

ZIENTZIA ETA TEKNOLOGIA FAKULTATEA

EUSKAL HERRIKO UNIBERTSITATEA



ZTF-FCT  
Zientzia eta Teknologia Fakultate  
Facultad de Ciencia y Tecnología

GRADU AMAIERAKO PROIEKTUA

Fisikako Gradua

**$\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$  [ $x=0.2$ ]**

**LAGINAREN**

**AZTERKETA**

**DIELEKTRIKOA**

*Egilea:* Libe GAZTELURRUTIA RENOM

*Gainbegiralea:* Carlo MENEGHINI / Josu IGARTUA ALDAMIZ

Roman, 2012ko Ekaina

Leioan, 2013ko Uztaila

# Aurkibidea

1. Sarrera.....	3
2. Sarrera tekniko.....	5
2.1 Material dielektrikoak.....	5
2.2 Material dielektrikoen jokaera dinamikoa.....	7
2.3 Dispertzio erlazioak.....	9
2.3.1 Debye Modeloa lasaikuntza fenomenoan.....	10
3. Lagina.....	14
3.1 Perovskitak.....	14
4. Prozedura eta emaitzak.....	17
4.1 Tresneria.....	17
4.2 Prozedura esperimental.....	17
4.3 Tresnaren kalibratzea.....	19
4.4 Laginaren azterketa.....	21
4.4.1 Tenperaturarekiko menpekotasuna.....	26
5. Ondorioak.....	29
6. Bibliografia.....	31

# 1. Sarrera

Azken urteotan, eta bereziki Bigarren Mundu-Gerraren ondoren, bultzada handiz garatu da egoera solidoaren fisika eta ondorioz, material berrien sorrera arlo zabalean: hala nola, material piezoelektrikoak komunikaziorako (telefonoa, telebista..) transduktore bezala, industria kimikoan katalizatzaileak,... Material dielektrikoen beharra ere ez da asetzen; izan ere, behar garrantzitsua betetzen dute dispositibo elektroniko berrietan.

Materialen ikerketa-prozedura burutzeko, lehenik materialaren prestaketa eta ezaugarripena egiten da. Ondoren, bere propietateak eta egitura ikertzea ezinbestekoa da; alde batetik, aurrez pentsaturiko aplikazioen erabilgarritasuna baloratzeko (egokitzapen honen ahaleginak enpirikoki eginez, berrikuntza interesgarriak aurkitu dira), eta bestetik, materiaren jokaerari buruzko ezagutza zabaltzeko.

Dielektriko desberdinen sailkapena, maiztasunaren arabera permitibitate elektrikoak, hau da, eremu elektriko baten aurrean materialak jasaten duen polarizazioaren neurriaren azterketak mugatzen du beste zenbait magnitudeekin batera.

Hasiera batean neurketa dielektrikoa, solido eta likido molekularrak, elektrolito eta material erdieroaleak aztertzeko, eta Hertzio (Hz) batetik beherako maiztasuneko seinaleekin erabiltzen bazen ere, ondorengo urteetan espektroskopia dielektrikoak bultzada nabarmena jasan du eta jasaten ari da oraindik ere. Maiztasun baxuetarako garatu diren inpedantzia gailu berriek, sare-aztertzaile komertzialek, erreflektometroek eta maiztasun altuko laser espektroskopiek teknika honen eremuak erabat zabaltu dituzte. Gailu berriekin konbinatzen diren konputagailu eta ordenagailu berriek neurketa eta datu prozesatze automatikoa egiteko aukera ematen dute eta materialen azterketa dielektrikoa irauli dute. Honi esker, posible da gaur egun modu azkar eta seguru batean datu dielektriko zehatzak lortzea  $10^{-6}$  eta  $10^{12}$  Hz-tako tartean. Horrela, espektroskopia dielektrikoa, goi mailako beste ikerketa tekniko askoren mailan uzten du materialetan egitura eta dinamika molekularra aztertzeko.

Lan honen helburua  $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$  [ $x \sim 0.2$ ] (perovskiten familiakoa) laginaren azterketan oinarritzen da. "High resolution dielectric analyzer" tresnari esker permitibitate dielektrikoa neurtuko da eta honen bitartez erresistentzia eta eroankortasun elektrikoak. Azterketa hau [ $10^{-2}$ ,  $10^7$ ] Hz maiztasun-tarte batean eta tenperatura desberdinetan (150K, 170K, 190K, 210K, 230K, 300K) burutuko da, ondoren materialak magnitude hauen bariazioekiko duen erantzuna aztertuz.

Ezertan hasi baino lehen, eta burutuko den lan gidatuaren gaiaren eta, batez ere, materialaren hasierako ezagupen bat izateko, ondorengo bi artikulak landu dira. Propietate elektriko eta magnetikoak aztertzen dituzten arren, nire lanarekin bat datorren propietate elektrikoetan oinarrituko naiz gehienbat:

[1]“*Magnetic-field-dependent dielectric constant in  $La_{2/3}Ca_{1/3}MnO_3$* ” - APPLIED PHYSICS LETTERS 88 - J. Rivas, J. Mira, a\_ B. Rivas-Murias, e A. Fondado (Universitá di Santiago de Compostela, Spagna ); J. Dec e W. Kleemann ( Duisburg-Essen unibertsitatea, Alemania); M. A. Señarís-Rodríguez (Coruñaako Unibertsitatea, Espainia)

[2]“*Giant Dielectric Response with an Electric Field in Charge-Ordered  $La_{1-x}Ca_xMnO_3$  Compounds*” - Ying Hou, Yiping Yao, Genqiang Zhang, Qingxuan Yu, e Xiaoguang Li (Hefei National Laboratory for Physical Sciences at Microscale, Department of Physics, University of Science and Technology of Chin, and State Key Laboratory of Powder Metallurgy, Central South University, Txina)

## 2. Sarrera tekniko

Materialen zientziak materialen barneko egitura eta material horien ezaugarriak edota propietateak aztertzen ditu. Egitura atomiko eta konposaketa kimikoa kontuan hartuta ondorengo materialen sailkapen orokorra egiten da: Metalak, zeramikak eta polimeroak.

Eroankortasun elektrikoa materia bat ezaugarritzen duen propietate garrantzitsuenetariko bat da; energia elektrikoa garraiatzeko ahalmena neurtzen du, hau da, karga elektrikoaren (ioien) garraioa. Propietate hau kontuan hartuta, material eroaleak, erdieeroaleak, isolatzaileak edo dielektrikoak bereizten dira. Materiaren egitura atomiko eta molekularrekin guztiz erlazionatuta dago. Dielektrikoaren sailkapena, eremu elektriko aldakorren maiztasunaren arabera permitibitate dielektrikoak mugatzen du beste zenbait magnitudeekin batera.

Ondoren aipatuko diren puntuen laburpen bezala, material dielektrikoaren errepaso bat egingo da; alde batetik, ezaugarritzen dituzten magnitudeak gogoratuz, eta baita eremu aldakor baten eraginean material hauek duten jokaera dinamikoaz azalduz. Gainera, gure laginaren azterketarako garrantzitsua izango den lasaikuntza prozesua eta Debye modeloaren aipamen bat ere egingo da.

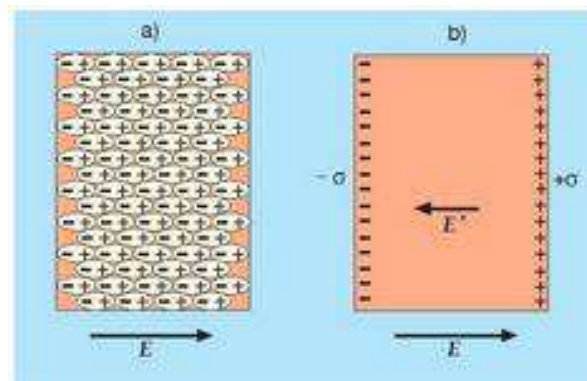
### 2.1 Material dielektrikoak:

Material dielektrikoak karga askerik gabeko materialak dira eta energia elektrikoa metatzeko gaitasuna dute.

Beraien portaera mikroskopikoa aztertuz, askoz ere errazago uler daitezke material hauen ezaugarri makroskopikoak.

Dielektrikoa molekula polarrez osatuta badago, hau da, momentu dipolar iraunkorra badute, horien momentu dipolarrek hasieran arbitrarioki orientaturik aurkitzen dira. Ondorioz, molekulen efektu dielektrikoak anulatu egiten dira, eta ez dago eremu elektriko garbirik. Momentu dipolarrek, kanpo eremu elektrikoaren eraginean, indar-bikote bat jasaten dute, eta ondorioz, molekula polarrak eremu elektrikoaren norabidean lerrotzen dira. Lerrokatzearen magnitudea tenperaturaren eta eremu elektrikoaren indarraren arabera da. Molekulen higidura termikoa guztiz zorizkoa da, eta tenperatura garaietan lerrokatzea ezeztatzeke joera du. Hala ere, dipoloen lerrokatzearen eremu elektriko berri bat,  $\vec{E}$ , sortzen du dielektrikoaren barruan, kanpoko eremuaren kontrako norabidea duena. Eremu elektriko berri horren eraginez, dielektrikoaren barruan kanpoko eremu elektriko ahuldu egiten da.

Bestalde, dielektrikoa osatzen duten molekulek momentu dipolarra ez badute, hau da molekulak ez-polarrak badira, kanpo eremu baten pean kargak desplazatu egingo dira: positiboak eremuaren noranzkoan eta karga negatiboak aldez, eremu elektrikoaren aurkako noranzkoan. Oreka-posizio berrian kanpoko indar elektriko eta barneko indar berreskuratzailea elkarrekin konpentsatzen dira. Honela, molekula ez-polarrek ere eremu elektrikoarekin lerrotatutako dipoloak osa ditzakete eta momentu hauei momentu dipolar induzituak deritze. Beraz, aurreko kasuan bezala, induzitutako momentu horiek, kanpoko eremua ahultzen dute.



2.1 irudia:  $E$  kanpoko eremu elektriko baten eraginpean jartzean, material dielektrikoaren jokabide mikroskopikoa (a), eta makroskopikoa (b).  $E'$  dielektriko barruan kargen ondorioz sortzen den eremu elektriko da.

