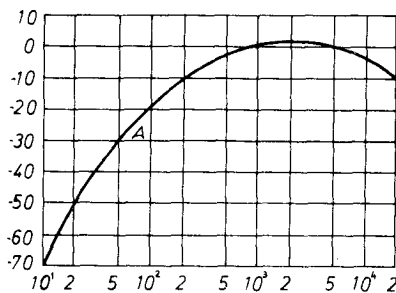
maiztasun desberdinetan L_p eta soinuinpresio-mailak elkar konparatuz, maiztasun horietarako.

G irabazpenak atera ditzakegu; eta ondoren, $20 \log G$ eginaz, erantzun erlatiboen grafikoa eratu. Honela sortua da, beste gehiagoren artean, A kurba ponderatua. Beheko irudian ikusten denez, honelako filtro bat daraman sonometroak, soinuaren maila objektiboa gabe, giza entzumenak jasoko lukeen araberako soinu-mailak jasoko lituzke.

Ikusten denez, giza entzumenaren irabazte-karakteristikak duen formaz, maiztasun apalak asko beheratzen dira; eta 1000 eta 5000 artekoak, aldiz, zertxobait goratzen. Berez, kurba hau 40 fonotarako prestatua da; halaz ere, eskarmentuak erakutsi duenez, nahiko zehaztasun du beste soinu-mailetarako.

Badaude, honetaz gainera, beste zenbait kurba pondera - tzaile ere, sonometro onek berekin ohi dituztenak. Hurrela, B eta C kurbak, banan bana 70 eta 100 fonotako kurba isoso - nikoei dagozkienak; eta D kurba, abioien zarata neurtzekoa.

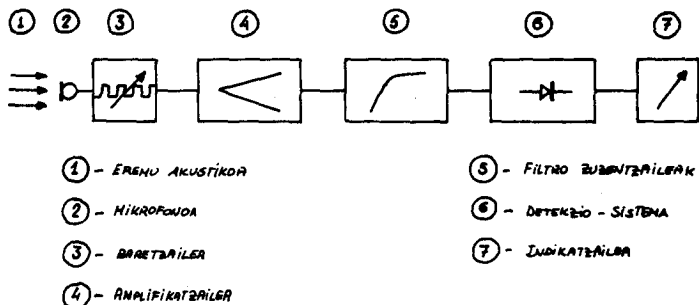
Ikus ditzagun, irudi bitan, batetik A kurba eta bestetik A, B, C eta D kurbak.



3.- SOINU-NEURGAILUAK

Soinupresio-maila neurtzen duten aparatuei, sonometro esaten zaie. Era askotakoak daude, A kurbaren arabera bakarrik neur dezakeen sinpletik hasi eta konplikatueneraino, A, B, C eta D kurbak ez ezik zabalera konstanteko nahiz oktaba edo oktaba-herenen araberako bandako filterak dituenak.

Ondoren, sonometro baten funtsa adieraziko da.



Hasteko, mikrofono bat dauka: honek soinua atzematen du, eta hartatik seinale elektriko bat sortzen da soinuaren arabera.

Gero seinale horrek zirkuitu elektroniko luze bat kurritzen du: baretzailea, amplifikatzailea, filtro zuzentzaileak, detekzio-sistema eta neurri-indikatzailea.

Baretzailearen eginkizuna zera da, zirkuitura pasa behar duen seinale elektrikoa mugatu eta kontraletzea, ezer honda ez dezan. Neurgailuak bere eskala dezibelethan dauka. Lortutako balioa soinu-

presio-mailaren media koadratikoa da, dezibelekan adierazia eta erreferentzi gisa $0,0002 \frac{\text{dina}}{\text{cm}^2}$ hartuz. Honelako neurgailu hauek, normalean, 20 eta 10.000 Hz arteko maiztasuneko soinuak jasotzen dituzte, eta 20 eta 180 dB arteko soinu-mailak.

Neurgailu baten sentikortasuna, maiztasun-erantzun eta direkzionaltasuna mikrofonoaren menpekoak dira, batez ere. Ez dago kasu guztietarako mikrofono perfekturik. Bai, ordea, kasu konkretu askotarako eredu egokiak.

SOINUAREN KONTROLA

M. Zalbide

SOINUAREN KONTROLA

1. KONTROLERAKO TEKNIKAK
2. KONTROLERAKO ERAGIGUNEAK
3. SOINUAREN GUTXITZEA JATORRIAN
4. SOINUAREN GUTXITZEA BERE IBILBIDEAN
5. SOINUAREN GUTXITZEA HARTZAILEARENGAN
6. SOINUAREN KONTROL PASIBOA. INGURATZAILEAK
 - 6.1. Inguratzaileak.
 - 6.2. Transmisiozko galerak.
 - 6.3. Inguratzaileetarako materialeak.
 - 6.4. Soinuaren absortzioa.

SOINUAREN KONTROLA

Normalean zera pentsatu ohi da, soinua kontrolatzea entzulearengan soinu-maila jaistea dela; hori ez da, ordea, guztiz egia. Kasuak badira, hain zuzen, soinu-maila egokiago bat lortzearren jakinaren gainean soinua egiten dena: bulego eta jatetxe askotan, adibidez, ingurugiro bilduago bat sortzeko, hari musikala jartzen da.

Arrazoirik ez da falta, beste kapitulu batzutan agertzen denez, soinua kontrolatzeko: elkarriketen interferentzia eta bibrazioez gainera, hor daude belarriko gaisotasunak eta moles-tiak, geroz eta kontuagotan hartu beharrak gertatzen ari direna k. Enpresetan bertan ere, hasiak dira soinuak sor ditzakeen kostu ekonomikoak kalkulatzeko.

Gutxienez ondoko puntuok neurtzen dira:

- sor ditzakeen penalizazio eta hauzien kostua.
- zor gelditzeagatiko konpentsazio-kostua
- gaisotasun-bajagatiko kostua
- sortutako lan-arazoen kostua
- produktibitatearen beherapenaren kostua.

Presio sozialaren eraginaz kostu guztiok gora daitezke neurrian, dudarik ez soinuak sortzen dituen problema askori e-rantzunak bilatu beharko zaizkiola.

1. KONTROLEPAKO TEKNIKAK.

Soinu eta zarata industrialak oso modu desberdinetakoa izan daiteke: hasi problema errazetatik, konponbidea begibis-tan dutela, eta fenomeno elkarlotu ugarietako problema zaileta-raino. Edozein kasutan ere, gutxienez ondoko temok estudiatu behar dira generalean:

- Bibrazio mekanikoak
- Fluidoaren fluxua
- Akustika eta materialeen propietate akustikoak
- Informazioaren trataera (analisiak)
- Akustika eta bibrazioetarako tresneria

Soinu bat bere jatorrian identifikatu ondoren, alternatiba gutxi ditugu irispidean konponbide bat emateko. Teknika aktiboak daude batetik, eta pasiboak bestetik.

