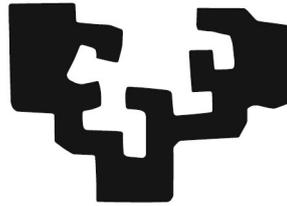


eman ta zabal zazu



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

Doktorego tesia

**AIREKO EROALE ELEKTRIKOEN
KARAKTERIZAZIORAKO METODOLOGIA
DENBORA ERREALEKO MONITORIZAZIOA
ERABILIZ**

Miren Terese Bedialauneta Landaribar-*ek aurkeztua*

ZUZENDARIAK

Igor Albizu Flórez eta Elvira Fernández Herrero

2017

AURKIBIDE OROKORRA

1. SARRERA	1
1.1. ERAGINGARRIAK	1
1.2. TESIAREN HELBURUA	4
1.3. TESIAREN EGITURA	5
2. BERRIKUSPEN BIBLIOGRAFIKOA	9
2.1. AIREKO LINEETAN DENBORA ERREALEKO MONITORIZAZIO SISTEMAK	9
2.1.1. EROALEAREN TENPERATURAREN MONITORIZAZIOA	12
2.1.2. BIBRAZIOAREN MONITORIZAZIOA	26
2.1.3. TRAKZIOAREN MONITORIZAZIOA	28
2.1.4. GEZIAREN MONITORIZAZIOA	31
2.1.5. EREMU ELEKTROMAGNETIKOAREN MONITORIZAZIOA	33
2.1.6. EROALEAREN ERREPLIKA	34
2.1.7. MONITORIZAZIO SISTEMEN KONPARAKETA	35
2.2. GEZI TXIKIKO EROALEAK	39
2.2.1. EROALEEN ARTEKO KONPARAKETA	64
2.3. AIREKO LINEETAKO EROALEEN BALIOZKOTZE PROBAK	70
2.3.1. PROBA PROTOKOLOAK	71
2.3.2. EROALEEN PROBAK	77
2.3.3. EROALEEN FABRIKATZAILEEK EROALEEN EGIAZTAPENERAKO JARRAITURIKO PROBA PROTOKOLOAK	78
2.3.3. EROALEEN BALIOZKOTZE INSTALAZIOAK	92
2.4. AIREKO EROALEEN KALKULU MEKANIKOA	102
2.4.1. BAOAREN GEOMETRIA	103
2.4.2. EROALEAREN EZAUGARRI MEKANIKOAK	108
2.4.3. EROALEAREN TRAKZIO-TENPERATURA KALKULUA	118
2.5. KONKLUSIOAK	122
3. METODOLOGIAREN GARAPENA	129
3.1. INSTALAZIO PILOTUA	129
3.1.1. INSTALAZIOAREN DESKRIBAPENA	131
3.2. TRAKZIO-TENPERATURA PORTAERA EBALUATZEKO EREDU TEORIKOAREN DISEINUA	137
3.2.1. EROALE BATEN GEZI/TRAKZIO-TENPERATURA PORTAERAN ERAGINA DUTEN FAKTOREAK	137
3.2.2. EROALEAREN EREDU TEORIKOAREN DEFINIZIOA	142
3.2.3. EROALEAREN TRAKZIO-TENPERATURA PORTAERAN ZIURGABETASUNAK	149

3.3. TRAKZIO-TENPERATURA EBALUAKETA ELGOIBARKO INSTALAZIO PILOTUAN	182
3.3.1. DTK ERRORE BALIOKIDEAREN KALKULUA	182
3.3.2. INSTALAZIOKO NEURKETAK. DATUEN PROZESAMENDUA	183
3.3.3. ELGOIBARKO INSTALAZIO PILOTUAN LORTURIKO EMAITZAK	191
3.3.4. EROALEA FINKATUTA DAGOEN EUSKARRIAREN MUGIMENDU ERROREAREN DTK ERRORE BALIOKIDEA	200
3.4. TRAKZIO-TENPERATURA EBALUATZEKO PROPOSATURIKO METODOLOGIA	209
3.5. ISURPENA EBALUATZEKO PROPOSATURIKO METODOLOGIA	212
3.5.1. ISURPENA EBALUATZEKO EREDU TEORIKOA	212
3.5.2. ISURPENAREN EBALUAZIOA ELGOIBARKO INSTALAZIO PILOTUAN	213
3.5.3. ISURPENA EBALUATZEKO PROPOSATURIKO METODOLOGIA	215
3.6. KONKLUSIOAK	215
4. METODOLOGIAREN APLIKAZIOA INSTALAZIO BERRI BATEAN	221
4.1. INSTALAZIOA: SAKANA	221
4.2. ZIURGABETASUNAREN MURRIZKETA	224
4.2.1. EROALEAREN PARAMETROEN ERROREEN ZIURGABETASUNA	224
4.2.2. BAO ERROREEN ZIURGABETASUNA	225
4.2.3. ISOLAGAILU KATEA	225
4.2.4. BALDINTZA METEOROLOGIKOAK ETA ISURPENA	225
4.3. TRAKZIO-TENPERATURA EBALUAZIOA	226
4.3.1. DISPERSIO EDO TRAKZIO GORABEHERAK	227
4.3.2. DTK EBALUAZIOA. EROALEAREN PORTAERA	228
4.4. ISURPENAREN EBALUAZIOA	232
4.4.1. ISURPEN TEORIKOA	232
4.4.2. NEURTURIKO ISURPENA	234
4.6. KONKLUSIOAK	237
5. EKARPENAK ETA ETORKIZUNEKO LANA	241
5.1. EKARPENAK	241
5.2. ETORKIZUNEKO LANA	245
ERREFERENTZIAK	<i>i</i>

NOMENKLATURA

a : bao luzera.

A_e : eroalearen azalera

A_n : nukleoaren azalera.

α_e : eroalearen dilatazio termikoaren koefizientea.

α_n : nukleoaren dilatazio termikoaren koefizientea.

E_e : eroalearen elastikotasun-modulua.

E_n : nukleoaren elastikotasun-modulua.

L_o : erreferentzi luzera.

L_e : eroalearen luzera.

L_{kat} : katenariaren luzera.

$\vartheta_{knee-point}$: trantsizio-tenperatura edo knee-point tenperatura.

ϑ_o : erreferentzi tenperatura.

T_o : erreferentzi trakzioa.

$T_{knee-point}$: trantsizio-tenperaturari dagokion trakzioa.

ω_e : eroale masa.

$\omega_{knee-point}$: trantsizio-tenperaturari dagokion eroale masa.

1. SARRERA

1.1. ERAGINGARRIAK

Azkenaldian, linea elektrikoetan zehar doan potentzia elektrikoaren balioa handiagotu egin da. Igoera hau energia elektrikoaren eskariaren handitzearekin erlazionatuta dago. Ondorioz, zenbait linea bere intentsitate-ahalmenaren mugatik gertu egon daitezke. Intentsitate-ahalmena "linea jakin baten diseinu eta segurtasun irizpideak bermatuko dituen korronea da". Eroalearen gehiegizko tenperatura batek eroalea gehiegi luzarazi dezake, eta lurrarekiko segurtasun-tartea modu arriskutsu batean murriztu daiteke.

Arazoa konpontzeko nahikoa da linea gehiago ipintzea. Hala ere, gaur egun, hau ez da lan erraza. Izan ere, biztanleen dentsitate handiak, lurraren erabilera zabalak eta azkenaldian instalazio elektriko berrien aurrean dagoen aurkako jarrera dela eta oso toki gutxi geratzen da linea berriak egin ahal izateko. Hori dela eta, lineen eraikuntza arautzen duten legediek bete beharreko zenbait pauso zehazten dituzte: baimenak eskatzea, proiektuaren aurkezpen publikoa, aurkako alegazioak jaso ahal izateko aukera, etab. Ondorioz, linearen beharra ikusten denetik hau eraikitze baimena lortzen den arteko denborak hamar urteko tartea gaindi dezake erraz. Beraz, dagoeneko eraikita dauden linea

pasabideetan potentzia ahalmena handiagotzeko presio handia dago, dagoen azpiegiturari probetxu handiena ateraz beti ere [CIG353][CIG425].

Tradizioan, lineetan zenbait aldaketa egin izan dira potentzia ahalmena handitzeko. Horien artean linearen tentsioa igotzea edota eroale kopurua handiagotzea daude. Aukera hauen eragozpen bat euskarri eta zimenduak indartzeko beharra da.

Transmisio-linea gehienak altzairuzko nukleodun aluminiozko eroaleak erabiltzen dituzte, eroale arruntak, ACSR eroaleak. Eroale hauek 90 °C azpitik lan egin dezakete hortik gora aluminioa suberatu egiten baita eta ezaugarri mekanikoak galtzen baititu. Temperatura muga hauek 230 kV-eko ohiko linea baten ahalmen termikoa 400 MVA-ra murrizten du [WAN08].

2004 urtean CIGREko B2.12 lan taldeak linea berrien eraikuntzaren ordezkotzako aukera deskribatzen duen dokumentua publikatzen du [CIG244], linea elektrikoetan zehar doan potentzia gehitzearen behartasunean oinarrituz eta ikusita gaur egun linea berriak ipintzea ez dela lan erraza, lineen eraikuntza arautzen duten legediek bete beharreko zenbait pauso zehazten dituzte. Lan talde honen ikerketa batek lehendik dauden lineetan temperatura altuagotan lan egiteko premia dagoela erakutsi zuen [CIG244].

Gaur egun temperatura altuko eta gezi txikiko eroaleak fabrikatzen dira. Eroale hauek temperatura altuetan lan egin dezakete, 250 °C, gaur egungo lineen distantzia elektrikoak mantenduz eta fidagarritasun mekanikoa galdu barik. Temperatura altuagotan lan egin ahal izateko, aluminio aleazio bereziak garatu dira.

Eroalea temperatura altuko eta gezi txikiko edo HTLS (high temperature low sag) eroale batekin ordezkatzeko bada, potentzia ahalmena handitu daiteke euskarriak eta zimenduak indartzeko beharrik gabe. Eroale hauek, euren gezi txiki ezaugarria dela eta, gezi mugara ohiko eroaleak baino temperatura altuagoko balioetan heltzen dira. Hau dela eta, onargarri diren temperatura eta korrante maximoa altuagoak dira [CIG244][LAND07].

Tenperatura altuko eta gezi txikiko eroaleak knee-point edo trantsizio-tenperaturaren gainera duten portaeran oinarritzen dira. Trantsizio-tenperatura gainera aluminioak ez du karga mekanikorik eusten eta karga mekaniko guztia nukleoaren gain dago. Hau gertatzearen arrazoia aluminioaren dilatazio termikoko koefizientea nukleoarena baino handiagoa

izatea da. Ondorioz, trantsizio-tenperaturaren ginetik eroalearen portaera nukleoaren portaeraren arabera da eta nukleoaren dilatazio koefizientea eroalearena baino txikiagoa denez, gutxiago luzatuko da temperatura igotzean. Denbora errealeko monitorizazio sistema erabiliz lineen potentzia-ahalmen erreala jakiteko aukera dago [STE01] [SEP02]. Denbora errealeko monitorizazio sistemak lineen egoera zehaztea eta intentsitate-ahalmenaren kalkulua ahalbidetzen dute. Intentsitate-ahalmen muga eroalearen temperatura eta geziarekin erlazionaturik dago. Eroalearen temperatura ezin da izan onargarria den balio bat baino altuagoa eta geziak ez du gainditu behar lurrarekiko segurtasun-tartea. Horrela, denbora errealeko monitorizazioaren helburua geziaren muga ez gainditzea da. Kontuan izanik fabrikatzaile gehienek ematen dituzten test edo probak HTLS eroale hauen lan baldintzak ez dituztela erreproduzitzen, eroalea lanean dagoen bitartean monitorizazio sistema baten erabilera, eroalearen ezaugarriak egiaztatzeke bideragarria izan daitekeela esan ahal da.

Linearen potentzia ahalmena handitzeko helburuarekin erabili ahal diren irtenbide biak, denbora errealeko monitorizazioa eta eroalearen ordezkapena, konbinatzea posible da. Horrela potentzia-handitzeari dagokion onura handiagoa lortuz eta eroalearen fidagarritasunari dagokion kontrol zehatzagoa eginez.

Laborategi batean ezinezkoa da eroale baten portaera errealeko trantsizio-tenperatura erreproduzitzea, helburu horretarako linea erreala erabiltzea izango litzateke irtenbiderik egokiena. Temperatura altuko eta gezi txikiko eroaleen ezaugarriak eta monitorizazio sistema ezberdinen aplikazio eta ezaugarriak ezagutuz, linea errealean dagoen eroalearen monitorizazioa gauzatzeko elementuen aukeraketa egokiarekin eroalearen gezi txikiko portaeraren karakterizazioa ahalbidetuko luke.

Gezi txikiko portaera egiaztapena eroaleak trantsizio-tenperatura ginetik eta azpitik duen trakzio-tenperatura portaeraren egiaztapena da. Trantsizio-tenperatura ginetik eroalearen portaera nukleoren portaeraren arabera da, hau da eroalearen luzapena nukleoaren dilatazio termikoko koefizientearen arabera izango da, aldiz, trantsizio-tenperatura azpitik eroalearen portaera eroalearen dilatazio termiko koefizientearen arabera izango da. Trantsizio-tenperaturak dilatazio termiko koefizienteen arteko

muga adierazten du. Eroalearen karakterizazioarekin trakzio-tenperatura portaera horretan parte hartzen duen dilatazio termikoko koefizientea zenbatekoa den ezagutuz, eroalea trantsizio-tenperatura gainetik edo azpitik dagoen ezagutu ahal da eta horrela eroale horren portaera espero dena den edo ez jakin.

Eroalean gertatzen den isurpen deituriko deformazio edo luzapen ez elastikoa, trakzio-tenperatura portaeran eragin dezakeen faktore bat da. Isurpena eroalearen luzapen moduan bistaratzen den gertakaria da luzapen hori aurreikusteak linearen diseinuan eraginez. Isurpen portaeraren karakterizazioarekin isurpen horren egiaztapena egin ahal da.

Tesi honetan fabrikatzaileak adierazitako eroalearen portaera hori egiaztatzeko metodologia garatzen da. Hau da, gezi txikiko portaera egiaztatzeko eroalearen trakzio-tenperatura portaera karakterizazioa egiteko metodologia garatzen da. Metodologia horren garapenerako trakzio-tenperatura portaera horretan eragin dezaketen faktore ezberdinak aztertu dira. Tesian isurpen portaera egiaztatzeko isurpen portaera karakterizaziorako metodologia ere garatu da. Metodologia garapen osorako eroalea lanean dagoen instalazio erreal bateko, hau da baldintza errealerako, monitorizazioa erabili da eta ondoren beste instalazio erreal batean metodologia hori egiaztatu da.

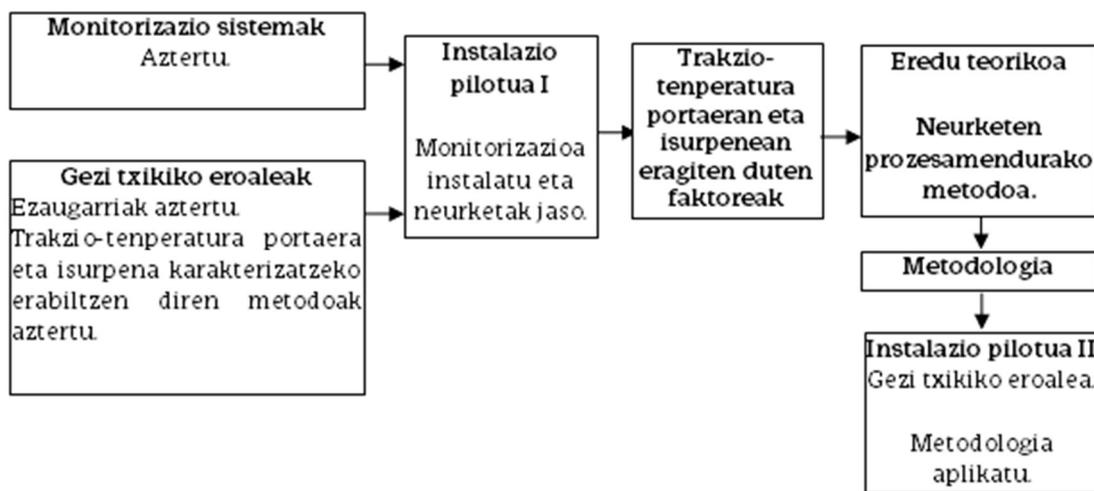
1.2. TESIAREN HELBURUA

Tesiaren helburua da aireko lineen intentsitate-ahalmena neurtzeko erabiltzen diren monitorizazio sistemen bidez gezi txikiko eroaleen portaeraren karakterizazioa egitea. Horretarako, bere trakzio-tenperatura portaera karakterizatzeko metodologia proposatuko da. Linea berria denean isurpenaren bilakaera karakterizatzeko metodologia ere proposatuko da.

Helburura iristeko eman diren pausuak (ikus 1.1 irudia):

- Intentsitate-ahalmena neurtzeko erabiltzen diren monitorizazio sistemen azterketa egitea trakzio-tenperatura eta isurpenaren portaera karakterizatzeko egokitasuna baloratzeko.
- Gezi txikiko eroaleen ezaugarriak eta bere trakzio-tenperatura portaera eta isurpena karakterizatzeko erabiltzen diren metodoen azterketa.

- Instalazio pilotu batean, monitorizazio sistemak instalatu eta neurketak jaso. Instalazio pilotua, operazio normalean dabilen Iberdrolaren linea bat da.
- Eroalearen trakzio-tenperatura portaeran eta isurpenean eragiten duten faktoreak identifikatuz eredu teoriko bat proposatu, neurketen prozesamendurako metodo bat proposatu eta eroalearen portaerari buruzko ondorioak atera.
- Bigarren instalazio pilotu batean, proposaturiko metodologia aplikatu eta ondorioak atera. Instalazio pilotua, operazio normalean dabilen Iberdrolaren linea bat da, gezi txikiko eroalea duena.



1.1 irudia. Tesiaren garapenean jarraituriko pausuak.

1.3. TESIAREN EGITURA

Tesiaren egiturari dagokionez, doktorego tesi hau bost kapitulutan banatzen da.

Bigarren kapituluan tesiaren helburu den gezi txikiko eroaleen portaeraren karakterizaziorako erabilgarriak izan daitezkeen aztertzeke, denbora errealeko monitorizaziorako zenbait sistema aztertzen dira. Alde batetik sistemen egitura eta funtzionamendua aztertzen da eta beste alde batetik sistema hauen zenbait erabilera edo aplikazio adierazten dira. Ondoren tenperatura altuko eta gezi txikiko eroaleen azterketa egiten da. Eroale hauek; tenperatura altuetan lan egin dezakete, gaur egungo lineen distantzia elektrikoak mantenduz eta fidagarritasun mekanikoa galdu barik. Eroaleen azterketa euren ezaugarrietan oinarrituz egiten da eta eroale hauek

instalaturik dauden lineak ere adierazten dira, eroale hauen erabilera edo aplikazioak aztertuz. Aireko linea elektrikoetako eroaleetan egindako proba ezberdinak ere aztertzen dira. Proba hauek eroaleen portaera analisia helburu dute. Azterturiko probak lanean dauden lineetako probak eta aire zabaleko probak dira. Lehenengo kasuan instalazioetan gertatu litezkeen zailtasunak balioztatzeko, korrosio eta koroa arazoak aire zabaleko baldintzapean eta proposaturiko jarraibideetan eta mantentze arauak frogatzeko dira erabilgarriak; aldiz, aire zabaleko probak eroalearen gezia, tentsio eta temperatura maximoa korrante altuko baldintzapean eta aldakorak diren eguraldi egoera ezberdinetan neurtzeko baliagarriak dira. Azterketa honetan aurreko eroale eta monitorizazio sistemen erabilpena ere ikusten da. Kapitulu honekin bukatzeko aireko eroaleen kalkulu mekanikoa aztertzen da.

Ondoren, hirugarren kapitulan eroale baten gezi/trakzio-tenperatura portaeran eragina duten faktoreak aztertzen dira. Faktore bakoitzaren azterketan sakonduz eta eroalearen eredu teorikoa definitzen da. Eroalearen gezi/trakzio-tenperatura portaeran dagoen ziurgabetasuna aztertzen da. Horretarako eroalearen gezi/trakzio-tenperatura portaeran eragina duten parametroen ziurgabetasuna aztertuz. Ziurgabetasun azterketa hori gauzatzeko azterketa teorikoak eta denbora errealean monitorizatuko den eroale baten instalazioan eginiko neurketak erabiltzen dira. Monitorizaturiko linearen deskribapena egiten da eta neurketa datuekin egiten diren analisi eta prozesamenduak deskribatzen dira, eta guztiarekin loturiko emaitzak erakusten dira.

Laugarren kapitulan, hirugarren kapitulan lorturiko emaitzetatik abiatuz tesiaren helburu den aireko eroale elektrikoaren karakterizazioarako metodologia aplikatzen da denbora errealeko monitorizazioa erabiliz lanean dagoen tenperatura altuko eta gezi txikiko eroale batean. Karakterizazio horren bidez lorturiko emaitzak aztertu eta erakusten dira.

Azkenik bosgarren kapitulan ekarpenekin bukatzen da, tesian garaturiko atal nagusiak laburtu eta etorkizuneko lanak definitzen dira.

**BERRIKUSPEN
BIBLIOGRAFIKOA**

2. BERRIKUSPEN BIBLIOGRAFIKO

2.1. AIREKO LINEETAN DENBORA ERREALEKO MONITORIZAZIO SISTEMAK

Denbora errealeko monitorizazio sistemak, aireko lineen eroalearen tenperatura, karga eta eguraldi baldintzetan oinarrituz aireko lineen gainbegiratze, kontrol eta ebaluaziorako irtenbide bat dira. Hala nola, sistema hauek aireko lineen operazio seguruago eta eraginkorragoa ahalbidetzen dute.

[STE01] dokumentuan denbora errealeko monitorizazioa, eroalearen lurrarekiko distantzia denbora errealean zehazteko baliagarri diren parametroren monitorizazioa bezala definitzen da. Denbora errealeko monitorizazioak eroalearen kokapena zehazten du, trakzioa, eroalearen tenperatura eta giro baldintzak neurtuz edo neurketa hauen arteko konbinazioak erabiliz eroalearen gezia kalkulatz. Eroalearen lurrarekiko distantzia zehaztuko duen korronea kalkulatz da denbora tarte ezberdinentzako.

Aireko lineak haize abiadura eta norabidea, eguzki erradiazioa, giro tenperatura, lurraren gorabeherak, etab. moduko faktoreen eraginpean

daude. Hau dela eta, eroalearen posizioa, gezia, etengabe aldatzen da segurtasun distantzietan eraginez eta ondorioz linearen ahalmen termikoan.

Gaur egun energia elektrikoaren garraio zerbitzu publikoak euren aireko lineen zenbait ezaugarri mekaniko eta termiko denbora errealean monitorizatzeko aukera dute. Denboran zehar parametro elektrikoen neurketa ohikoa izan da baina ez eroalearen tenperatura, datu meteorologikoak, eguzki erradiazioa edo haize abiadura. Azken urte hauetan eguraldi, lineen gezi-trakzioa eta eroalearen tenperatura neurketa ahalbidetzen duten neurketa gailuak merkatuan daude eta aldi berean ekonomikoki onargarriak diren komunikazio metodoak eskuragarri daude urruneko gailuek neurtzen duten informazioa denbora errealean transmititzeko [DOU16].

Aireko lineetan eroalearen lurrarekiko distantzia, eroalearen batez besteko tenperaturan oinarritzen da. Hau dela eta, eroalearen lurrarekiko distantzia trakzio, gezi edo tenperatura neurketetatik abiatuz kalkulatu ahal da.

Denbora errealeko monitorizazio sistema ezberdinak daude batzuk eguraldi datuak bakarrik erabiltzen dituzte, beste batzuk eroalearen tenperatura eta beste batzuk eroalearen trakzioa. Sistema ezberdin hauek metodo zuzen eta ez zuzenetan banatu ahal dira. Metodo zuzenak eroalearen tenperatura eta trakzioa neurtzeko metodoz osatzen dira. Metodo ez zuzenak kasu batzuetan giro-baldintzak (haize abiadura eta norabidea, eguzki erradiazioa eta giro-tenperatura) eta korrontea erabiltzen dute eroalearen posizioa kalkulatzeko eta beste batzuetan kalkulaturiko tenperatura diseinu tenperaturarekin alderatzen da, honela tenperatura tarte onargarrian dagoen edo ez aztertuz [STE01].

Denbora errealeko monitorizazioaren helburu nagusia aireko lineen korronte garraio ahalmenaren erabilera egokia ahalbidetzea da horrela eroalearen segurtasun distantziak betetzen direla segurtatuz. Helburu nagusia hau izan arren denbora errealeko monitorizazioak aireko lineen eroaleen fabrikatzaileek emandako ezaugarrien egiaztapenerako baliagarriak dira, adibidez eroalearen trakzio-tenperatura portaera erreala portaera teorikoarekin konparatuz.

Denbora errealeko monitorizazioarekin lorturiko informazioak hainbat erabilera edo aplikazio ditu. Elektrizitate sorkuntza kontroleko zentroetan denbora errealean lineen intentsitate-ahalmen maila jakitea edo/eta haize

ekaitzen eragina; enpresa-banatzailentzako sareko arazoan denbora errealeko informazioa, bibrazio maila behar bezala babesturik ez duten lineen antzematea, kalteen berri izateko, lineen neke bilakaera etengabe ebaluatzeko, sortu daitezkeen arazoan antzemate azkarra izateko eta horrela mantentze-langileak informatzeko edo/eta potentzia fluxua bideratzeko horrela bezeroak mantenduz, hau da, dirurik galdu gabe; eroaleen fabrikatzaileentzako eroale mota berrien portaera jarraipena egiteko (denbora errealeko gezia, elur edo izotz gainkargak, haize eragina, bibrazio maila, tenperatura altuko eta gezi txikiko eroaleen portaera, eta abar); azkenik mundu zientifikorako gertakari ezberdinei buruzko informazioa denbora errealean jasoz gertakari hauen ezagutza hobea izateko [TOA05].

Denbora errealeko monitorizazioaren helburu nagusia aireko lineen korrante garraio ahalmenaren erabilera egokia ahalbidetzea dela kontuan izanik, linearen balorazio edo ahalmen termikoaren zenbatespen dinamikoan oinarrituz, monitorizazio sistemen klasifikazio edo banaketa ezberdinak egin ahal dira. CIGRE 498 dokumentuan adierazten den moduan aireko linearen eroalearen tenperatura hiru eratarata edo hiru metodo erabiliz zehaztu ahal da. Hiru aukeretan denbora errealean komunikatzen den urruneko neurketa erabiltzen da: eguraldi baldintzak monitorizatzen dira eta neurketa hauek eroalaren korrante neurketarekin konbinatuz eroale tenperatura kalkulatu, tenperatura sentsoarek erabiliz zuzenean eroalearen tenperatura neurtuz edo gezi-trakzioa monitorizatzen da linearen atal kritikoetan. Linearen balioztatzea onargarri den tenperatura maximoari edo onargarri den gezi maximoari loturik dagoenez denbora errealeko monitorizazio sistema hauek bi balio hauetara zuzendurik daude.

Aireko eroale elektrikoaren tenperatura metodo zuzen eta ez zuzenak erabiliz ezagutu ahal da. Metodo zuzenak eroalearen tenperaturaren neurketa zuzenean edo honekin zuzenean erlazionaturik dagoen parametro fisiko baten neurketan, gezia, trakzio mekanikoa, bibrazio maiztasuna, katenariaren angelua edo lurrarekiko distantzia, oinarritzen dira. Metodo ez zuzenak estazio meteorologikoak neurturiko parametro meteorologikoetan eta eroalearen ezaugarrietan baliatuz eredu teorikoak erabiliz lortzen dute eroalearen tenperatura.