[Iturria: [http://www.euskara.euskadi.net/r59-luredir/es/contenidos/articulo/c1201/eu\\_d1201009/1201009.html](http://www.euskara.euskadi.net/r59-luredir/es/contenidos/articulo/c1201/eu_d1201009/1201009.html)]

Dielektrikoaren momentu dipolarrak (iraunkorrak zein induzituak) batez ere kanpoko eremuaren norabidean lerrotaturik badaude, dielektrikoa polarizatuta dagoela esaten da. Eta ondorioz, dielektrikoaren bi gainaldeetan kontrako zeinuko bi gainaldeko kargadentsitate (karga lotua deitua) azaltzen dira,  $-\sigma$  eta  $+\sigma$  alegia (2.1 irudia). Bi kargadentsitate hauen artean, aplikatutako kanpo eremuaren kontrako norabidea eta hark baino balio txikiagoa duen eremu elektriko bat sortzen da. Beraz, gainezarmen-printzipioa aplikatuz, lortzen den eremu elektrikoak kanpokoaren norabide bera du, baina balioa txikiagoa da. Horregatik, kanpoko eremu elektriko dielektrikoaren barruan ahultzen dela esaten da.

Polarizazio bektorea, bolumen-unitateko momentu dipolar iraunkor zein induzitu bezala definitzen da eta bere unitatea coulomb/metro karratua da:

$$\mathbf{P} = d\mathbf{p}/dv \quad [\text{C}/\text{m}^2]$$

Lehenago aipatu bezala, polarizazioa eremu elektriko baten ondorioz sortzen da eta bi hauen arteko erlazioa material-motaren arabera, eta beraz, materiala osatzen duten molekulen arabera izango da. Guk material isotropikoak hartuko ditugu muga teoriko bezala. Hauetan eremu eta polarizazio bektoreak beti dira paraleloak, eremuaren orientazioa edozein izanda ere, eta linealki erlazionatuta daude:

$$\mathbf{P} = \epsilon_0 \chi_e \mathbf{E}$$

$\chi_e$  inguruaren suszeptibilitate dielektrikoa da eta materialaren polarizatzeko gaitasuna adierazten du.

Fluxu elektrikoaren dentsitatea deskribatzen duen eremu elektrikoaren desplazamendu bektorea honela definitzen da, eta polarizazio bektorearen unitate bera du:

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P} \quad [\text{C/m}^2]$$

$\mathbf{D}$ , karga askearen ekarpena da;  $\epsilon_0$  eta  $\mathbf{E}$  karga osoaren (aske eta lotua) ekarpena eta azkenik,  $\mathbf{P}$  polarizazio bektoreak, karga lotuaren ekarpen negatiboa ematen du. Eta beraz, aurreko polarizazioaren definiziotik ondorengoa lortzen da:

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 (1 + \chi_e) \mathbf{E} = \epsilon \mathbf{E} = \epsilon_r \epsilon_0 \mathbf{E}$$

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$$

$$\epsilon_r = 1 + \chi_e$$

$\epsilon$  dielektrikoaren permitibitate elektriko da eta bere unitateak sistema internazionalan Faraday/metro, [F/m], dira.  $\epsilon_0 = 8.8541 \times 10^{-12} \text{ VC}^{-1}\text{m}^{-1}$  hutsaren permitibitate elektriko da, eta  $\epsilon_r$  ( $\epsilon_r \geq 1$ ) permitibitate elektriko erlatiboa edo konstante dielektriko deritso. Azken honen balioa dielektrikoaren egitura mikroskopikoaren (molekulen izaera polarra, lotura kimikoen izaera, materialaren egoera fisiko ...) menpekoa da, eta eremu elektrikoaren eta dielektrikoaren polarizazioaren arteko erlazioa ere finkatzen du.

## 2.2 Material dielektrikoen jokaera dinamikoa:

Materialari denboran aldakorra den kanpo eremu elektriko bat aplikatzean karga lotuetan desplazamendu txiki bat ematen da, eta ondorioz, bolumen dentsitateko polarizazio bat sortzen da, baina ingurunearen erantzuna ez da berehalakoa izango. Beraz, une zehatz batean polarizazio bektorea, unean bertan dagoen eta aurretik egondako eremu elektrikoaren arabera izango da.

Fourier-en garapenaren arabera, denboran aldakorra den edozein funtzio, funtzio harmonikoen gainezarmen bidez adieraz daiteke. Beraz, aplikatutako eremu elektrikoa w maiztasuneko funtzio harmoniko bat dela suposatuko dugu:

$$\mathbf{E}(t) = \mathbf{E}_0 e^{j\omega t}$$

Polarizazio bektorearen erantzuna lineala izanik, hau ere funtzio harmoniko bat izango da baina lehen aipatu bezala, materia osatzen duten molekulen erantzuna ez da berehalakoa eta beraz desfase bat emango da:

$$\mathbf{P}(t) = \mathbf{P}_0 e^{(j\omega t + \varphi)}$$

Bi magnitude bektorialen arteko erlazioa beraz:

$$\mathbf{P}_0 = \epsilon_0 \chi e^* \mathbf{E}_0$$

non  $\chi e^*$  maiztasunarekiko menpekotasuna duen zenbaki konplexu bat den. Ondorioz, polarizazio bektorea adierazpen orokorra;

$$\mathbf{P}(\omega) = \epsilon_0 \chi e^*(\omega) \mathbf{E}(\omega)$$

Eta modu berean desplazamendu bektorearen maiztasunaren menpekotasuna:

$$\mathbf{D}(\omega) = \epsilon_0 [1 + \chi e^*(\omega)] \mathbf{E}(\omega) = \epsilon^*(\omega) \mathbf{E}(\omega)$$

Maiztasuna handitzean, polarizatzen laguntzen duten unitate atomiko eta molekular (dipolo) batzuek ez dute eremuaren aldaketa arina izango eta eremuarekin fasean aldatzea eragotziko dute. Ondorioz, permitibitate elektrikoaren balioan jauzi bat (energia-zurgapena) ageri da eta beraz magnitude konplexua definitu beharra dugu. Ondorengo forma binomialean definitzen da:

$$\epsilon^*(\omega) = \epsilon'(\omega) - j\epsilon''(\omega)$$

Parte erreal zein irudikariak maiztasunaren menpekotasuna du eta ongi definitutako esanahi fisikoa dute biek: Parte erreal,  $\epsilon'(\omega)$ , konstante dielektrikoa deitua, ingurune batek energia metatzeko duen gaitasuna neurtzen du. Parte irudikariak aldiz,  $\epsilon''(\omega)$ , dielektrikoaren joera dinamikoan ematen den energia-zurgapena deskribatzen du. Azken prozesu honi *lasaikuntza dielektrikoa* deritzo eta polarizazioaren eta lotura kimikoen ardura duten unitateei buruzko informazioa ematen du. Halaber, talde molekularren higidurarako beharrezko aktibazio-energiari buruzko informazioa ere ematen du.



Gainera, materialaren eroankortasuna permitibitatearen zati irudikariaren proportzionala da eta beraz, maiztasunaren menpekotasun zuzena eta handia du:

$$\text{Eroankortasun elektrikoa: } \sigma = \epsilon_0 \omega \tilde{\epsilon} \quad [\text{S/m}]$$

Permitibitatearen bi magnitudeen (erreal eta irudikaria) arteko zatidura, aplikatutako tentsioaren eta dielektrikoa zeharkatzen duen korrontearen arteko desfasearen tangentearen berdina da:

$$\tilde{\epsilon}(\omega)/\tilde{\epsilon}'(\omega) = \text{tang}(\delta)$$

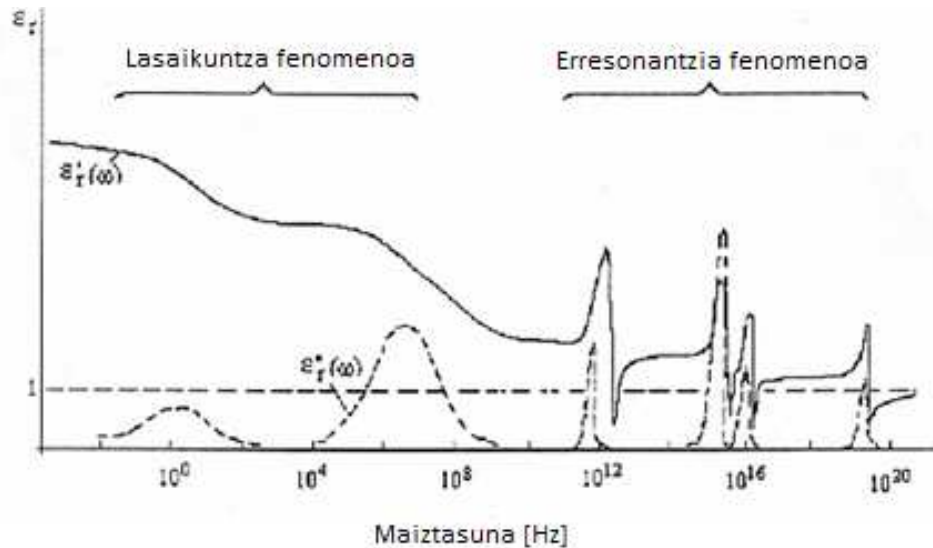
### 2.3 Dispertsio erlazioak

Dielektriko baten permitibitatearen parte errealaren eta irudikariaren analisisan bi zona bereizten dira:  $\tilde{\epsilon}$  nulua denean,  $\tilde{\epsilon}'$  parte erreal konstantea da, eta  $\tilde{\epsilon}''$  positiboa denean  $\tilde{\epsilon}'$  aldakorra da. Azken honetan galerak, energia-zurgapenak, daude eta ondorengo bi fenomenoen ondorioz gertatzen dira:

*\*Lasaikuntza fenomeno:* Materialari denboran aldakorra den kanpo eremu elektriko bat aplikatzean, karga lotuetan ematen den orientatze prozesua. Hauen erantzute-denbora handia da eta maiztasun baxuetan ematen da.

*\*Erresonantzia fenomeno:* Polarizazio induzituaren ondorioa da eta erantzute-denbora laburragoa da. Maiztasun balio altuetan ematen da fenomeno hau.