Teknika aktiboek soinu iturria deusezten dute, eta beraz soinua. Pasiboek, aldiz, ez dute iturria aldatzen; baina ondorioak samurtzen dituzte. Ikus ditzagun denak banan bana:

- Teknika aktiboak:

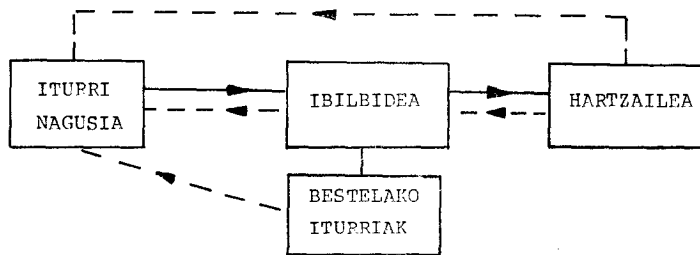
1. Sistema berdiseinatu, zarata gutxiagoko beste batez ordezkatuz.
2. Zuzenean, soinuaren jatorri-puntuetan eragin.

- Teknika pasiboak:

1. Estaldura.
2. Langunearen trataera akustikoa.
3. Gizon-makina arteko situazio erlatiboa aldatu.

2. KONTROLEPAKO ERAGIGUNEAK.

Soinuaren transmisioa, iturritik hartzailearengana, irudiko bloke-diagramaz adieraz daiteke. Linea sendoek soinuaren transmisioa adierazten dute



Makina-erreminta batean, adibidez, iturri nagusia zerak izaten dira: engranaiak, errodamenduak, egituraren bibrazioa, talkak, motore elektrikoak, hidraulikoak, ebaketa-prozesua, marruskadura, etab.

Ibildeari dagokionez, aldiz, zera esan behar da: energia akustikoa airean edo egitura solido batean barrena transmiti daiteke. Transmisio estrukturalaren kasuan, bibrazio moduz, egitura bibratzaileak aireari transmititzen dio bere bibrazioa; eta honen bidez, azkenean, belarri edo neurgailuetara iristen da bere eragina.

Hartzaileaz, azkenik, zera esango dugu: pertsona bat, pertsona-multzo edo are elkarte oso bat izan daitezke.

Iturri, ibilbide eta hartzailearen artean sistema bat osotzen dute; horren ondorioz, ezinezkoa da askotan elementuak zorrotz berezteak.

3. SOINUAREN GUTXITZEA JATORRIAN

Berez, hau da modurik sanoena soinuaren trabak konpontzeko. Posibilitate hau disenatzeko orduan kontutan hartzen bada, askotan erraza gerta liteke, eta merke, soinua kentzea. Aparatuak konstruitu ondoren, ordea, askozaz zail eta garestiagoa gertatzen da konponbidea.

Soinua bere jatorrian laburtzeko, ondoko metodo hauen

arabera jardun daiteke:

1. Operazio-sistema beste isilago batez aldatu; adibidez, aire-zurrusta baten ordez beste medio mekaniko batez expulatsatuz.
2. Soinu-sortzen duten indarrak txikitu; adibidez, piezak ekilibratuz, indar magnetikoen aldakuntzak laburtuz edo marruskadur indarrak txikituz.
3. Talka-indarren eragina samurtuz; adibidez, materiale amortigoatzaileak artekatuz. Batez ere gainazal metalikoen kasuan, egokia gertatzen da gainazalok materiale erresilente (zaluago) edo olio estaltzea.
4. Elementu bibratzaileetan bibrazioen dispositibo isolatzaileak ipiniz; horrela adibidez, makina alternatiboetan eta tapetan.
5. Soinu-erradiazioa laburtuz; horretarako, panelen karakteristika erresonanteak aldatzen dira: materiale amortigoatzaile edo zurruntzaileen bidez amplitudea laburtuz, edo gaiazal erradiatzaileen azalera aldatuz.
6. Motore elektriko, ekipo hidrauliko, engranai kaxa, errodamendu eta abarren soinua txikituz.

4. SOINUAREN GUTXITZEA BERE IBILBIDEAN.

Hau da bigarren erasogunea, soinua partez bederen isiltzeko. Honetarako dauden metodorik ezagunenak ondorengo hauk dira:

- . Iturria eta hartzailearen artean, lantegian, elkar posizio egoki bat eratzea.
- . Iturriaren erradiazio direkzionaleko karakteristika baliatzea, hartzailearengana soinu-maila apalena iris arazteko orientazioa aukeratuz.
- . Inguratzaileak eta hesi partzial edo osoak erabiliz.
- . Giroztatze aukustikoaren teknikak erabiliz, lantegiko

soinu-propietateak mudatzeko.

- . Makina osoa edo bere atalen bat isolatzea, horrela soi
nuaren hedatze-ibilbidea ebakiz.

5. SOINUAREN GUTXITZEA HARTZAILEARENGAN.

Jarraiko metodo hauk erabil daitezke:

1. Jendeari norbanako babesgailuak eskuratuz: tapoiak, belarritakoak eta kaskoak.
2. Langilearen soinutako egonaldia kontrolatzea, egunean egon litezkeen orduak mugatuz, segun eta soinuak zer mailatakoak izan.
3. Hartzaileak iturri eta ibilbidearekiko daukan situ
zioa aztertuz.

6. SOINUAREN KONTROL PASIBOA. INGURATZAILEAK.

Makina-erremintetan, soinuaren gutxitzea honako puntu
hauen arabera klasifika daitezke:

1. Inguratzailea.
2. Zimentazio eta instalazioaren diseinua.
3. Piezak eta prozesuak sortutako soinu eta bibrazioak.
4. Makinaren diseinu estrukturala
5. Amortigoamendua
6. Giroztatze akustikoa.

Lege-baldintzak betetzeko eta abarretarako dB(A) neurr-
eskala egokia bada ere, honelakoetan besterik egitea komeni da:
soinua behar bezala zehaztu ahal izateko, oktaba (edo okta-he-
ren)eko filtroz lortutako datuak behar dira. Absortzio akustiko
a eta transmisiozko galerak maiztasunaren menpekoak dira, hain
zuzen.

6.1. Inguratzailleak.

Soinua kontrolatzeko inguratzailleak zera dira, soinu-iturria inguratzen edo biltzen duten panelak, soinuaren hedatze-ibilbidea horrela direkzio orotan hesituz.

Horretarako, komenigarria da materialeak τ transmisio-koefiziente apala izatea eta inguratzaillearen barne-gainazalak α absorzio-koefiziente garaia. Soinu-mailaren gutxitzea (L_{IL}) atrapatze-galeraz neurtzen da. Definizioz, atrapatze-galera zera da: soinu-iturri eta neurgunearen artean hesia jarri aurretik eta ondoren, leku berdinean egindako soinu-mailen arteko diferentzia dezibelezkoa.