CIGRE 324 dokumentuan gezi-trakzio kalkulua deskribatzen da; eroalearen tenperatura tarte zabal batean gezi-trakzio kalkulua burutzen da, erlazio hau

konplexua eta ez lineala da batez ere ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced) bezalako homogeen ez diren eroaleetan. Denbora errealeko monitorizazio sistemak gezia neurtzen dute metodologia zuzen edo ez zuzena erabiliz. Tenperaturaren oinarritzen diren sistemak eredu baten beharra izaten dute gezia lortzeko eta kokapen, trakzio edo aireak eragindako mugimenduan oinarritzen diren sistemak eroalearen eta inguruko datuekin erraz erabili ahal dira gezia zehazteko, gezi tenperatura erlazioa erabiliz eta egoera aldaketa ekuazioa erabiliz eroalearen tenperatura zehaztuz [CIG 324].

Denbora errealean linearen korrante garraio ahalmena zehaztea helburu duten sistemak, denbora errealeko monitorizazio sistemak edo teknologiak etengabe datuen bilketa burutzen duten gailuez osatzen dira. Datu bilketarako erabiltzen diren gailuak neurtzen duten datuen arabera monitorizazio sistema edo teknologia ezberdina osatzen dute. Neurtzen diren datuak datu meteorologikoak, eroalearen tenperatura, trakzioa, gezia edo altuera izan ahal dira.

Zenbait egileen lanetan [STE01] [MUH08] [PEA09] [CIG498] [CIG498b] [TLO13] [BLA15] denbora errealeko monitorizaziorako erabiltzen diren gailu ezberdinen deskribapenak adierazten dira, gailu hauen erabileraren helburua ezberdina izan ahal da. Denbora errealeko monitorizazio sistemak eta hauen helburu ezberdinak deskribatzeko ondorengo lerroetan zenbait monitorizazio sistema, hauetariko asko sistema komertzialak izanik, eta hauen instalazio batzuk deskribatzen dira instalazio hauek eroalearen tenperatura edo gezi edo/eta tenperatura neurketa helburu dute baina neurketa honen aplikazioa ezberdina izanik. Kasu batzuetan linearen korrante garraio erabilera egokia lortu nahi da baina beste batzuetan eroalearen portaera egiaztapena edo sistema beraren egiaztapena bilatzen da. Sistema komertzial hauek talde ezberdinetan banatzen dira, kontuan izanik eroalearen tenperatura, trakzioa edo gezia neurtzen duten, hau da neurtzen duten magnitudearen arabera taldekatzen dira.

2.1.1. EROALEAREN TENPERATURAREN MONITORIZAZIOA

Eroalearen tenperatura neurketa burutzeko tenperatura sentsoareak, infragorri kamera termiko edo zuntz optikoa erabil daitezke. Tenperatura sentsoareak erabiliz tenperaturaren neurketa zuzena izaten da eta sentsoareak neurketa zentral batera bidaltzen dute edo datuak deskargatu behar izaten dira.

Sentsore hauek posizio zehatz batzuetan egoten dira eta eroalearen temperatura neurtzen dute. Hau dela eta neurturiko temperaturari dagokion gezia jakiteko beharrezkoa da eroalearen kokapena denbora errealean estimatzea. Infragorri kamera termikoak erabiliz eta infragorri detektagailu bat erabiliz eroalearen erradiazio infragorriaren bitartez eroalearen temperatura zehazten da. Sentsorea eroaletik distantzi batera kokatzen da adibidez lineako dorrean eta horrela ez dauka zertan tentsio altuko isolamendurik behar eta gainera sistemaren instalazio edo mantenurako ez dago zertan linea moztu. Zuntz optikoa erabiliz, banaturiko temperatura neurketak egiten dira; temperatura kable optikoen bidez egiten da [ENT15].

2.1.1.1. Power Donut

USi-ren (Underground Systems, Inc) Power Donut aireko linea elektrikoen monitorizaziorako gailu plataforma talde bat da. Sentsorea, estazio meteorologikoa eta softwareaz osotzen da. Sentsoreak aireko linearen korrontea, tentsioa, eroalearen temperatura eta eroalearen inklinazio-angelua (horizontalarekiko angelua) neurtzen ditu zuzenean. Datuak hilabetez biltegitratzeko aukerarekin. Donut sentsorea instalaturik dagoen eroalearen fluxu magnetikoarekin elikatzen da eta ondorioz ez du behar azpiegiturarik. Estazio meteorologikoa eguzki energia eta bateria batzuen bidez elikatzen da eta giro tenperatura, haize abiadura eta norabidea, eguzki erradiazioa eta baterien egoeraren informazioa eskaintzen ditu. Power Donut sistemak GSM/GPRS/Edge hari gabeko sistema erabiltzen du bezeroarekin komunikatzeko[FIS12]. 2.1 irudian eroale batean instalaturiko sentsorea erakusten da.



2.1 irudia. Power Donut [FIS12].

Power Donut Nitech Inc enpresak garatu zuen, eta 1991 urtean Usik Nitech erosi zuen Power Donut sentsorea denbora errealean linearen korrante garraio ahalmena zehaztea helburu duten sistemaren oinarri ezin hobea izan ahal delakoan. Power Donut-aren monitorizazio ahalmena eta Usi-ren denbora errealeko software eta hardwarea konbinatuz eroalearen tenperatura neurketan eta karga errealean oinarritzen den denbora errealean linearen korrante garraio ahalmena zehazteko sistema garatuz [ENG96].

Power Donut sistemaren lehenengo belaunaldia 1988 eta 2004 urteen bitartean izan zen. Ondoren, 2004 eta 2011 urteetan Power Donut2, bigarren belaunaldia garatu zen.

Power Donut sistemaren zenbait aplikazio linearen baliozkotzea, gezi-trakzio monitorizazioa edo izotz detekzioa izan ahal dira.

Adibidez, 1991 urtean, Nitech-ek Commonwealth Edison Illinoiseko enpresa elektrikoarentzako sistemaren lehenengo belaunaldiko instalazioa egin zen, denbora errealean linearen korrante garraio ahalmena zehaztea helburu zuen eta 37 Power Donut erabiliz; ondoren 1993 urtean Niagara Mohawk konpainiarentzako beste instalazio bat egin zen 22 Power Donut erabiliz [ENG96].

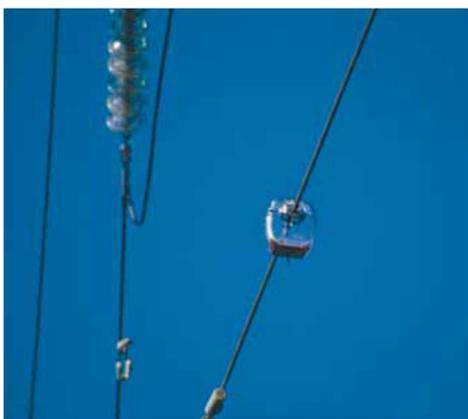
[NAS04] dokumentuan CEMIG (Companhia Energetica de Minas Gerais) brasildar konpainiak parte harturiko zenbait proiektu azaltzen dira, besteak beste ACSR eroalearen ezaugarri termikoen egiaztapena, ACSR eroale ezberdinen portaera analisia; proiektu hauetan Power Donut sistemaren zenbait aplikazio ezberdin agertzen dira.

Power Donut2 sistemaren inplementazio bat [CHA14] dokumentuan adierazten da. Kasu honetan 220 kV-eko sare batean sei Power Donut instalatu eta 2010eko maiatzetik uztaileko datuak jaso ziren. Power Donut-aren datuak inguruan kokaturik zeuden estazio meteorologikoen datuekin batera erabili ziren eta linearen korrante ahalmena kalkulatu zen. Sistema honen beste instalazio bat Western Power Distribution-ek Skegness inguruan duen sarearen errendimendua hobetzeko inplementaturiko sisteman egin zen. Kasu honetan Power Donut-aren erabilera sistemaren egiaztapenera bideraturik zegoen [EON11].

Power Donut hirugarren belaunaldia PD3 gaur egun garapenean dago. Soltex enpresak ExpoElectro 2014 topaketan produktua aurkeztu zuen.

2.1.1.2. Artecheren Temperatura eta Korronte Neurketa Sentsorea, SMT

Arteche enpresaren SMT momentuko lineako korronte eta temperatura neurtu eta GPRS edo/eta SMS bidez ordenagailu batera bidaltzeko diseinatu da. SMTa zuzenean eroalean instalatzen da (ikus 2.2 irudia) eta instalaturik dagoen eroalearen bitartez elikatzen da. Sentsoreak ez du mantenurik behar baina temperatura eta korronte datuak transmititzeko ezaugarri teknikoekin bat datorren gutxienezko korronte bat igaro behar dira eroaletik. Ezaugarri teknikoetan adierazten denarekin bat eroalearen temperatura neurketa SMTaren barnean kokaturiko temperatura zunda baten bidez egiten da eta korrontearen neurketari dagokionez SMTa 100 A-tik 1.500 A-ko korronte tarteko balioak neurtzen ditu [ARTE09].



2.2 irudia. SMT [ARTE 09].

Sentsore eta ordenagailuaren arteko komunikazioa GPRS sarearen bitartez egiten da. Horretarako, SMTak SIM telefono txartel bat darama. SMTak sare telefonikoaren bidez neurketa datuen mezua bidaltzen du eta datua ordenagailuan jasotzen da modem baten bitartez. Datuen tratamendurako SMT prog softwareak sentsorearen datuak aurkezten ditu [ARTE09].

[BER11] dokumentuan EDP Distribution-ek prestatutako instalazio pilotuan, temperatura neurketa sistema ezberdinak konparatzeko eta intentsitate-ahalmenaren estimaziorako sistema probatzeko helburuarekin, SMT sentsorea erabiltzen da.

SMTaren beste erabilera bat [PYT11] dokumentuan adierazten da. Dokumentu honetan egileek intentsitate-ahalmenaren eta linea temperatura kalkuluetan erabiltzeko aireko lineen eroalearen prezipitazio bidezko hozketa eredu bat

aurkezten dute. Eredu honen egiaztapena burutzeko SMT sentsorea erabiltzen dute.

2.1.1.3. Lindsey

Estatu Batuetako Idaho National Laboratory izan zen monitorizazio gailu hau garatu zuena. Garapenaren bultzada dorreen behaketa egitea izan zen; gailua, operadorea dorre inguruan gertatzen diren mehatxuez ohartarazteko gai da. Gailua eroalean kokatzen da, ikus 2.3 irudia, eta funtzionamendurako behar duen energia eroaletik hartzen du. Sentsoreak ardatz biko azelerometro, infragorri detektagailu, eta giro tenperatura sentsorea daukate. Dorre inguruan pertsonen antzematea sentsore hauen seinalearen analisiarekin zehazten da.

Gaur egun Lindsey Manufacturing Company enpresak aplikazio komertzialetan erabiltzeko eskaintzen du. Gailu hauek, datuen prozesamendu egokiarekin, gezi, bibrazio eoliko eta lauhazkaren informazioa eman dezakete[LIN14a][LIN14b].

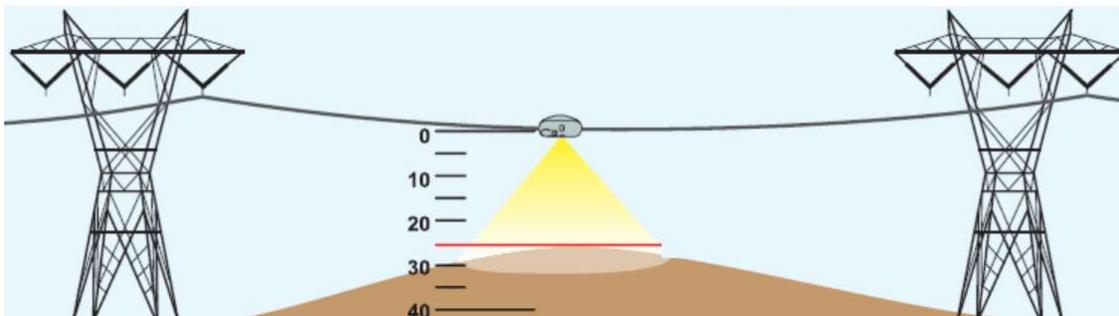


2.3 irudia. Lindsey [LIN14a].

Lindsey TLM Conductor Monitor gailuak eroalearen portaeraren irudi osoa ematen du: eroalearen tenperatura, lineako korrontea, eroalea eta lurraren arteko distantzia eta bibrazioa. Lindsey TLM monitorizazio sistema erraz instalatzen da eta bere aplikazioak ondorengoak izan daitezke [LIN14c]:

- Eroale eta lurraren arteko distantziaren monitorizazioa (2.4 irudia).
- Gurutzapen lineen arteko tartea.
- Izotz eta elur egoeran eroalearen kota.

- SMARTLINE DLR software bidez denbora errealean linearen korrante garraio ahalmena zehaztea.
- Eroalearen bibrazioen monitorizazioa.
- Eroalearen gain-berotzea.



2.4 irudia. Lindsey gailuarekin eroale eta lurraren arteko distantzi neurrketa [LIN14a].

2.1.1.4. Multilin FMC-T6 linea sentsorea

Multilin FMC-T6 sentsorea, ikus 2.5 irudia, General Electric konpainiaren banaketa lineen monitorizazio sistema adimentsuaren, Intelligent Monitoring System of Distribution Lines (ILMS), atal bat da.



2.5 irudia. Multilin FMC-T6 sentsorea [GEL15].

Sentsorearen instalazioa momentukoa izaten da, 10 mm-tik 28 mm-ko diametroa duten eroaleetan instalatu ahal da, ikus 2.6 irudia, eta funtzionatzeko behar duen energia lortzeko lineako eremu magnetikoaz baliatzen da. Eremu magnetiko honek 48 orduko erreserbako bateria bat ere kargatzen du, horrela mozketaren baten ondorioz sentsorea elikatu gabe geratzen bada, funtzionamendua segurtatzen da. Sentsoreak eroalearen tenperatura neurtzeko tenperatura zunda bat eraman dezake. Multilin FMC-T6 sentsoreak eroaletik zehar doan korrantea neurtu eta erregistratzen du, bai fase bai magnitudean eta eroalearen tenperatura ere neurtzen du [GEL15].

Sentsorea akats baldintzen identifikazio eta jakinarazpen azkarra emateko konfiguratzen dago. Horrez gain, sentsoreak aldizkako neurketak emateko konfiguratzen dira aukera dauka [GEL15].

[CAR14] dokumentuan sentsorearen aplikazio bat deskribatzen da, kasu honetan ILMS sistema lineako akats baldintzak identifikatzeko erabiltzen da.



2.6 irudia. Multilin FMC-T6 sentsorea instalazioan [GEL15].

[BLA10] dokumentuan sentsorearen beste aplikazio bat adierazten da. Sentsorea eroalearen tenperatura neurtzeko erabiltzen da.

2.1.1.5. RIBE's RITHERM

RIBE enpresaren RITHERM sistemak, aireko garraio lineen tenperatura monitorizazioa eta kargaren optimizazio sistemak, eroalearen tenperatura zehatzaren bitartez monitorizazio optimoa eskaintzen du; horretarako SAW (Surface Acoustic Wave) sentsorea erabiltzen dute. RITHERM sistemak eroalearen tenperatura absolutua erregistratzen du eta horrela kontrol zentroan aireko lineen erabilera optimoa lortuz. RITHERM sistemak karga zehatzen aurreikuspena eta sare elektrikoaren babes eraginkorra ahalbidetzen du. RITHERM sistema ondorengo elementuek osatzen dute: SAW sentsorea, unitate zentrala, SAW sentsorearen hedadura kutxa radar antenekin, kontrol zentrorako ebaluazio programa [RIB07].

RITHERM sistemak erabiltzen duen SAW sentsorearen kokapena 2.7 irudian erakusten da. Sentsore honen teknologia zenbait aplikazioetan tenperatura,

presio edo tentsioa neurtzeko erabiltzen da baina RITHERM sisteman erabiltzen den sentsorea aireko lineen baldintza eta eskakizunetan erabiltzeko prestatu da.



2.7 irudia. SAW sentsorea eroalean [RIB07].

SAW sentsore pasiboa radarrak bidalitako uhin elektromagnetikoekin erreakzionatzen duen kristal piezoelektrikoa da. Maiztasun altuko uhin elektromagnetiko bat sentsorerara transmititzen da. Sentsore-txipean konektaturik dagoen transduktorea erabiltzean, maiztasun altuko seinalea azalerako uhin akustikora transmititzen da eta kristal-azalean zehar sakabanatzen da. Zenbait posiziotan seinalearen atalak integraturiko islatzaileetan islatzen dira. Islatzaileen kokapena kristalaren elongazio tenperatura dela eta aldatu egiten da. Azalerako uhin akustikoaren sakabanatze abiadura ere tenperaturaren mende dago. Islaturiko seinaleak transduktorean maiztasun altuko transmisioan bihurtzen dira eta sistemaren radarrera bidaltzen dira. Sentsorearen eta tenperaturaren informazioa islaturiko informazioaren inpultsuak eta zenbait algoritmo erabiliz zehaztu ahal dira eta ordenagailu batean ikusi. Kokapena tenperaturarekin loturiko luzapenaren funtzioa da [BER07] [GAL09] [GAL11][GAL11b][BERN07].

RITHERM sistema lehenengo aldiz Txekiar Errepublikako zenbait dorreetan instalatu zen 2006. urtean. Txekiar sare operadoreak, CEPS, Txekiar sare elektrikoan zehar zegoen arazoa adierazi zuen, aurreikusitako kargen eta gaur egungo kargen arteko ezberdintasuna. Hau dela eta RITHERM sistema 2006. urtetik aurrera erabili da linea hauek optimizatzeko. Sistemaren instalazioa egun bitan egin zen eta 2006tik sistemaren funtzionamendua fidagarria izan da eta gainbegiraturiko zonaldeetan kargaren optimizazio fidagarriak ematen ditu [RIB07].

[BOH09] dokumentuan aire linea bateko ACSR 380/50 eroale baten kalkulaturiko eta neurturiko tenperaturen arteko konparaketa egiteko esperimientua adierazten da. SAW sentsorea baoaren erdian kokatzen da; SAW sentsoreak neurturiko tenperatura egiaztatzeke neurgailu termikoak instalatzen dira eroalean; neurgailu termiko eta SAW sentsorearen bidezko neurketen artean korrelazio egokia bilatuz.

SAW sentsorearen beste erabilera bat [PUF12] dokumentuan adierazten da non intentsitate-ahalmenaren kalkulurako konparaketa egiteko SAW sentsoreak erabiltzen diren. Alde batetik SAW sentsoreak erabiliz eroalearen tenperatura neurtzen da eta beste alde batetik, neurketa ez zuzena erabiliz, estazio meteorologikoa, eta eroalearen tenperatura kalkulurako eredu termikoa erabiliz kalkulatu da eroalearen tenperatura. Dokumentuan metodo bien arteko konparaketa egiten da.

2.1.1.6. MICCAren EMO (Enhanced Monitoring of Overhead Transmission Line)

Energia hornitzaileek euren sare elektrikoaren erabilera eraginkorra izan dadin gero eta arreta gehiago ipintzen dutela ezaguturik eta horretarako funtsezko faktore bat elikadura linearen tenperatura neurketa dela kontuan izanik, MICCAk elikadura linearen tenperatura neurketarako monitorizazio irtenbide zehatzena bilatu zuen. Microtronics-ek EMOREkin tentsio altuko lineen segimendurako sistema fidagarria garatu zuen, honela linea elektrikoaren tenperatura datua neurtu eta transmitituz [MIC09].

EMO sistemak sentsore baten bitartez, ikus 2.8 eta 2.9 irudiak, eroalearen tenperatura neurtzen du. Lineako sentsoreak neurturiko tenperatura datua egiaztatu eta transmititzen du [EMO].



2.8 irudia. Linea sentsore estandarra -25°C tik 85°C-ra [EMO].



2.9 irudia. EMO linea sentsorea [EMO].

EMO sistemaren instalazioak Alemaniako TenneT, transmisio sistema operadorearen, Italiako TERNA eta Suitzako Swissgrid-ean instalaturik daude [ENT15].

2.1.1.7. Protura Line Sensor

Protura AS konpainiak tentsio altuko transmisio eta banaketa sareentzako irtenbide eta teknologiak eskaintzen ditu, denbora errealean linea elektrikoaren temperatura neurketarako Protura Power Line Sensor sentsorea eskaintzen du, ikus 2.10 irudia.

Protura linea sentsoreak aire temperatura, eroalearen temperatura eta lurrarekiko distantzia neurtzen ditu distantzi neurketarako laser gailu bat erabiliz. Irudiak transmititzea ahalbidetzen duen kamera digital batez osaturik dago [PEA09][MOG12].

Sentsoreak informazioa GPRS bitartez bidaltzen du, linearen inguruko eremu magnetikoaren energia neutralizatzen duen pieza biko transformadore berezi batez elikatzen da eta lineako korrontea 55 A baino handiago denean zirkuitu biltzaile (harvesting circuit) batez baliatzen da sentsorea elikatzeke eta txikiagoa denean elikadura laguntzailea erabiltzen da [MOG09][MOG10][MOG12].



2.10 irudia. EMO linea sentsorea [EMO].

2.1.1.8. OTLM (Overhead Transmission Line Monitoring)

OTLM linea elektrikoek tenperatura eta korronea aldi berean neurtzeko garatu zen. 2.11 irudian gailuaren instalazioa eroalean erakusten da, kokapen honekin sentsorea kokaturik dagoen puntuetan tenperatura zuzenean neurtzen da.



2.11 irudia. OTLM gailua [OTLMa].

Ez du kanpo elikadurarik behar, instalaturik dagoen eroalearen bitartez elikatzen da korronte transformadore eta unitate hornitzailea erabiliz. Neurketa datuak kontrol zentzura komunikazio kanalak erabiliz transmititzen dira (GSM, GPRS, UMTS). Gailuak GPS seinale hartzaile bat dauka, honela korrone eta tenperatura datuak denbora eta gailuaren kokapen zehatzean neurtzen dira [OTLMb][GAB10].

2.12 irudian OTLM gailuaren atalak ageri dira.



2.12 irudia. OTLM gailuaren atalak [OTLMa]

[GAB10] eta [GAB11] dokumentuetan OTLM sistemaren instalazio ezberdinen aplikazioak adierazten dira. Lehenengoan sistema proiektu pilotu batean erabiltzen da gailuaren funtzionamendua aztertzeko; eta bigarrenean Esloveniako linea batean intentsitate-ahalmen maximoa kalkulatzeko, OTLM sistema eroalearen temperatura neurtzeko erabiltzen da. [LOV15] dokumentuan sistemaren erabileraren beste adibide bat adierazten da.

OTLM sistemaren instalazioak Kroaziako Transmisio Sistema Operadorean, HOPS, edo Esloveniako ELES Sistema Operadorean aurkitu daitezke. Esloveniako sisteman eroalearen temperatura neurtzen da eta Kroaziakoan temperatura eta korronea [ENT15].

2.1.1.9. Astrose

Fraunhofer Institute for Electronic Nano Systems ENAS institutuak ASTROSE – Autonomus sensor network for condition monitoring of power lines sistema garatu zuen. Alemaniako Hezkuntza eta Ikerkuntza Ministerio Federalak sortu zuen ASTROSE ikerkuntza proiektuan tentsio altuko lineen monitorizaziorako oinarritzko sistema baten kontzeptua garatu zen. Sistema linea elektrikoaren temperatura, korronea eta inklinazioa neurtzen duten zenbait sentsore nodoez osaturik dago. Ikerkuntza proiektuaren amaierarekin 2012ko irailean oraindik martxan dagoen proba hasi zen. Proba Chemnitz inguruko 110 kV-eko linea elektriko batean egiten da [ASTROSEb]. ASTROSE sisteman sentsoreen datuak elikadura baxuko mikrokontroladore batek jasotzen ditu eta komunikazio kontrola egiten du. 15 minututik behin datu guztiak hari gabeko komunikazioa erabiliz linea elektrikoan zehar transmititzen dira transformazio estaziora.

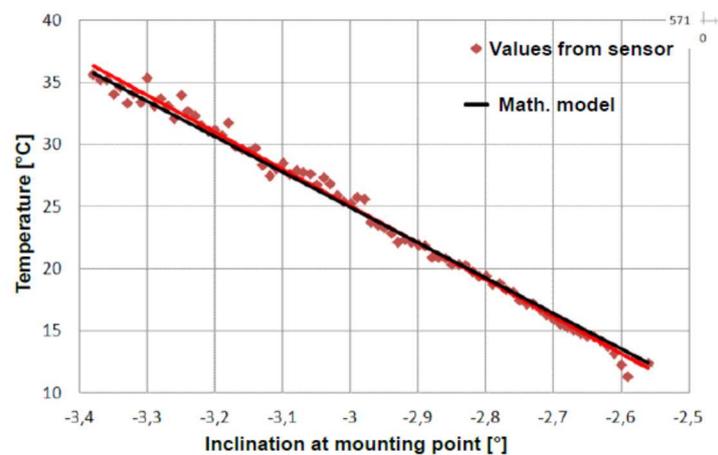
Transformazio estazioan datuak Interneten oinarrituriko sistema batean sartzen dira. Sentsore nodo bakoitza bere IDarekin (erabiltzailearen identifikatzailea), identifikatzen da eta geografikoko lokalizatuta dago. Sentsoreak elikatzeko behar duen energia, kokaturik dagoen lineatik hartzen du[ASTROSEa].

2.13 irudian sentsore nodo baten kokapena ageri da.



2.13 irudia. ASTROSE sentsore nodoa [KUR13].

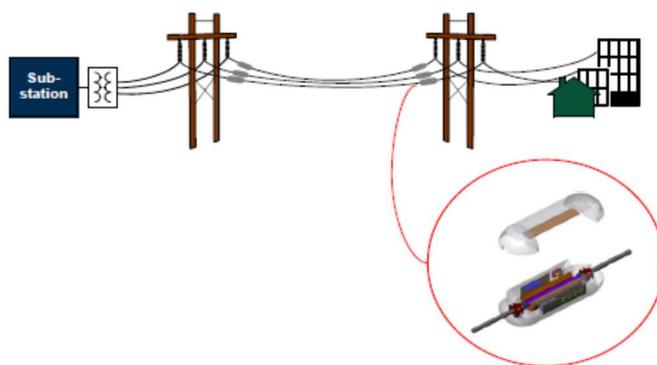
[KUR13] eta [VOI14] dokumentuetan sistemaren funtzionamendua eta egindako probaren emaitzak adierazten dira. Emaitza horien artean eroalearen inklinazio eta tenperaturaren arteko erlazioa adierazten duen grafiko bat aurkitzen da (2.14 irudia) grafikoan ikusten da sentsoreak neurturiko balioak eredu matematikoarekin (katenaria kurba eta linea elektrikoaren hedapen-termikoa) bat datozela.



2.14 irudia. Inklinazio temperatura erlazioa [KUR13].

2.1.1.10. PLSN (Power Line Sensor Network)

[YI06] dokumentuan Atlantako Georgia Institute of Technology institutuan linea elektrikoaren monitorizaziorako proposaturiko "Power Line Sensornet", PLS, aurkezten da. Linea elektrikoan kokatzen diren hainbat sentsorez osaturik dago, ikus 2.15 irudia, sentsore hauek linearen monitorizazioa dute helburu, parametro ezberdinak neurtuz eta linearen egoera termikoaren edo akatsen berri emanez. Sentsore modulu bakoitzak komunikazio nodo gisa funtzionatzen du eta komunikazioak elkarren alboan dauden nodoen artean izango dira. Elikadura linearen amaieran komunikazio nodo nagusi bat egongo da datu biltzaile lana egiteko eta datuak bidaltzeko.



2.15 irudia. PLSren sentsoreen kokapena [YI06].

Proposaturiko sistemaren prototipoa eta honen laborategi saiakuntzen emaitzak [YI09] eta [YI09b] dokumentuetan adierazten dira. Prototipoaren modulua laborategian probatu zen 1100 A eramateko gai zen Drake eroale elektriko batean. Lorturiko emaitzak PLSN prototipoak linea elektrikoaren monitorizazioa burutzeko gaitasuna egiaztatu zuten.

[DIV10] dokumentuan proposaturiko PLSN proiektuaren garapenaren txostena adierazten da jarraituriko pausu eta proba eta emaitza ezberdinak azalduz.