Ondorengo irudian (2.2 irudia) material dielektriko baten dispertsio kurbaren adibide bat ageri da, eta bi lasaikuntza eta lau erresonantzia ematen dira.



2.2 irudia: Material dielektriko baten dispertsio kurbaren adibide bat.

[Iturria: Zaragozako unibertsitateko lan gidatu batetik hartua; *Estudio de la relajación dieléctrica en mezclas polar-no polar por reflectometría en dominio del tiempo (T.D.R.)*]

### 2.3.1 Debye modeloa lasaikuntza fenomenoan:

Aurreko atalean aipatu bezala, kanpo eremu elektriko baten eraginpean konposatuaren molekula polarrak eremuaren norabidean lerrokatzen dira eta polarizazio fenomenoa ematen da.

Molekula polarrez eta ez-polarrez osatutako materialaren azterketan ordea, bien ekarpena kontuen hartu beharra dago. Kasu honetan, polarizazioak bi termino izango ditu: bata berehalako,  $P_\infty$ , eta bestea, atzeratua:

$$P(t) = [P_\infty + (P_s - P_\infty)(1 - e^{-t/\tau})] \Gamma(t)$$

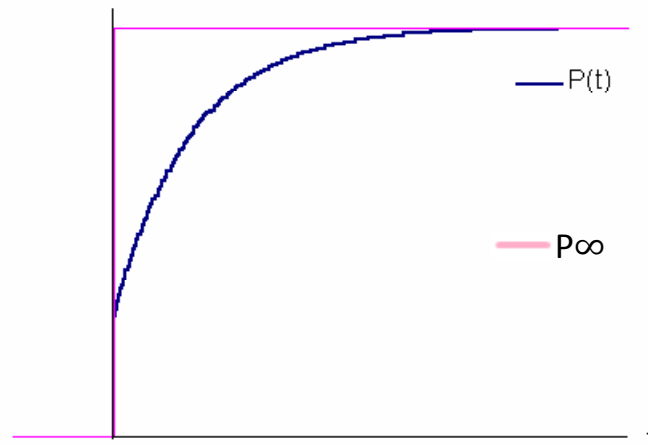
non  $\Gamma(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 1, & t > 0 \end{cases}$  den.  $\tau$  lasaikuntza denbora da eta temperaturarekiko

(tenperatura ez oso baxuetan) duen menpekotasuna Arrhenius-en legearen bitartez emana dator:

$$\tau = \tau_0 \cdot e^{W/kT}$$

W, dipoloek eremuaren orientazioa lortzeko beharrezko energia minimoa (aktibazio energia) da; k Boltzmann-en konstantea, T tenperatura absolutua eta  $\tau_0$  tenperatura oso altuetan lortzen den balioa.

Ondorengo 2.3 irudian polarizazio bektorearen moduluaren denborarekiko garapenaren adierazpen grafiko bat irudikatu da:



2.3 irudia: Polarizazio bektorearen moduluaren denborarekiko garapena eremu elektrostatiko baten pean.

[Iturria: : Zaragozako unibertsitateko lan gidatu batetik hartua; *Estudio de la relajación dieléctrica en mezclas polar-no polar por reflectometría en dominio del tiempo (T.D.R.)*]

$\omega = 2\pi f$  maiztasuneko kanpo eremu alferno bat aplikatzean, polarizazioak eremuarekiko desfase bat izango du. Lasaikuntza dielektrikoa deskribatzen duen adierazpen sinpleena Debye modelo da; sistema dipolar osoak lasaikuntza denbora berdinarekin erantzuten duela kontsideratzen du. Beraz, honetan oinarrituz, permitibitatearen ondorengo adierazpen berriak definitzen dira:

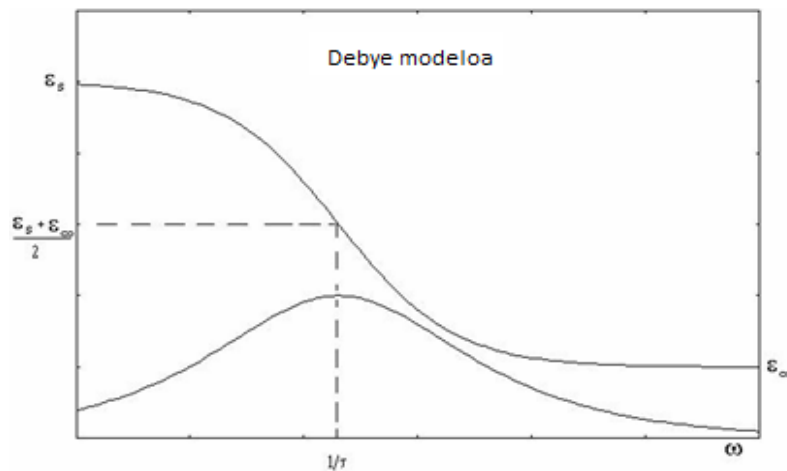
$$\epsilon'(\omega) = \epsilon_{\infty} + \frac{\epsilon_s - \epsilon_{\infty}}{1 + \omega^2 \tau^2}$$

$$\epsilon''(\omega) = \frac{(\epsilon_s - \epsilon_{\infty}) \omega \tau}{1 + \omega^2 \tau^2}$$

$\epsilon_s$  eta  $\epsilon_{\infty}$  permitibitatearen parte errealaren  $f=0$  Hz-ko eta maiztasun oso altuaren (GHz-raino) muga balioak dira hurrenez hurren.

$\epsilon'$  zati erreala monotonoki jaisten da eta maiztasun trantsizio bat ematen da  $\omega = 1/\tau$  balioan. Maiztasun balio baxuetan dipolo iraunkorrek ez dute bariaziorik jasaten aplikatutako eremu elektrikoaren aurrean, eta ondorioz  $\epsilon'$  handia izan daiteke.

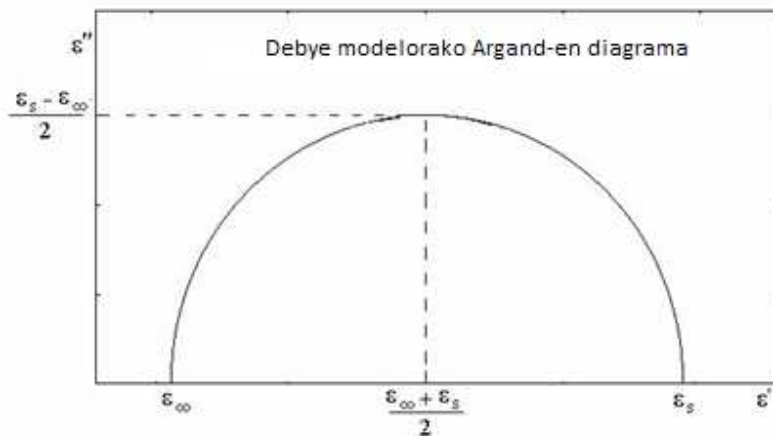
Maiztasun balio altuetan aldiz, materiala nekez polarizatzen da. Izan ere, aplikatutako eremu elektriko abiadura handian aldatzen da eta dipoloen lerrokatzea zailagoa da.



2.4 irudia: Debye modeloa lasaikuntza fenomenoan.

[Iturria: Zaragozako unibertsitateko lan gidatu batetik hartua; *Estudio de la relajación dieléctrica en mezclas polar-no polar por reflectometría en dominio del tiempo (T.D.R.)*]

Permitibitatea plano konplexu batean irudikatzen bada; hau da, parte irudikaria ordenatu-ardatzean eta parte erreala abzisa-ardatzean, Argand-en diagrama lortzen da:



2.5 irudia: Argand-en diagrama Debye-ren modeloan.

[Iturria: Zaragozako unibertsitateko lan gidatu batetik hartua; *Estudio de la relajación dieléctrica en mezclas polar-no polar por reflectometría en dominio del tiempo (T.D.R.)*]

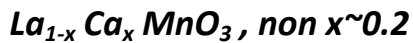
$(\epsilon_s - \epsilon_\infty)/2$  erradioko zirkunferentzierdi bat sortzen da eta  $\epsilon'$ -ren maximoa  $\omega = 1/\tau$  maiztasunean ematen da, non  $\tau$  *lasaikuntza denbora* den. Likido polarretan, uraren kasuan adibidez, mikrouhinen ( $\tau \sim 10$ s,  $f \sim 10^9$  Hz) maiztasunean ematen da maximoa. Material solidoetan aldiz, lasaikuntza denbora handiagoa da; sarri ageri diren egitura kristalinoetako akatsen ondorioz, segundo bateko ordeneko  $\tau$  lasaikuntza fenomenoak ematen da, eta ondorioz,  $\epsilon''$ -ren maximoa 0.1 Hz ordeneko maiztasunean dago.

Debye modeloan lortutako  $\epsilon'$  eta  $\epsilon''$  adierazpenetik ondorengo erlazio zuzena lortzen da bi magnitudeen artean:

$$\epsilon' = \epsilon_s - \tau(\omega \cdot \epsilon'')$$

Beraz, maiztasun bakoitzerako  $\epsilon'$ ,  $\omega \epsilon''$  (non,  $\omega = 2\pi f$ )-rekiko irudikatuz, erregresio zuzen bat lortuko da. Horrela,  $\tau$  lasaikuntza denboraren balioa zuzenaren malda izango da zuzenean.

### 3. Lagina



Lan gidatu hau  $La_{1-x}Ca_xMnO_3$  [ $x \sim 0.2$ ] laginaren azterketan oinarritzen da. Material hau perovskiten familiako material konposatua da, eta hauek beraien izaera eta fase trantsizioan aldaketa handiak ageri dituzte tenperatu desberdinetarako. Material konposatuak, fisikoki bereizgarriak eta mekanikoki banangarriak diren bi osagai edo gehiagoz osatuta daude. Osagai desberdinak nahastuz lor daitezke eta horretarako baten eta besteekiko kantitateak kontrolatuz propietateak alda eta hobe daitezke.