Atrapatze-galera ondoko espresioaz kalkulatzeko da

$$L_{IL} = 10 \log_{10} \frac{1}{\tau} - 10 \log_{10} \frac{1}{\alpha}$$

Kalkuluak oktaba bidez burutu behar dira. Bigarren ataleko lehen zatiak transmisiozko galera (TL) adierazten du.

$$TL = 10 \log_{10} \frac{1}{\tau}$$

non τ = soinuaren transmisio-koefizientea =

$$= \frac{\text{energia transmititua}}{\text{energia iritsia}} = \frac{I \text{ transmititua}}{I \text{ iritsia}} = \left| \frac{p_t^2}{p_i^2} \right|$$

Formulako bigarren zatia ($-10 \log_{10} \frac{1}{\alpha}$) soinuak inguratzaillearen barrenean jasaten duen isladapenaren ondorioa da; isladapen horrek goratu egiten du, inguraitzaillearen barrenalde horretan, soinu-maila.

$$\begin{aligned} \alpha &= \text{materialearen absorzio-koefizientea} = \\ &= \frac{\text{energia absorbitua}}{\text{energia irislea}} \end{aligned}$$

Inguratzaileak oso garestiak izan daitezke, 10 eta 25 dB(A) arteko soinu gutxitzeak egin nahi direnean: Lombardek 10.000 NF jotzen du, prezioz, talde hidrauliko batentzako; Petersek 60.000 FB antzeko batentzat; eta Weckek 7.000 DM torno batentzat.

Inguratzaile gaizki konstruitu batek 2 eta 4 dB(A) arteko soinu-gutxitzeak bakarrik ematea gerta daiteke.

6.2. Transmisiozko galerak.

transmisio-koefizienteaz eta (TL) transmisiozko galeraz adierazten dira.

$$TL = 10 \log_{10} \frac{1}{\tau}$$

(TL) transmisiozko galeren balioak asko erabiltzen dira materiale inguratzaileen isolatze-ahalmena neurtzeko. Halaz ere, TLren balioa soinuaren maiztasunaren arabera aldatzen denez gero, maiztasun bakoitzerako beharren arabera aukeratu behar dira materialeok.

Jakineko materiale baten karakteristika isolatzaileak honako faktoreon menpekoak dira: gainazal-unitate bakoitzeko masa, soinu irislearen maiztasuna, iriste-angelua eta hesia eraikita daogen modua.

Inguratzaile edo hesi batek masa bat dauka, eta masa honen inertziak bere mugimendua moteltzen du. Zurruntasun bat ere badauka, materialearen karakteristika elastikoen ondorioz; badauka, azkenik, amortigoamendu bat ere.

Situazioa askatasun-gradu bakar bateko situazioa sinplifikatuz, kontsidera dezagun soinu-uhin bat, H masa batetara iristen; K zurruntasuneko erresorte batek dauka masa hau,

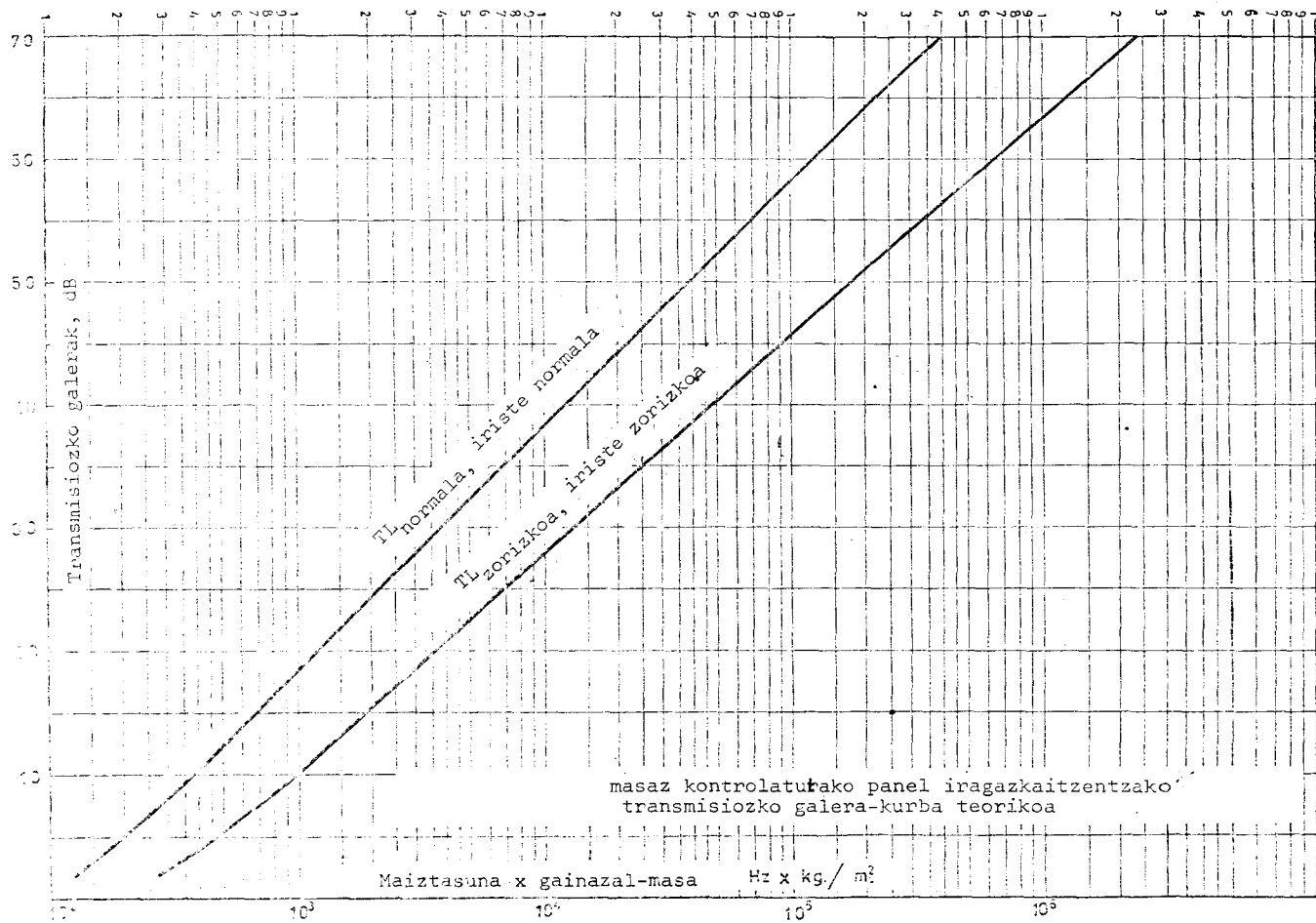
1. Soinu-presio irislea $F_1 = P \cdot A$

$$F_1 = P \cdot A$$

$$F_2 = M \frac{d^2 x}{dt^2} = - M \omega^2 x$$

a) Soinuaren maiztasuna oso bajua denean, presio-aldaketari kontra-jartzen zaion indar bakarra erresortearena da, inertzia-akoa mezprezagarri izanik. Kondizio hauetan, egituraren zurruntasuna da mugimendua kontrolatzen duena: K zurruntasunaz kontrolatutako zonan gaude.

c) Maiztasun jakineko batzuetarako, erresortearen erre



akzioak inertzi indarrak orekatzen ditu.

$$M\omega^2 \cdot X = KX$$

Baldintza horien pean sortzen den maiztasunari erresonantzi maiztasuna esaten zaio.

$$\omega = \sqrt{\frac{K}{M}}$$

Erresonantzi zona honetan, hesia oso gardena da soinuarentzat: presio aldaketa txiki batek masaren mugimendu handi bat eragin dezake. Kontrajartzen zaion bakarra, existitzen denean, amortigoamendua da.