2.1.1.11. STICK-ON

Eroaleen tenperatura monitorizaziorako zenbait gailu komertzial aztertu ondoren, [MOG10] eta [MOG12] dokumentuetan eroalearen tenperatura eta korronea neurtzen dituen Stick-on hari gabeko sentsorea aurkezten da. Sentsore honek ez du behar kanpo elikadurarik eta kostu ekonomiko baxuko sentsorea da. Tamaina txikia du eta eroalearen geometriak ez du sentsorearen

erabilera mugatzen. Sentsorearen prototipoa garatzen da eta bere funtzionamendu autonomoa egiaztatzen da.

2.1.2. BIBRAZIOAREN MONITORIZAZIOA

Aireko linea elektrikoetako eroaleak haizearen baldintzak direla eta mugimenduak jasaten dituzte; baoan zehar haizearen eragina dela eta baoren oszilazio mekaniko intrintsekoak barne hartzen dituen mugimendu txiki edo handiak sortzen dira. Eroalearen bibrazio azterketa soilik geziaren funtzio den baoaren funtsezko maiztasuna antzemateko erabiltzen da. Gailua zuzenean aireko linea elektrikoetako eroalean konektatzen da eta denbora errealean eta beste daturik erabili gabe linearen gezia balioztatzen du.

2.1.2.1. Ampacimon

Ampacimon sistema Belgikako Liege Unibertsitatean garatu zen. Sistema garatu zutenetarikoa bat Jean-Louis Lillien Dr izan zen. Ampacimon sistemak hiru ardatzeko azelerazioak neurtzeko azelerometroak ditu. Datu honetatik abiatuz baoaren maiztasun naturala kalkulatu da honela gezia zuzenean kalkulatu daitekeelarik, bao luzera edo altuera desberdintasun baliorik erabili gabe. Geziaren balioarekin, intentsitate-ahalmena kalkulatu da.

Eroalearen bibrazio-higiduran oinarrituz zuzeneko gezia zehaztapena burutzen duen multzoa da. Neurketa moduluak linearen edozein posiziotan kokatu daitezke eta linea zerbitzuan edo zerbitzutatik kanpo egon daitekeelarik.

Ampacimonen originaltasuna denbora errealeko geziaren neurketa zuzenean datza, bibrazio maiztasun espektroa erabiliz. Geziaren balioa oinarritzeko maiztasun gezia, f_0/gezia , erlaziotik ateratzen da, beste daturik erabili gabe. Honela linea tarte kritikoetan geziaren monitorizazioa fidagarritasun osoarekin betetzen da, eta sistemaren instalazioa eta erabilera oso sinplea da. [AMP11][AMP11b].

Gezia zehaztu ondoren Ampacimon softwareak lineak onartu dezakeen korrante maximoaren balioa kalkulatu du denbora errealean, IEEE eredu termikoa erabiliz. Ereduan balio hori linearen karga, eroalearen konstante, eroalearen batez besteko tenperatura eta giro egoeren funtzio da.

Sistema Ampacimon modulu, zuzenean aire lineetan kokatzen direnak, ikus 2.16 irudia, eta Ampacimon zerbitzariarekin, linea operadorearen SCADA

sistemarekin konektaturik, osatzen da. Sentsoreek datuak GSM/GPRS bidez Ampacimon zerbitzarira bidaltzen dira. Zerbitzariak gezia eta intentsitate-ahalmena zehazten ditu eta datua SCADA/EMS sistemara eta web interfazera bidaltzen ditu [AMP12][AMP12b].



2.16 irudia. Ampacimon.

Ampacimon sistemaren saiakuntza praktikoa bat Belgikako Elia operadore sistemaren egiten da. Kasu honetan zenbait ampacimon moduluen instalazioa, ikus 2.17 irudia, eta sistema oso bat garatu dira kontrol sistema nazionalarekin loturak eginez eta sistemaren egiaztapenerako topografoen neurketekin sistemaren neurketak konparatuz. Saiakuntzatik ondorioztatzen da alde batetik sistemaren neurketa errore tarte baten barne onargarriak direla baina beste alde batetik geziaren aldaketak ez direla soilik karga aldaketak eragindakoak baizik eta eguraldiaren eragina erabatekoa dela gezi aldaketan [CLO10].



2.17 irudia. Ampacimon sentsorea ELIA sarean [CLO10].

2.1.3. TRAKZIOAREN MONITORIZAZIOA

Trakzioaren monitorizaziorako isolagailu kateekin seriean zelula karga instalatzen da. Zelula karga dorre eta isolagailu kateen artean instalatzen da eroalearengandik elektrikoki isolatzeko. Trakzio balioen eta geziaren arteko erlazio zuzena dagoenez trakzioaren monitorizazioa aukera ona da linearen gezia kontrolatzeko.

Trakzioaren monitorizazioan zelula karga hutsak edo zelula kargak sistema oso batean integraturik duten monitorizazio sistemak erabiltzen dira. Monitorizazio sistema oso baten adibide komertziala CAT-1-en aurkitzen da. Beste monitorizazio sistema ez komertzial batzuk ere existitzen dira.

2.1.3.1 CAT-1

CAT-1 Monitorizazio sistema komertziala eroalearen trakzio monitorizazioan oinarritzen da. Denbora errealean linearen balorazioa zehaztea ahalbidetzen du, ainguraketa euskarriaren bao erregulatzaille bien trakzio mekanikoa monitorizatuz. Geziak, tartekak eta eroalearen batez besteko tenperaturak CAT-1 sistemaren neurketekin zuzeneko erlazioa dute. Sistema 1993.urtean patentatu zen, 2.18 irudian erakusten da sistema ainguraketa-euskarriaren alde bietako isolagailu kateetan jasaten den indarra neurtzeko karga zelula bik osatzen dutela, besteak beste. CAT-1-en unitate nagusia NEMA itxierako, eguzki energiarekin elikaturiko datuak jasotzeko eta prozesatzeko unitatea da, karga zelula birekin, NRS (Net Radiation Sensor) sentsorearekin eta giro tenperatura sentsorearekin osatuz. NRT (Net Radiation Temperature) tenperatura edo eguzki tenperatura, eroaleak korronterik ez daramanean daukan tenperatura, NRSarekin neurtzen da, giro tenperatura haize eta eguzki efektuekin konbinatuz [CAT-1][VAL].

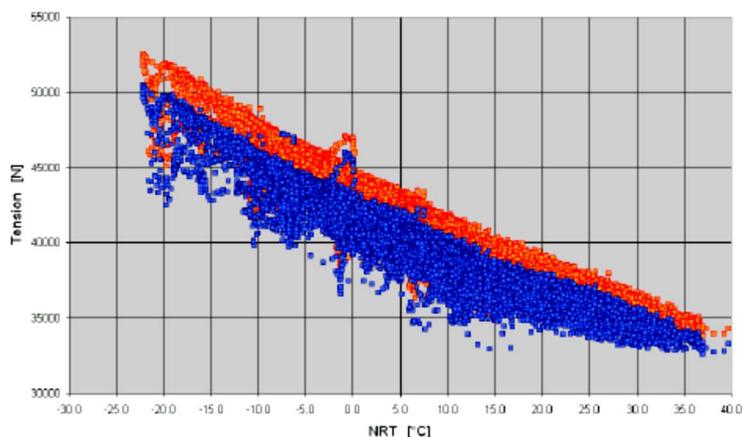


2.18 irudia. Karga zelula [CAT-1].

CIGRE 498 dokumentuan, "Guide for Application of Direct Real-Time Monitoring Systems, CAT-1 sistemaren aplikazio bat adierazten da tenperatura neurketa zuzenaren sentikortasuna ebaluatzeko helburuarekin CAT-1 sistema eta zuntz optikoko sistemaren emaitzak konparatuz.

CAT-1 sistemaren beste aplikazio bat Estatu Batuetako Energi Sailak (DOE) babesturiko Salt River Proiektua (SRP; Phoenix, Arizona, U.S) da [HUN06]. Proiektu hau tenperatura altuko eta gezi txikiko ACCR eroale bat probatzeko da. Aukeraturiko linea basamortuko klimapean zegoen eta linearen karga faktore altua zela eta aukeraturiko linearen kokapena oso egokia zen ACCR eroalearen gezi monitorizazioa burutzeko.

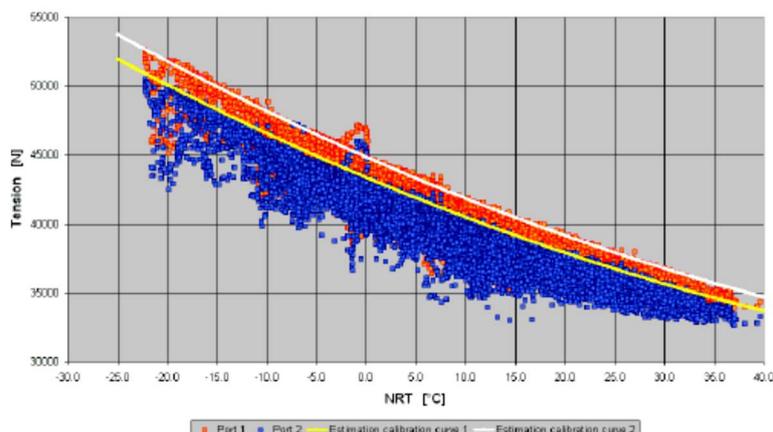
[SAN13] dokumentuan Finlandiako Fingrid-ek Lappeenranta Simolnti-eko linean egindako CAT-1 instalazioa adierazten da. Zirkuitu bikoitzeko linea bateko fase bitan kokatu ziren CAT-1 sistemaren karga zelula bi. Instalazioaren helburua lineen monitorizazioa zen, linea bietariko bat mantenu lanak edo gertakizun batengatik deskonektatzen bazen. Denbora tarte ezberdin biko datuak erakusten dira, 2001etik 2004ra tarte eta 2012. urtea. 2001etik 2004ra tartean denbora tarte ezberdinetako datuak adierazten dira. 2.19 irudian 2001-2004 urteen tarteei dagozkien datuak erakusten dira; paraleloan dauden linea bientzako zelula kargek neurtzen duten trakzioa NRT tenperaturaren funtzioan adierazten da; linea bakoitzaren datuak kolore batekin daude. Irudian monitorizaturiko eroale bien trakzioak ezberdinak direla erakusten da, ezberdintasun hau eroaleak dorre egituraren maila ezberdinetan kokaturik daudelako sortzen da. Beste alde batetik irudian adierazten diren emaitzak puntu hodei bat osatzen dute, hau da tenperatura berdinarentzako trakzio ezberdinaren datuak lortuz.



2.19 irudia. Fingrid-ek Lappeenranta Simolnti-eko linean egindako CAT-1 instalazioaren datuak: trakzioa-NRT [SAN13].

2.20 irudian 2.19 irudiko datuez gain kalibraketa kurba estimatuak ere erakusten dira. Kalibraketa kurbak, eroalearen egoera ekuazioaren kurbak, puntu hodeiaren goiko aldean kokatzen dira.

Kalibraketa kurben gaintetik eta apitik zenbait puntu daude. Puntu hauek eroalean izotza dagoen egoera (0°C inguruan), edo haize zakarra edo euri gogorreko egoera adierazten dute eroalearen trakzioan eraginez [SAN13].



2.20 irudia. Fingrid-ek Lappeenranta Simolnti-eko linean egindako CAT-1 instalazioaren datuak: trakzioa-NRT eta kalibraketa kurba estimatuak [SAN13].

2.1.3.2 TAM (Tension and Ampacity Monitoring)

[ALB13] dokumentuan Euskal Herriko Unibertsitateko, UPV/EHU, proiektu baten ondorioz garaturiko sistemaren prototipoa adierazten da: TAM (Tension and Ampacity Monitoring) sistema. Sistema eroalearen trakzioaren giro tenperaturaren, eguzki erradiazioaren eta korrante intentsitatearen

monitorizazioan oinarritzen da. Sistemak isurpena, eroaleak denboran zehar jasandako deformazioa, kontuan hartzen du eta trakzio-tenperatura erreferentzia eta eroalean onargarri den tenperatura maximoa kalibratzen ditu intentsitate-ahalmena lortzeko.

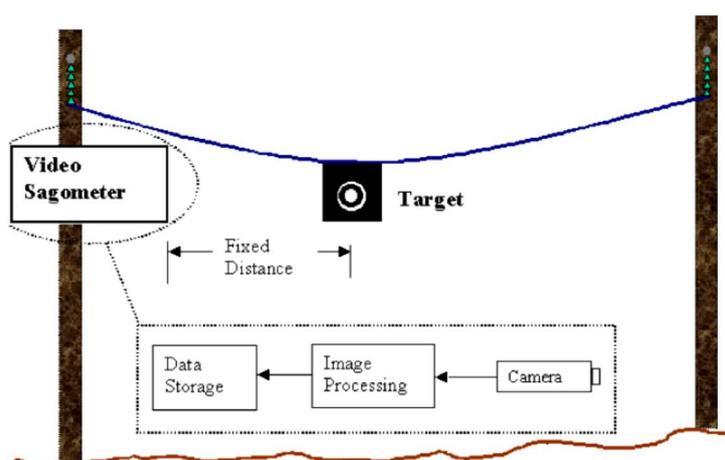
2.1.4. GEZIAREN MONITORIZAZIOA

Geziaren neurketan oinarritzen diren monitorizazio sistemak sentsore optiko, ultrasoinu edo radar bidezkoetan oinarritzen dira gezia neurtzeko linearen bao finkoetan.

2.1.4.1. Sagometer

Sagometer edo bideo Sagometer EPRI eta Kaliforniako Energia Batzordeak garaturiko sistema da eta EDM International, Inc konpainiak merkaturatzen du. Sagometerrak irudi digitalaren teknologia erabiltzen du aireko eroale eta lurraren arteko distantzia zehazteko eta ondoren denbora errealean sistemaren operadoreei informazioa komunikatzen dio edo informazioa biltegitratzen da geroago erabili ahal izateko. Sagometerra egunez baita gauzez lan egiteko gai da eta eroalearen mugimendu horizontala ere kontrolatzen du. Sagometerrak sentsore gehigarriekin lan egin dezake haizearen abiadura eta norabidea, giro tenperatura edo eguzki erradiazioa neurtzeko besteak beste. [EPRI01].

2.21 irudian Sagometerraren funtzionamendu eskema erakusten da.



2.21 irudia. Video Sagometer [EPRI01].

Sagometerraren irudi digitalaren sistema, garraio linearen euskarrian edo monitorizatu beharreko linea ikuskatu ahal den baoaren edozein puntuan

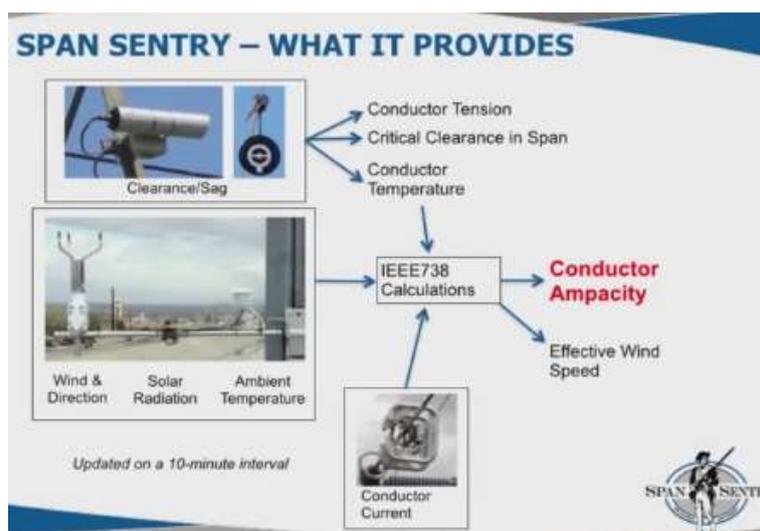
kokatu ahal da. Sagometerra instalatzen denean gainbegiratu beharreko helburu den linearen irudi bat erabiliz kalibratzen da eta helburuaren kokapena eroalearen geziarekin erlazionatuz. Horrela gezia helburu den linearen kokapen aldaketaren bidez zehazten da eta informazioa denbora errealean erabilgarria da edo geroago erabiltzeko biltegitratzen da.

2.1.4.2. Span Sentry

1990eko hamarkadan Estatu Batuetako EDM International, Inc. konpainiak linea elektrikoaren balioztapen ikerkuntzak egin zituen, hainbat urteetako datu meteorologikoetan oinarrituriko balioztapen dinamikoak eginez. Ikerkuntza hauetan oinarrituz aurr eko atalean azaldu den "Sagometer" sistemaren lehenengo prototipoak garatu zituen Estatu Batuetako Energia Elektrikoaren Ikerkuntza Institutuarekin (Electric Power Research Institute (EPRI)) batera.

2012. urtean EDM konpainiak lineen balioztapen dinamikorako bere lehenengo sistema garatu zuen: Span Sentry. Sistema honek denbora errealean linearen intentsitate-ahalmenaren balioa ematen du. Span Sentry sistemak eroalearen gezia kameraren bidez neurtzen duen Sagometerraren elementuak ditu. Hainbat sentso kokatuz, Span Sentry-k eroalearen altuera, linea korrontea eta baldintza klimatologikoak monitorizatzen ditu eroalearen intentsitate-ahalmena kalkulatzeko. Span Sentry-k SCADA edo Internet bidez denbora errealean datuak komunikatzen ditu [EDM14][AVISTAR].

2.22 irudian Span Sentry sistemaren funtzionamendu eskema agertzen da. Eskeman eroalearen intentsitate-ahalmenaren kalkulua adierazten da Sagometerraren neurketetan, eguraldi datuetan eta eroalearen korronte neurketan oinarrituz eta IEEE738 estandarrekin baliatuz.



2.22 irudia. Span Sentry eskema [AVISTAR]

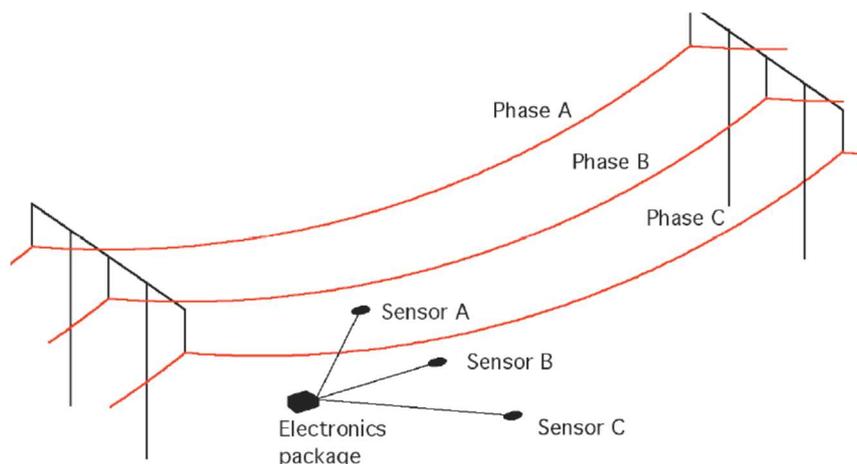
2.1.5. EREMU ELEKTROMAGNETIKOAREN MONITORIZAZIOA

Eremu elektromagnetikoaren neurketan oinarritzen da. Denbora errealean Eremu magnetikoak eroale bakoitzaren kokapena ematen du.

2.1.5.1. Promethean Devices Real-Time Transmission Line Monitor (RT-TLM)

Promethian Device, Estatu Batuetako teknologia enpresak aireko linea elektrikoaren gainbegiraketa burutzeko Promethean Devices Real-Time Transmission Line Monitor (RT-TLM) sistema garatu zuen. Kostu baxuko sentsoareak erabiliz sistemak aireko linea elektrikoaren tenperatura, fase korronea eta intentsitate-ahalmenaren (garraiatu ahal den korronea maximoa) informazioa ematen du. Instalazio errazeko eta guztiz autonomoa den sistema da [HAL08].

Promethean RT-TLM eremu sistema batean, linearen egoera antzematen du eta analisia egin eta denbora errealeko informazioa ematen duen estazio batean oinarritzen da. Eremu sistema estazioarekin hari gabeko komunikazio bidez komunikatzen da. RT-TLM sistemak hiru sentsoare ditu, bakoitza lineako fase bakoitzaren azpian kokaturik, ikus 2.23 irudia, eta sentsoare hauek datu murrizketa eta transmisioaz arduratzen den atal elektronikorekin estekaturik daude. Sentsoareek linea trifasikoaren eremu elektriko eta magnetikoak neurtzen dituzte eta datu hauekin eroalearen fase korronea, tenperatura, intentsitate-ahalmena eta gezia kalkulatu dira [HAL08] [SYR09].



2.23 irudia. Promethean RT-TLM sentsoreen kokapena [HAL08b].

[HAL08b], [HAL08d] eta [SYR10] dokumentuetan sistemaren aplikazio pilotuaren azalpenak eta emaitzak adierazten dira.

2.1.6. EROALEAREN ERREPLIKA

Azertu beharreko linearen eroalearen erreplika batean egindako neurketetan oinarritzen da. Erreplika azertu beharreko eroalearekin paraleloan kokatzen da eta horrela lineako eroalearekin ez dago inongo kontaktu fisikorik.

2.1.6.1. ThermalRate (replica conductor based DTR system)

ThermalRate Estatu Batuetako PIKE konpainiak patentaturiko sistema da. Linean zehar instalatzen diren ThermalRate monitorea osotzen da (TRM). TRM lineako eroalearen erreplika da. ThermalRate sistemak IEEE-738 estandarra erabiltzen du lineak jasan ahal duen korrante maximoa kalkulatzeko [THERMALRATE].

2.24 irudian ikus daiteke sistema hau erabiltzean ez dagoela lineako eroalearekin inongo kontaktu fisikorik.



2.24 irudia. TRM [THERMALRATE]

ThermalRate monitorizazio sistema sentsoare eta kontroladore batez osaturik dago. Sentsoreak linearen portaera imitatzen du. Sentsorea lineako eroalearen paralelo kokatzen diren bi erreplikaz osatzen da. Erreplika bat potentzia konstantearekin berotzen da eta bestea ez da berotzen. Erreplikak lineako eroalearen material, diametro eta azalera berdina dute eta bata bestearengandik behar bezain beste urruntzen dira bataren tenperaturak bestean eragin ez dezan. Sentsorea lineatik hurbil eta honen norabide berdinean orientatzen da Linearen norabide berdinean orientatzen da, horrela lineak eta erreplikak jasaten dituzten baldintza klimatologikoak berdinak izanik. Berotzen den erreplikaren tenperatura berotzen denarena baino altuagoa da. Eguraldi baldintzak erreplika bien arteko tenperatura ezberdintasunean eragiten dute. Tenperatura bien arteko konparaketa eginez eta IEEE-738 ekuazio estandarrak erabiliz, linearen ahalmena kalkulatu da. Baldintza klimatologikoen eragina kalkulatu da [THERMALRATE].

[AUS06] dokumentuan ThermalRate sistemaren adibidea adierazten da.

2.1.7. MONITORIZAZIO SISTEMEN KONPARAKETA

2.1 taulan aurreko lerroetan definituriko monitorizazio sistemen laburpena adierazten da, sistema bakoitzak zuzenean neurtzen duen parametroa eta sistemen zenbait aplikazio erreal aipatuz. Taulan adierazten da sistema bakoitzaren erabilpena edo helburua: linearen intentsitate-ahalmenaren kontrola, eroalearen azterketa, linearen gainbegiraketa akatsen aurrean,

linearen temperatura maximoaren kontrola, monitorizazio sistemaren azterketa, etab.

2.1 TAULA

MONITORIZAZIO SISTEMAK NEURTURIKO PARAMETROAK ETA APLIKAZIOAK

SISTEMA	NEURTURIKO PARAMETROA	APLIKAZIOAK
Power Donut	Eroale temperatura eta korrontea	<p>DLR sistemaren diseinu, instalazio eta aplikazioa [ENG96].</p> <p>ACSR eroalearen profil termikoaren egiaztapena [NAS04].</p> <p>Intentsitate-ahalmenaren kalkulurako metodo estatistiko baten balioztapena [NAS04].</p> <p>ACSR TAL eta ohiko AI 1350 eroaleen aplikazioen baliozkotzea [NAS04].</p> <p>Linea elektriko baten ahalmen balioztapen dinamikoa [MICH11].</p> <p>Linea elektrikoaren ahalmen kalkulurako instalazioa [EON11].</p> <p>Linea elektrikoaren garraio ahalmena handitzea. Intentsitate-ahalmenaren monitorizazioa [MUS11].</p> <p>Ahalmen arazoak dituen linea bateko instalazio pilotua, linearen ahalmen balioztapen dinamikoa [BERG13].</p>
Lindsey	Eroale temperatura eta gezia	Lindsey TLM sistemaren garapenerako instalazioa [TDW13].
SMT	Eroale temperatura eta korrontea	<p>Intentsitate-ahalmenaren estimaziorako sistema baten eta temperatura neurketarako sistema biren probak egiteko instalazio pilotua [BER11].</p> <p>Linea elektrikoaren garraio ahalmena handitzea. Intentsitate-ahalmenaren monitorizazioa [MAD13].</p>

SISTEMA	NEURTURIKO PARAMETROA	APLIKAZIOAK
FMC-T6	Eroale tenperatura eta korrontea	Linea elektrikoko akatsak antzemateko instalazio pilotua [CAR14].
RITHERM	Eroale tenperatura	Monitorizazio sistemen konparaketarako instalazio pilotua [WEI06]. Aireko linea elektriko bateko eroalearen kalkulaturiko eta neurturiko tenperaturen arteko konparaketa [BOH09]. Aireko linea elektriko baten portaera azterketa [ROD12].
EMO	Eroale Tenperatura	Temperatura altuko eta gezi txikiko eroale probarako instalazio pilotua [KUP10].
Protura Line Sensor	Eroale Tenperatura	
OTLM	Eroale Tenperatura eta korrontea	OTLM gailuaren funtzionamendua ingurune natural batean probatzea [GAB10]. Esloveniako linea bateko proiektu pilotua. Linearen ahalmen balioztapen dinamikoa [GAB11].
Ampacimon	Bibrazioa	Frantzia eta Belgikako linea elektrikoetan linearen ahalmen balioztapen dinamikoaren aplikaziorako [CLO10][CLO11]. Sorkuntza eolikoaren mozketak minimizatzeko [SCH12].
PLSN	Eroale Tenperatura eta korrontea	PLSN sentsoareak garatzeko ikerkuntza proiektua [DIV10]. Ahalmen arazoak dituen linea bateko instalazio pilotua, linearen ahalmen balioztapen dinamikoa [BERG13].
TAM	Trakzioa	Intentsitate-ahalmenaren kalkulua [ALB11b].

SISTEMA	NEURTURIKO PARAMETROA	APLIKAZIOAK
CAT-1	Trakzioa	<p>Lineako trakzioa neurtuz linearen garraio ahalmen neurketa[RAN00].</p> <p>Intentsitate-ahalmenaren kalkulurako metodo estatistiko baten balioztapena [NAS04].</p> <p>Monitorizazio sistemen konparaketarako instalazio pilotua [WEI06].</p> <p>“Oncor Electric Delivery Smart Grid Development Program (SGDP)” proiektuaren azken txostena. Linearen ahalmen balioztapen dinamikoaren aplikaziorako zenbait lineen denbora errealeko monitorizazioa [GOO13].</p>
Sagometer Span Sentry	Gezia	<p>EPRIk egindako gailuen balioztapen txostena [PHI11].</p> <p>“Oncor Electric Delivery Smart Grid Development Program (SGDP)” proiektuaren azken txostena. Linearen ahalmen balioztapen dinamikoaren aplikaziorako zenbait lineen denbora errealeko monitorizazioa [GOO13].</p>
Promethian Devices	Eremua	<p>“Oncor Electric Delivery Smart Grid Development Program (SGDP)” proiektuaren azken txostena. Linearen ahalmen balioztapen dinamikoaren aplikaziorako zenbait lineen denbora errealeko monitorizazioa [GOO13].</p>

SISTEMA	NEURTURIKO PARAMETROA	APLIKAZIOAK
ThermalRate		Linea elektrikoaren garraio ahalmena handitzea [DAC03]. Linearen ahalmen balioztapen dinamikoa [AUS06]. Sorkuntza eolikoaren mozketen murrizketak [ORE07]. Intentsitate-ahalmenaren estimaziorako sistema baten eta tenperatura neurketarako sistema biren probak egiteko instalazio pilotua [BER11].
ASTROSE	Eroale tenperatura	110 kV-eko linean probak [VOI14].
STICK-ON	Eroale Tenperatura eta korrontea	Gailuaren garapena [MOG10] [MOG12].