Perovskitak aurkitu ziren arte, metalen oxidoak, eta oxidoak orokorrean, eroale ezin txarragotzat hartzen ziren, baina 80. hamarkadatik aurrera mota honetako (ondoren bigarren motakoak deituak) material mordoa topatu dira, bilaketa sistematikoan jardun baitute zientzialariek. Hala ere, oraindik argitzeke dago zergatik ematen den propietate harrigarri hau bigarren motako materialetan. Izan ere, bigarren motako materialak supereroaleak dira egoera batzuen aurrean eta eroale arruntak beste egoera batzuetan. Supereroaleak,  $T_c$  (Tenperatura kritikoa) baten azpitik hoztean erresistentzia zerora joaten da zuzenean, eta beraz energia-galerak zero ditugu korronea garraiatzean.

Gaur egun, material berrien aurkikuntza zientifikoan zer esan handia ematen ari dira perovskiten familiako zenbait oxido.  $T_c$  altuko materialak dira eta erraztu egiten dituzte gure eguneroko bizitzan garrantzitsuak izan daitezkeen aplikazioak bilatzen.

#### 3.1 Perovskitak:

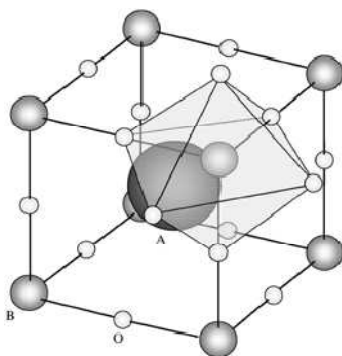
Perovskitak metal oxidoz osatutako materialak dira. Topatu ziren arte, oxidoek erresistibo fama zeukaten, baina gaur egun material hauen propietate supereroaleek txunditurik ditu ikertzaileak.

Perovskitak zeramikak dira. Talde honetako materialak, konposatu inorganikoak dira (elementu desberdinez osatuta daude eta ez da karbonoa molekularen oinarritzko atomoa) eta beraien urtze-puntua,  $T_c$  tenperatura kritikoa, erresistentzia eta Young-en modulu altuagatik ezaugarritzen dira. Isolatzaile, erdieroale zein supereroale, eroale metalikoak eta ferroelektriko bezala joka dezakete. Izan ere, talde honetako materialek propietate berezi eta interesgarriak dituzte beren estruktura kristalografiko partikularra dela eta. Gainera, elementu konposatua osatzeko erreakzio kimikoko osagaien estekiometria eta dopatzailearen izaeraren arabera propietate hauek aldatzen dira. Honek, propietate elektrikoa, magnetiko eta dilatazio termikoa

(beroaren eraginez gorputzaren bolumena handitzea) bezalako propietateen eraldaketa errazten du.

Perovskiten erabilera sektore askotara zabaltzen ari da; hala nola, industria elektronikoan sentsoreen munduan, industria kimikoan katalizatzaile bezala (erreakzioaren abiadura aldatzen duten substantziak) edota mintz iragazkorretan, zeinak disolbatzailea zein solutua pasatzen uzten dituen. Orokorrean, material hauek ez daude komertzializatuta eta laborategietan sintetizatzen dira temperatura oso altuetan eta morfologia berezi batekin. Zeramika metodoa da erabiliena; temperatura oso altuetan solido-solido erreakzioan oinarritzen da. Metodo sinplea da, nahiz eta solido sintetizatuak ez diren oso homogeenak eta gainazaleko azalera txikia duten.

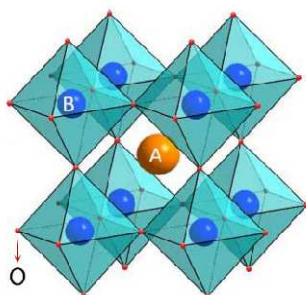
Familia honetako elementuen formula kimikoak  $ABX_3$  estruktura jarraitzen du, non A eta B tamaina desberdineko katioiak (ioi positiboak) diren; A tamainaz handia da (erradio atomiko handia) eta  $n+$  balentziako alkalino, alkalino-terreo edo lantanidoa izan daiteke, eta B berriz,  $(6-n)+$  balentziako trantsizio metal bat izan ohi da eta tamaina ertainekoa. X ez-metal anioia (ioi negatiboa) da. Orain arte ezagunak diren perovskitak eraldatzeko eta berri batzuk sortzeko, barioa, potasioa, estrontzioa, kaltzioa, eta orokorrean alkalinoa, alkalino-terreo edo lantanidoen taldeko elementuak konbinatzen dira A posizioa okupatzeko; eta B posiziorako aldiz, Fe, Mn, Cr, Mo eta gainontzeko trantsizio-metalak. Azkenik, X elementua fluor, kloro, bromo eta gainontzeko halogenoek ordezkatzeko dute; nahiz eta orokorrean oxigenoa izan ohi da.



3.1 irudia:  $ABO_3$  perovskitaren estruktura kubiko ideala. A: Alkalinoa, alkalino-terreo edo lantanidoa, B: trantsizio metala, O: oxigeno atomoak

[Iturria: [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442005000600006&lng=es&nrm=iso&tlng=es#fig1](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442005000600006&lng=es&nrm=iso&tlng=es#fig1)]

ABO<sub>3</sub> estrukturako perovskitak egitura kristalinoa hartzen du. Kristalak materiaren egitura mota bat dira, zeinetan partikulak, espazioaren hiru norabidetan errepikatzen den eredu geometriko baten arabera ordenaturik dauden. Kristal guztiak solidoak dira giro-temperaturan. Ondorengo 3.1 irudian ABO<sub>3</sub> baten gelaxka unitarioa ageri da: A, B eta O elementuek 1:1:3 proportzioko estruktura kubikoa jarraitzen dute; A tamainaz handiena den elementua zentroan egonik, B ioiak kuboaren zortzi erpinak betetzen dituzte, eta hauetako bakoitza 12 oxigenoz inguratuta dago. Sei anioiek B katioi bakoitza inguratzen dute oktaedro baten erpinak osatuz.



3.2 irudia: Perovskiten egitura kristalinoa.

[Iturria: [www.bdigital.unal.edu.co/4261/2/2299928.20112.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/4261/2/2299928.20112.pdf)]

Gerta daiteke zentroko A katioia txikiegia izatea erpinetako B katioiekin alderatuz. Ondorioz, X anioien eta B katioien oreka-posizioiko desplazamendu bat emango da. Ondorioz, egitura definitzen duen gelaxka unitarioa poliedroen pilaketa bat da eta ez kubo simple bat.

Manganesodun perovskiten kasuan, gure lagina adibidez, La<sup>3+</sup>, Pr<sup>3+</sup>, Nd<sup>3+</sup> bezalako lantanidoak dira eta Ca<sup>2+</sup> eta Sr<sup>2+</sup> alkalino-terreoak dira ohikoenak. Balentzia desberdintasun honek, Mn<sup>3+</sup>/Mn<sup>4+</sup> ioiak aldi berean izatea dakar, horrela, kargen neutralizazioa mantentzeko.

Esan beharra dago, karburu, nitruru eta fluoruru motako beste substantzia batzuk, NaFeF<sub>3</sub> adibidez, estruktura berarekin kristalizatzen direla.

ABO<sub>3</sub> konposatu gehienak polimorfoak dira eta lauzpabost forma desberdin izan ditzakete, askotan mutazio edo aldakortasun puntu txiki batekin. Temperatura jaitsi ahala simetrikotasuna apurtzeko joera daukate, eta temperatura altuagoetan aldiz, simetria perfektua izan ohi dute. Hala ere, konposatu gutxik dute egitura ideala.



## 4. Prozedura eta emaitzak

### 4.1 Tresneria:

Praktika burutzeko beharrezko material eta tresneriak ondorengoak izan dira:

- \*Analizatu beharreko lagina:  $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$  [ $x \sim 0.2$ ]
- \*Kalibraziorako lagin ezagun bat, estandarra ( $C = 470 \text{ pF}$ ,  $R = 100 \text{ M}\Omega$ )
- \*Kondentsadorea: Laginaren dimentsioetara egokitua.
- \*"High resolution dielectric analyzer": Tresna honekin burutu ditugu neurketa dielektrikoak.
- \*Berogailua: Interesetzen zaigun tenperatura finkatzeko.
- \*Ordenagailua: PC-a tresna zentralera konektatuta egonik, neurtutako balioak bertan bilduko dira *Bloc de notas* batean. Gainera, bertatik finkatuko ditugu korrontearen potentzia eta seinalearen maiztasun-tartea.
- \*Bildutako datuen analisi grafikoak egiteko: *Mathcad* programa.

### 4.2 Prozedura esperimentalak:

$\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$  [ $x \sim 0.2$ ] lagina analizatzeko, bere dimentsioetara egokitutako kondentsadore bat eraiki da. Hasiera batean, neurri egokiak ez dituen laginarekin lanean hasi banaiz ere, seinalerik lortzen ez dela ikusita, laborategira bidali da tamainoz egokitzera. Izan ere, kondentsadoreko elektrodoekin kontaktu ona izan behar du.

Kondentsadorea, energia metatzen duen sistema bat da; A azalerako eta d distantzia batez banandutako bi elektrodok osatzen dute eta hutsean  $C_0$  kapazitatea du. Kapazitatea, potentzial diferentzia batean metatutako energia elektrikoa da eta Faraday-tan neurtzen da; Volt bateko potentzial elektrikoan kondentsadorea Coulomb batez kargatzen deneko magnitudea da. Bi xafla hauen artean material dielektriko bat jartzean eta korrante alfernoz elikatzean, kapazitatea  $k > 1$  faktore batez handitzen da. Erantzuna aplikatutako korrante elektrikoaren maiztasunaren eta materialaren permitibitatearen ( $\epsilon_r$ ) araberako izango da. Beraz,

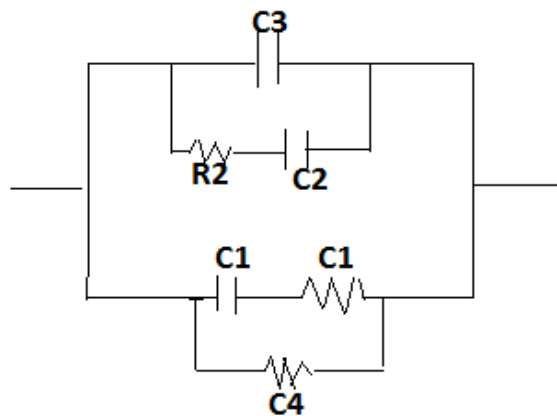
$$C = (\epsilon_r' - j\epsilon_r'')C_0$$

Dielektrikoak  $\sigma$  eroankortasun ez-nulu bat badu, erresistentzia bat izango du:

$$R = d/\sigma A = \epsilon_0/\sigma C_0$$

Neurketa dielektrikoak *High resolution dielectric analyzer* izeneko tresna batekin egin dira. Tresna hau mikroprozesagailu kontrolagai indartsu bat da eta analogikoki operagarria da.