Normalean, inguratzaileak masak kontrolatutako zonarako diseinatzen dira. Gainazal berdin batean, masa edo soinuaren maiztasuna bikoiztean 5en bat dBtako gutxitzea lortzen da hesiaren bidez. Muntaiaren eraikerak ere badu eraginik i solatze-graduan, nahiz eta kuantifikatzen zailago den. Nola nahi ere, muntaiak ahalik zaluena izan behar du. Materialeak dentsitate handikoa izan behar du, igazgazkaitz eta pororik gabea, zirrikiturik gabeko multzo bat osotuz soinu-inturriaren inguruan.

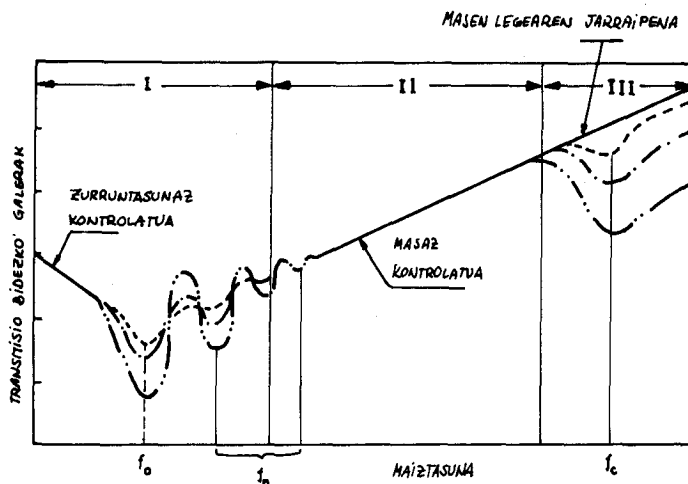
Normalean erabiltzen diren materialeak honako hauk dira: beruna, berun-geruzazko edo aglomeratuzko materialeak, plastiko errefortzatuak, altzairu-xaflak, hormigoia, kisu-panelak, zur eta gomazko aglomeratuak.

Hesia osorik badago, posible da 50-60 dBetako gutxitzeak erdiestea.

Halere, 55dBetako isolamendua ematen duen inguratzaile bati bere gainazal osoaren %leko zulo bat irekitzen bazaio, isolamendua 25 dBetara jaisten da. Inguratzearen isolamendua 30 dBtakoak bakarrik bada, aldiz, zulo horrek 20 dBetara

jaisten du. Bistan da beraz, zuloen eragina, beti ere garran-
tzizkoa izan arren, isolatze-ahalmen txikikoetan ez dela -
hain oinharritzkoa.

"masaren lege"tikako desbidazio nagusiak erresonan-
tzi eta kointzidentzi maistasunetan gertatzen dira, hurren-
go irudian agertzen denez.



----- amortigoamendu txikia.

- - - - - amortigoamendu medioa.

..... amortigoamendu handia.

I Zurruntasun eta erresonantziak kontrolatutako zona.

II Masak kontrolatutako zona.

III Kointzidentzi zona.

f_0 eta f_n = erresonantzi maistasunak.

f_c = kointzidentzi maistasunak.

Irudi honek amortigoamendu desberdinetako panel

homo-

geneo baten funtzioan adierazten ditu transmisiozko galerak. Erresonantzi zonak $f_0, f_1, \dots, f_n$ maiztasun naturalekin kointziditzen du. Inguratzaile oso txikien kasuan bakarrik, iturri labur baten ingurukoetan alegia, lor daiteke erresonantzi maiztasun txikiena soinu-espektroaz gainerikoa izatea; kasu hartan, hesiak zurruntasunak kontrolatutako zonan egiten du lan. Makina-erreminta normalen kasuan, zona hau itzuri nahi bada panelaren 3. edo 4. maiztasunaz gainerik lan egin behar da; hots, masak kontrolatutako zonan.

Maiztasun askozaz handiago batean, f_c kointzidentzi maiztasuna gertatzen da: maiztasun horretan soinuaren uhin-luzera eta xaflaren flexio-uhinen luzera berdina dira. Erresonantzi nahiz kointzidentzi maiztasunak analitikoki determinatu daitezke, eta ondorioz masak kontrolatu zona mugaturik dago. Erresonantzi eta kointzidentzi fenomenoek maiztasunak, panelen masa eta zurruntasunaren arteko erlazioaren menpekoak dira. Erlazio altuetarako erresonantzi maiztasuna jaitsi egiten da, eta kointzidentziakoa igon, horrela panelaren erabilpen-zona zabalduz.

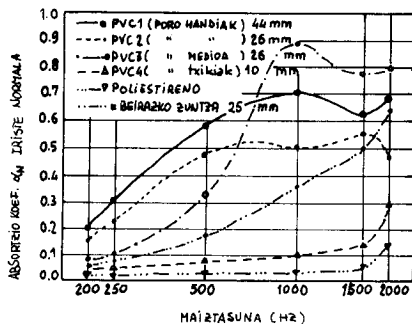
6.3. Inguratzaileetarako materialeak.

Kisuzko panelak merkeak dira baina, altzairuak bezala, amortigoamendu txikia dute eta, ondorioz, erresonantzi eta kointzidentzi maiztasunetako bibrazioak kontrolatzeko, gortu egin behar izaten dira. Betirako instalazioetan, pisuak garrantzirik ez duen lekuetan, igeltsaritzako tabikeak soinu-hesi egokiak dira.

Berun haustua edo beste materiale dentsuak neoprenoarekin nahasten dira; orobat epoxi erretxina, polivinil kloruro, uretano eta bestelako plastiko batzurekin, hesi-plakak sortuz.

Beste batzutan berun xaflatua altzairu, aluminio,
zur kontratxapeatu eta abarretan ezartzen da.