2.2. GEZI TXIKIKO EROALEAK

Tenperatura altuko eta gezi txikiko eroaleak edo HTLS (high temperature low sag) eroaleak ACSR eroale arruntarekin alderatuz material edo eraiketa berriak erabiltzen dituztenak dira. Material berrien artean, INVAR, tenperatura erresistenteak Al-Zr aleazioak, indar handiko altzairu, metal konposite eta polimero konpositeak erabiliz.

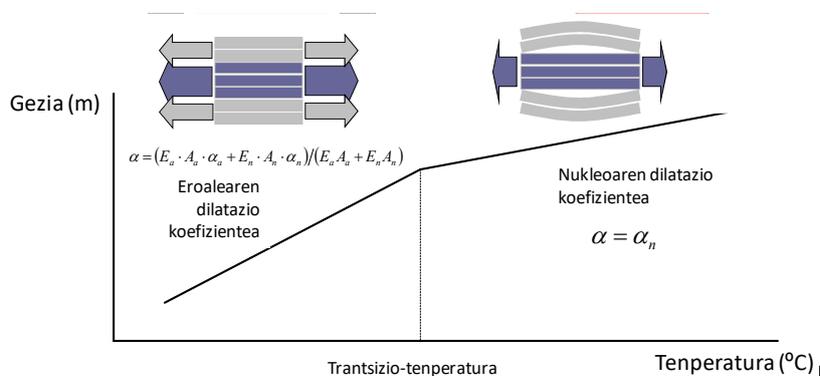
HTLS eroaleak eroale arruntak baino tenperatura altuagotan lan egin dezakete. Eroale arruntak, ACSR eroaleak adibidez, 90 °C azpitik lan egin dezakete hortik gora aluminioa suberatu egiten baita eta ezaugarri mekanikoak galtzen baititu. Tenperatura altuagotan lan egiteko, aluminio aleazio bereziak garatu dira. Hauek tenperatura altuagotan ez dute ezaugarri mekanikorik galtzen eta antzeko eroankortasun elektrikoa dute. Aleazio hauen artean gehien erabiltzen direnak TAl aleazioa (Thermal-Resistant Aluminum Alloy), ZTAl aleazioa (Extra Thermal-Resistant Aluminum Alloy edo Special Thermal-Resistant Aluminum Alloy) dira. Beste aukera bat 1350-O aluminio suberatua erabiltzea da. Aluminio hau 400 °C-tik gora suberatzen da ekoizpen prozesuan. Ondorioz, erresistentzia mekanikoa txikiagoa du baina balio hau ez da murriztuko linearen operazio-tenperatura dela eta. Aluminioen ezaugarri termiko, elektriko eta mekanikoak 2.2 taulan adierazten

dira. Bestalde, aluminioaz gain, nukleoa ere tenperatura altuan lan egiteko gai izan behar da eroale hauetan.

2.2 TAULA
TENPERATURA ALTUKO ALUMINIOA

	Tenperatura maximo iraunkorra (°C)	Eroankortasun elektriko minimoa (% IACS)	Hauztura tentsio minimoa (kg/mm ²)
Al	90	61	16,2
TAl	150	60	16,2
ZTAl	210	60	16,2
1350-O	400	63	6

Tenperatura altuko eta gezi txikiko eroaleak trantsizio-tenperaturaren gainetik duen portaeran oinarritzen dira. Trantsizio-tenperatura gainetik aluminioak ez du karga mekanikorik eusten eta karga mekaniko guztia nukleoaren gain dago. Hau gertatzearen arrazoia aluminioaren dilatazio termikoko koefizientea nukleoarena baino handiagoa izatea da. Ondorioz, trantsizio-tenperaturaren gainetik eroalearen portaera nukleoaren portaeraren arabera da eta nukleoaren dilatazio koefizientea eroalearena baino txikiagoa denez, gutxiago luzatuko da tenperatura igotzean (ikus 2.25 irudia).



2.25 irudia. Trantsizio-tenperatura.

Beraz, gezi txikiko ezaugarria hiru parametroen arabera da:

- Eroalearen dilatazio koefizientea.
- Nukleoaren dilatazio koefizientea.
- Trantsizio-tenperatura.

Parametro hauen balioa zenbat eta txikiagoa izan eroalearen gezi txikiko ezaugarria hobea da. Ondorioz, gezi txikiko eroaleak dilatazio koefiziente txikiko nukleoko materialekin edota trantsizio-tenperatura txikiekin diseinatzen dira.

2.3 taulan ohiko eroale eta HTLS eroaleen nukleo eta aluminioaren arteko ezberdintasunak adierazten dira, osatzen duten materialetan oinarrituz.

2.3 TAULA

OHIKO EROALEA ETA HTLS EROALEA. NUKLEOA ETA ALUMINIOA

	OHIKO EROALEA	HTLS EROALEA
NUKLEOA	Altzairua	Altzairu aleazioa Konposite (aluminio edo karbono)
ALUMINIOA	Aluminioa Biribila	Aluminio suberatu Aluminio aleazioa Trapezoidalak

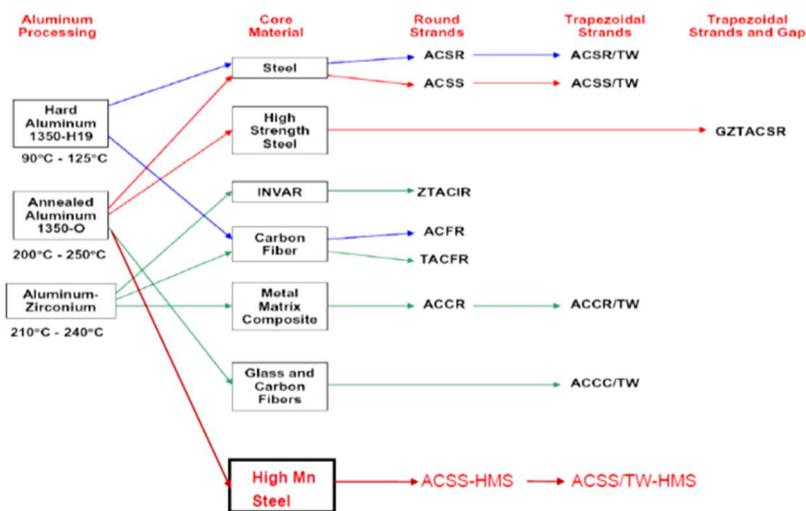
Lehenbiziko tenperatura altuko eta gezi txikiko eroaleak 70. hamarkadaren hasieran garatu ziren Japon eta Ipar Amerikan. Japonian, GTACSR (Gap Type Thermal-Resistant Aluminum Alloy Conductor Steel Reinforced) eroalea [HOF05][YON05], gap motako eroalea, garatu zen eta Ipar Amerikan, suberaturako aluminioa duen ACSS (Aluminum Conductor Steel Supported) eroalea [THR99] agertu zen.

80ko hamarkadaren hasieran, Japonian, nukleoan erabiltzeko invar materiala sortu zen. Honekin lotuta, XTACIR/TW (Extra Thermal-Resistant Aluminum Alloy Conductor Invar Reinforced) eroalea [SAS85] garatu zen eta beranduago, ZTAI (Super Thermal-Resistant Aluminum Alloy) aleazioaren garapenarekin, ZTACIR (Super Thermal-Resistant Aluminum Alloy Conductor Invar Reinforced) eroalea. G(Z)TACSR (Gap Type Super Thermal-Resistant Aluminum Alloy Conductor Steel Reinforced) eroalea, ZTAI aleazioa duen gap motako eroalea, eta ACSS/TW eroalea, aluminiozko alanbre trapezoidalak dituen ACSS eroalea, garai hartan agertu ziren baita ere [THR99]. Duela urte batzuk, Ipar Amerikan konposite materiala erabili da nukleoan: ZTACCR

(Super Thermal-Resistant Aluminum Alloy Conductor Composite Reinforced) eroalea [McCU06] eta ACCC/TW (Aluminum Conductor Composite Core) eroalea [BRY07].

Eroale hauek, euren gezi txiki ezaugarria dela eta, gezi mugara ohiko eroaleak baino tenperatura altuagoko balioetan heltzen dira. Hau dela eta, onargarri diren tenperatura eta korrante maximoa altuagoak dira [CIG244][LAND07].

2.26 irudian eroaleek jarraituriko garapena erakusten da. Garapen honetan aluminio prozedura eta nukleo material ezberdinak konbinatuz lorturiko eroale mota ezberdinak adierazten dira.



2.26 irudia. Eroaleen garapena[METAL-LINK]

[CIG331] dokumentuan tenperatura altuko eroalea 100 °C baino gehiagoko tenperaturetako aplikazioetan jarraian lan egiteko edo larrialdi kasuetan 150 °C baino gehiagotan lan egiteko diseinaturiko eroale moduan definitzen da. Dokumentuan 2.4 taulan adierazten diren HTLS eroale motak ezberdintzen dira, aluminio eta altzairu konbinazio ezberdinak erabiliz fabrikaturiko eroaleak.

2.4 TAULA

HTLS EROALE MOTA EZBERDINAK [CIG331]

ACSS	<i>Aluminum Conductor, Steel Supported.</i> Altzairuzko nukleodun aluminio suberatuko eroalea.
ACSS/TW	<i>Trapezoidal shaped strands, Aluminum Conductor, Steel Supported.</i> Altzairuzko nukleodun aluminio suberatuko eroalea. Aluminiozko hariak zeharkako sekzioan trapezoidalak.
G(Z)TACSR	<i>Gap Type Super Thermal Resistant Aluminum Alloy, Steel Reinforced.</i> Gap motako eroalea. Aluminio geruza alanbre trapezoidalekin osatuta.
KTACSR	<i>High Strength Thermal Resistant Aluminum Alloy Conductor, Steel Reinforced.</i> Erresistentzia termiko altuko aluminiozko eroalea altzairuarekin indartua.
TACSR	<i>Thermal Resistant Aluminum Alloy Conductor, Steel Reinforced.</i> Ohiko altzairu txirikordatu dun nukleo batekin indartua.
ZTACSR	<i>Super Thermal Resistant Aluminum Alloy Conductor, Steel Reinforced.</i> Erresistentzia termikoko aluminio geruza alanbre trapezoidalekin osatutako eroalea. Altzairuarekin indartua.
ZTACIR edo STACIR	<i>Super Thermal Resistant Aluminum Alloy Conductor Invar, Reinforced.</i> Invar nukleodun ezaugarri termiko altuko aluminiozko eroalea.

2008 urtean Estatu Batuetako EPRI institutuak zenbait HTLS eroaleen azterketa egin zuen, eroale hauek merkatuan zeuden eroaleak izanik: ACSS/TW, ACCR, ACCC, GTACSR eta ZTACIR [EPR08].

2009ko HTLS eroaleak kalifikatzeko IEEE gidan [IEEE09] oinarritzko sei HTLS mota daude: INVAR, GAP, TACSR, ACSS, ACCR eta ACCC.

CIGREk eroale berriak lau taldetan sailkatzen ditu [WAR11]:

1 Mota: altzairuzko nukleo eta tenperatura altuak kontrolatzeko erresistentzia termiko altuko aluminio aleaziozko geruzarekin osaturiko eroaleak. Adibidez GAP, TAL Hacin.

2 Mota: altzairuzko nukleo eta tenperatura altuen eraginak kontrolatzeko aluminio suberatuko edo aluminio aleazio geruzarekin osaturiko eroaleak. Adibidez ACSS.

3 Mota: nukleo ez metaliko eta tenperatura altuak kontrolatzeko erresistentzia termiko altuko aluminio aleaziozko geruzarekin osaturiko eroaleak. Adibidez ACCR.

4 Mota: nukleo ez metaliko eta tenperatura altuak kontrolatzeko aluminio aleaziozko edo aluminio suberatuko geruzarekin osaturiko eroaleak. Adibidez ACCC.

[ADB15] dokumentuan 2.5 taulako datuak adierazten dira. Datu hauek gaur egun munduan zehar instalaturiko HTLS eroaleen gutxi gorabeherako luzera eta eroale hauen fabrikatzaile diren konpainia batzuk adierazten dira. Baita ere eroale hauek eta ohiko ACSR eroalearen arteko erlazioa garraio ahalmen eta prezioari dagokionez.

2.5 TAULA

HTLS EROALEAK ACSR EROALEAREKIN KONPARATUZ [ADB15]

EROALEA	FABRIKATZAILEA	KORRONTE AHALMENA	PREZIOA	INSTALATURIKO EROALE LUZERA (Km)
ACSR	Zenbait	1	1	800,000
ACSS/TW	Southwire	1.8-2.0	1.2-1.5	56,000
GTACSR (gap)	J-Power	1.6-2.0	2	10,000
ACIR (invar nukleoa)	LS Cable	1.5-2.0	3-5	20,000
ACCR	3M	2-3	5-6.5	1,600
ACCC	CTC Global	2	2.5-3.0	22,000

2.5 taulako emaitzetan erakusten da gaur egun ACSR eroalea gehien erabiltzen dena dela baina bere korrante ahalmena HTLS eroaleena baino txikiagoa da. Beste alde batetik 2.5 taulan adierazten diren fabrikatzaileak baino gehiago daude eta ondorengo lerroetan gaur egun merkatuan dauden HTLS eroale horiek aztertuko dira: ezaugarriak, fabrikatzaileak eta instalazioak.

- **ACSS eta ACSS/TW**

Eskaera elektrikoaren gehikuntza zela eta, Estatu Batuetan 1970. urte aurretiko sare elektrikoaren ahalmena handitu beharra sortu zen. Une hartan eroale berriak sartu ziren erronkei aurre egiteko. Temperatura altuagotan lan egiteko gai ziren eroaleak sartu ziren, SSAC (Steel Supported Aluminum Conductor) eroalea [ADA74], gaur egun ACSS moduan ezagutzen dena, 1972an Reynolds Metals-ek sartu zuen. ASTM B856 eta ASTM B857 estandarrak sartu zirenean SSAC eroalearen izena ACSS-ra aldatu zen [BAK05].

80ko hamarkadaren erdialdean eroaleen alanbre biribilak forma trapezoidaleko alanbreekin ordezkatzeko hasi ziren eroale trinkoago bat garatuz; ACSS/TW eroalea garatu zen [THR99] (2.27 irudia).



2.27 irudia. ACSS/TW eta ACSS eroaleak.

ACSS eroalearen nukleoa tentsio mekaniko oso altuko altzairuzko nukleoa izaten da eta nukleoaren inguruan bihurrituta aluminiozko alanbreak izaten ditu. Lan tenperatura 200 °C ingurukoa izaten da eta nukleoa aluminio kapa batekin estalita dagoenean 260 °C-raino heldu ahal da. Nukleoa altzairu galbanizatua baldin bada 245 °C-tan funtziona dezake [HER14]. ACSS eroalearen tenperatura muga altzairuzko nukleoaren materialak inposatzen du (2.6 taula).

2.6 TAULA

ACSS EROALEEN NUKLEO ETA ALUMINIOA, DILATAZIO KOEFIZIENTEA ETA TENPERATURA MAXIMOA

	Aluminioa	Nukleoa	Nukleoaren dilatazio koefizientea α_n ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	Temperatura maximoa ($^{\circ}\text{C}$)
ACSS ACSS/TW	Aluminio suberatu	Altzairua aluminioz estalia (20 SA)	$13 \cdot 10^{-6}$	200-250
		Altzairu galbanizatua	$11,5 \cdot 10^{-6}$	

ACSS eroalean, aluminioaren erresistentzia txikia da eta ondorioz eroalearen erresistentzia batez ere nukleoaren araberakoa izango da. ACSS eta ACSS/TW eroaleek ACSR eroaleen aluminio eta nukleoaren sekzio berdinak dituzte eta ondorioz ACSS eroaleen erresistentzia txikiagoa da. Nukleoan erresistentzia ultra handiko altzairua erabiliz ordea ACSR eroalearen erresistentzia parekatzea lor daiteke. Tamaina bera dutela suposatuz ACSS eroaleen erresistentzia ACSR eroalerenarekin aldera daiteke (2.7 taula).

ACSS eroalea nukleo inguruan forma biribil edo trapezoidaleko aluminioz bihurtzen da. Nahiz eta diseinu bat edo bestea erabili eroalearen erresistentzia mekanikoa nagusiki nukleoaren mende egongo da [THR06].

2.7 TAULA

ACSS EROALEEN NUKLEOAREN ETA ALUMINIOAREN HAUSTURA TENTSIOA ACSR EROALEREKIN
ALDERATUZ

	Nukleoa	Haustura tentsioa (kg/mm²)	Aluminioa	Haustura tentsioa (kg/mm²)
ACSR	Altzairu galbanizatua (ST1A)	133 - 143	Al	16,3 - 20,4
ACSS ACSS/TW	Altzairua aluminioz estalia	123 - 137	Aluminio suberatua	6 - 9,8
	Altzairu galbanizatua	140 - 147		
	Trakzio Erresistentzia handiko altzairu galbanizatua	154 - 165		
	Trakzio Erresistentzia handiko altzairua	154 - 165		
	Aparteko Trakzio erresistentzia handiko altzairua	174 - 186		
	Trakzio Erresistentzia ultra handiko altzairua	189 - 205		

Aluminio suberatuko alanbreetan trakzioa oso txikia denez, ACSS eroalean gertatzen den luzapen edo dilatazio termikoa funtsean altzairuzko nukleoarena da. Era berean, aluminioaren trakzio txikia dela eta, eguneroko karga trakzioak ez dio eragiten isurpenean.

ACSS/TW eroalearen portaera ACSS eroalearen berdina da baina izotz eta haize kargaren murrizketaren abantailarekin [THR99].

ACSS eroaleen kasuan instalazioa kontuz egin behar da eroalea kalteturik gerta ez dadin. aluminioaren biguntasuna dela eta, kontuz ibili behar da aluminioaren gainazala ez kaltetzeko. Fabrikatzaileek instalazioaren aurretiko tenkatze bat gomendatzen dute horrela trantsizio-tenperaturaren beherakada

bat lortzeko. Prozesu hau arriskutsua izan daiteke eroalea kaltetu baitezake ondo egin ezean.

ACSS eroalea ASTM (American Society Testing and Materials) estandarrak jarraituz fabrikatzen da. ASTM B-802 "Standard Specification for Zinc-5% Aluminum-Mischmetal Alloy-Coated Steel Core Wire for Aluminum Conductors, Steel Reinforced (ACSR)" eta B-803 "Standard Specification for High-Strength Zinc-5% Aluminum-Mischmetal Alloy-Coated Steel Core Wire for Use in Overhead Electrical Conductors" 1989 urtean garatu ziren estaldura berriko nukleoaren alabreen betebeharrak definitzeko [THR99]

ASTM B-857 "Shaped Wire Compact Concentric-Lay-Stranded Aluminum Conductors, Coated-Steel Supported (ACSS/TW)" estandarrak ACSS/TW eroaleen ezaugarri eta fabrikazio betebeharrak adierazten ditu eta ASTM B-856 "Standard Specification for Concentric-Lay-Stranded Aluminum Conductors, Coated Steel Supported (ACSS)" estandarrak ACSS eroaleena.

Eroale mota honen zenbait fabrikatzaile daude gaur egun eta eroalea munduan zehar hainbat kilometrotan instalaturik dago.

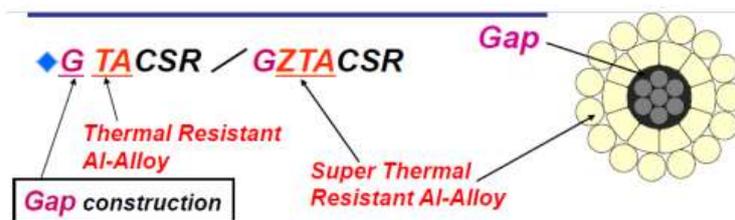
Adibidez, STERLITE fabrikatzaileak ACSS eroaleen aplikazioa ACSR eta AAC ohiko eroaleen ordezkapenean, galerak murrizteko eta potentzia altuagoak transferitzeko linea berrien eraikuntzan bideratzen du. ACSS eroaleak, ordezkatzeko duen eroalearen garraio ahalmena bikoiztu dezake. Indian, Sterlit-ek ACSS eta ACSR eroaleen baliokide ACSS 235 km instalatuz "LILO of D/C Korba -Birsingpur" Bharat Aluminium Company Limited-en 400 kV-eko linearen garraio ahalmena handitu zuen [STERLITE12].

General Cable Corporation fabrikatzaileak [GCC13] dokumentuan bere ACSS eroalearen hainbat aplikazio posible aipatzen ditu: existitzen diren aireko lineen potentzia handitzeko aireko linearen eroalea ACSS eroalearekin ordezkatzeko; linea berrietako instalazioa, gezia txikiagoa denez bao luzeagoak erabili daitezke euskarri gutxiago erabiliz eta horrela merkeago izango litzateke; nazioarteko interkonexioak eta energia berriztagarrien integrazioa sare elektrikoan.

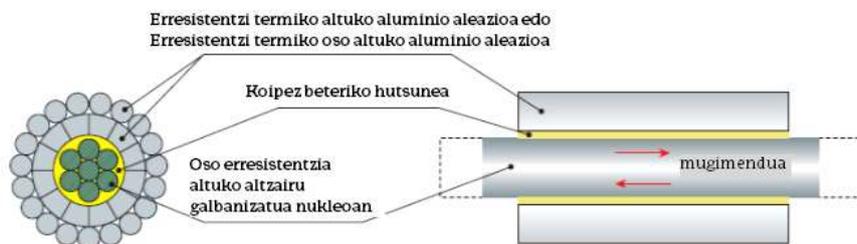
- **G(Z)TACSR**

GTACSR (Gap Type Thermal-Resistant Aluminum Alloy Conductor Steel Reinforced) eroalea 70eko hamarkadan Japonian Sumitomo Electric Industries

konpainiak garatu zuen. 80ko hamarkadaren hasieran GZTACSR eroalea (Gap Type Super Thermal-Resistant Aluminum Alloy Conductor Steel Reinforced), hau da, ZTAI aleazioa duen gap motako eroalea, garatu zen. G(Z)TACSR eroaleak gap motako eroale gisa ezagutzen dira eta eraikuntza berezia dute. Oso erresistentzia altuko altzairu galbanizatua nukleoan dago eta erresistentzia termiko (oso) altuko aluminio aleazioa eroalearen atalean kokatzen da, nukleo eta aluminioaren arteko tartea mantentzeko barnegeruzako alanbreak trapezoide-itxurakoak dira eta aluminioaren barnegeruza eta altzairuzko nukleoaren arteko marruskadura saihesteko hutsunea erresistentzia-termikoko koipearekin betetzen da; aluminio geruza eta nukleoaren mugimenduak independenteak dira (2.28 eta 2.29 irudiak) [JPO05] [JPO15] [HITACHI CABLE] [HOF05] [YON05].



2.28 irudia. GTACSR/GZTACSR eroaleen eraikuntza [JPO15].



2.29 irudia. GTACSR/GZTACSR eroaleen GAP eraikuntza [JPO15].

2001eko urrian Sumitomo Electric Industries, Ltd. eta Hitachi Metals, Ltd. (lehenago Hitachi Cable, Ltd.) konpainien tentsio altuko kableen atalak elkartzean JPS (J-Power Systems) sortu zen, gaur egun JPS da eroale hau komertzializatzen duena.

Aurrerago beste zenbait konpainia gehitu ziren eroale mota honen produktiora, hauetariko bat Lamifil belgiar enpresa, Erresuma Batuan 400 kV-eko Deeside and Daines, Heysham B (zentral elektrikoa) eta Stannah-Penwortham eta Quernmore Tee-Penwortham azpiestazioen ahalmena

handitzeko Lamifil-ek gutxi-gora behera GZTACSR "Matthew" eroalearen 1000 tona metriko hornitu zituen [LAM].

Gap motako G(Z)TACSR eroaleen instalazio-prozesua berezia da, amaitzean aluminioak karga mekanikorik gabe geratu behar baitu. Helburu hori lortzeko, instalazio-prozesua amaitu aurretik, eroalea nukleotik zintzilikatuta mantentzen da zenbait orduz, mutur batean libre dagoen aluminioa lasaitu eta karga mekanikoa galdu arte. Hori posible da eroale horietan nukleoaren eta aluminioaren artean dagoen tartea dela eta.

Trefinasa eta Saprem; Nafarroako enpresak G(Z)TACSR eroalearen produkzioaz gain eroalearen instalazio-prozesurako sistema bat garatu dute [SAP06], sistema hau JPSek erabiltzen duen tenkatze sistemaren ezberdina izanik. Enpresa hauek espainiar araudiko ACSR eroaleekiko baliokide diren GTACSR eroaleak eskaintzen dituzte. Horrela, LA-110, LA-145, LA-180, Hawk, Gull, Condor eta Cardinal eroale baliokideak eskaintzen dituzte [TRE08] [TREa].

De Angeli Prodotti enpresak 2004. urtean tenperatura altuko aireko eroaleen produkzioa hasi zuen. Eskaintzen dituen eroaleen artean G(Z)TACSR dago. De Angeli Prodotti-ren [ANG10] arabera GTACSR/GZTACSR eroaleen eraikuntza bereziak eroalearen nukleo eta kanpo geruzaren tenkatze independentea, horrela eroalearen instalazio tenperatura trantsizio-tenperatura izan dadin, altzairuzko nukleoarekin erlazionaturiko luzapen termiko koefizientea dela eta trantsizio-tenperatura gainetik sortzen den tenperatura igotzeak sortzen duen gezi igotzeak mugatzea, eroalearen erresistentzia mekanikoaren mantentzea 210 °C-ko tenperaturatan etengabe lan eginez eta beharrezko diren materialen kostua ez denez hain garestia kostu murriztua ahalbidetzen ditu.

G(Z)TACSR eroaleen eraikuntza bereziak altzairuzko nukleotik zintzilikatzea ahalbidetzen du, aluminio geruzak trakzio gabe utziz. Honela, esekitze tenperatura baino altuagotan, trakzioa altzairuzko nukleoak jasotzen du eta tenperatura baxuagotan trakzioa eroale osoak jasaten du ohiko ACSR eroalearen antzerako portaera izanik [KIK01]. 2.8 eta 2.9 tauletan GTACSR eta GZTACSR eroaleen nukleo eta aluminio, dilatazio koefizientea eta tenperatura maximoa adierazten dira. Taula horien arabera da eroale hauek ohiko ACSR eroaleak baino dilatazio termiko ezaugarri hobeagoak dituzte.

2.8 TAULA

GTACSR EROALEEN NUKLEO ETA ALUMINIOA, DILATAZIO KOEFIZIENTEA ETA TEMPERATURA
MAXIMOA

	Aluminioa	Nukleoa	Nukleoaren dilatazio koefizientea α_n ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	Temperatura maximoa ($^{\circ}\text{C}$)
GTACSR	TAI	Altzairu galbanizatua	$11,5 \cdot 10^{-6}$	150
		Altzairua aluminioz estalia (13 SA)	$11,8 \cdot 10^{-6}$	

2.9 TAULA

GZTACSR EROALEEN NUKLEO ETA ALUMINIOA, DILATAZIO KOEFIZIENTEA ETA TEMPERATURA
MAXIMOA

	Aluminioa	Nukleoa	Nukleoaren dilatazio koefizientea α_n ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	Temperatura maximoa ($^{\circ}\text{C}$)
GZTACSR	ZTAI	Altzairu galbanizatua	$11,5 \cdot 10^{-6}$	210
		Altzairua aluminioz estalia (13 SA)	$11,8 \cdot 10^{-6}$	

Tamaina bera dutela suposatuz G(Z)TACSR erresistentzia ACSR eroalerenarekin konpara daiteke (2.10 taula).