Gure sistema ordezkaten duen zirkuitu baliokidea, RC zirkuitu bikoitz batek ordezkaten du eta ondorengo eskemaren (4.1 irudia) bidez adierazten da, non gure lagina beste C kondentsadore batekin paraleloan kokatuta dagoen (R eta C-ak potentzial diferentzia berdina jasaten dute):



4.1 irudia: Gure sistemari dagokion zirkuitu baliokidea

R-C zirkuitu batean, RC denbora bat pasata, zirkuituko hasierako korrontearen balioa  $1/e$  (0.38 inguru, non  $e$  Euler-en zenbakia den) jaisten da.  $\tau = RC$  denbora, lasaikuntza denbora da eta kondentsadorea kargatzeko denbora neurtzen du:  $\tau$  txikia denean C azkar kargatzen da; eta era berean, R erresistentziaren balioa txikia denean, errazagoa da korrontea garraiatzea eta C denbora laburragoan kargatzen da, beraz lasaikuntza denbora txikiagoa dugu.

Ondorengo lasaikuntza denborak emango dira gure sistemaren zirkuitu baliokidean:

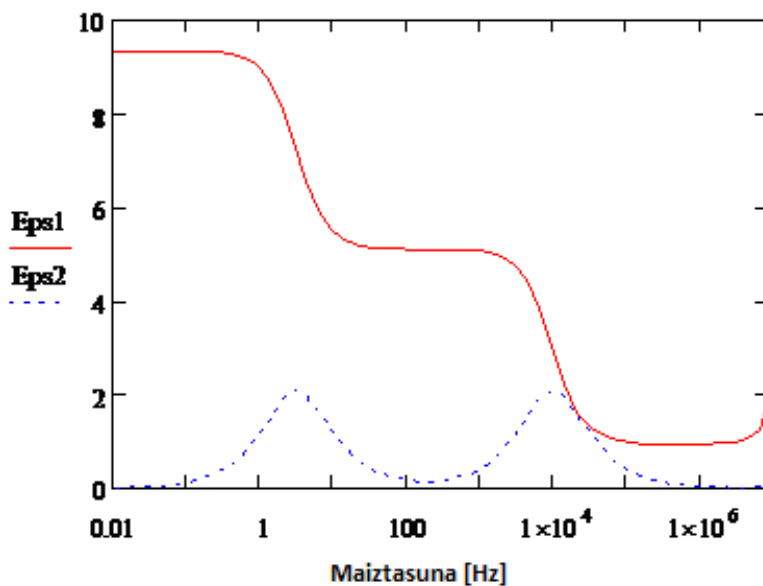
$$\tau_1=R1 \cdot C1 \text{ eta } \tau_2=R2 \cdot C2$$

### 4.3 Tresnaren kalibratzea:

Gure laginaren analisiarekin hasi aurretik, erabiliko dugun “High resolution dielectric analyzer” tresna kalibratu beharra dago. Horrela, gure lanaren funtsezko instrumentuaren baliagarritasuna baieztatuko da, ondorengo emaitzak zehatzagoak izan daitezten. Horretarako, ezaugarri ezagunak dituen lagin estandar batekin neurketak egingo dira, ondoren lortutako datu instrumentalak benetako datuekin alderatuz .

470 pF-ko kapazitatea eta 100 M $\Omega$ -ko erresistentzia duen lagin bat RC zirkuitura konektatu dugu. Zirkuitua, guk ordenagailu bidez zehaztutako maiztasun-tarte bateko korrante alfernoz elikatzen da. Maiztasunaren bariazio bakoitzerako, instrumentuak ondorengo datu zehatzak biltzen ditu: Permitibitatearen parte erreal zein irudikaria, modulua (erreal eta irudikaria), erresistentzia ... Datu hauek zutabe batean biltzen ditu aipatutako ordena berdinean eta dagokien maiztasun balioekin.

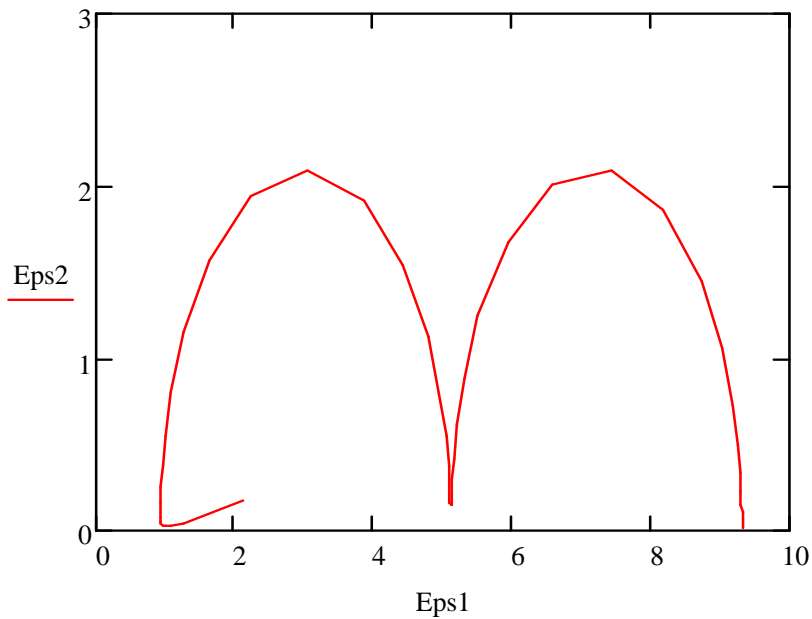
Maiztasun-tartea [ $10^{-2}$ ,  $10^7$ ] Hz-tan finkatu da eta neurtutako  $\epsilon'(w)$  eta  $\epsilon''(w)$  ondorengo grafikoan irudikatu dira:



4.2 irudia:  $\epsilon'$  eta  $\epsilon''$ -ren maiztasunarekiko menpekotasuna. Debye modeloa. Lasaikuntza fenomenoak.

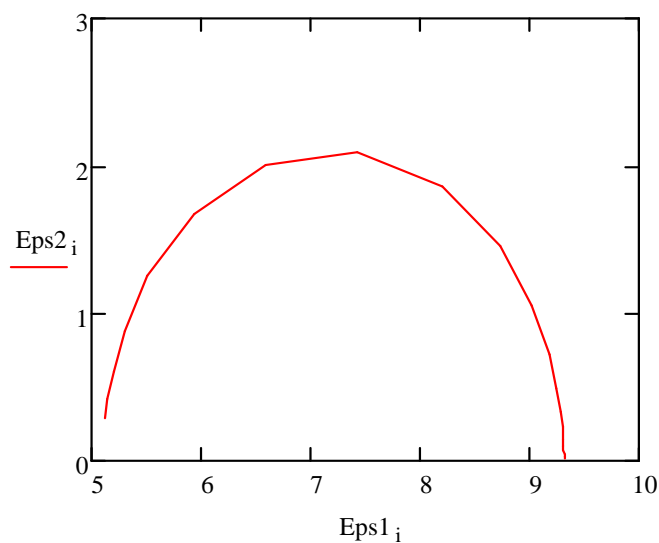
Espero bezala eta Debye-ren modeloa jarraituz, RC bikoitzeko zirkuituaren bi lasaikuntzak nabari dira.

Dagokion Argand-en diagrama:

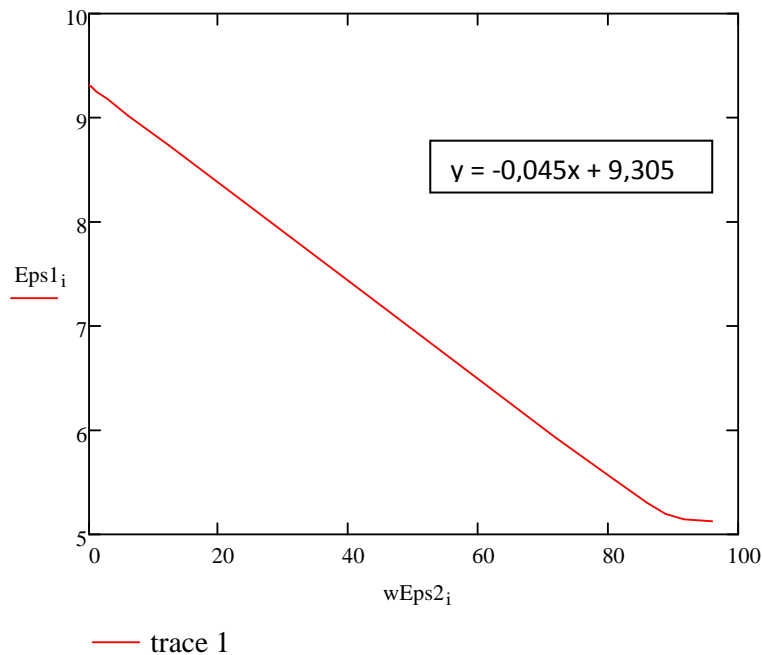


4.3 irudia: Argand-en diagrama Debye-ren modeloan.

Atal teknikoan aipatu bezala, permitibitatearen parte erreal eta irudikaria  $\epsilon = \epsilon_s - \tau(\omega\epsilon)$  funtzioarekin erlazionatzen dira. Finkatutako tarteko maiztasunei dagokien balio esperimentalak bildu, bai parte erreal zein irudikariarenak, eta erlazio honen irudikapena egitean,  $\tau$  (lasaikuntza denbora) malda eta  $\epsilon_s$  jatorria dituen erregresio zuzen bat lortzen da. Horretarako, lehen lasaikuntza ematen den maiztasun-tartera mugatu gara;  $[10^{-2}, 52.2]$  Hz-ko tartera hain zuzen:



4.4 irudia: Argand-en diagrama mugatutako tarterako.