6.4. Soinuaren absortzioa.



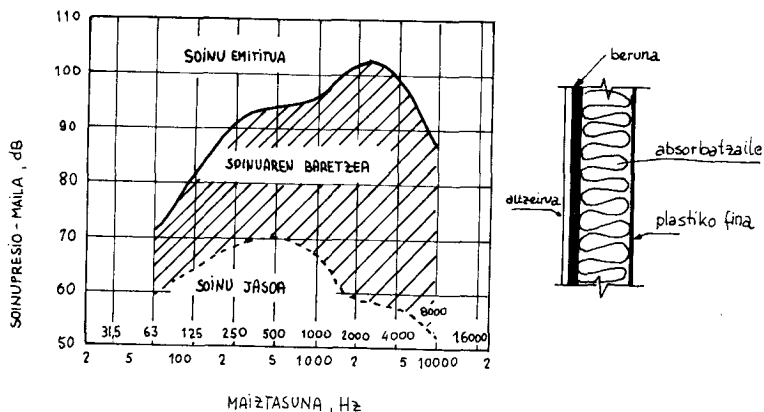
Soinuaren absortzio-koefizientea materiale industrial
batzurenzat, iriste normalerako, maiztasunaren funtziotan.

Goiko irudian ikusten denez, zailtasuna ez dago maiz-
tasun handietan. Materiale isolatzaileen eta absortzio-modu-
en ondorioz, erraza gertatzen da 1.000 Hzetatik gorako maiz-
tasunen soinuak tratatzea.

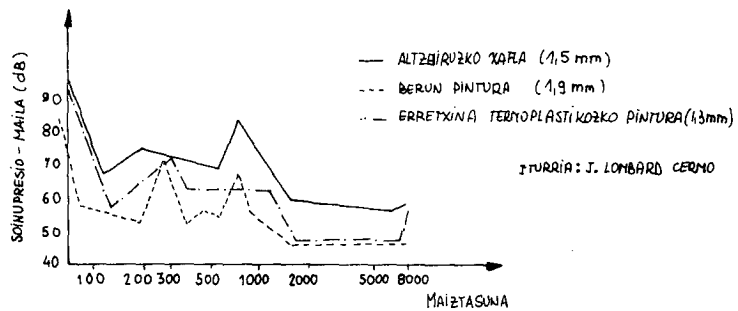
Baina makina-erremintek egozten duten soinua, hein han-
di batean, 1.000 Hztatik beherakoa da; eta giza entzumenak
100 Hzetaraino sentikortasun argia duenez, benetako proble-
ma 100 eta 1000 Hzarteko maiztasunen soinuarentzako absortzio-
koefiziente oneko materialeak aurkitzean datza.

Saiakuntza bidez ikusi ahal izan denez, gomazko apar po
ro handitakoa materiale egokia da makina-erreminten soinu
maiztasunetarako.

Nolanahi ere, aplikazio industrial gehienetan bi pro-
piedade akustiko tipoak erabili behar izaten dira, eta kasu
batzutan hirurak-amortigoamendua, absortzioa eta hesikoa. Es-
kaera desberdin hauei erantzuteko, propietate konbinatuak di-
tuzten inguratzaileak prestatzen dira. Honelakoa da, adibidez,
hurrengo irudian agertzen dena.



Azkenik, ondoko irudi honetan zera agertzen da: plaka
altzairuzko bati bestelako isolatzaileak eransten zaizkio-
nean inguratzaileak lortzen duen aldea.



ENTZUMENA ETA GORRERIA

L. Bandres

ENTZUMENA ETA GORRERIA

- . ENTZUMEA
- . ENTZUPIDEA
- . GORRERIA
- . TRANSMITITZE-GORRERIAREN KAUSAK
- . ZARATA INDUSTRIALA ETA GORRERIA

ENTZUMENA ETA GORRERIA

ENTZUMENA:

Beste satsudur mota askoren artean zarataren satsadura daukagu. Hau ez da satsudur nuklearra bezain espektakularra, baina bere estengabeko - ekintzak, maiz, pentsatzen ez ditugun kalteak ekartzen ditu. Satsudur mota hau ulertzeko eta bere kaltegarritasunaz jabetzeko, entzumenaren mekanismoa ikusi behar dugu.

Giza entzupideak 20 Hz. eta 20.000 Hz-aren arteko presio-uhinak adi tzen ditu. Zenbaki hauk ez dira inolaz ere absolutuak: pertsona batzuek, umeez bereziki, 16 Hz-tik aurrera adi dezakete; eta gehienetan, jende helduek ez dute 16.000 Hz-tik gora entzuten. Beste aldetik ere, giza entzupideak ez du maiztasun guztietan sentikortasun berdina, hau da: hots batetik, entzungarria izango bada, maiztasun bakoitzerako hots-maila minimo batetik gorakoa izan behar du.

Irudian ikusten den bezalako diagrama batean, giza entzupideak bere tzakotzen dituen maiztasunak eta intentsitateak azal daitezke. Honelako diagrama batek "entzumenaren zabaltasunaren grafiko" izena hartzen du. Grafiko honetako beheko lerroak entzungarria den intentsitatearen maila apalena adierazten digu, eta "entzumenaren muga" esango diogu; goikoa, aldiz, "higuingarritasunaren muga" da: frekuentzia bakoitzean hots-maila muga horretatik gora pasatzen bada, entzumena desatsegina eta maiz mingarria bilakatzen zaigu.

Irudian azaltzen den bezala, giza entzupidearen sentikortasun handiena 1000 eta 3000 Hz arteko maiztasun-tartean dago.

Horrelako irudi bat egiteko 30.000 pertsona aztertutak izan ziren - (Fletcher eta Munson-ek Estatu Batuetan eta zenbait urte geroxeago Robinson eta Dadson-ek Britainia Handian egin zituzten bere azterketak).

Gizonaren adina aurrera joan ahala, entzungarritasunaren goiko maiztasun-muga jaitsi egiten da. Jende heldu gehienek 12.000 Hz-tik gora ez dute aditzen, eta askok eta askok ez eta 8.000 Hz-tik gora ere.

20.000 Hz-tik gorakoak "uhin ultrasonikoak" ditugu eta gure entzupideak ez ditu aditzen. Halaz ere, zenbait animaleek entzun ditzakete; esate baterako, zakurrek eta saguzaharrek.

Esana dagoen bezala, giza entzumenak ez ditu maiztasun ultrasonikoko "hotsak" entzuten; eta, nahiz eta oso intentsitate-maila handikoak izan, ez dira ez kaltegarriak ez eta mingarriak ere. Entzupidean kalte egiteko, soinua entzungarria izan behar du.

ENTZUPIDEA:

Azter dezagun, azaletik bada ere, giza entzupidea:

Entzupideak hiru atal nagusi ditu:

Kanpoko entzupidea

Erdiko entzupidea

Barrengo entzupidea

Kanpoko entzupidea belarritik tinpanoraino doa. Mintz honetatik beste aldera "erdiko entzupidea" hasten da: hau, airez beterik dagoen ganbara bat da eta tinpanotik "obalantzeko leihoraino" doa; leiho honetan hezur ttiki bat sostengatzen da, hots, "eskalanpoa". Eskalanpoaren eta tinpanoaren artean beste bi hezur ttiki daude, "ingude" eta "mailu" izenekoak. Hezurtxo guzti hauk elkar artekatuta daude. Erdiko entzupidea kanpoarekin bide batez konektatuta dago; bide hau "Eustakioren tutua" deitzen da.