2.10 TAULA

G(Z)TACSR EROALEEN NUKLEOAREN ETA ALUMINIOAREN HAUSTURA TENTSIOA ACSR EROALEREKIN
ALDERATUZ

	Nukleoa	Haustura tentsioa (kg/mm^2)	Aluminioa	Haustura tentsioa (kg/mm^2)
ACSR	Altzairu galbanizatua (ST1A)	133 - 143	Al	16,3 - 20,4
GTACSR	Oso erresistentzia handiko altzairu galbanizatua	180	TAI	16,2 - 17,9
GZTACSR			ZTAI	

Instalatzien diren G(Z)TACSR eroale gehienak linea elektrikoaren garraio ahalmena handitzeko helburuarekin instalatzen dira, eta fabrikatzaileak ere eroale hauen eskaintza helburu horretara bideratzen dute. Adibidez Sterlite enpresak [STERLITE12] bere produktuen aurkezpen dokumentuan horrela adierazten du.

1971. urtean lehenengo gap eroalearen proba instalaziotik [HITACHI CABLE], J-Power Systems eroale honen instalazioa handitzen joan da, 2014. urtera arte GAP eroalearekin 27,621 km hornitu ditu [JSP15].

2.11 eta 2.12 tauletan J-Power Systems-ek munduan zehar G(Z)TACSR eroalea instalaturiko zenbait adibide adierazten dira.

2.11 TAULA

J-POWER SYSTEMS-EK HORNITURIKO G(Z)TACSR EROALEAREN ZENBAIT INSTALAZIO HERRIALDEZ
TALDEKATURIK

Herrialdea	Horniketa urtea	Linearen tentsioa	Eroalea eta kilometroak
Europa: Erresuma Batua, Irlanda, Espainia, Errusia	1997tik aurrera	110 kV ~ 400 kV	GTACSR 1070 km GZTACSR 4490 km
Ekialde Hurbila eta Ipar Afrika: Saudi Arabia, Oman, Kuwait, Arabiar Emirerri, Qatar, Iran, Libia	1981etik aurrera	33 kV ~ 400 kV	GTACSR 2490 km GZTACSR 10320 km
Ekialde, Hego-ekialde, Hego Asia: Txina, India, Indonesia, Malaysia, Vietnam	1997tik aurrera	66 kV ~ 400 kV	GTACSR 4740 km GZTACSR 2250 km

2.12 TAULA

J-POWER SYSTEMS-ER HORNITURIKO GAP EROALEAREN ZENBAIT INSTALAZIO

Herraldea	Hornike ta urtea	Linearen tentsioa	Eroalea eta kilometroak
Erresuma Batuko sare nazionala: Deeside-Daines	2003	400 kV	25 kilometroren berrikuntza. GAP eroalearen luzera: 320 km.
Erresuma Batuko sare nazionala: Canterbury – Kemsley linea	2008	400 kV	29 kilometroren berrikuntza. GAP eroalearen luzera: 378 km.
Italia: ENEL	2004	132 kV	Linearen ahalmen handitzea 18.4 km GAP eroalearen luzera: 61 km.
Espainia: Red Electrica de España	2008	220 kV	GAP eroalearen luzera: 23 km.
Vietnam: Soc Son – Dong Anh (EVNHANOI)	2009	110kV	Linearen ahalmen handitzea 293.2 km. GZTACSR
Vietnam: Ha Dong – Thuong Dinh (EVNHANOI)	2010	110kV	Linearen ahalmen handitzea 25.7 km GZTACSR
Vietnam: Phu Lam – Cho Lon (EVNHCMC)	2010	110kV	Linearen ahalmen handitzea 55.1 km. GTACSR
Vietnam: Phu Dinh – Hung Vuong (EVNHCMC)	2010	110kV	Linearen ahalmen handitzea 14.5 km. GZTACSR
Vietnam: Long Binh – Xuan Truong (DONG NAI POWER COMPANY)	2011	110kV	Linearen ahalmen handitzea 17.4 km. GTACSR
Vietnam: Pleiku – Kon Tum ong (EVNCPC)	2011	110kV	Linearen ahalmen handitzea 121.7 km. GZTACSR

2.13 TAULA

INVAR NUKLEODUN EROALEEN NUKLEO ETA ALUMINIOA, DILATAZIO KOEFIZIENTEA ETA
TEMPERATURA MAXIMOA

	Aluminioa	Nukleoa	Nukleoaren dilatazio koefizientea α_n ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	Temperatura maximoa ($^{\circ}\text{C}$)
ZTACIR	ZTAI	Invar galbanizatua	$2,8 \cdot 10^{-6}$ ($T < 100$ $^{\circ}\text{C}$) $3,6 \cdot 10^{-6}$ ($T > 100$ $^{\circ}\text{C}$)	210
		Aluminioz estalitako invar	$3,7 \cdot 10^{-6}$ ($T < 230$ $^{\circ}\text{C}$) $10,8 \cdot 10^{-6}$ ($T > 230$ $^{\circ}\text{C}$)	
XTACIR	XTAI	Aluminioz estalitako invar	$3,7 \cdot 10^{-6}$ ($T < 230$ $^{\circ}\text{C}$) $10,8 \cdot 10^{-6}$ ($T > 230$ $^{\circ}\text{C}$)	230

Tamaina bera dutela suposatuz G(Z)TACSR erresistentzia ACSR eroalerenarekin konpara daiteke (2.14 taula).

2.14 TAULA

INVAR NUKLEODUN EROALEEN NUKLEOAREN ETA ALUMINIOAREN HAUSTURA TENTSIOA ACSR
EROALEREKIN KONPARATUZ

	Nukleoa	Haustura tentsioa (kg/mm^2)	Aluminioa	Haustura tentsioa (kg/mm^2)
ACSR	Altzairu galbanizatua (ST1A)	133 - 143	Al	16,3 - 20,4
ZTACIR	Invar galbanizatua	105-110	XTAI	16,2 - 17,9
	Aluminioz estalitako invar	95-105	ZTAI	
XTACIR	Aluminioz estalitako erresistentzia oso altuko invar	120-125		

1981. urtean lehenengo invar nukleodun eroalearen proba instalaziotik [HITACHI CABLE] J-Power Systems eroale honen instalazioa handitzen joan da, 2014. Urtera arte invar nukleodun eroalearekin 8,295 km hornitu ditu [JSP15].

2.15 eta 2.16 tauletan J-Power Systems-ek munduan zehar invar nukleodun eroalea instalaturiko zenbait adibide erakusten dira.

2.15 TAULA

J-POWER SYSTEMS-EK HORNITURIKO INVAR EROALEAREN ZENBAIT INSTALAZIO HERRIALDEZ
TALDEKATURIK

Herrialdea	Horniketa urtea	Linearen tentsioa	Eroalea eta kilometroak
Ekialde Hurbila eta Ipar Afrika: Arabiar Emirerri Batuak, Egipto	1996tik aurrera	66 kV ~ 220 kV	ZTACIR 530 km
Europa: Italia, Grezia, Frantzia	1994tik aurrera	132 kV ~ 150 kV	ZTACIR 80 km
Ekialde, Hego-ekialde, Hego Asia: Txina, Hong Kong, Korea, Sri Lanka, Taiwan, Tailandia	1990tik aurrera	66 kV ~ 161 kV	ZTACIR 2100 km

2.16 TAULA

J-POWER SYSTEMS-EK HORNITURIKO INVAR EROALEAREN ZENBAIT INSTALAZIO

Herrialdea	Horniketa urtea	Linearen tentsioa	Eroalea eta kilometroak
Italia: ENEL Villanova – Pineto d.Montesilvano linea	2006	132 kV	Linearen ahalmen handitzea 16 km INVAR

J-Power Systems konpainiaz gain beste konpainia batzuk ere eskaintzen dute eroale honen ekoizpen eta komertzializazioa (2.17 taula).

2.17 TAULA

INVAR EROALEAREN EKOIZPEN/KOMERTZIALIZAZIO ZENBAIT KONPAINIA

Konpainia	Eroalea
TREFINASA eta SAPREM	ZTACIR Espainiar arauaren LA-110, LA-145, LA-180, Hawk, Gull, Condor eta Cardinal ACSR eroaleen baliokideak [TRE08].
STERLITE	STACIR [STERLITE12]
DE ANGELI PRODOTTI	ZTACIR [ANG10]
LS CABLE	STACIR eta Hi-STACIR [LSC] [LSC06]

Sterlite konpainiak Indian ACSR Panther eroalearen baliokide den STACIR eroalearekin 200 km hornitu ditu Andhra Pradesh Transmission Korporazioaren Shapurnagar –Chinthl, Ghanapur –Bandhlaguda eta Bootpur-

etik Balanagar 132 kV-eko lineetan garraio ahalmena handitzeko [STERLITE12].

2.18 taulan gaur egun LS CABLE baina orain dela urte batzuk LG CABLE zen konpaniaren STACIR eroalearen instalazio esperientziak erakusten dira.

2.18 TAULA

LS CABLE KONPANIAREN STACIR EROALEAREN ZENBAIT INSTALAZIO

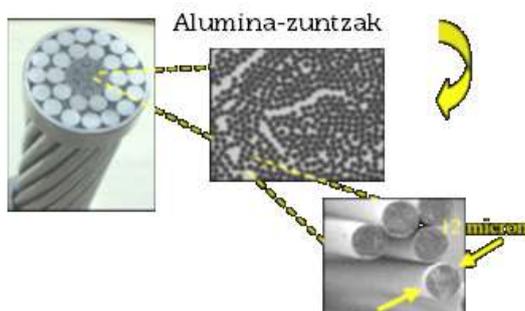
Herrialdea	Horniketa urtea	Horniketa arrazoia
Korea KEPCO (Korea Electric Power Corporation)	2000	Eskariaren gehikuntza dela eta linearen ahalmen handitzea. Linea berri bat eraikitzeke nahiko denbora ez edukitzea. Ingurumena babesteko kezka.
Malasya TNB (Tenaga Nasional Berhad)	2004	Instalazio berri batentzako baimena lortzeko arazoak eta kostu altuak. Instalazioa denbora labur batean amaitzea.
Italia ENEL	2003	Gainkargaturiko linearen igoera azkarra Linearen aldaketa beharra eroalea eguneratzeko.
Espania ENDESA	2003	Energia elektrikoaren eskarian hazkunde azkarra.
India POWER GRID	2005	Eskariaren gehikuntza dela eta linearen ahalmen handitzea. Linea berri bat eraikitzeke nahiko denbora ez edukitzea. Instalazio berri batentzako baimena lortzeko arazoak eta kostu altuak.
Txina POWER GRID	2008	Eskariaren gehikuntza Pekingo joko olinpikoengatik. Instalazio berri batentzako baimena lortzeko arazoak eta kostu altuak. Instalazioa denbora labur batean amaitzea.

- **ACCR**

ACCR (Aluminum Conductor Composite Reinforced) eroalea Estatu Batuetako 3M konpaniak garatu zuen japoniar ZTAI aluminio zirkonio aleazioa eta

nukleoan alumina-zuntzak eta aluminio-matrizea erabiliz [DOU04][3M05][3M11][CAM15] [3M12][3M14].

2.32 irudian ACCR eroalearen konposaketa ageri da, alumina-zuntzen kokapena adieraziz.



2.32 irudia. 3M ACCR eroalea [3M05]

Eroalearen nukleoak eta kanpo aleazioak eroalearen erresistentzia mekanikoan eta eroankortasunean eragiten dute. Nukleoaren material konposatuak altzairu galbanizatuaren indar berdina edo handiagoa baino dilatazio termikoko koefiziente txikiagoa dauka. Nukleoaren alantzia, itxuraz, altzairuzko nukleoaren antzekoa da baina aluminioa baino zortzi aldiz indartsuagoa eta gutxi gora behera altzairuzko nukleoaren zurruntasun berdinekoa. Nukleoaren indarra altzairuaren antzekoa da baina ezaugarri gehigarriak dituelarik. Adibidez alumina-zuntzen dilatazio termikoa aluminio edo altzairurena baino txikiagoa da, korrosioarekiko erresistentzia altuagoa du, nukleoaren edo isurpen txikiagoa erakusten du [EPRI08].

ACCR eroalearen ezaugarri termikoei dagokionez, eroale honek 210 °C tenperaturan lan egin dezake eta larrialdi egoeran 240 °C-raino heldu ahal da [CAM15].

2.19 taulan 3Mren ACCR eta ACSR eroaleen nukleoaren ezaugarrien arteko konparaketa adierazten da.

2.19 TAULA

NURLEO EZAUGARRI KONPARAKETA: ACCR ETA ACSR/ACSS [3M14]

	3M ACCR	ACSR/ACSS
	Aluminio matrizea	Altzairua
Haustura tentsioa (kg/mm²)	140.55	130
Dentsitatea (g/cm³)	3.29	7.8
Dilatazio termikoko koefizientea (10⁻⁶ °C⁻¹)	6.3	12.1

3M konpainiaren ACCR eroalea instalaturik dauden ACSR Redo ACSS eroaleak ordezkatzeko diseinaturik dago eta bere katalogoan ohiko eroaleen pareko diametroko eroaleen linea osoa eskaintzen du [3M14].

2001. urtetik 2013. urtera 2.19 taulan 3M konpainiak herrialde ezberdinetako zenbait konpainien lineetan ACCR eroalearen ia 100 instalazio egin ditu gezi eta intentsitate-ahalmen arazoei aurre egiteko baldintza eta klimatologia egoera ezberdinetan, sarritan egoera konplikatuak izanik, munduan zehar [3Ma][3Mb][3M12]. Instalazio horietariko batzuk 2.20 taulan adierazten dira instalazioaren linea eta herrialdea eta instalazioen ezaugarri eta helburuak aipatuz.

2.20 TAULA

3M KONPAINIAK HORNITURIKO ACCR EROALEAREN ZENBAIT INSTALAZIO [3Mb]

Herrialdea/linea	Horniketa urtea	Helburua
Hawaiian Electric Power Company, Oahu, Hawaii, EE.UU. -- Poste 810etik Poste 818ra, Kahuku, 46 kV	2001	Hawaiian Electric Company (HECO) konpainiak 3Mren ACCR eroalea instalatu zuen Oahu-ko ipar kostaldean kokaturiko 46 kV-eko linea batean garraio ahalmena handitzeko eta aldi berean korrosioarekiko erresistentzia ebaluatzeko. ACCR eroale hau 2001. urtetik lanean egon da hondatu barik.

Herrialdea/linea	Horniketa urtea	Helburua
Western Area Power Administration (WAPA), Fargo, Ipar Dakota, EE.UU – Jamestown-etik Fargo-ra, 230 kV	2002	2002. urtean WAPAk 3Mren ACCR eroalea instalatu zuen Fargo-Jamestown 230 kV-eko linean. Baldintza klimatologikoak eroalean haize gogor, hotz handi, izotz karga eta bibrazio eolikoek eraginak sortzen dute. Eroalea zirkuituaren 1.6 kilometrotan instalatu zen. 2005/2006 neguan eroalean izotza pilatu zen, baoaren karga mekanikoak bikoiztuz. Nahiz eta izotz karga gertatu linea instalatu zenetik ez da arazorik egon. Linearen monitorizazioa gezi, trakzio eta karga ereduetan eginiko aurreikuspenekin bat dator.
Shanghai Electric Power Company, Shanghai, Txina -- YangGao - XinZhou (Yangxing Linea), 220 kV	2007	Shangai Electric enpresak 3Mren ACCR eroalea Shangai hiriko gero eta eskaera handiago bati erantzuten dion 16 kilometroko linearen ahalmena handitzeko instalatu zuen eta aldi berean eraikuntza denbora eta kostuak murriztuz.
Chita Energo, Siberia, Errusia - - 64-65 linea, 110 kV	2008	Chita Energo Siberiako alde industrial bateko eskaerari erantzuna emateko garraio ahalmen handitze bat behar zuen. Linea azpiko eraikuntzetan eragozpenik sortu gabe egin behar zen instalazioa eta eroalea temperatura oso baxuetan eta egun argi epe laburretan instalatu behar zen eta egoera horretan lan egin behar zuen. 3Mren ACCR eroalea instalatu zen..

Herrialdea/linea	Horniketa urtea	Helburua
Companhia de Transmissao de Energia Electrica Paulista (CTEEP), São Paulo eta Mato Grosso do Sul estatuen arteko muga, Brasil – Jup-Tri Paraná ibaiaren gurutzaketa, 138 kV doble circuito	2009	CTEEPek 3M ACCR 300-T16 instalatu zuen Juipa-ko sistema elektriko bati erantzuna ematen dion eta inguruneari dagokionez oso sentikorra den ibai-ohe bat gurutzatzen duen 138 kV-eko linea baten potentzia bikoizteko. Lineak Parana ibaia gurutzatzen du eta haize gogor eta temperatura altuen eraginpean dago.
Amprion GmbH, Lingen, Alemania - Hannekenfahr-Gersteinwerk, 400 kV	2009	Energia berriztagarri iturrien zabalkuntzaren aurrean, Amprion-ek 3Mren ACCR eroalea instalatu zuen 400 kV-eko linea batean. Amprion-ek ez zuen eroalea hautatu zenbait proba egin baino lehen, indar eta instalazio probak barne.
Réseau de Transport d'Electricité (RTE), Distré, Frantzia -- Avoine - Distré, 400 kV	2010	EdF-ren RTE Frantziako sistema operadorea da. Zenbait proba ondoren RTEk 3Mren ACCR instalatu zuen Distre-ko azpiestaziotik hurbil. 400 kV-eko linea bere muga termikoan zegoen eta ahalmen handitzea behar zen.

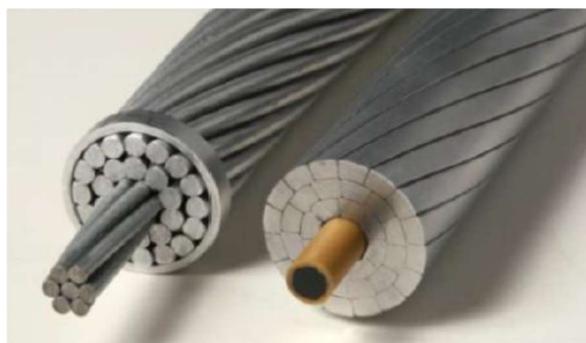
3M-ren ACCR eroalea funtzionamenduan dauden ACSR edo ACSS eroaleak ordezkatzeko diseinaturik dago, tentsio eta bao berdinak mantenduz. Honela ez dago zertan eraikuntza proiektu handirik egin behar eta garraio ahalmena ia bikoiztu egiten da [CAM15] [3M14].

3Mren ACCR eroalea, tentsio altuko aireko lineetako eroalea da, funtzionamenduan dauden baina ezaugarri termikoak direla eta mugaturik dauden lineetan ACSR, ACSS, AAAC eta kobrezko eroaleen ordezkapen zuzenerako diseinaturik. Horrela existitzen diren egiturak erabiliz eta ordezkatzeko dituen eroaleen korrante garraio ahalmena gutxienez bikoiztu. 3Mren ACCR eroaleak bere fidagarritasuna erakutsi du urteetan zehar instalazioetan lorturiko emaitzekin [3M12].

- **ACCC**

ACCC (Aluminum Conductor Composite Core) CTC (Composite Technology Corporation) eta General Cablek Estatu Batuetan garaturiko eroalea da [BRY06] [BRY07] [CTC08] [CTC10] [CTC11].

ACCC eroalearen nukleoa karbono-zuntz eta erretxina-matrizearekin osaturik dago. Nukleo konposatuak erresistentzia-pisu erlazio bikaina eskaintzen du, industriako altuena, eta industriako dilatazio termikoko koefiziente txikiena dauka, honela tenperatura altuko baldintzetan eroalearen gezia murrizten da. Nukleo konposatua aluminio suberatuko hariz inguratzen da, gehienetan hari hauek forma trapezoidala izaten dute (2.33 irudia). ACCC eroalearen lan tenperatura 180 °C-takoa da, larrialdian denbora laburrean 200 °C-raino iritsi ahal da. Nahiz eta hasiera batean ACCC eroalea HTLS eroale moduan garatua izan, lineetan ahalmena handitzeko, eroankortasun elektrikoak eta erresistentzia baxuak banaketa eta garraio lineetan galerak murrizteko oso egokia da [ALA05][CTC11].



2.33 irudia. ACSR eta ACCC eroaleak [CTC11].

2.21 taulan ACCC eroalearen nukleo eta aluminio, dilatazio koefizientea eta tenperatura maximoa ageri dira.

2.21 TAULA

ACCC EROALEEN NUKLEO ETA ALUMINIOA, DILATAZIO KOEFIZIENTEA ETA TENPERATURA MAXIMOA

	Aluminioa	Nukleoa	Nukleoaren dilatazio koefizientea α_n ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	Tenperatura maximoa ($^{\circ}\text{C}$)
ACCC	Aluminio suberatua	Karbono-zuntzak eta erretxina-matrizea	$1.61 \cdot 10^{-6}$	180

2.22 taulan ACCC eroaleen nukleoaren ezaugarriak ageri dira.

2.22 TAULA
ACCC NUKLEO EZAUGARRIAK

	ACCC
Haustura tentsioa (kg/mm²)	246
Dentsitatea (g/cm³)	1.935
Dilatazio termikoko koefizientea (10⁻⁶°C⁻¹)	1.61

ACCC eroalea bere baliokide den ACSR Hawk eroalerenarekin konpara daiteke (2.23 taula).

2.23 TAULA
ACCC ETA ACSR EROALEEN KONPARAKETA

	Aluminio area (mm ²)	Diametroa (mm ²)	Haustura erresistentzia (kg)	Pisua (kg/km)
ACSR	241.7	21.78	8845	976.1
ACCC	309.6	21.78	10523	909.2

ACCC eroalearen fabrikazioan kalitate prozedurak jarraitzen dira, horrela ACCC eroalearen nukleoa CTC Globalek Irvin-en, Kalifornia, egiten du. Nukleoa ISO 9001-2008 arauarekin ziurtaturik eta probaturik egin ondoren, kontu handiarekin paketatzen da eta CTC Globalen bederatzi ISO ziurtagiridun eta CTC Globalek egiaztaturiko bazkideetarikoa bati bidaltzen zaio. Bazkide hauek Estatu Batuetan, Kanadan, Hego Amerikan, Txinan, Europan, Ekialde Hurbilean, Indian eta Indonesian kokatzen dira [CTC11].

ACCC eroalea aztertutako beste HTLS eroaleekin konparatuz eroale berriagoa da, ondorioz eroale hauek erabiltzen diren instalazioak gutxiago dira.

2010etik gaur egun arte PLNk Indonesian instalaturiko ACCC eroalearen instalazioen 30 proiektuak [RIN15] dokumentuan ageri dira. Proiektu hauetan ACCC eroalea ACSR eroalea ordezkatzeko erabiltzen da. Kasu honetan PLNk ACCC eroalea aukeratzen du eroale honekin garraio ahalmena handitzen duelako, galerak murrizten dituelako, dauden dorreak erabiliz eroalea alda daitekeelako eta guzti honekin batera elektrizitate ekoizpenean erabiltzen den fuel kontsumoa murrizteko.

Indiako Maharashtra State Electricity Transmission Company Ltd (MSETCL) konpainiak Nashik, Maharashtra ACCC eroalea hautatu zuen lineako garraio ahalmena handitzeko existitzen zen linearen dorreak aldatu barik. Hasiera batean MSETCL konpainiak ez zuen oso argi eroale honen instalazioa eroalearen nukleo konposatuaren malgutasuna zela eta baina produktuaren zenbait proba ondoren konpainiak ACCC eroalean fidatu zen proiektua aurrera eramateko. Eroalea CTCren gainbegiraketarekin instalatu zen [SRI15].

CTCk ACCC eroalearen instalazio esperientzia herrialde ezberdinetako 135 tokitan egindako eroalearen 8300 km baino gehiagoan oinarritzen da. Instalazio hauek egin diren herrialdeak Estatu Batuak, Txina, Frantzia, Erresuma Batua, Polonia, Espainia, Portugal, Mexiko, Chile, Indonesia, Belgika, Brasil, Alemania eta Hegoafrika dira [BRY09].

2.2.1. EROALEEN ARTEKO KONPARAKETA

Deskribaturiko eroaleen ezaugarrien arteko konparaketa egingo da. Deskribaturiko eroaleen artean ez dago besteak baino hobeto den eroale bat, atal honen helburua ez da eroalerik onena zehaztea baizik eta eroaleen arteko konparaketa egitea. Aplikazio bakoitzaren arabera erabaki beharko da zein den eroalerik egokiena aplikazio horretarako.

Ezaugarri termikoei dagokionez, eroalearen ezaugarri termikoa aluminioaren eta nukleoaren ezaugarri termikoen arabera da. Eroale gehienetan aluminioak ezartzen du tenperatura-muga (TAI, ZTAI edo XTAI). Hala ere, aluminio suberatu duten eroaleetan, nukleoak ezartzen du muga, aluminioak ez baititu ezaugarri mekanikoak galtzen 400 °C-ren azpitik.

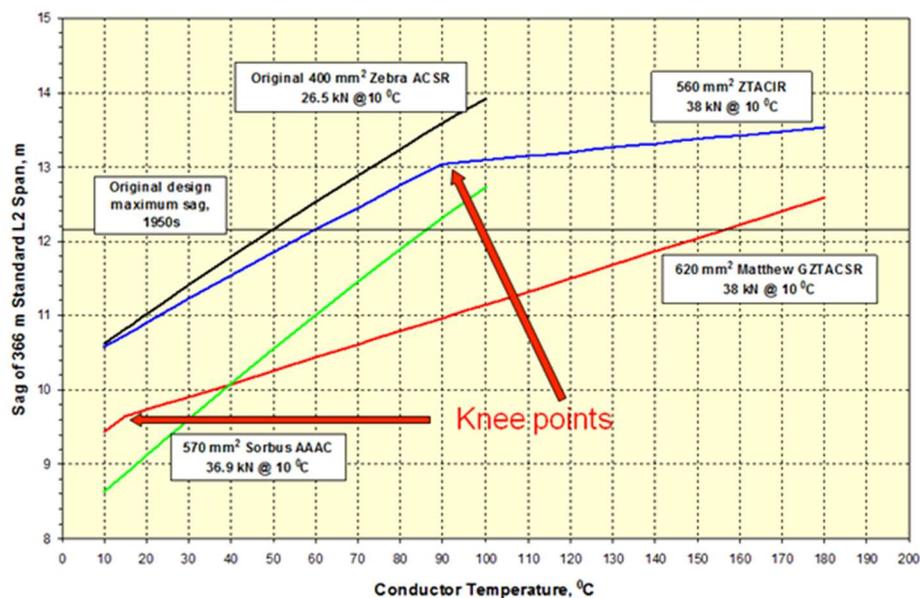
Dilatazio termikoaren kasuan, eroalearen dilatazio-koefiziente baliokidea da n nukleoaren eta a aluminioaren dilatazio-koefizienteen, E_n and E_a modulu elastikoen eta A_n eta A_a sekzioen balioen arabera (2.1).

$$\alpha = \frac{E_a \cdot A_a \cdot \alpha_a + E_n \cdot A_n \cdot \alpha_n}{E_a A_a + E_n A_n} \quad (2.1)$$

Aluminioaren α dilatazio-koefizienteak balio berekoa da eroale guztietan ($23 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$). Ondorioz, nukleoaren materialaren arabera egongo da eroaleen arteko aldea. Nukleoan altzairua, invarra edo konpositea erabiltzen da. Invarren eta konpositearen dilatazio-koefizientea altzairuaren dilatazio-

koefizientea baino txikiagoa da. Trantsizio-tenperatura gaitetik, dilatazio termikoa eroalearen nukleori dagokiona da. Tenperatura honen gaitetik, eroalearen dilatazio termikoko koefizientearen balioa murriztu egiten da, interesgarriena trantsizio-tenperatura posible den eta txikiena izatea da. Teoriaz trantsizio-tenperatura baxuena ACSS eroaleari dagokio, 0 °C azpitik baina hau eroalearen aurreatezatuarekin baldintzaturik dago. Eragiketa hau oso arriskutsua da eta ez da ohikoa, ondorioz ACSS eroaleen trantsizio-tenperatura gehienetan giro tenperatura gaitetik egongo da. Hortaz, trantsizio-tenperatura txikiena duen eroalea GAP motako eroalea dela esan daiteke, non bere balioa instalazio uneko giro tenperaturaren balioa izanik. Beste eroaleentzat trantsizio-tenperatura balio horren gaitetik egongo litzateke.