4.5 irudia: Permitibitatearen parte erreal, irudikariaren eta maiztasunaren arteko erlazioaren erregresio zuzena.

Lasakuntza denboraren hurbilketa on bat lortzen dugu. Izan ere, ondorengo balioetan ikus daitekeenez emaitza teoriko eta esperimentalak bateragarriak dira:

Esperimentalki:  $\tau = 0.045 \text{ s}$

Teorikoki ( $R=470 \text{ pF}$ ,  $R = 100 \text{ M}\Omega$ ):  $\tau = RC = 0.047 \text{ s}$

Hortaz, “High resolution dielectric analyzer” tresna prest dagoela esan daiteke gure laginaren azterketarako eta, beraz, neurri batean fidagarriak izango dira ondoren egingo dituen neurketak eta haien balioak.

#### 4.4 Laginaren azterketa:

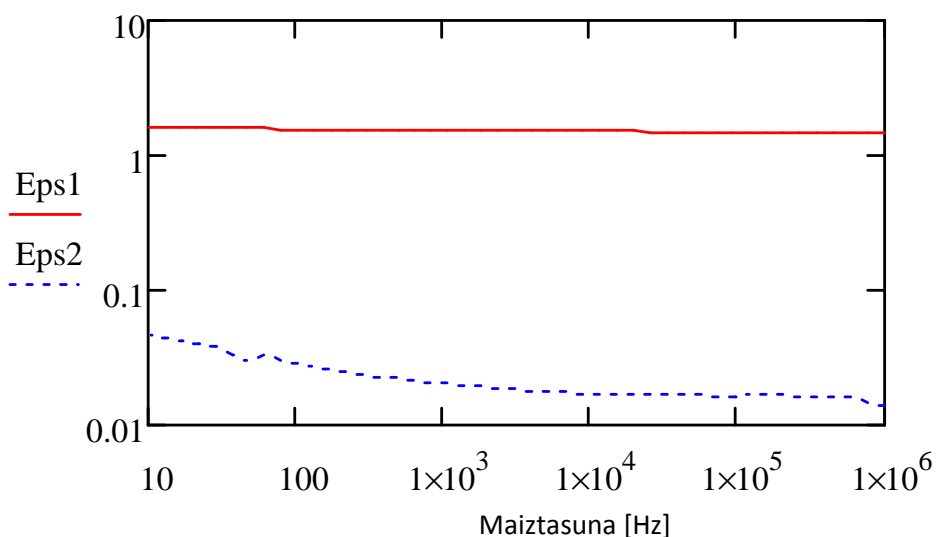
Laginaren azterketa egiteko maiztasun-tartea 10 Hz-tik 10 MHz-ra finkatu dugu, non irrati-uhinen maiztasunei dagokien. Maiztasun-tarte hau oso txikia da X izpiekin, infragorriekin edo ultramoreekin alderatuz. Irrati-uhinak 300 MHz (1 m-ko uhin luzera) baino baxuagoko uhin elektromagnetikoak dira. Gailu elektrikoekin, antena zein erresonantzia-sentsoreekin oso erraz sortzen dira, eta beraz historikoki gehien

erabilienak dira. Hala ere, gaur egun medikuntzan, zientzian eta industrian gehien erabiltzen den maiztasun-tartea 400 MHz eta 60 GHz tartean mugatzen da.

$\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$  materialaren lagin fin bat kondentsadorearen bi elektrodoen artean kokatu da eta 3 V/mm-ko korrante alterno bat finkatu da ondorengo neurketa guztietarako. Azken datu hau ordenagailuaren bitartez finkatu da.

- **T = 300 K, f = [10, 10<sup>6</sup>] Hz**

Hasteko gure laginak giro tenperaturaren, 300 K-tan, duen joera ikusiko da. Horretarako, aipatutako maiztasun-tarteko permitibitatearen zati erreal (Eps1) eta irudikarien (Eps2) balioak bildu dira ondorengo grafikoan. Irudikapen grafikorako eskala logaritmikoa erabili da:



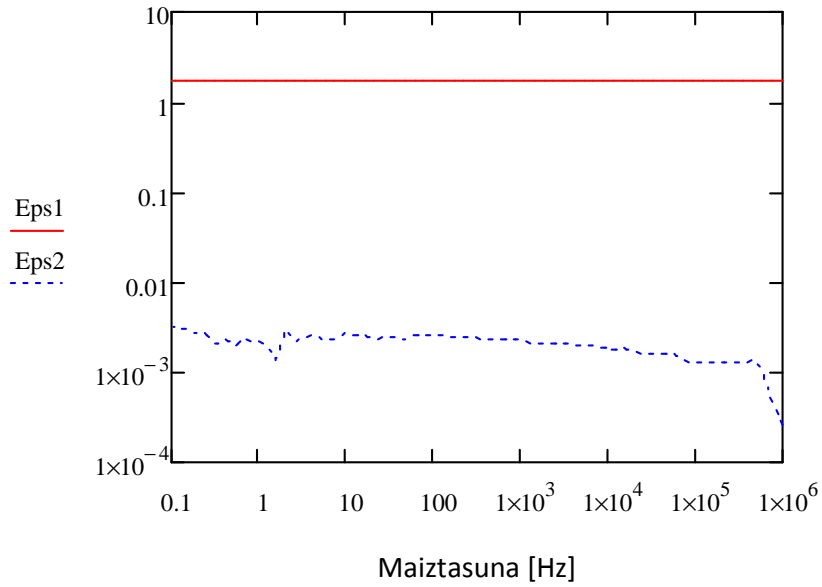
4.6 irudia: 300K-tan permitibitatearen zati errearen (gorriz irudikatua) eta irudikariaren (urdina) garapena maiztasunarekiko

Baina baldintza hauetan, permitibitatearen zati erreala, baita irudikaria ere, konstante mantentzen da maiztasun balio desberdinetarako eta beraz, ez da inongo ezaugarri bereizgarririk antzematen. Hortaz, ondorengo neurketetarako maiztasun-tartea handitu da behe muga 10<sup>2</sup>Hz-era jaitsiz. Tenperaturari dagokionez, 150 K-etan hasiko gara neurketak egiten; ondoren, tenperatura 20 Kelvin-ka igoz eta balio bakoitzerako datuak bilduz (150K, 170K, 190K, 210K, 230K). Horretarako gau osoan zehar berogailua piztuta utzi dugu interesatzen zaigun 150K-ko tenperaturara jaitsi dadin.

Ondorengo datuetan,  $Ta$  instrumentuak behe aldean duen tenperatura adierazten du, eta  $Tb$  instrumentuaren goiko aldean dagoen tenperatura, hau da, gure laginaren

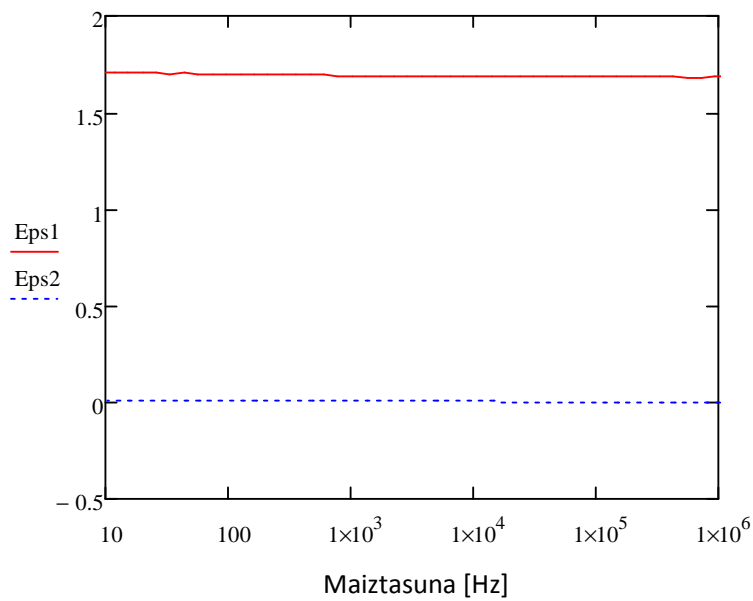
ingurune gertu bateko tenperatura. Grafikoen irudikapena eskala logaritmikoan egin da:

- **T = 150 K** ( $T_a = 151.6$  K,  $T_b = 161.02$  K)



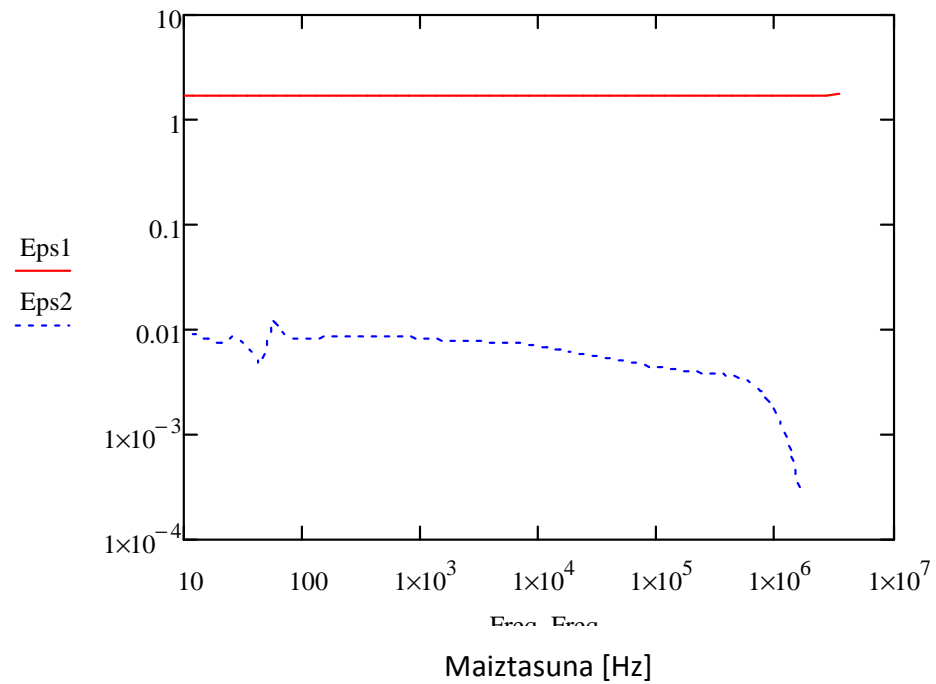
4.7 irudia: 150K-tan permitibitatearen zati errealaren (gorria) eta irudikariaren (urdina) maiztasunarekiko garapena