Obalantzeko leihoaren barrenaldetik "barrengo entzupidea" hasten da; hau, kalaberan oso sartuta dagoen "koklea" izeneko hezur batetan dago, koklean mila bidezka eta ganbara dago eta guzti horik likido garden batez beterik daude.

Ikus dezagun gure entzupidearen lana:

Airetik datozen hots-uhinak belarriraino heltzen dira eta hemendik "kanpoko entzukanaletik" tinpanoraino. Orduan, oso sentikorra den mintz honek bibratu egiten du. Bibraketa hori erdiko entzupidearen hezurtxoaren bidez (mailua, ingudea eta eskalanpoa, bereziki) barrengo entzupideraino eramaten da.

Esalkanpoa, lehen esan dugun bezala, obalantzeko leihoan sostengatzen da, sostengu hori mintz oso elastiko batez egiten da; beraz, tinpanotik mailuraino pasatzen diren bibraketak, mailutik inguderaingo pasatzen dira, ingudetik eskalanporaino eta honen mugimenduek kanpora eta barrura higitzen dute obalantzeko leihoa. Obalantzeko leiho hau, koklean irekita dagoen zulo bat da. Zulo hori ixten duen likidoak, aldizka, konpresio eta expansio batzuk jasaten ditu. Kokleak mintz batez itxitako beste leiho bat ere badauka: "Leiho biribila". Lehen esandako konpresio eta expansioen ondorioz, barrango entzupidean uhinak azaltzen dira. Burumuinera informazioa eramango duen nerbio akustikoak 30.000 mila punta dauzka koklea guztian banaturik. Punta hauek uhinak hartzen dituzte, eta seinale elektriko bihurturik nerbio akustikora eramaten. Kokleak, gutxi gora behera, barraskilo baten antza dauka eta nerbio akustikoaren puntak bere luzera guztian banaturik dauzka. Punta hauen sentikortasuna ez da maiztasun guztientzat berdina; honela, koklearen barruagoko aldean dauden puntak maiztasun apalak hartzen dituzte bereziki. Barraskiloaren sarreran dauden zelulak beti exzitatuta daude, nahiz maiztasun apalez nahiz handiz; beraz, denborarekin hondatu egiten dira eta honela gorreria-mota bat sortzen da: presbiakusia. Presbiakusia hau, gizonengan handiagoa da emakumengan baino eta adina aurrera joan ahala, maiztasun guztiak aditzeko ahalmena txikiagotu egiten da. Halaz ere, entzumen-galera hori maiztasun handietan gogorragoa da maiztasun apaletan baino.

Azkenik, hotsa nerbio akustikoaren bidez burumuineraino heltzen da eta orduan entzun egiten dugu.

Tinpanoak, lan egiteko, kanpoan eta barruan presio berdina izan behar du. Horretarako dugu, hain zuzen, Eustakioaren tutua. Tutu hau, erdiko entzupidetik eztarriaren atzealdeko puntu bateraino doan hodi bat da eta balbula baten moduan lan egiten du. Aireak oso errazki pasatzen da erdiko entzupidetik kanpora, baina ez alderantziz. Beraz, erdiko entzupidearen presioa kanpoko baino handiago denean airea automatikoki atera egiten da. Aldiz, kanpoko presioa (presio atmosferikoa) erdiko entzupidearena baino handiago denean tutua ireki egin behar dugu; horretarako txistua irensten dugu.

GORRERIA:

Entzumenaren mekanismoa ikertu ondoren, zera uler dezakegu: belarritik burumuinerainoko prozesuan gerta daitekeen edozein hondasunek

entzumenaren galera handiago ala ttikiago bat ekarriko digu:hots, gorreria bat sor eraziko digu.

Esana dagoen bezala, hotsaren intentsitatea 120 dB-etik gorakoa bada, hots horrek bat-batean ager eraz dezake hauma bat.90dB-eko hots batek ez digu bat-batean kalterik egingo,baina urtetan zehar irauten badu gorreria sor dezake.Gorreri-mota honen mekanismoa oso ulertterraza da:giza entzupideak,gorputzaren beste edozein partek bezala,lan egin ondoren atsedena hartu behar du;beraz, giro oso zaratatsu batean lan egiten duen langile baten entzupideak, egun guztian lanean aritu ondoan,nekatuak izango dira.Bere entzupideak atsedena hartzeko pausaldi bat behar dute, denbora bat; beraz hurrengo egunean berriro lanean hasterako bere entzupideak ez badute denborarik izan atsedeen oso bat hartzeko, nekatuta hasiko dira lanean.Prozesu honek,behin eta berriz errepikatuta,gorreria sortuko du.Nolabait esateko,gorputzak bere defentsa egiten du: langilea zarataren mailara "ohitu" egiten da.

Gorreria hiru mailatan banatzen da.Entzumenaren galera,15dB . arte,normaltzat jotzen dugu.25 eta 40 dB arteko galera gorreria apal bat dela esan ohi da.40 eta 65 dB artekoa bada, gorreria "erdimailakoa" da;eta 65 dB-etik gorakoa bada,orduan gorreria "sakona" da (frogaketa hauk 500,1000 eta 2000 Hz-tan egiten dira,zeren tarte horretan sartuta bait dago giza abotsa)

Ikus ditzagun gorreriaren kausak:

Entzumenaren galerak bi kausa nagusi ditu.Batak "transmisio-gorreria" ematen digu;mota hau belarritik eskalanporainoko sisteman hondasun bat edo beste gertatzen denean agertzen da: uhinak ez dira behar bezala heltzen barrengo entzupidera.Gorreriaren kausa eskalanpotik barruago baldin badago, "pertzepzio-gorreria" dugu.

Transmisio-gorreriak eman dezakeen entzumenaren galera gehienez 60 edo 65 dB-ekoa da.Gorreri-maila horretatik gora pasatzen bada, pertzepzio-gorreria izango dugu,nahiz soilik nahiz transmisio-gorreriarekin batera.

Azter ditzagun orain,banan bana,transmisio-gorrerien kausak eta pertzepzio-gorrerienak.

Transmisio-gorrierien kausak:

Entzunkanalearen hestutzea. - Kanal honetan argizari edo ezkoa deitzen den substantzia bat isurtzen da. Ezko hori tapoi itxi bat bilakatzen bada, eta pare hartan kanala oso hestua eta iletsua bada, eta are lanpostua oso zikina eta haustsua bada, uhinak ez dira tinpanoraino ondo helduko eta entzumena ttikiagotu egiten da.

Tinpanoaren zuladura. - Tinpanoaren zuladurak, askotan pentsatzen den baino entzumen-galera ttikiagoa dakar: batzaz beste, eta entzupidearen gainontzeko organoak ondo ba daude, galera hori 5 eta 10 dB-en tartean dago. Halaz ere zuladura honek garrantzi handia du: orduan, izan ere, nahiz ura nahiz infekzioak erraz pasa bait daitezke erdiko entzupideraino.