Trantsizio-tenperatura puntuan gertatzen den trakzio karga aluminiotik nukleora transferitzen denean, gezi-tenperatura grafikoan angelu aldaketa bat sortzen da. 2.34 irudian eroale ezberdinen arteko trantsizio-tenperatura konparaketa egiten da [WAR11].



2.34 irudia. Eroaleen trantsizio-tenperatura konparaketa [WAR11]

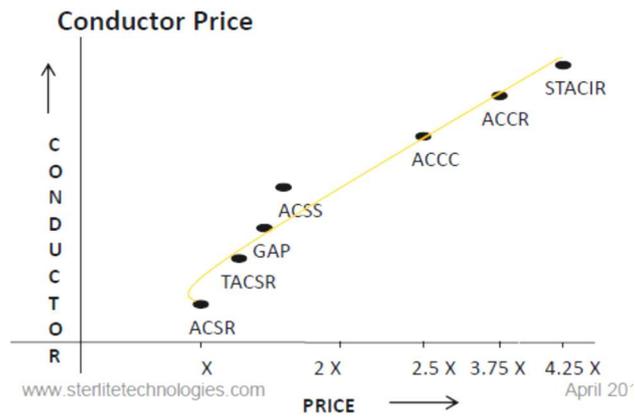
Eroaleen erresistentzia mekanikoan, eroalearen haustura mekanikoarekiko erresistentzia da nukleoaren eta aluminioaren erresistentzien eta bakoitzaren sekzioaren arabera. Gainera, kontuan hartu behar da alanbreen elongazio maximoa ere, jakiteko nukleoaren eta aluminioaren artean zein hautsiko den lehen. Al, TAl, ZTAl eta XTAl aleazioak erabiltzen direnean, aluminioa da lehen

hausten dena. Kalkuluak egiteko, aluminioa % 1eko elongazioan hausten dela suposatuz. Eroale osoaren erresistentzia kalkulatzeko, nukleoak eta aluminioak % 1eko elongazioan duten erresistentzia hartzen da kontuan. Aluminio suberatuaren erresistentzia, berriz, nukleoa da lehen hausten dena. Eroale osoaren erresistentzia kalkulatzeko, nukleoaren erresistentzia osoaren eta aluminioaren erresistentzia osoaren % 96a erabiltzen da.

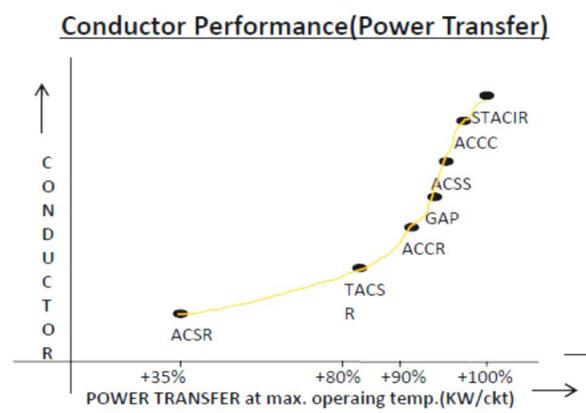
Tamaina bera dutela suposatuz, temperatura altuko eta gezi txikiko eroaleen erresistentzia ACSR eroalearen erresistentziarekin konpara daiteke. ACSS eroalean aluminioaren erresistentzia txikia da eta, ondorioz, batez ere nukleoaren arabera gertatuko da eroalearen erresistentzia. ACSS eta ACSS/TW eroaleek ACSR eroaleen aluminioaren eta nukleoaren sekzio berdinak dituzte eta, ondorioz, ACSS eroaleen erresistentzia txikiagoa da. Nukleoan erresistentzia ultrahandiko altzairua erabiliz, ordea, lor daiteke ACSR eroalearen erresistentzia parekatzea. ZTACIR eroalearen egitura ACSR eroalearen berdintsua da. Inbarraren haustura-erresistentzia altzairuaren haustura-erresistentzia baino txikiagoa denez, ACSR eroalera baino txikiagoa da ZTACIR eroalearen erresistentzia. Erresistentzia handiko inbarra erabiliz, ACSR eroalearen erresistentziatik hurbil dago ZTACIR eroalearen erresistentzia. XTACIR eroalearen erresistentzia ACSR-rena baino handiagoa da, baina hori nukleoko sekzio handiago batekin eta aluminioko sekzio txikiago batekin lortzen da. G(Z)TACSR eta ACSR eroaleen portaera antzekoa da, biek altzairua baitute nukleoan eta berdinak baitira aluminioaren ezaugarri mekanikoak. Hala ere, G(Z)TACSR eroaleetan oso erresistentzia handiko altzairua erabiltzen denez, ACSR arruntaren baino handiagoa da erresistentzia. ACCR eroalearen erresistentzia ACSR eroalearen erresistentziaren antzekoa da. Izan ere, antzekoa da nukleoko materialen erresistentzia, eta bere sekzioa ere bai. Abantaila bat du, ordea, ACCR eroaleak: konpositea dela eta arinagoa. ACCC eroalea ACSR eroalearen diametro berdinarekin diseinatzen da. Ondorioz, aluminiozko alanbre trapezoidalak dituen aluminioaren sekzioa handiagoa da. Nukleoaren diametroa ACSR eroalean baino txikiagoa da, baina, hala ere, bere sekzioa handiagoa da hari bakar batez osaturik dagoelako. Konpositearen erresistentzia handiagoa dela eta, eroalearen erresistentzia mekanikoa ACSR-rena baino handiagoa da. Gainera, arinagoa da konpositea dela eta.

Azterturiko eroaleen instalazioari dagokionez eroale gehienen instalazio-prozesua konplexuagoa da ACSR eroalerena baino. Instalazio-prozesu berdina duen eroale bakarrak invarreko ACIR eroaleak dira. Zenbait eroaleren kasuan, instalazio-prozesua kontuz egin behar da, eroalea kalteturik gerta ez dadin. Adibidez, ACSS eta ACCC eroaleen kasuan, aluminioaren biguntasuna dela eta, kontuz ibili behar da aluminioaren gainazala ez kaltetzeko. Konpositoko nukleoa duten ACCC eta ACCR eroaleen kasuan, berriz, neurri bereziak hartu behar dira instalazio-prozesuan, nukleoa hauskorra baita. ACSS eroaleen kasuan, fabrikatzaileek instalazio-prozesuan aurre atezatzea gomendatzen dute. Prozesu hori arriskutsua izan daiteke, ondo egin ezean eroalea kaltetu baitezake. Gap motako G(Z)TACSR eroaleen instalazio-prozesua berezia da, amaitzean aluminioak karga mekanikorik gabe geratu behar baitu. Helburu hori lortzeko, instalazio-prozesua amaitu aurretik, eroalea nukleotik zintzilikatuta mantentzen da zenbait orduz, mutur batean libre dagoen aluminioa lasaitu eta karga mekanikoa galdu arte. Hori posible da eroale horietan nukleoaren eta aluminioaren artean dagoen tarte dela eta.

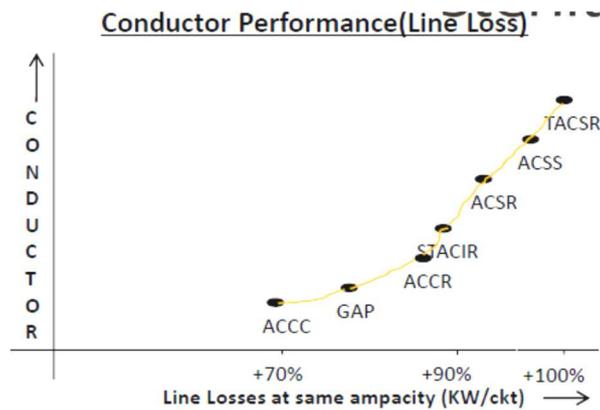
Eroaleen prezioari dagokionez [STERLITE12] dokumentuan eroaleen prezioen arteko konparaketa egiten da (2.35 irudia). Konparaketa honetan adierazten denaren arabera, STACIR eroalea izango litzateke garestiena. Dokumentu berean eroaleen garraio portaera konparatzen da (2.36 irudia) eta baita ere linea galerekin loturiko portaera (2.37 irudia). Konparaketa hauetan linea galerei dagokionez ACCC eroalea izango litzateke hoberena baina prezioa kontuan izanik GAP eroalea izango litzateke efizienteena eta merkeena. Garraio maximoari dagokionez STACIR izango litzateke hoberena baina bere hautaketa prezioak mugatu dezake, ACCS izango litzateke aukerarik onena. Dena den, kontuan izan behar da ez dagoela eroale bat bestea baino hobetagoa dena; kasu bakoitzean aztertu beharko litzateke zein den hautaketarik hoberena.



2.35 irudia. Eroaleen prezio konparaketa [STERLITE12]



2.36 irudia. Eroaleen garraio portaera konparaketa [STERLITE12]



2.37 irudia. Eroaleen linea galera portaera konparaketa [STERLITE12].

2.24 taulan CIGREk kategorizatuko lau eroale moten arteko konparaketa laburpen taula adierazten da, eroaleen alde onak eta txarrak aipatuz.

2.24 TAULA

EROALEEN KONPARAKETA LABURPENA [WAR11]

ACSS	<p>Eraikuntza trapezoidalak sekzio txikiagoa eta haizeak eragindako karga txikiagoak suposatzen ditu.</p> <p>Gezia altzairuak zehazten du.</p> <p>Eroankortasun altua.</p> <p>Estatu Batuetan erabiltzen da.</p> <p>-----</p> <p>Aluminio leuna du eta maneiatzean kontu handiarekin ibili behar da.</p> <p>Trantsizio-tenperatura GAP eroaleena baino altuagoa.</p> <p>Aluminio hutsa, aleazioak baino erresistentzia txikiagoa.</p> <p>Korrosioa jasan dezake.</p>
GAP	<p>Bibrazio maila baxuak.</p> <p>Trantsizio-tenperatura instalazio tenperatura.</p> <p>Eroalearen erabilera luzea urteetan zehar.</p> <p>-----</p> <p>Ezin da lotu.</p> <p>Osagarri bereziak behar dira.</p> <p>Koipea disoziatu daiteke.</p> <p>Gezia altzairuzko nukleoan oinarritzen da.</p> <p>Zaratatsua izan daiteke.</p>
ACCR	<p>Ez dago altzairurik, ondorioz ez dago korrosiorik.</p> <p>Nukleoa altzairua bezain besteko sendoa.</p> <p>Tenperatura altuan lan egiten du (>200 °C).</p> <p>Nukleoaren dilatazio termikoko koefizientea altzairurena baino txikiagoa.</p> <p>-----</p> <p>Trantsizio-tenperatura altua (gutxi gora behera 70 °C).</p> <p>Garestia.</p>
ACCC	<p>Oso sendoa den nukleo konposatua (altzairua baino % 50 sendoagoa).</p> <p>Trantsizio-tenperatura gainetik ia ez dago gezi handitzerik.</p> <p>Oso tenperatura altuetan erabil daiteke.</p> <p>Kg/m oso baxua.</p> <p>Mundu osoan zehar erabilia.</p> <p>-----</p> <p>Osagarri bereziak behar dira.</p> <p>Aluminio leuna du eta maneiatzean kontu handiarekin ibili behar da.</p> <p>Kurbadura erradio minimoa nukleoarentzako.</p>

2.3. AIREKO LINEETAKO EROALEEN BALIOZKOTZE PROBAK

HTLS eroaleak tenperatura altua eta karga mekaniko eta elektrikoak konbinatzen dituzten baldintza zorrotzetan modu fidagarrian lan egiteko diseinatu behar dira. Eroaleak jasan behar duten karga mekaniko eta termikoez gain zenbait egoera iragankor jasan behar izaten dute, adibidez baldintza meteorologikoak sorturikoak. Eroaleen fabrikaziorako beharrezkoa da eroaleen lagin bat probatzea, karakterizatzea eta egiaztatzea landa proben bitartez.

HTLS eroaleen fabrikazioan erabiltzen diren materialak, material berriak dira eta material hauekin ez dago ohiko materialekin dagoen urteetako esperientzia. Hau dela eta material berri hauek proba ezberdinak jasan behar dituzte euren ezaugarriak aireko lineentzako egokiak direla eta instalatuak izango diren helburua beteko dutela egiaztatzeko.

[CIG426] dokumentuan aireko lineetan erabiltzeko diren tenperatura altuko eroaleak ebaluatu eta kalifikatzeko gida aurkezten da. Gida honetan aireko lineetan erabiliko diren eroaleetan erabilgarriak diren kalifikazio metodologiak eta probak gomendatzen dira. Gida honen arabera eroale berriak kalifikatzeko beharrezko diren hiru proba talde daude: linearen diseinu karakterizaziorako saiakuntzak, instalazio baldintzak simulatzeko probak eta zerbitzuko probak baldintza mekaniko, elektriko eta ingurumen-baldintzak simulatzeko.

Kontuan izan behar da eroalearen gezi eta lurrarekiko distantzia aireko linearen sistemaren egituraren, eroalearen ezaugarri mekaniko eta elektrikoen, kokaturik dagoen inguruaren eta lan baldintzen mende daudela. Gezi maximoa garatzen duten laneko baldintza kritikoak sistema diseinatu den lurrarekiko distantzia minimoan eragina duten karga mekaniko eta elektriko maximoak dira, eta ondorioz sistemaren potentzia. Karga maximoa egituran aurreikusiriko karga maximoko baldintza klimatikoetan gertatzen da (hau da, izotzak edo haizeak eroalearengan eragiten dutenean) eta eroalearen trakzio maximoaren garapena definitzen du. Karga elektriko maximoan, trakzioa minimoa da korrante fluxuen dilatazio termikoak direla eta. Gehienetan, karga baldintza hauetan baimenduriko korrante fluxuaren

gehitzea mugatzen duten gezi eta lurrarekiko distantziarik txarrenak gertatzen dira [KOP10].

Aireko lineen diseinuan oinarritzko diren ezaugarriak trakzioari erresistentzia, elastikotasun-modulua, dentsitatea, dilatazio termikoko koefizientea, eroankortasuna eta isurpena dira. Ezaugarri hauen eta beste batzuen balioztatzearekin eroaleen baliozkotzeak egiten da. Baliozkotze hau proba ezberdinen bidez egiten da, [CIG426] dokumentuan zenbait proba gomendatzen dira eta eroaleen fabrikatzaileek proba ezberdinak egiten dituzte eroaleen balioztatzerako.

2.3.1. PROBA PROTOKOLOAK

Hainbat proba protokolo zenbait arau eta ildoetan finkaturik daude. CIGREk bere "Guide for Qualifying High Temperature Conductors for Use on Overhead Transmission Lines" dokumentuan tenperatura altuko eroaleen balioztatzerako, saiakuntza eta proba protokoloetan dagoen estandarizazio hutsunea betetzeko helburuarekin, jarraitu daitezkeen arau eta ildoak gomendatzen ditu. 2.22 taulan proba protokolo horien laburpena adierazten da.

2.22 TAULA

EROALEEN BALIOZTATZE PROBA PROTOKOLOEN LABURPENA [CIG426]

PROBA	ESTANDARRAK ETA HELBURUAK
OINARRIZKO EZAUGARRIEN PROBAK	
Haustura tentsioa	<p>Helburua eroalearen fabrikatzaileak zehazturiko trakzio erresistentziak haustura tentsioa betetzen edo gainditzen duen egiaztatzea da. Horretarako ondorengo probak jarraitu daitezke:</p> <p>ANSI C119.4: 7.3.4 atala.</p> <p>IEC 61284: 11.5.1 atala.</p> <p>Material konposatuentzako probak fabrikatzailearen gomendioak jarraitu behar ditu.</p>
Erresistentzia elektrikoa	<p>Sareko galera elektrikoak nagusiki erresistentzia elektrikoa dela eta izaten dira. Korrante zuzeneko erresistentzia tenperatura zehatz batean aluminioaren azalera eta graduaren mende dago. Erresistentzia elektrikoa hau tenperaturarekin handitzen da. Neurturiko erresistentzia zehazturiko balioaren berdina edo txikiagoa izan behar da. Horretarako ondorengo probak gomendatzen dira:</p> <p>ASTM B193</p> <p>IEC 60468</p>
Dilatazio termikoa	<p>Eroalearen dilatazio termikoko koefizientearen balioa tenperaturarekin gertatzen den gezia aurreikusteko beharrezkoa da. Eroale konposatuaren kasuan, desberdinak dira nukleoaren eta aluminioaren dilatazio-koefizienteak, hau da trantsizio-tenperatura azpitik eta gainetik. Ez dago proba estandarrik koefiziente hau neurtzeko. Gomendaturiko prozedura bat ondorengoa da:</p> <p>Erretxin muturrekin amaitu eroalea. Trakzio saiakuntza eraikuntza batean kokatu, trakzioa neurtzeko. Ordu batzuetan aurreatezatu aluminioaren errendimendu puntu azpitik (giro tenperatura baino txikiago den trantsizio-tenperatura ez gertatzeko). Aldatu karga haustura tentsioaren % 10-20ra eta proba osoan horrela mantendu.</p>

PROBA	ESTANDARRAK ETA HELBURUAK
Dilatazio termikoa	<p>Hautaturiko karga mailak trantsizio-tenperatura mugitzen du. Horrela, haustura tentsioaren % 10ean egindako saiakuntzak tenperatura baxuan trantsizio-tenperatura izan dezake, eta hasierako trantsizio-tenperatura gainera datu multzo handiagoa sortu dilatazio termikoa ebaluatzeko. Alderantziz, karga altuago batek trantsizio-tenperatura altuago batean izan dezake eta honela hasierako trantsizio-tenperatura azpitik datu multzo handiagoa sortu dilatazio termikoa ebaluatzeko.</p> <p>Eroalea astiro berotu 20 °C-tik 50 °C-ra, trakzioa neurtuz eta ondoren 50 °C-tan mantendu 30 minutu trakzioa neurtuz. Tenperatura egonkortu ondoren, tenperatura astiro igotzen joan 50 °C-ko tartekin, egonkortzeko 30 minutuko tartek jarraituz. Tenperatura maximoa lortzen den arte jarraitu. Hozketan ere prozedura berdina jarraitzen da. Probaren azkenean, kontuan izan behar da hasierako baldintzekin bat ez datorren deformazio aldaketaren bat dagoen edo ez. % esfortzua tenperaturarekiko irudikatu.</p> <p>Trantsizio-tenperatura azpitik eta gainera dauden erregimenak identifikatu. Kalkulatu erregimen bakoitzeko maldak: dilatazio termikoko koefizientearen batez bestekoa adierazten duten datuen doitasun lineala eginez edo bigarren mailako edo altuago den polinomioarekin. Azken ekuazio hau tenperaturarekiko diferentziatu daiteke eta horrela tenperatura jakin batentzako uneko dilatazio termikoko koefizientea lortuz. Honela dilatazio termikoko koefizientea tenperaturarekiko irudika daiteke.</p>
Esfortzu-deformazio kurbak	<p>Proba honen helburua eroalearen esfortzu-deformazio kurbak definitzea da. Kurba hauek eroalearen gezia kalkulatzeko ahalbidetzen dute. Horretarako ondorengo probak gomendatzen dira:</p> <p>Aluminum Association Guideline.</p> <p>IEC 61089 Annex B.</p>

PROBA	ESTANDARRAK ETA HELBURUAK
Isurpena (20°C)	<p>Bi isurpen mota jasaten dituzte eroaleek. Alde batetik, isurpen metalurgikoak alanbreen egitura mikroskopikoari eragiten dio. Isurpen hori etengabe handituz doa denborarekin, eta esfortzuaren eta tenperaturaren araberakoa da. Beste alde batetik, alanbreen arteko elkarrekintzekin erlazionaturik dago asentatze geometrikoa. Isurpen hori bat-batekoa da eta eroaleak jasandako esfortzu maximoa gainditzen den bakoitzean gertatzen da. Gomendaturiko proba metodoak:</p> <p>Aluminum Association Guideline [ETC99].</p> <p>IEC 61395 [UNE61395]</p>
INSTALAZIOKO PROBAK	
Polea proba	<p>Polearen probak, polea ezberdinetan eroaleak trakzio eta angelu ezberdinak jasan ondoren kalterik gabe jarraitzen duela egiaztatu behar du. Horretarako gomendatzen diren probak ondorengoak izanik:</p> <p>IEEE 1138 Annex D</p> <p>IEC 60794-1-2, 20 atala</p>
Bihurritze edo zapaltze proba	<p>Proba honen helburua eroalea instalazio edo mantenuan gertatu ahal diren indarren eraginean jartzea da. Eroalea zapaldua izan daiteke eta eroalearen trakzio erresistentzian eragin. Saiakuntza ondoren eroalea kalterik gabe egon behar da. Horretarako gomendatzen diren probak:</p> <p>EIA/TIA 455-41,</p> <p>IEC60794-1-2 section 7</p>
Harikortasun tortsioa	<p>Proba honekin instalazioan eroaleak jasan dezaken tortsio indarrak zenbatekoak diren jakin ahal da. Probaren ondoren eroalea eta nukleoa kaltetu barik egon behar dira. Gomendatzen den proba:</p> <p>IEC 60794-1-2 section 11</p>

PROBA	ESTANDARRAK ETA HELBURUAK
ZERBITZUKO PROBAK	
Bibrazio eolikoa	<p>Eroalea haizearen eraginez sortzen diren bibrazio eolikoak jasateko diseinatu behar da. Proba honen helburua eroalearen osotasun mekanikoaren egiaztapena da. Eroaleak ez du kalterik erakutsi behar. Proba egiteko ondorengoa gomendatzen da:</p> <p>IEEE 1138 Annex B, IEC 60794-1-2</p>
Izotz arrapalada	<p>Eroalea izotz arrapaladak jasateko diseinatu behar da. Fenomeno hau haize gogor eta izotza edo elur bustia dagoen tokietan gerta daiteke. Eroaleak ez du kalterik izan behar 100.000 ziklo ondoren. Proba egiteko ondorengoa gomendatzen da:</p> <p>IEEE 1138 Annex C</p>
Akats korrontea	<p>Zirkuitulaburrak ez dute eroalearen osagarriak kaltetu behar ezta ere bere funtzionalitatea, errendimendu elektriko, mekaniko eta termikoa barne. Proba ondoren eroaleak ez du kalterik erakutsi behar. Proba egiteko ondorengoa gomendatzen da:</p> <p>IEEE 1138 AnnexA5 IEC 60794-1-2section 37</p>
Gezi-tenperatura portaera	<p>Geziaren egiaztapena kontrolaturiko proba batekin egiten da. Proba honekin diseinuan erabilitako aluminioren konprimitze balioa definitu eta dilatazio termikoa egiaztatu daiteke. Gainkarga ziklo ezberdinak aplikatu daitezke eta horrela eroaleak ziklo termomekaniko konbinatuak jasaten ditu eta ondorioz probak zenbait larrialdi egoera simulatzen ditu. Neurturiko trakzio eta geziaren balioak aurreikusitako balioekin bat etorri behar dira. Hainbat ziklo termikoen ondoren, eroalearen indarra ez da degradatu behar.</p> <p>Proba honentzako ez dago arau espezifikorik. Baina protokolo adibide bat ematen da. Proba laborategian edo aire zabalean egin daiteke. Eroalea funtzionamendu</p>

PROBA	ESTANDARRAK ETA HELBURUAK
Gezi- tenperatura portaera	<p>tenperatura maximora berotzen da eta berriro hoztu. Denbora guztian gezia, trakzioa eta tenperatura neurtuz. Aire zabalean proba hau gutxienez 2 asteetan eta urteko bi denboraldi ezberdinetan egin daiteke. Aste bukaeran eta gauean eroalea tenperatura maximo konstantean mantentzen da. Gutxi gora behera giro tenperatura eta funtzionamendu tenperatura maximoaren artean 10etik 1000 ziklora simulatu. Proba ondoren konprobatu gezia ez dela aldatu eta eroaleak gutxienez haustura tentsioaren % 95a mantentzen duela egiaztatu.</p>
Korrosioa	<p>Proba honen helburua kontrolaturiko atmosfera batean eroalean sortzen duen eragina zehaztea da. Kontrolaturiko atmosfera hori gatz atmosfera izango da, su posatzen delako hori izango litzatekeela giro korrosiboena; baina giro korrosiboagoren bat espero baldin bada kontuan hartuz beharke litzateke proba egiteko. Eroalearen masa kontrolatu behar da, masa galerak korrosio adierazleak baitira. Proba egiteko ondorengo gomendatzen da:</p> <p>ISO 9227:1990standard ASTM B117 IEC 62217</p>
Tenperatura zikloa	<p>Proba honen helburua ziklo termikoak jasaten dituen material metaliko eta ez metalikoaren degradazio ezaugarria egiaztatzea da. Ziklo termikoen ondorioz barne trakzio oso altuak sortu daitezke dilatazio termikoen artean dagoen ezberdintasuna dela eta. Eroaleak gutxienez 500 ziklo termiko jasan ondoren haustura tentsioaren % 95a mantendu behar du. Eta kableak ez du kalterik erakutsi behar. Gomendaturiko ziklo termikoko proba bat ondorengo da:</p> <p>Tentsio mekanikoa haustura tentsioaren % 20an. Giro tenperaturatik fabrikatzaileak zehazturiko tenperatura maximora eramateko 100 ziklo. Mantendu tenperatura maximoa gutxienez 5 minutu.</p>

PROBA	ESTANDARRAK ETA HELBURUAK
Temperatura zikloa	Tentsio mekanikoa handitu gutxi gora behera haustura tentsioaren % 70era, giro tenperaturari eta mantendu 24 ordutan. Ondoren, tentsio mekanikoa berriro haustura tentsioaren % 20ra eraman. Bost aldiz errepikatu. Proba egiterakoan eroalearen tenperatura eta erresistentzia elektrikoa ANSI C 119.4-rekin bat erregistratzen da. Probaren amaieran haustura karga proba aplikatzen da. Eroalearen indarra haustura tentsioaren % 95 baino handiagoa izan behar da.
Temperatura baxua	Temperatura oso baxuak eroale konposatueta konpondu ezineko eraginak sortu ditzakete. Eroale eta muntaiak gutxienez haustura tentsioaren % 95 izan behar dute tenperatura baxuetan eta ez dute kalterik erakutsi behar. Atal hau probatzeko ondorengo prozedura gomendatzen da: Eroalearen sekzio bat haustura tentsioaren % 20an ipini. Eroalea hoztu eta -30 °C-tan finkatu eta horrela mantendu gutxienez ordu batean. Eroalea giro tenperaturari hausturara eraman.
Eroaleen koipea	Eroaleen koipea eroaleak tenperatura altuan dagoenean baliagarria izan behar da. Koipeak eskaerak betetzen dituela frogatzeko gomendatzen den proba ondorengoa da: IEC 61304

2.3.2. EROALEEN PROBAK

HTLS eroaleen sistema berrien baliozkotzeak eta onarpen prozesurako erabilgarri izan daitezkeen probak batez ere bi dira: aire zabaleko laborategi probak eta lanean dauden lineetan probak [IEE09].

CIGREren (Conseil International Des Grands Réseaux Électriques; Sare Elektriko Handien Nazioarteko Kontseilua) 426 liburuxkan [CIG426] adierazten denarekin bat lanean dauden lineetako probak instalazioetan gertatu litezkeen zailtasunak balioztatzeko, korrosio eta koroa arazoak aire zabaleko baldintzapean eta proposaturiko jarraibideetan eta mantentze arauak frogatzeko dira erabilgarriak; aldiz, aire zabaleko probak eroalearen gezia,

tentsio eta tenperatura maximoa korronte altuko baldintzapean eta aldakorak diren eguraldi egoera ezberdinetan neurtzeko baliagarriak dira.