- **T = 170 K** ( $T_a = 171.3$  K,  $T_b = 182.41$  K)



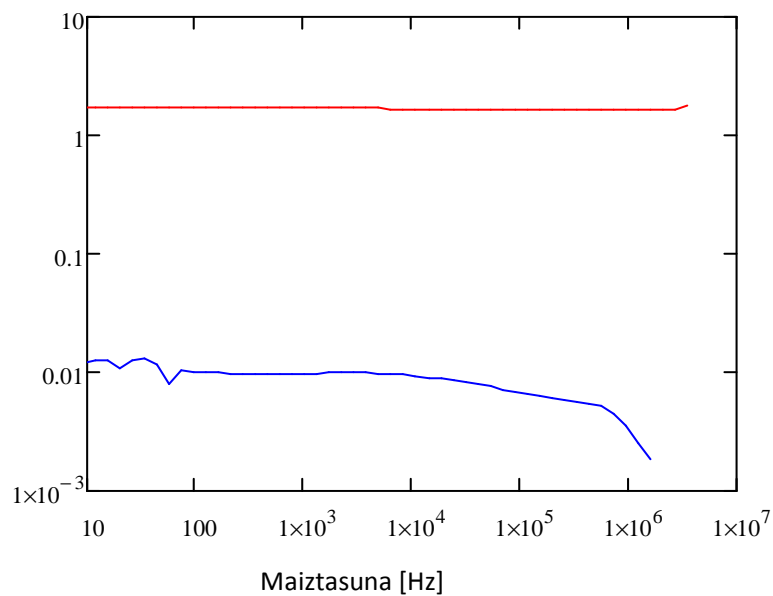
4.8 irudia: 170K-tan permitibitatearen zati errealaren (gorria) eta irudikariaren (urdina) maiztasunarekiko garapena

- **T = 190 K** ( $T_a = 192.30$  K,  $T_b = 200.23$  K)



4.9 irudia: 190K-tan permitibitatearen zati errealaren (gorria) eta irudikariaren (urdina) maiztasunarekiko garapena.

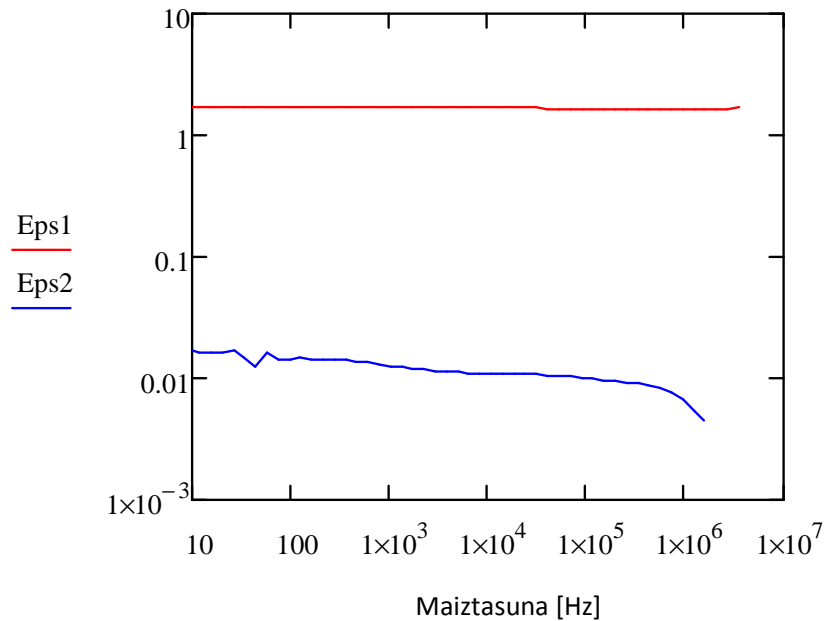
- **T = 210 K** ( $T_a = 211.5$  K,  $T_b = 215.12$  K)



4.10 irudia: 210K-tan permitibitatearen zati errealaren (gorria) eta irudikariaren (urdina) maiztasunarekiko garapena



- **T = 230 K** ( $T_a=231$  K,  $T_b=234$  K)



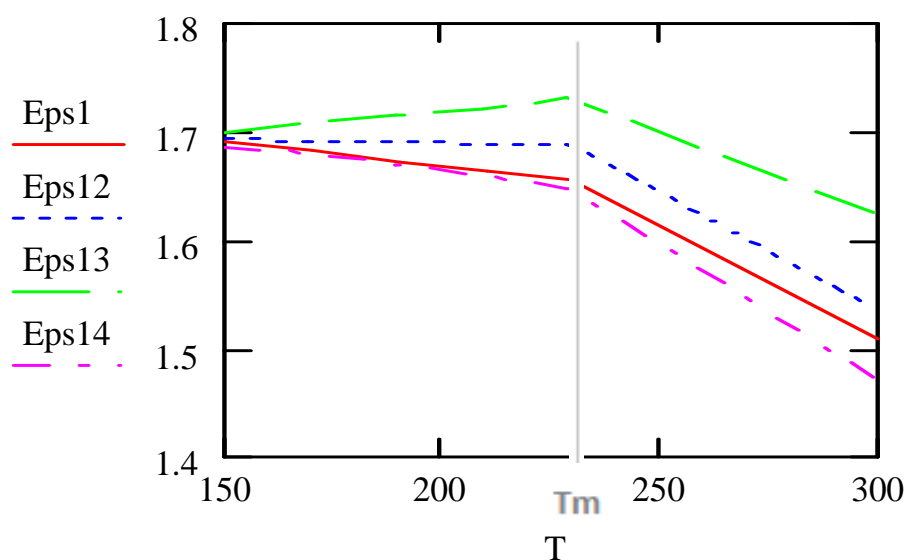
4.11 irudia: 230K-tan permitibitatearen zati errearen (gorria) eta irudikariaren (urdina) maiztasunarekiko garapena.

Nahiz eta maiztasun-tartea zabaldu den eta baldintza hobeak espero ziren, grafikoetan argi ikus daiteke ez dela Debye modeloaren lasaikuntza fenomenoan ematen den permitibitatearen (erreala eta irudikaria) garapena ematen, 2.4 irudian bezala. Beraz, jarritako baldintzak, maiztasuna, tenperatura edo/eta potentzia izan daitezkeelarik, ez dira egokiak lasaikuntza fenomeno hau ikusteko.

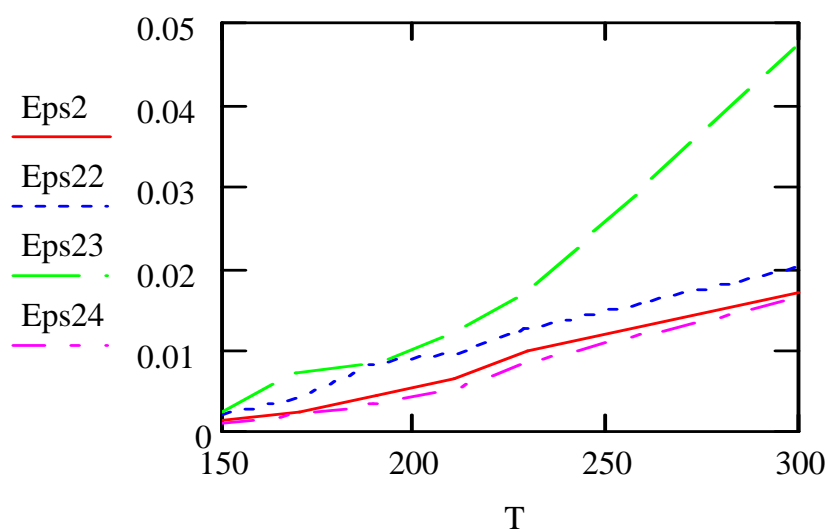
Grafikoetan ikusten diren alterazio txikiak, permitibitatearen zati irudikarian (Eps2) batez ere, tresnan bertan izandako rumoreen ondoriozko balioen desbideratze bat izan daiteke.

#### 4.4.1 Tenperaturarekiko menpekotasuna:

Ondoren, tenperatura aldaketan aurrean duen joera aztertu da. Horretarako, aurreko atalean neurtutako datuekin permitibitatearen parte erreala,  $Eps1(i)$ , eta parte irudikaria,  $Eps2(i)$ , irudikatu dira lau maiztasun ezberdinetarako;  $f_1 = 11500$  Hz,  $f_2 = 1090$  Hz,  $f_3 = 10$  Hz,  $f_4 = 591720$  Hz.



4.12 irudia: Tenperaturarekiko  $\epsilon'$ -ren garapera lau maiztasun desberdinetarako:  $f_1 = 11500$  Hz (gorria),  $f_2 = 1090$  Hz (urdina),  $f_3 = 10$  Hz (berdea),  $f_4 = 591720$  Hz (morea).  $T_m$  tenperatura berdinean dute maximoa lau kurbek.



4.13 irudia: Tenperaturarekiko  $\epsilon''$ -ren garapena garapera lau maiztasun desberdinetarako:  $f_1 = 11500$  Hz (gorria),  $f_2 = 1090$  Hz (urdina),  $f_3 = 10$  Hz (berdea),  $f_4 = 591720$  Hz (morea).

4.12 irudian, permitibitate errealaren tenperaturarekiko menpekotasuna irudikatu da, eta 4.13 irudian aldiz, parte irudikariarena. Temperatura handitu ahala permitibitatearen parte erreal baxuagoa da, eta alderantziz, parte irudikaria hazi egiten da.