Infekzioak. - Erdiko entzupidean infekzio bat gertatzen denean "erdiko otitis" bat azaltzen zaigu. Otitis hau gogorra izaten bada, erdiko entzupidea zornez betetzen da eta uhinak barrengo entzupideraino ez dira ondo heltzen. Batzutan zorne horren presioa oso handia izaten da eta tinpanoa makurtu egiten da, orduan belarriko mina azaltzen zaigu eta presio handi horrek jarraitzen badu tinpanoaren zuladura gerta daiteke. Gehienetan, infekzioa desagertzean entzupideak bere ohizko entzumena berlortzen du. Baina infekzioa oso maiz azaltzen bada edo kronikoa bilakatzen bazaigu, gorreria kronikoa bilaka daiteke. Kausa honengatik azal daiteken gorreria handiena 35 dB-koa da.

Otosklerosia. - Lehen esan dugunez eskalanpoaren oinharria zulo batetan jarrita dago. Zulo horretan mintz bat dago, eta hots-uhinak heltzean eskalanpoaren mugimenduak mintza bera higitzen du. Batzutan mintz elastiko hori gogortu egiten da eta bide batez eskalanpoaren mugikortasuna debekatzen. Orduan, uhinak ez dira barrengo entzupideraino iritsiko; hau otosklerosia dugu. Eritasun hau sendatzeko, ebakuntza bat egin behar izaten da.

Pertzepzio-gorrierien kausak:

Sortzetiko gorreria. - Hau, jaiotzegunetik beretik dagoen gorreria da. Gorreria-mota hau batzutan heredagarria da, bestetan ez. Barrengo entzupideko zenbait organo eta entzu-nerbioak bera ere, haurra jaio baino lehen honda daiteke, bereziki amak haurzai egotean infekzio bat izan badu: horien artean, elgorria da kaltegarrienetakoa bat. Bestetan, gurasoen arteko "Rh bateraezintasuna" dela eta, lehenengo haurra guz-

tiz normala bada ere ondorengoek buruhondasuna izango dute, eta bide batez gorreria bat.

Sortzetiko gorreria bi entzupideetakoa izaten da, eta maiz hitzegiteko zailtasun bat dakar berekin, s izkia esatekoa bereziki. Gorreria honek, haurrak hitzegiten ikasi aurretikoa denez, ez dio haurrari maiztasun handiko kontsonanteak entzuteko ahalmenik ematen.

Nerbioetako gorreria aurrerakorra. - Hau ere heredagarria da; gaztaroan azaltzen da, eta gero oso aguro ugaltzen. Gorreri-motahonekin pertsonak pubertaroan nabaritzen du bere entzumenaren galera, eta 25 edo 30 urtetako guztiz gortzen da.

Britasun baten ondoko gorreria. - Britasun batzuek, ondorio bezala gorreria bat utz dezakete. Lehen, meningitisa gorreri-sortzaile izaten zen: gaur egun, eritasun honen kontra dauden medikoen esker, ez du horrenbesteko kalterik uzten.

Lepaminak ere askotan entzupide bakar baten gorreria sor erazten du. Ez dakigu zergatia baina oso zaila da lepaminaren bidez bi entzupideetatik gor gelditzea, gehienetan entzupide bakar bati eragiten dio. Bestetan, kinina, estreptomizina, neomizina eta antzeko droga gehiegi hartzeak ere gorreria bat ekartzen du.

Presbiakusia edo hipoakusia. - Hau, lehen esan dugun bezala, adinarekin azaltzen den gorreria da. Piskana piskana, maiztasun handiko hotsak entzuteko ahalmena galtzen da; maiztasun apalekoak, ordea, berdin entzuten dira. Azpimarragarria zera da: gorreria profesionalak, hots, lanaren bidez erdiesten den gorreria, ondorio berdina duela; batzutan oso zaila da jakiten, pertsona baten gorreriaren kausa bat ala bestea izan den.

Meniere-ren gaitza. - Barruko entzupidea betetzen duen likidoaren kopurua ugaltzen denean, eritasun-mota hau azaltzen da. Hori dela eta ez bakarrik gorreria baizik eta atake, konorte-galtze eta entzupide-tako zarata ager daiteke.

Ukaldiak. - Batzutan buruan kolperen bat hartzen da eta ondorioz gorreria bat azaltzen. Hau gertatzeko, kolpeak ez du oso handia izan behar; aski da barrengo entzupideari odola badario. Honela azaltzen den gorrerian, maiztasun handiko hotsak galtzen dira.

Zaratak sor erazten duen gorreria. - Maila handiko zarata dela eta entzumenaren galtze bat ager daiteke; galtze horri "trauma akustikoa" deitzen zaio; dagokion gorreria nahiz transmisio, nahiz pertzepzio, nahiz biak nahastutakoa izan daiteke.

Transmisio-gorreria hauetan, gehienetan, leherketa bat dela medio tinpanoaren zuladura gertatzen zaigu. Gehienetan barreneko entzupideak ez du ezer jasatzen baina hezurtxo-katea desartekatu egin daiteke.

Pertzepzio-gorreria bat gerta dadin, pertsonak zarata maila handi bat jasan behar du etengabe (zenbait industriatan dagoen zarata-maila) edo bestela bat-bateko zarata txikiago bat (su-harma batena adibidez) barrengo entzupidea hondatuz.

Gure problema nagusia pertzepzio-gorreriari dagokio, eta "gorreria profesionala" edo "gorreria industrial" esaten zaio.

Oraindik ez dakigu zihur gorreria honen zergatia. Barrengo entzupideko zenbait parte eta batzutan nerbioak bere ere hondatzen dela gauza jakina da, baina ba daude oraindik adierazi gabe gauza batzuk. Gorreria industrial bat azaltzen denean entzumenaren galera 4000 Hz-ko inguruan agertzen da eta "C5-en galera" (C5 dip) deitzen zaio. Maiztasun hau pianoaren erdiko C nota (Do nota) baino bost zortzikoko altuago da.

Irudian, gorreria industrial baten kasu tipiko bat daukagu. Haste-ko 4000 Hz-eko maiztasunean galera, gero goitik nahiz behetik hedatzen

delarik. Batzutan galera 250 Hz-eko maiztasuneraino heltzen da, eta gehiagotara.

Entzumenaren galera honetan, faktore asko dago: zarataren intentsitatea, zarataren espektroa, denborarekiko bat-batekoa, aldizkakoa edo jarraia jasaten den denbora eta pertsonaren gaitasuna.

Askotan, langile batengan gorreria industrial bat hasten ari dela ikusten denean, giro zaratatsutik atera eta giro isiltasunezko batera eramaten badugu, gorreria gelditu egiten da, eta, barrengo entzupidea hondatuta ez badago, epe bat pasa ondoren bere entzumen osoa eskuratzen du.

ZARATA INDUSTRIALA ETA GORRERIA

Zoritzarrez oraindik ez daukagu eritzi erraz bat ez eta industrian erabiltzeko metodo sinple bat ere, zein zarata kaltegarria den eta zein ez den nabaritzeko.