- **Aire zabaleko laborategi probak**

Aire zabaleko laborategietan eroalea tentsio baxuan dago eta injektaturiko korronte kontrolatu ahal da aldiz, lanean dagoen linea batean eroalea tentsio osoan dago eta korronte karga aldaketen mende dago. Korrontearen kontrola dela eta gezi txikiko eroaleen baliozkotze eta onarpenerako aukerarik onena aire zabaleko laborategia da. Proba hau laburra da, ordu gutxi batzuetan tenperatura tarte osoa eskuratzea ahalbidetzen baitu.

- **Lanean dauden lineetan probak**

Lanean dauden lineetako probak HTLS eroaleen sistema berrien baliozkotze eta onarpen prozesurako erabilgarriak dira. HTLS eroale dagoen linea bat instalatzerakoan eroalearen errendimendua ebaluatzeko helburuarekin sentsoreak instalatu daitezke. Gainera, korronte gaitasuna ebaluatzeko instalatzen diren linea dinamikoen ebaluatze sistemak ematen duten informazioa eroalearen errendimendua ebaluatzeko erabil daiteke. Lanean dauden lineetako proben eragozpen nagusia korronte intentsitatearen, eta ondorioz, eroalearen tenperaturaren, linea potentzia-fluxuaren mendekotasuna da.

2.3.3. EROALEEN FABRIKATZAILEEK EROALEEN EGIAZTAPENERAKO JARRAITURIKO PROBA PROTOKOLOAK

2.22 taulan tenperatura altuko eroaleentzako CIGREk gomendatzen dituen proba eta protokoloak adierazi dira. Adierazpen guzti hauek gomendioak baino ez dira. Eroaleen fabrikatzaileek fabrikatzen dituzten eroaleak egiaztatzeko zenbait proba garatzen dituzte. Ondorengo lerroetan HTLS eroaleen zenbait fabrikatzaileek euren eroaleen egiaztapenerako jarraituriko proba protokoloak aipatzen dira.

- **TREFINASA eta SAPREM**

Trefinasa eta Saprem enpresak, euren GAP motako eroalearen egiaztapenerako, 2.23 taulan aipatzen diren estandarrak eta probak jarraitzen dituzte.

2.23 TAULA

TREFINASA ETA SAPREM, GAP EROALEA EGIAZTATZEKO JARRAITURIKO PROBAK/ESTANDARRAK
[TREb]

PROBAK	<p>Eroalearen probak:</p> <p>Azalera baldintzak.</p> <p>Luzera unitateko masa.</p> <p>Gurutze gunea.</p> <p>Gap neurketa.</p> <p>Erresistentzia.</p> <p>Esfortzu-deformazio eta isurpen saiakuntza.</p> <p>Irristaketa eta haustura tentsioaren proba.</p> <p>Gezi/trakzioa tenperaturarekiko.</p> <p>Bibrazio eoliko eta arrapalada probak.</p> <p>Termikoki erresistente diren aluminio aleaziozko alanbreen probak:</p> <p>Diametroa.</p> <p>Erresistentzia elektrikoa.</p> <p>Ezaugarri termiko-erresistentea.</p> <p>Trakzioa.</p> <p>Elongazioa.</p> <p>Aluminioz estalitako altzairuzko alanbreen probak:</p> <p>Diametroa.</p> <p>Tortsio proba.</p> <p>Aluminioaren lodiera proba.</p> <p>Trakzio esfortzuaren proba.</p> <p>Elongazio probaren % 1ean esfortzu proba.</p> <p>Elongazio proba.</p> <p>Koipe probak:</p> <p>Luzera unitateko masa.</p> <p>Erorketa puntua.</p> <p>Osagarrien probak:</p> <p>Esekitze grapa. Irristaketa eta apurketa proba.</p> <p>Konpresio grapa. Trakzio-esfortzu proba.</p>
---------------	--

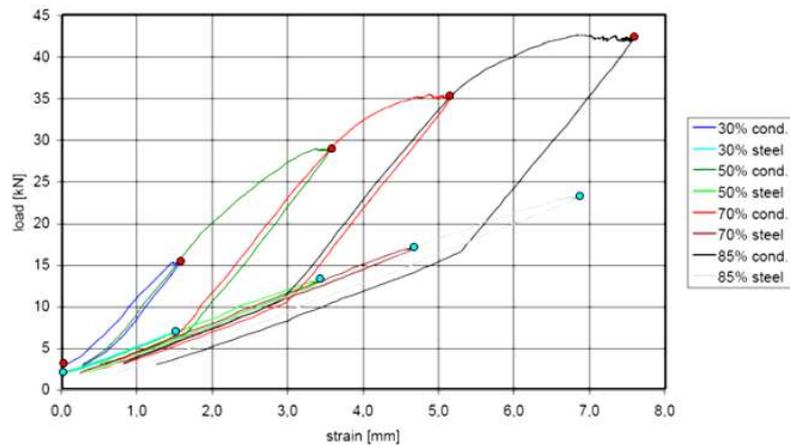
JARRAITURIKO ESTANDARRAK	<p>IEC 6240 Ed1.0 - Concentric lay stranded overhead electrical conductors containing one or more gap(s).</p> <p>EN 50182 - Conductors for overhead lines - Round wire concentric lay stranded conductors.</p> <p>EN 61395 - Creep Test procedures for stranded conductors</p> <p>IEC 62004 - Thermal-resistant aluminium alloy wire for overhead line conductor.</p> <p>EN 61232-96 - Aluminium clad steel wires for electrical purposes.</p> <p>EN 61284 - Overhead lines. Requirements and tests for fittings.</p>
-------------------------------------	---

2.23 taulan adierazten denaren arabera, kasu honetan GAP motako eroalearen fabrikatzaile den enpresak laborategietan eroalearen zenbait proba egiten ditu eroaleak eskaintzen dituen ezaugarriak betetzen dituela segurtatzeko eta eroale hauek eskaintzen diren bezeroei eroaleen fidagarritasuna eta portaera erakusteko. Adibidez, proba hauen artean esfortzu-deformazio proba dago (2.38 irudia), [EN50182] arauan zehazturiko prozedura jarraituz egiten den proba:

- Saiakuntza eroale osoarekin hasten da eta eroalea bere haustura-trakzioaren % 5era tenkatzen da. Hortik aurrera hasiko da deformazioa neurtzen.
- Trakzioa haustura-trakzioaren % 30era igotzen da eta balio horretan mantentzen da ordu erdiz.
- Eroalea lasaitu egiten da, % 5era arte; % 50era igotzen da, eta bertan ordubetez mantendu.
- Eroalea lasaitu egiten da, % 70era igo, eta bertan ordubetez mantendu.
- Eroalea lasaitu egiten da, % 85era igo, eta bertan ordubetez mantendu.
- Eroalea lasaitu egiten da, eta trakzioa igotzen da eroalea haustu arte.
- Ondoren, nukleoarekin jarraitzen da, eta eroale osoari egin zaizkion zikloak egiten zaizkio. Ziklo bakoitzean igotzen joaten da trakzioa, deformazioa eroale osoaren saiakuntzan lorturikoa izan arte.

Saiakuntzen bidez, hasierako kurba bat lortzen da eroalearentzat eta beste bat nukleoarentzat. Aluminioaren hasierako kurba bi kurben arteko diferentzia

eginez lortzen da. Gainera, eroalearen eta nukleoaren Elastikotasun-moduluak lortzen dira, trakzio-jaitsiera kurben bidez. Aluminioaren elastikotasun-modulua kalkuluaren bidez egiten da, eroalearentzat eta nukleoarentzat duen balioetan oinarrituz.



2.38 irudia. GTACSR eroale baten esfortzu-deformazio saiakuntza [TREb]

▪ 3M

3M konpainiak bere ACCR eroalea eta osagarriak ASTM, IEEE eta ANSI zehaztapenak jarraituz probatzen ditu, bai laborategietan bai landan egindako probekin. 2.24 taulan 3M konpainiak bere ACCR eroalearekin egindako proba motak zerrendatzen dira.

Zerrendaturiko proba hauek kasu batzuetan 3M konpainiak berak egiten ditu eta beste batzuetan kanpo konpainia batzuei eskatzen zaie proba hauek egiteko.

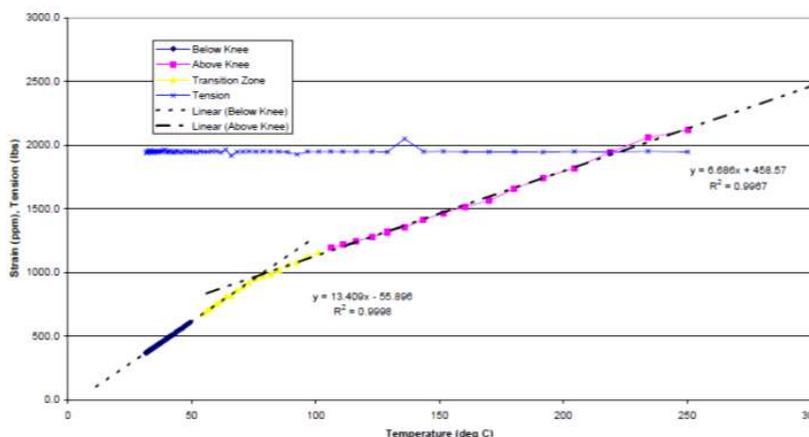
2.24 TAULA

3M KONPAINIAREN, ACCR EROALEA EGIAZTATZEKO JARRAITURIKO PROBAK [3Mc]

PROBAK	<p>Zahartze azkarra.</p> <p>Osagarriak-konektoreak, motelgailuak, esekidurak eta beste osagarriak.</p> <p>Bibrazio eolikoak.</p> <p>Dilatazio termikoko koefizientea.</p> <p>Korrosioa.</p> <p>Isurpena.</p> <p>Korronte zuzeneko erresistentzia.</p> <p>Arrapalada.</p> <p>Tenperatura altuko korronte ziklo probak.</p> <p>Tentsio altuko koroa.</p> <p>Inpaktu, tortsio, zapalketa.</p> <p>Instalazio prozedura.</p> <p>Tximista.</p> <p>Eredu parametroak.</p> <p>Aire zabalean erabilera ondorengo analisisia.</p> <p>Gezia, tenperatura, trakzioa.</p> <p>Proba mekaniko sekuentzialak.</p> <p>Zirkuitu laburrak.</p> <p>Eguraldi gertakizun bereziak: izotza, hotz handia, bero handia.</p> <p>Karga iraunkorra.</p> <p>Tenperatura gradienteak.</p> <p>Karga-esfortzu eta trakzioari erresistentziaren portaera.</p>
---------------	--

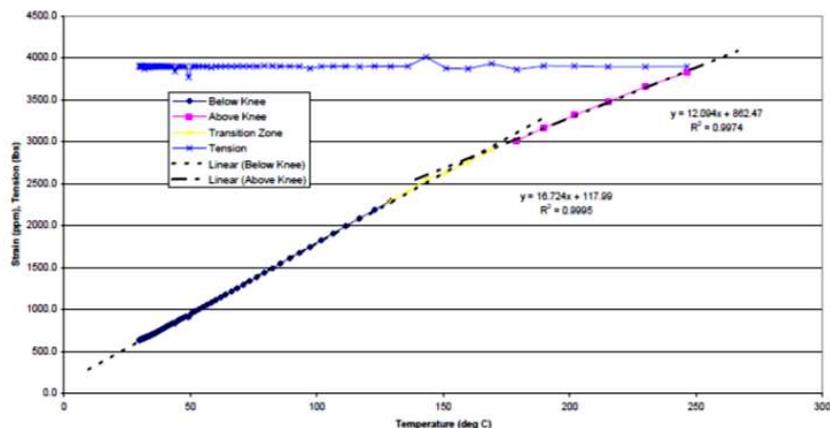
[McCU10] dokumentuan 3M konpainiak eskaintzen duen ACCR eroale batekin eginiko dilatazio termikoko koefizientearen proba deskribatzen da. ACCR 477-T16 eroale batean dilatazio termikoko koefizientea neurtzen da. Saiakuntza eroalearen dilatazio termikoko koefizientea tenperaturaren funtzio moduan neurtzean datza. Tenperaturarekin gertatzen den dilatazio aldaketa-tasa (dilatazio-tenperatura grafikoaren malda) dilatazio termikoko koefizientea izango da. Dilatazio termikoak, tenperaturaren funtzio izanik, portaera bi-lineala erakusten du eta ondorioz dilatazio termikoko koefiziente bi sortzen dira: trantsizio-tenperatura azpitik eta gainetik. Kasu honetan neurketak iragarpen teorikoengandik oso hurbil daude. Saiakuntza eroalearen lagin

batean NEETRAC (National Electric Energy Testing Research & Applications Center) Estatu Batuetako zentroan egin ziren. Probak NEETRACen prozedurak jarraituz egin ziren. Lagina tentsio mekaniko bitan berotu eta hoztu zen: haustura tentsioaren % 10 eta % 20an. Tenperatura ziklo bakoitzean karga konstante mantendu zen. Dilatazio termikoko koefizientea neurtzeko jasotako neurketa balioak hozketa ziklokoak izan ziren (2.39 eta 2.40 irudiak). Berokuntza zikloan karga konstante mantentzen denez trantsizio-tenperatura tentsio mekanikoaren funtzioa izango da. Linea erreal batean dagoen eroale batean, berokuntza dela eta sortzen den dilatazio termikoak eroalearen gezia handitzen du eta ondorioz trakzioa murrizten da eta horrek trantsizio-tenperatura trakzioaren menpe uzten du. Horregatik saiakuntzan tentsio bi erabiltzen dira: dilatazio termikoko koefizientea trantsizio-tenperatura azpitik eta gainetik neurtzeko. Haustura tentsioaren % 10 erabiltzen den kasuan trantsizio-tenperatura gainetik dagoen dilatazio termikoko koefizientea neurtzen da eta haustura tentsioaren % 20 erabiltzen denean trantsizio-tenperatura azpitik dagoena.



2.39 irudia. 477 ACCR eroalearen hozketa kurba haustura tentsioaren % 10ean

[McCU10]



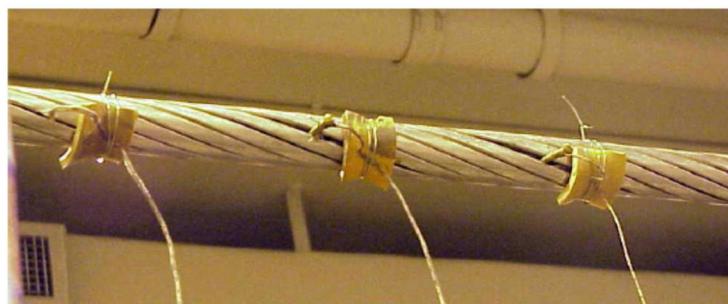
2.40 irudia. 477 ACCR eroalearen hozketa kurba haustura tentsioaren % 20an [McCU10] Eroaleen esfortzu-deformazio ezaugarriak ebaluatzeko, 3M konpainiak NEETRAC (National Electric Energy Testing, Research & Application Centre), Georgiako Teknologia Institutuan, Informatika eta Ingeniaritza Elektrikoko Eskolan dagoen Ikerkuntza zentroa erabiltzen du [SPR02] [SPR03a] [SPR03b] [SPR03c] [O'NEI09] [SPR10].

Adibidez [SPR10] dokumentuan 300-T16 ACCR eroalearekin eginiko esfortzu-deformazio proba deskribatzen da. Esfortzu-deformazio proba Aluminio Elkartearen elastikotasun eta epe laburreko isurpen ezaugarriak neurtzeko 1999ko gida jarraituz egin zen. Proba egiteko eroalearen ebaketa alde bakoitzean torloju bridak kokatu ziren osagaien mugimendua saihesteko. Eroalearen fabrikazioko aurre-tentsioa mantentzeko prozedura jarraituz laginaren amaieran erretxina moldeak aplikatu ziren, horrela laginaren portaera lanean dagoen eroale baten portaeraren parekoa izateko. Esfortzu-deformazio datuak linea diseinatzeko koefizienteak ematen ditu eta ez dago aplikagarri den onarpen irizpiderik. Hau da probak egin ondoren lortzen diren datuak dira erabiliko direnak. 2.41 irudian esfortzu-deformazio probaren irudia erakusten da. Proba hau laborategian egiten den proba bat da.



2.41 irudia. Esfortzu-deformazio proba [SPR02].

[PON05a] eta [PON05b] dokumentuetan 3M konpainiak bere ACCR eroaleetan egindako gezi-tenperatura-trakzio probak deskribatzen dira. Gezi-tenperatura-trakzio proba beste zenbait probekin batera, linea elektrikoetan ACCR eroalearen erabilera egiaztatzeko erabiltzen da. 3M konpainiak bere 675TW kcmil ACCR eta 774 kcmil ACCR eroaleen gezi-tenperatura-trakzio probak egiteko Kinectricx saiakuntza, ikuskapen, ziurtapen eta aholkularitza enpresa aukeratu zuen eta saiakuntzak laborategi horretan egin ziren. Saiakuntzak egiteko eroalearen lagin bat erabiltzen da eta eroalearen tenperatura termopareekin (2.42 irudia), eroalearen trakzioa karga zelulekin eta gezia potentziometroak erabiliz neurtzen dira.

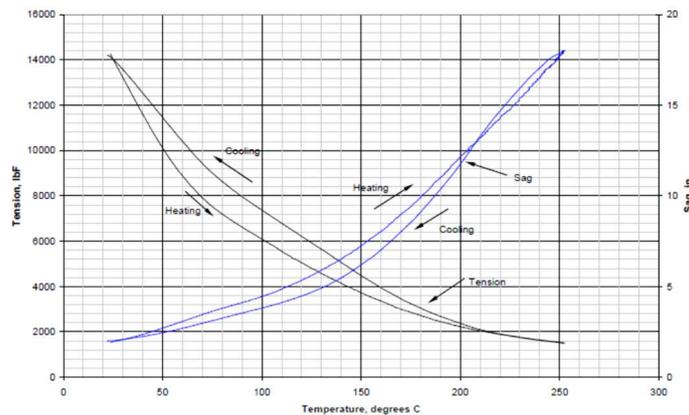


2.42 irudia. Termopareen kokapena [PON05a].

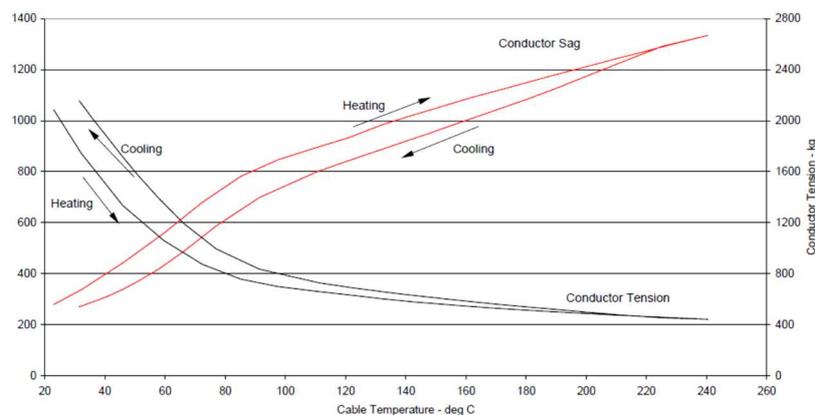
774 kcmil eroalearekin eginiko proben emaitzak 2.43 irudian erakusten dira. Eroalearen gezi eta trakzioa tenperaturaren arabera. 2.43 irudian beroketa zikloak sortzen duen gezia hozketa zikloak sortzen duena baino handiagoa dela ikusten da, irudian trantsizio-tenperatura ez da oso ondo definitzen (60 °C inguruan) eta gezi kurbak itxura ezohikoa erakusten du egonkortu beharrean

gorantz kurbatzen da., portaera hau erabilitako bao laburraren ondorioz gertatzen da[PON05a].

Gezi kurbaren portaera ezohiko hau 675TW kcmil ACCR eroalearekin egindako proban [PON05b] ez da agertzen (2.44 irudia); kasu honetan eroalearen lagina luzeagoa zen ondorioz bao luzeagoa. Trantsizio-temperatura 80 °C-tik 100 °C-ra tartean egongo litzateke, baina hemen ere ez da ondo zehazten.



2.43 irudia. Eroalearen gezi eta trakzioa temperaturarekiko [PON05a].



2.44 irudia. Eroalearen gezi eta trakzioa temperaturarekiko [PON05b].

▪ CTC

CTC konpainiak garaturiko ACCC eroalearekin egindako probak aireko eroaleak probatzeko estandarizaturiko hainbat protokolo jarraitu ditu. Zenbait ebaluaketarako, material konposatu ez metalikoak ebaluatzeko erabiltzen diren zenbait protokolo ere erabili ditu. ACCC eroalearen probak , errendimendu eta kalitate helburuak lortzeko ikerkuntza eta garapen programa bat legez hasi ziren. Zahartze azkarreko eta aire zabaleko probak ere

egin ziren eroalearen portaera eta bizitza-luzera ebaluatzeko [BRV06] [CTC11] [HIL13].

2.25 taulan CTC konpainiak urteetan zehar egindako proben zerrenda adierazten da.

2.25 TAULA

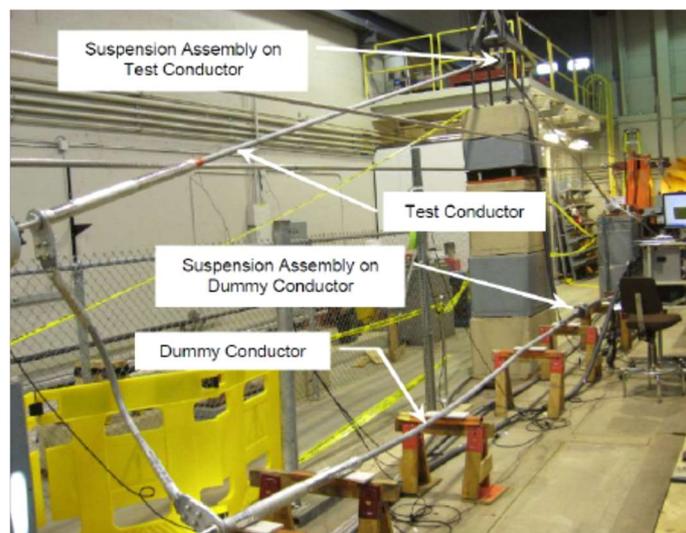
CTC KONPAINIAREN, ACCC EROALEA EGIAZTATZEKO JARRAITURIKO PROBAR [CTC11][HIL13]

<p>Eroalearen proba mekanikoak</p>	<p>Esfortzu-deformazioa. Isurpena. Bibrazio eolikoa. Arrapalada. Auto moteltzea. Inpaktu erradial eta zapaltzea. Inflexio angelua. Tortsioa. Tenperatura altuko gezia. Tenperatura altuko karga konstantea. Tenperatura altuko karga ziklikoa. Karga ziklikoa. Polea proba. Haustura erresistentzia. Ziklo termiko-mekanikoa. Karga zikliko konbinatua. Eroale konparaketa.</p>
<p>Eroalearen proba elektrikoak</p>	<p>Erresistibitate proba. Galerak. Intentsitate-ahalmena . Ereku elektromagnetiko neurketak. Inpedantzia konparaketa. Koroa proba. Zarata proba. Zirkuitu laburreko proba. Tximista inpaktu proba. Tentsio altuko KA eta KZ probak.</p>

<p>Sistema eta hardware probak</p>	<p>Korrante zikloa. Karga konstantea. Azken muntaia esfortzu proba. Gatz-lurruna. Bero estatikoko probak. Esekidura grapa proba. Termiko-mekanikoa. Karga ziklikoa.</p>
<p>Landa probak eta monitorizazioa</p>	<p>Giro tenperatura. Trakzio, gezi eta lurrarekiko distantzia. Eroale tenperatura. Korrante elektrikoa. Haize abiadura eta norabidea. Eguzki erradiazioa. Prezipitazioa. Izotz pilaketa. Lotura erresistentzia. Infragorri neurketak. Koroan behaketak. Eremu elektriko eta magnetikoak. Haize eta izotza karga neurketak. Bibrazio monitorizazioa.</p>
<p>Nukleo probak</p>	<p>Trakzioa. Flexio, tolesdura eta zizailadura. Karga konstanteko proba. Dilatazio termikoko koefiziente neurketa. Zizaila proba. Zapaltze eta inpaktu proba. Tortsio proba. Hozka degradazio proba. Hezetasun erresistentzia proba. Denbora luzeko proba termikoa. Karga konstanteko proba termikoa. Proba termiko ziklikoa. Berotasun ahalmen proba espezifikoa.</p>

<p>Nukleo probak</p>	<p>Denbora laburreko temperatura altuko proba.</p> <p>Tenperatura altuko nukleoaren proba.</p> <p>Oxidazio termikoko proba.</p> <p>Hauskortasun haustura proba.</p> <p>UV proba.</p> <p>Gatz-lurrun esposizioa.</p> <p>Isurpen proba.</p> <p>Esfortzu-deformazio proba.</p> <p>Analisi mikrografikoa.</p> <p>Pigmentazio proba.</p> <p>Tenperatura altuko zizaila proba.</p> <p>Tenperatura baxuko zizaila proba.</p>
-----------------------------	---

CTC Globalek berak edo hainbat laborategi, unibertsitate edo enpresekin egindako probaz gainera, beste entitate batzuk ere ACCC eroalearekin zenbait proba egin dute. Proba hauetariko bat, larrialdiko tenperatura altuan eroalearen egokitasuna probatzeko Erresuma Batuko National Grid-ek garatu zuen, ACCC eroale bat tentsio altuan eta eraso angelu altu baten eraginean ipini zen gainkarga baldintza egoera berdina aztertzeko (2.45 irudia).



2.45 irudia. National Grid UK-ek ACCC eroalean egindako ziklo termikoko proba [CTC11]

ACCC eroalearen nukleoaren egonkortasun termikoa probatzeko beste proba batzuk Hego Kaliforniako Materialen Zientzia Sailak garaturikoak izan dira:

zahartze termikoko probak. Eroalea tenperatura altuetan ipini ondoren 52 asteetan zehar, trakzioari erresistentzian oso aldaketa gutxi nabaritu ziren [CTC11].

▪ **LS CABLE & SYSTEM**

Gaur egun LS CABLE baina orain dela urte batzuk LG CABLE zen enpresak bere STACIR eroalearekin egindako proba motak 2.26 taulan zerrendatzen dira.

2.26 TAULA

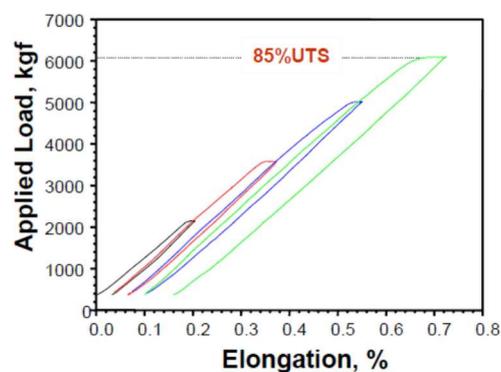
LS CABLE KONPAINIAREN, STACIR EROALEA EGIAZTATZEKO JARRAITURIKO PROBAK [PAR05]

PROBAK	Konpresio proba. Malgutasun proba. Denbora luzeko zahartze proba. Korrante ahalmen proba. Koroa proba. Radio interferentzia tentsio proba. Tenperatura altuko esfortzu-deformazio proba. Denbora luzeko neke dinamikoa. Landa probak. Trantsizio-tenperatura proba. Eroalearen tenperatura haize abiadurarekiko. Karga korrantea batez besteko tenperatura eta tentsioarekiko. Hydro One landa proba.
---------------	---

2.46 irudian eroalearen esfortzu-deformazio probak egiteko erabilitako konfigurazioa ageri da. Lorturiko emaitzak 2.47 irudian erakusten dira, hau da 210 °C-tan esfortzu-deformazio kurbak.