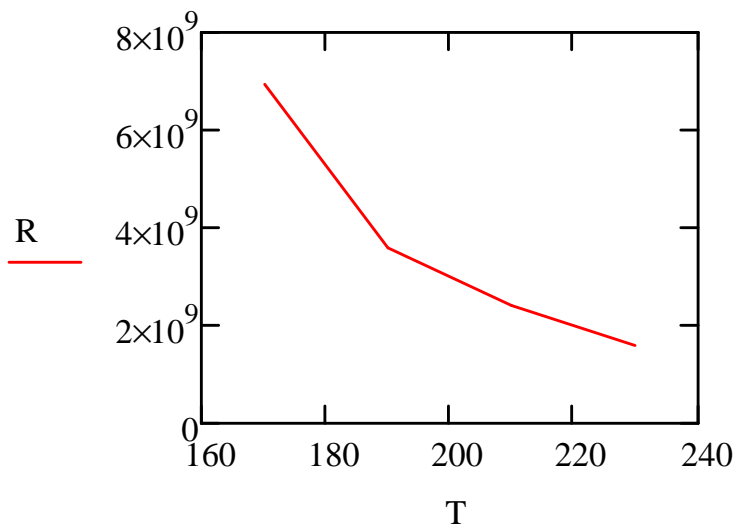
Permitibitate errealaren kurbaren formari begiratuz, material ferroelektrikoetan ez bezala,  $T_m$  berdinean dute maximoa lau kurbek eta  $T_m$  ez da maiztasunarekin aldatzen. Material ferroelektrikoak berezko momentu dipolar bat dute eta egoera polarizatu aski iraunkorra izan dezakete tenperatura baxuetan; beraien berezitasun elektrikoak eta material ferromagnetikoen berezitasun magnetikoak antzekoak dira.

Permitibitatearen maiztasunaren menpekotasuna nabarmenagoa da  $T > T_m$  balioetarako, bai permitibitatearen parte erreal zein irudikarian. Maiztasunaren menpekotasun hau lasaikuntza dielektrikoaren ondorioa da.

Atal teknikoan aipatu bezala, eroankortasuna zati irudikariaren proportzionala da,  $\sigma = \epsilon_0 \omega \epsilon''(\omega)$ , eta beraz, ziurtatu dezakegu  $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$  [ $x \sim 0.2$ ] materiala eroaleagoa dela tenperatura altuetan.

Maiztasunari dagokionez, maiztasun baxuagoko seinalea bidaliz, handiagoa da permitibitatea (bi osagaiak; erreal eta irudikaria). Eta beraz, handiagoa da ere materialaren eroankortasuna.

Erresistentzia elektrikoak, korrante elektrikoak material baten zehar igarotzean duen oztopo maila adierazten du eta  $\sigma$  eroankortasunaren alderantziz proportzionala da. Dielektrikoen kasuan  $R = \epsilon_0/\sigma C_0$  adierazpena betetzen du eta beraz permitibitate irudikariaren alderantziz proportzionala da. Hortaz, tenperatura handitzean jaitsi egiten da materialaren erresistentzia. Horren adibide eta adierazpen garbia dugu  $f = 1.156 \cdot 10^5$  Hz-ko maiztasunean jasotako balioen irudikapen grafiko hau:



4.14 irudia:  $f = 1.156 \cdot 10^5$  Hz maiztasunean, materialak duen erresistentzia tenperatura aldaketaren aurrean

## 5. Ondorioak

\* Egindako neurketetan oso nabarmena ez bada ere, seinalearen maiztasuna handitzean permitibitatearen balioa txikitzen dela ondoriozta dezakegu. Izan ere, maiztasunaren balioa handitzean, abiadura handiagoa da eta dipoloak ezin dira eremu elektrikoaren aldaketara hain azkar egokitu.

Hasiera batean, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 eta 4.11 grafikoetan Debye modeloaren lasaikuntza fenomenoaren bezalako (2.4 irudia) kurbak lortzea espero bazen ere, ia zuzen bat lortu da bai permitibitatearen zati erreal zein irudikariaren kasuan. Beraz, ez da nahi zen garapen dielektrikoa lortu. Honen arrazoa, neurketak egiteko baldintza egokiak erabili ez izatea izan daiteke. Izan ere, oinarritu garen artikuluko neurketetan 0, 1, 2,5, 5, 10, 25 [V / cm] potentziako seinaleak aplikatu direla ikusirik, gure laginaren dimentsioetarako potentzial handiegia (3 V / mm) erabili dela ondoriozta daiteke.

4.7, 4.9, 4.10 eta 4.11 grafikoetako permitibitatearen parte irudikariaren ( $\epsilon_2$ ) kurbetan alterazio txiki batzuk ikusten dira. Hauek, neurketak egitean tresnan bertan izandako rumoreen ondoriozko balioen desbideratzeak izan daitezke.

\* Tenperaturarekiko menpekotasunari dagokionez, tenperaturaren balioa handitzean permitibitatearen parte erreala txikiagoa da beraz, energia elektrikoa metatzeko baldintzak nekezagoak dira. Hortaz, 4.14 irudiko adibidean argi ikus daitekeenez, materiaren erresistentzia ere baxuagoa izango da.

Parte irudikaria aldiz, handiago bihurtzen da. Beraz, materialaren eroankortasuna handiagoa da. Horrela,  $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$  [ $x \sim 0.2$ ] materialak tenperatura altuetan korronea garraiatzeko baldintza hobeak dituela ikusi da.

\* Permitibitate errealearen tenperaturarekiko kurbaren formari begiratuz, material ferroelektrikoetan ez bezala,  $T_m$  berdinean dute maximoa maiztasun desberdinetako kurbek (4.12 irudia) eta beraz,  $T_m$  ez da maiztasunarekin aldatzen. Ondorioz, finkatutako baldintzetan (tenperatura, seinalearen maiztasun eta potentzia)  $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$  [ $x \sim 0.2$ ] materialak ez ditu ferroelektrikoen ezaugarriak betetzen .

Permitibitatearen maiztasunaren menpekotasuna nabarmenagoa da  $T > T_m$  balioetarako, bai permitibitatearen parte erreal zein irudikarian. Maiztasunaren menpekotasun hau lasaikuntza dielektrikoaren ondorioa da.

Nahiz eta lan gidatu honetan ez den frogatu, hasieran aipatutako bi artikuluei esker zertxobait gehiago dakit material hauei buruz:

- Kanpo eremu magnetiko txiki bat nahikoa da garapen dielektrikoan aldaketa nabarmenak sortzeko. Nire neurketetan ez da kanpo eremu magnetiko baten eraginpeko azterketarik egin.
- Kanpo eremu magnetiko baten eragina arbuiagarria da  $T_m$  baino baxuagoko tenperaturetan.  $T < T_m$  balioetan materiala ferromagnetikoa dela ondorioztatzen da. Material ferromagnetikoak bortizki magnetizatzen dira kanpo eremu magnetiko baten pean, eta kanpo-eremua desagertzean aldi bateko imana izaten jarraitzen dute, hau da, magnetizaturik jarraitzen dute. Propietate hau, Curie Tenperaturaren ( $T_c$ , materialaren araberako ezaugarria da) baino baxuagoko tenperaturetan betetzen da; tenperatura hau gaindituta material paramagnetiko bilakatzen dira.
- Kanpo eremu magnetiko baten pean  $T_m$ , non permitibitate errealak maximoa duen, balio handiago batera desplazatzen da.
- Permitibitatearen balio errealak, ( $\epsilon'$ ), jaitsi egiten da bai maiztasuna handitzean, baita seinalearen potentzia handitzearen ere. Honetarako, ondorengo potentzia desberdinako seinaleak analizatu dira: 0, 1, 2,5, 5, 10, 25 [V / cm]

## 6. Bibliografia

[1] Erreferentziatzen hartutako bi artikulak:

- “*Magnetic-field-dependent dielectric constant in  $La_{2/3}Ca_{1/3}MnO_3$* ” - APPLIED PHYSICS LETTERS 88 - J. Rivas, J. Mira, B. Rivas-Murias, e A. Fondado (Universitá di Santiago de Compostela, Spagna ); J. Dec e W. Kleemann ( Duisburg-Essen unibertsitatea, Alemania); M. A. Señaris-Rodríguez (Coruña Unibertsitatea, Espainia)
- “*Giant Dielectric Response with an Electric Field in Charge-Ordered  $La_{1-x}Ca_xMnO_3$  Compounds*” - Ying Hou, Yiping Yao, Genqiang Zhang, Qingxuan Yu, e Xiaoguang Li (Hefei National Laboratory for Physical Sciences at Microscale, Department of Physics, University of Science and Technology of China, and State Key Laboratory of Powder Metallurgy, Central South University, Txina)

[2] Interneteko web orrialdeak:

- [www.ub.edu/gilafa/web\\_dielec/002/002.html](http://www.ub.edu/gilafa/web_dielec/002/002.html)
- [http://roma2.rm.ingv.it/tematiche/39/elettromagnetismo\\_ambientale/40/meccanismi\\_di\\_interazione\\_dei\\_campi\\_magnetici\\_con\\_i\\_tessuti\\_biologici](http://roma2.rm.ingv.it/tematiche/39/elettromagnetismo_ambientale/40/meccanismi_di_interazione_dei_campi_magnetici_con_i_tessuti_biologici)
- [www.unisa.it/uploads/1498/tesi\\_annagraziam.pdf](http://www.unisa.it/uploads/1498/tesi_annagraziam.pdf)
- [tesi.cab.unipd.it/14721/1/Elaborato\\_di\\_Tesi.pdf](http://tesi.cab.unipd.it/14721/1/Elaborato_di_Tesi.pdf)
- [www.unizar.es/departamentos/fisica\\_aplicada/tads/TAD%20Daniel%20Digon.pdf](http://www.unizar.es/departamentos/fisica_aplicada/tads/TAD%20Daniel%20Digon.pdf)
- [http://www.euskara.euskadi.net/r59luredir/es/contenidos/articulo/c1201/eu\\_d120109/1201009.html](http://www.euskara.euskadi.net/r59luredir/es/contenidos/articulo/c1201/eu_d120109/1201009.html)

[3] Beste lan gidatu batzuk:

- Zaragozako unibertsitateko (Zientzia Fakultatea, Fisika Aplikatua Saila) lan gidatu bat: *Estudio de la relajación dieléctrica en mezclas polar-no polar por reflectometría en dominio del tiempo (T.D.R.)*