Intentsitate handiko zaratak gorreria sor dezakeela edonork onhartzan du, baina zer den eta zer ez den intentsitate handia, hor dago koska. Zarata kaltegarrien eta ez-kaltegarrien artean muga bezala lerro bat jartzzen zen. Lerro horri "zarataren maila kritikoa" eta "intentsitate-maila maximoa" deitzen zitzaion, zeren garai batetan zarata baten kaltegarritasuna bere intentsitate-mailari zegokiola spillik pentsatzen bait zen. Horregatik, orain dela zenbait urte, Dr. Kryter-ek zera esaten zuen: "85 dB-eko hotsak gorreria bat, iraunkorra nahiz iragankorra, sor dezakeen susmotan nago. Horretarako, gizonak hots hori epe luze batez edo, aldizkako seinuen kasutan, hilabete edo urte askoz jasan behar du".

1945. urtean, Davis-ek zera zion: "Hotsak 115 edo 120 dB-etik beherakoa denean, ez dago frogaz sendorik gorreria iraunkor baten sortzailea dela esateko". Eta geroxeago "beraz, 100 dB- baino apalagoak diren hotsak kaltegabeak dira, pertsona oso berezi batzuentzat izan ezik".

Gaur egun intentsitatea bakarrik ez, baizik eta maiztasuna ere kontutan hartu behar dela gauza jakina da. Hori dela bide, duela hamabost urte Dr. J. Sternek inkesta bat egin zuen; horretarako gai honetan oso jarriak dauden jendei bidaldu zizkien galderak eta erantzun guztiak jasota dagokien makurrak marraztu zituen.

Makur horik direla eta, akats bat edo beste dagoela aitortu behar dugu, hots, hor sartuta ez dagoen faktore bat edo beste kontutan hartu behar dela.

Zer esanik ez, neurketa bat egitean neurgailu guztien kalibraketek oso zehatzak izan behar dute eta beren mugaketak ezagutu behar ditugu (mugaketa hau oso garrantzitsuak dira zenbait mikrofono era-biltzerakoan).

Maiz kontutan hartzen ez den alderdia neurketaren kondizioak dira, hau da, neurketa guztiak elkar

aldagarriak izan daitezen,kondizio standardetan egin behar dira. Esate baterako, langile baten kaltegarritasun-muga,goizean lane-
ra hastean eta arratsaldean lana bukatzean oso bestelakoak dira. Beraz, froga guztiak kondizio berdinetan egin behar dira.

Lehen esan dugun bezala, zarataren mailaz gainera maiztasunak ere kontutan hartu behar dira.Bi zaratek soinu-presiomaila osoa antzekoa izan dezakete,eta hala ere, gorrieriari dagokionez oso desberdinak izan daitezke.Esate baterako,irudian A eta B bi zaraten espektroak dauzkagu;A zarataren ia energia osoa maiztasun apaletan metatuta dago;B zaratarena, aldiz, maiztasun handietan: hots,entzungarriak diren maiztasunetan;bigarren hau lehenengoa baino askoz kaltegarriago izango da.

Zarataren izakera sakon estudiatzeko gorrieri-sortzaile hotsaren denbora-ezaugarriak kontsideratu behar dira:hau da,bere jarraitasun ala aldizkatasuna,ea.a

Gogotan izan behar dugun beste alderdi bat zera da: "zarataren eraginaren metatzea".Dr.Nachle-k zera dio: "Lanean jasaten diren hots kaltegarrien eraginak metagarriak dira,zeren entzupidearen entzunahalmen osoa ez da berreskuratzen nahiz eta 24 orduko atse-
denaldia hartu.

Beraz, zarata baten ikerketa egitean intentsitateaz kanpoko bes-
te faktore batzuk ere erabili behar ditugu.Faktore hauen artean , gorrieriari buruz zeregin handiena daukatenak hauek dira: inten-
tsitatea,espektroa,denbora-ezaugarriak eta jasanaldia.Lau faktore-
ok kontutan hartuz Rosenblith eta Beranek Doktoreek eritzi bat eza-
rri dute."zauri-arriskuaren eritziá";hau, irudian azaltzen da:

Goiko makurra "banda zabaleko hotsari" dagokio: hau da, hain zuzen industria gehienetan dagoen zarata-mota. Behekoa "tono hutsei", edo ia hutsei dagokie.

500 Hz baino apalagoko hotsak ez direla besteak bezain kaltegarriak ikus daiteke. Makur hauek ematen duten maila, lanbizialdi guztian jasan daiteke ondorio kaltegarriarik izan gabe. Beste aldetik, Rosenblith Doktoreak zera dio: "4.800 Hz baino goragoko zonari ez zaio inportantzia handirik eman behar, alde batetik zona horretan oso zaila bait da entzumenaren mugak neurtzea, eta bestetik maiztasun horiek ez daukate zeregin handirik komunikazioetan".

Eritzi hau estatistikoa da, eta beraz kasu berezi guztientzat ez da baliagarria izango. Horretaz gainera oso konplexua da, eta nahiz eta oso erresultatu onak eman baditu ere, industrietan erabiltzeko oso zaila da. (zarataren maiztasun-espektroa lortu behar da eta). Hori dela eta, nahiz ez izan hain zehatza, teknikoak beste metodo bat erabiltzen hasi dira. Metodo hau T.L.V. (Threshold Limit Value) kontzeptuari dagokio. T.L.V.-ren esangura zera da: "kaltegarritasun-mugaren balorea" eta ez bakarrik alor honetan, baizik eta satsudur-mota guztietan ere erabiltzen da.

Lehen esan dugun bezala, entzupidearen galera 25 dB baino handiagokoa bada gorreria daukagu; galera hau 500, 1000 eta 2000 Hz-tan neurtu behar da (American National Standards Institute: A.N.S.I. S3-6-1969). Horregatik, hemen emango diren datuak erabiltzeko A.N.S.I.-k agintzen dituen baldintzak bete behar dira neurketan, A iragazkia erabiliz.

Eguneko jasaldia ordutan	Zarata-maila A-dB tan
8	90
6	92
4	95
3	97
2	100
1 1/2	102
1	105
3/4	107
1/2	110
1/4	115 "C"

Eguneko jasaldia zenbaki horik baino handiagoa bada, zarata kaltegarria da. Eguneko jasaldia neurtzeko, jasaldi hori jarraia ala jarraigabea izatea berdin zaigu. Eguneko jasaldi osoa -- zarata-maila desberdineko jasaldiz osaturik badago, zera erabili behar da:

$$\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n} < 1.$$

Hemen, C, maila berezi bateko jasaldia da, eta T maila horretan ematen dugun jasaldi permititua. Hotsa 90 dB-A-ko baino apalagoa bada, ez da kontutan hartzen.

Neurtu behar dugun hotsa jotzekoa bada, kaltegarria izan ez dadin muga bezala 140 dB (punta balore maximoa) ipintzen zaio.