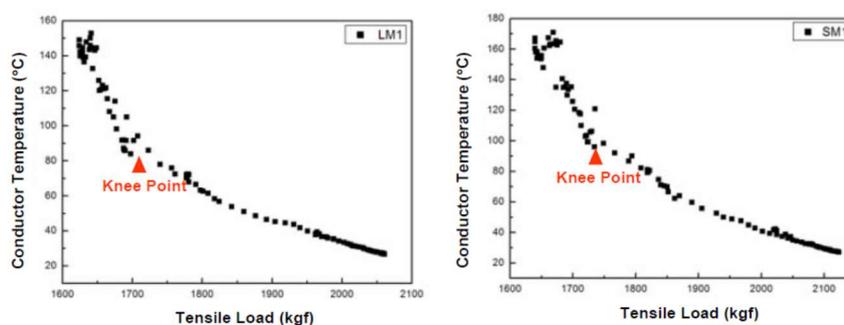


2.46 irudia. Esfortzu-deformazio probarako gailu konfigurazioa [PAR05].



2.47 irudia. Aluminioz estalitako invar alanbreen esfortzu-deformazio kurbak [PAR05].

Beste alde batetik 2.48 irudian Hi-Stacir 410 mm²-ko eroalearekin egindako trantsizio-tenperatura proba ondoren lorturiko emaitzak erakusten dira. Irudian erakusten diren neurturiko balioen arabera trantsizio-tenperatura 80 eta 100 °C tartean egongo litzateke eta aurrezarrirako balioa 94.7 °C-ko tenperatura zen [PAR05].



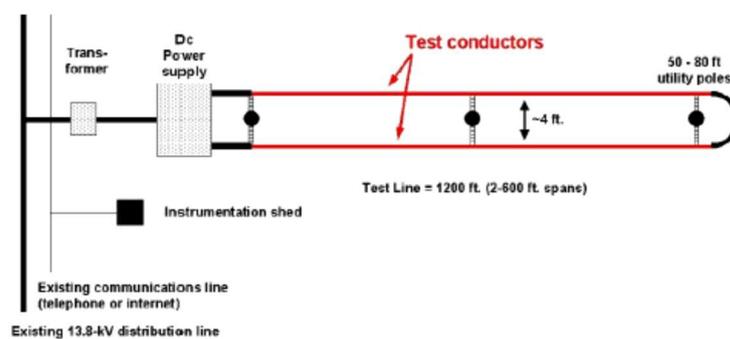
2.48 irudia. Hi-Stacir 410 mm²-ko eroalearen trakzio-tenperatura kurbak [PAR05].

2.3.3. EROALEEN BALIOZKOTZE INSTALAZIOAK

HTLS eroaleen erabileran konfiantza igotzeko eta horrela linea elektrikoen ahalmena handitzeko teknologia bultzatzeko fabrikatzaile eta ikerlariak aireko eroaleen diseinu berriekin esperimentatzen dute proba ezberdinak eginez. Proba batzuk, zuzenean fabrikatzaileek egiten dituztenak aurreko lerroetan aipatu dira, baina badaude HTLS eroaleen sistema berrien baliozkotze eta onarpen prozesurako erabilgarri izan daitezkeen aire zabaleko probak egiteko zenbait instalazio. Instalazio hauek fabrikatzaileek eroaleak egiaztatzeko erabiltzen dira, kasu batzuetan eroale bakar baten egiaztapena eta azterketa egiteko eta beste batzuetan proiektu baten barne eroale bat baino gehiago aztertzeko instalazioen aldi bereko erabilera egiten da. Instalazio eta proiektu honetariko batzuk ondorengo lerroetan aipatzen dira.

▪ ORNL (Oak Ridge National Laboratory)

HTLS eroaleen ikerkuntzan aurrera egiteko Estatu Batuetako ORNL laborategiak eroale hauen diseinu berrien probak egiteko PCAT (Powerline Conductor Accelerated Testing) [PCAT] instalazioa eraiki zuen. Instalazio honetan eroale berri hauen landa probak egin ahal izateko. PCAT instalazioa ORNL 2002. urtearen amaieran hasi zen erabiltzen eta ORNLren campus nagusitik kilometro eta erdi inguruko distantziara kokatzen da. Begizta itxi batez osaturik dago, gutxi gora behera 800 metroko luzerako kableak probatzeko. Transformadore batez elikaturiko eta 5000 A ahalbidetzen dituen 2 MW-eko korrante zuzeneko elikadura iturriarekin (2.49 irudia). Prestakuntza altuko PCAT instalazioa, tenperatura altu eta egungo ingurumen-baldintzen pean eroale berrien errendimendu eta portaeraren eta beste zenbait osagarriren datuak jasotzeko, erabil daiteke [ORNL14].



2.49 irudia. PCAT instalazioaren konfigurazioa [IRM14]

PCATen helburua fabrikatzaile eta hornitzaileei hirugarren baten proba independenteekin euren eroale berriak egiaztatzea da eta horrela zerbitzu publikoak behar duten eroaleen errendimendu eta portaeraren informazioa eman hauek eroale berri hauen erabilera onartu dezaten. PCATen aireko eroalearen portaera monitorizatzen duten sentsoere berriak ere probatzen dira. PCATen lortzen diren datuekin fabrikatzaileak garaturiko eroalearen bizi-iraupena aurrezartzeko egindako zahartze modeloak egiaztatzen dira. Jasotzen diren datuak gezia, trakzioa, trantsizio-tenperatura, trakzio-tenperatura eta tenperatura-erresistentzia erlazioak dira. PCAT instalazioa adibidez 3M konpainiaren ACCR eroalea (3M 477 kcmil, 3M 675 kcmil, 3M 1272 kcmil, 3M 795 kcmil), Power Donut2 sentsoerea, probatzeko erabili da beste eroale eta sentsoere batzuen artean[IRM14][IRM14b][IRM15].

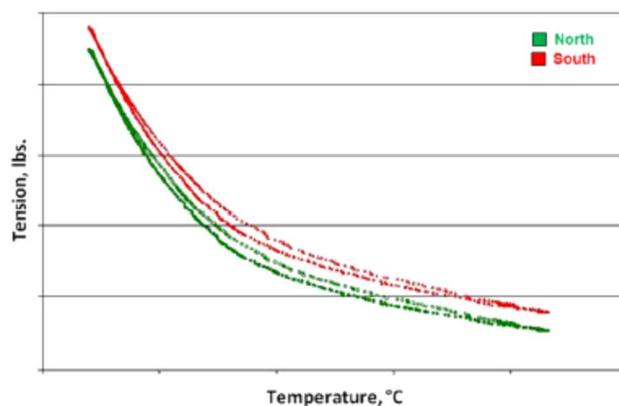
2.27 taulan PCAT instalazioan egiten diren eroale proba eta karakterizazioan jarraituriko metodologiaren deskribapena adierazten da.

2.27 TAULA

PCAT INSTALAZIOKO EROALE PROBEN METODOLOGIA [IRM14]

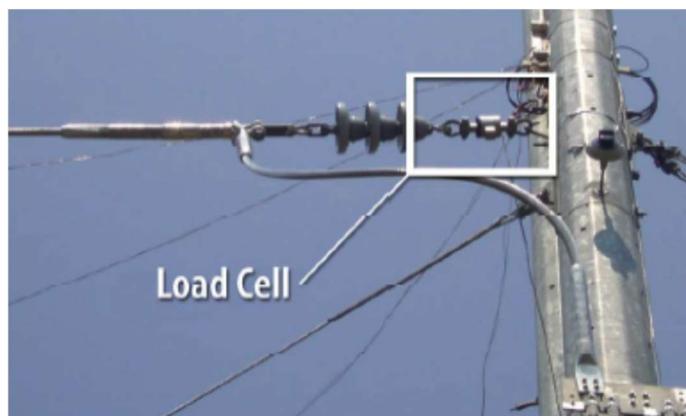
Trantsizio-tenperatura proba kurbak	Trantsizio-tenperatura kurba eroalearen trakzio-tenperatura neurketen bidez lortzen da. Proba honen hasieran eroalea giro tenperaturan dago eta apurka berotzen joaten da korrontea igotzen den heinean. Eroalea funtzionamendu tenperatura izendatura heltzen denean, egonkortze epe batean tenperatura horretan mantentzen da ondoren korrontea apurka gutxitzen da. Eroalearen tenperatura berriro giro tenperaturara heltzen da. Proba honen iraupena 5etik 8 ordura izan daiteke. Eroalean egiten diren neurketak PCAT instalazioaren hego eta ipar aldean egiten dira (2.50 irudia)
Korronte konstanteko probak	Eroalearen korronte konstanteko funtzionamenduak eroalearen eredia garatzeko eta egiaztatzeke informazioa eskaintzen du eroalearen intentsitate-ahalmena zehaztuz. 24 ordutan korronte konstante bat aplikatzen da eroalean sortzen diren galerak zehazteko.

<p>Erantzun termiko iragankorreko probak</p>	<p>Eroalearen erantzun termiko iragankorra zehazten du.</p> <p>Proba gauzatzeko korronea balio egonkor batetik beste batera eramaten da. Korrone honetan eta eroalearen denbora konstante termikoan oinarrituz eroalean tenperatura igotzen da.</p>
<p>Zahartze termikoko probak</p>	<p>Eroale bat bere muga termikora eramatearen eragina aztertzeko PCATen proba bi egiten dira: tenperatura konstantea eta ziklo termikoak.</p> <p>Temperatura konstanteko proban, eroalea aurrezarritako denbora tarte batean funtzionamendu tenperatura espezifiko batera eramaten da (ohikoena tenperatura izendatua edo izendatua baino altuagoa). Proba honetako denbora tarte fabrikatzaileak zehazten du. Proba honekin eroalea eta gehigarriak denbora tarte luzeetan tenperatura izendatuan edo altuago batean funtzionatzeko gai direla eta termikoki egonkor mantentzen direla egiaztatzen da.</p> <p>Ziklo termikoko probarekin eroalea eta gehigarriak tenperatura aldaketa bortitzak jasotzeko gai direla egiaztatzen da. Proba honetan eroalea aurretik zehazturiko tenperatura batera eramaten da korronearen modulazioaren bidez. Denbora tarte bat ondoren korronea kentzen da eta eroalea giro tenperaturara bueltatzen da. Zikloaren iraupena eroalearen denbora konstante termikoaren menpe dago.</p>



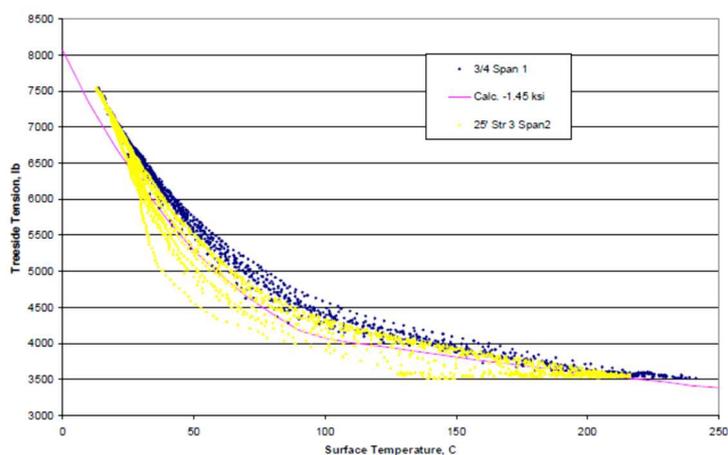
2.50 irudia. PCAT instalazioaren proba ondorengo trantsizio-tenperatura kurba [IRM14].

PCAT instalazioan egiten diren neurketak eroalearen azalera eta nukleoaren tenperatura neurketak eta eroalearen trakzio, korrante, gezi, tentsio eta giro baldintzak barneratzen dituzte. Eroalearen tenperatura neurtzeko eroalearen azalera termopareak kokatzen dira. Trakzioa neurtzeko karga-zelulak erabiltzen dira (2.51 irudia). Gezia neurtzeko eroalearen lehenengo tartearan erdian kokaturiko telemetro laser bat erabiltzen da. Eroalea igarotzen duen korrantea eta tentsio erorketa korrante zuzeneko sorgailuan egindako neurketen bidez zehazten dira. Giro tenperatura, haize abiadura eta norabidea eta eguzki erradiazioa neurtzeko estazio meteorologiko bat erabiltzen da. Erradiazio sentsoire batekin eroalearen tenperatura neurtzen da. Datuak jasotzeko ordenagailuan oinarrituriko datu jasotze eta kontrol sistema bat erabiltzen da. Datuak 10 segundoko tartean jasotzen dira baina datuen batez bestekoa egiten da eta minutu bateko bereizmenarekin biltegitratzen dira [IRM14].



2.51 irudia. PCAT instalazioaren trakzio neurketarako karga-zelula [IRM14].

PCAT instalazioan eginiko eroale baten proba 3M konpainiaren 1272-kcmil ACCR eroalearen proba izan zen. Eroalearekin egindako probak: 100 ordu tenperatura altuan edo 200 °C gainera, trantsizio-tenperatura proba (gezi-trakzio-tenperatura) (2.52 irudia), 100 ziklo termiko 200 °C gainera, korrante konstantea eta ordu bat tenperatura altuan edo 300 °C-tan (larrialdi egoera). Probak egin ondoren eroalearen portaera egokia egiaztatu zen [McCU06].



2.52 irudia. PCAT instalazioan 1272 ACCR eroalearen gezi-trakzio-tenperatura neurketak [McCU06].

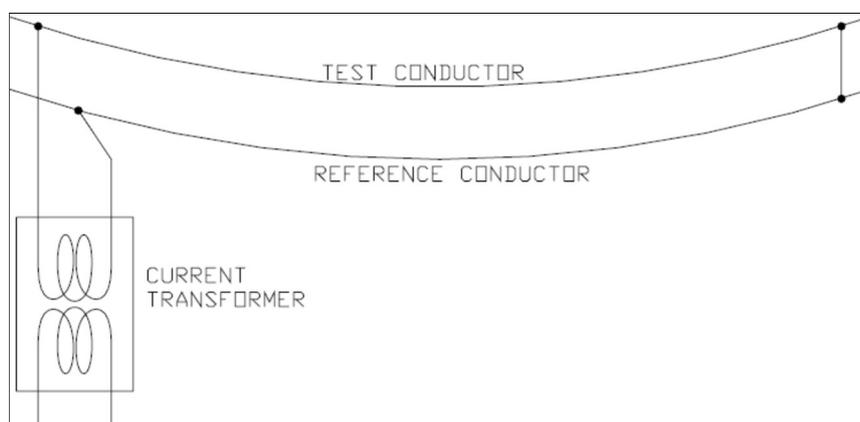
[SEP04][SEP05] eta [SEP10] dokumentuetan ORNLren laborategietan eginiko beste proba bat deskribatzen da. Proba honen helburu nagusia lineetan zehar gertatzen diren tenperatura aldaketak identifikatu eta klasifikatzea zen, aldaketa hauen arrazoiak eta magnitudeak identifikatuz. Eroaleen tenperatura termopareen bidez neurtu zen.

▪ **HYDRO ONE NETWORKS**

Kanadako Ontarioko herrialdeko Hydro One, energia elektrikoaren garraio eta banaketa konpainiak tenperatura altuko eta gezi txikiko eroaleen egokitasuna zehazteko, bere aplikazioetarako eroale egokiak aukeratzeko eta HTLS eroale eta hauekin batera erabiltzen diren osagarrien denbora luzeko errendimenduari buruzko informazioa lortzeko helburuarekin HTLS eroalea eta ACSR erreferentzia eroalea paraleloan instalaturik eta luzera berdinean frogatzen ditu [GOE05].

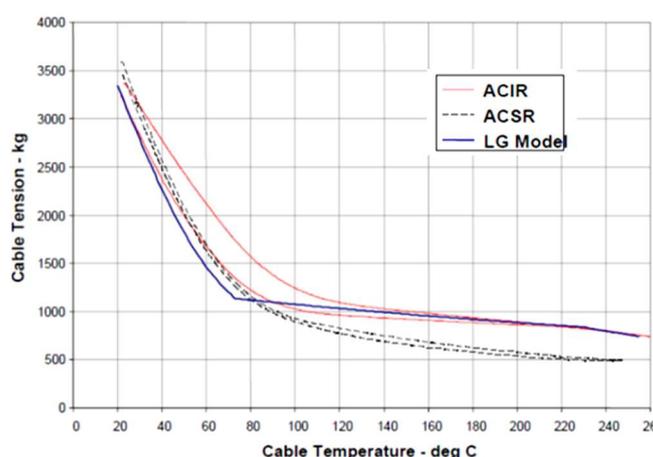
Tenperatura altua, esfortzu-deformazioa eta isurpen portaera konparatzeko zenbait HTLS eroale (ACSS, STACIR, GZTACSR, ACCR eta ACCC) probatu ziren ACSR eroale batekin. ACSR eroalearekin batera HTLS eroaleak banaka probatu

ziren. Eroale biak paraleloan instalaturik eta bao luzera berdinarekin (2.53 irudia). Eroale bakoitza bere haustura tentsioaren % 25ean tenkatu zen eta eroalearen trakzio, tenperatura, kokapen eta korrante datuak jaso ziren. Eroalearen trakzio eta gezia eroalearen tenperaturarekin konparatu ziren [GOE05].



2.53 irudia. HTLS eta ACSR eroaleen kokapena [GOE05].

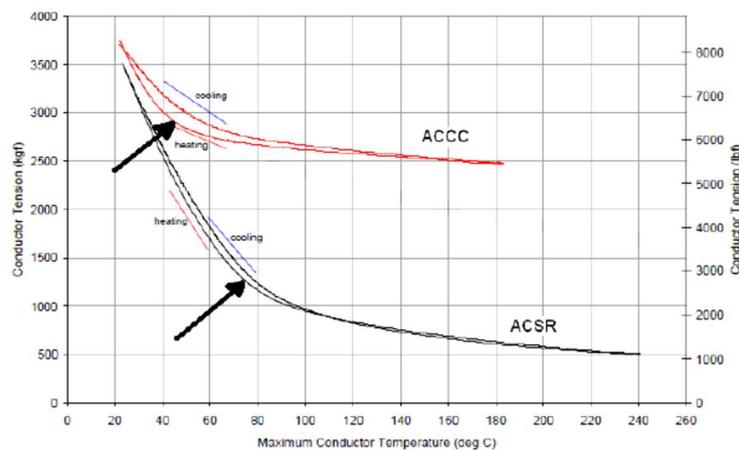
LS Cable konpainiaren Hi-STACIR eta ACSR eroalearen trakzio-tenperatura konparaketa 2.54 irudian ageri da. Eroale bien neurketa datuak eta konpainiaren eredia konparatzen dira. Grafikoan ikusten den moduan tenperatura altuagotan ACIR eroalearen trakzio portaera ia konstante mantentzen da.



2.54 irudia. ACIR (Hi-STACIR) eta ACSR eroaleen trakzio-tenperatura [PAR05].

Hydro Onek Torontoko Kinectrics laborategian egindako beste proba bat, tenperatura altuko eta gezi txikiko eroaleen egiaztapen proba baten barne, [CTC11] dokumentuan aipatzen da. Kasu honetan ACSR eta ACCC eroaleen trantsizio-tenperatura konparaketa egiten da (2.55 irudia). Datuak 65 metroko

bao batean jaso ziren eta eroaleen korronea 1600 amperera igo zen. ACCC eroalearen kasuan ACSR eroalearen korronea berdina tenperatura baxuago batean garraiatu zen. ACSR eroalearen gezia 153 cm-tan handitu zen aldiz ACCC eroalerena 11,4 cm-tan. Proba honetan trantsizio-tenperatura ACCC eroalearentzako 50 °C inguruan zegoen eta ACSR eroalearentzako 80 °C inguruan. Trantsizio-tenperatura balioak eroale mota, trakzio, bao luzera eta eroalearen urteen menpe daude. Baita ere izotz kargak edo haizeak trantsizio-tenperaturaren eragina izan dezakete.



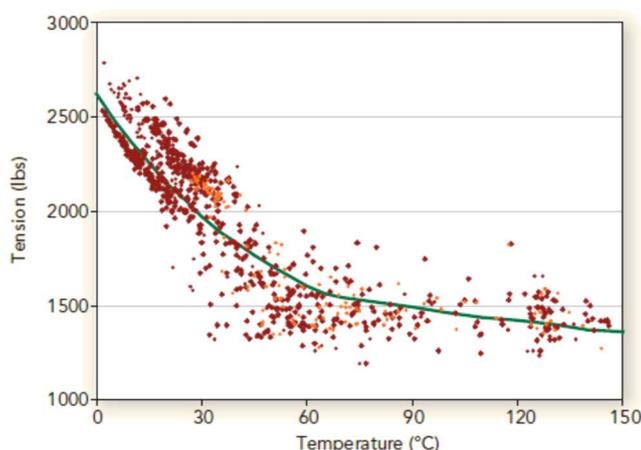
2.55 irudia. ACCC eta ACSR eroaleen Trantsizio-tenperatura konparaketa [CTC11].

▪ E-ON PROIEKTU PILOTUA

2009ko abenduan bere egoitza nagusia Alemanian duen E-ON sektore energetikoko enpresa europarrak Tenperatura Altuko eta Gezi Txikiko Eroalearen Proiektu Pilotua martxan ipini zuen. Proiektu honetan ACSR eroalea zegoen linea baten atal bitan ACCR eroalearekin ordezkatu zen. Proiektuarekin existitzen zen linearen ahalmena bikoiztu nahi zen, gezia ez zen handitu behar, dorreak ez zuten gainkargarik jaso behar eta zegoen eroalea ordezkatzeko erabiltzen zen eroalea diametro berdinekoa, fidagarria eta ekonomikoki onargarria izan behar zen. Guzti hori probatzeko 3M eta Lamifil/CTC konpainien eroaleak erabili ziren. Eroaleen instalazioen gainbegiraketa 3M eta Lamifil/CTC konpainietako langileek egin zuten. Instalazio honetan eroalearen gezi eta tenperatura monitorizatu ziren. Eroalearen tenperatura zuzenean eroalean egin zen eta tenperaturaren monitorizazioan sistema ezberdinak erabili ziren, Dallas Semiconductor-en I-Button eta Micca-ren emo sistema. E-ONen estazio meteorologikoen eta denbora errealeko monitorizazioaren arteko konparaketa egin zen [KUP10].

▪ THE SALT RIVER PROJECT

Salt River Projectek (SRP, Phoenix, Arizona, Estatu Batuak) Estatu Batuetako Energia Sailaren (DOE) laguntzarekin 3M konpainiaren ACCR eroalea probatzea erabaki zuten. Eroale hau tenperatura altuko eta gezi txikiko eroalea izanik, aireko linearen garraio ahalmena handitzeko, segurtasun baldintzak jarraituz, diseinatua zegoen eta horrela probatu nahi zuten. ACCR 795-kcmil eroalea aukeratu zen. Proba gauzatzeko, proba linea eraiki zen eta ACCR 795-kcmil eroalearen instalazioa IEEE 524 jarraituz egin zen, eroalearen esekitzean kontu handia izanez nukleoan kalterik ez sortzeko. Linean CAT-1 Valle Group-en sistema instalatu zen ainguraketa-euskarri baten eroalearen trakzio eta baldintza klimatologikoak neurtzeko 5 minutuko denbora tartetean. 2005etik 2006. urtearen hasieraraino lorturiko datuak 2.56 irudiko trakzio-tenperatura grafikoak erakusten dira. Tenperaturaren balioa eredu termikoan oinarrituz aurreikusten da. Irudian ikusten den datuen dispersioaren arrazoia haize neurketak toki bakar batean jaso zirelako da. Linearen funtzionamendua egokia izan zen eta eroalearen portaera espero zena izan zen [HUN06].



2.56 irudia. ACCR eroalearen trakzio-tenperatura erlazioa [HUN06].

3M konpainiaren ACCRTW 675 kcm eroalea egiaztatzeko beste instalazio baten deskribapena [CUS06] dokumentuan erakusten da.

▪ EPRI PROIEKTUA

Electric Power Research Institutuaren (EPRI) proiektua [CLA08][EPRI08], proiektu kolaboratzaile honek proiektuan parte hartzaile direnei HTLS

eroaleen hautaketa, diseinu, instalazio lanak eta mantenuari buruzko informazioa ematea du helburu. Helburu hau betetzeko eroale ezberdinak instalatzen dira kokapen ezberdinetan eta zenbait parametro neurtzen dira: eroale gezia, eroale tentsioa, klimatologia, eroale korrontea, lotura erresistentzia, tenperatura, koroa, bibrazioak eta itxura. Neurketa hauek egiteko gailu ezberdinak eta neurketa denbora maiztasun ezberdinak erabiliz. Neurketak egin ondoren EPPRIra transferitzen dira.

Proiektu honen txostena lau tokitan egindako landa probetan oinarritzen da: Center Point Energy, Hydro One, Arizona Public Service eta San Diego Gas & Electric. Txostenean toki bakoitzean erabilitako gailu eta monitorizazio sistemen deskribapena egiten da. Txostenak zehazki HTLS eroaleekin erabilitako gehigarri buruzko informazioa ematen du eta HTLS eroaleen bizi-iraupena aztertzen du fabrikatzaileen datu tekniko eta laborategi probetan oinarrituz eta proiektuan eginiko landa probetan.

Proiektua gauzatzeko erabilitako eroale, fabrikatzaile, instalazio datak eta kokapena 2.28 taulan adierazten dira. 2.29 taulan proiektuan neurturiko parametroak eta horretarako erabilitako sistemak edo/eta gailuak zerrendatzen dira. Azkenik 2.30 taulan egindako probaren emaitzen laburpenak zehazten dira.

2.28 TAULA

EPRI PROIEKTUAREN INSTALAZIOEN DATA, KOKAPEN ETA EROALEAK [CLA08][EPRI08]

EROALEA	FABRIKATZAILEA	DATA	KOKAPENA
ACSS	Southwire	2003ko maiatzak 26	Houston
GAP	J-Power	2004ko urriak 24	Ottawa
INVAR	LS Cable	2004ko urriak 24	Ottawa
ACCC	CTC	2005eko ekainak 17	Phoenix
ACCR	3M	2005eko uztailak 21	Oceanside

Monitorizazioaren helburua landa probetan gertatu daitezkeen portaera ez egokiak antzematea da. Hau da eroalearen edo bere osagarriaren batean egon daitezkeen ezaugarri fisiko, elektriko edo mekanikoetan irregulartasun edo arazoak zehaztea. HTLS eroaleen baldintza termikoak ebaluatzeko eroaleen ezaugarri fisiko eta elektrikoak monitorizatzen dira, eta baita ere ingurune

baldintzak. Linearen parametro batzuk denbora guztian monitorizatzen dira (adibidez korrontea, tenperatura, lurrarekiko distantzia) eta beste batzuk (kable lotzaile erresistentzia, koroa) ez; azken hauek tokia bisitatzerakoan kontrolatzen dira zehazturiko denbora tarteekin.

2.29 TAULA

EPRI PROIEKTUAN NEURTURIKO PARAMETROAK ETA NEURKETA GAILUAK[CLA08][EPRI08]

NEURTURIKO PARAMETROA	ERABILITAKO GAILUA
Eroalearen gezia	Bideo Sagometerra erabiltzen da. (2.57 irudia)
Eroalearen trakzioa	Karga-zelula (2.57 irudia)
Eroalearen korrontea	Azpiestazioan neurtzen da
Kable lotzaileen erresistentzia	Ohm Stick (MikroOhmetroa)
Eroale tenperatura	Infragorri kamera
Koroa	DayCor kamera
EMF(Eremu elektriko eta magnetikoa)	STAR 1000
Bibrazioa	SEFAG recorder
Itxura	Kamera, binokularrak
Eguraldia	Estazio meteorologikoa



2.57 irudia. Karga-zelula (a) eta bideo sagometerra (b) [EPRI08].

2.30 TAULA

EPRI PROIEKTUAREN PROBEN EMAITZEN LABURPENA [EPRI08]

		NEURTURIKO PARAMETROA				
EROALEA	Eroalearen karga	Gezi-trakzioa	Kable lotzaileen erresistentzia	Koroa behaketa	EMF	IR (Infragorria)
ACSS	Altua	Normala	Normala	Ez	Normala	Normala
Gap	Altua	Normala	Normala	Bai	Normala	Normala
Invar	Altua	Normala	Normala	Bai	Normala	Normala
ACCC	Baxua	Normala	Normala	Ez	Normala	Normala
ACCR	Baxua	Normala	Normala	Ez	Normala	Normala

Proiektuaren helburua EPRIko partaide diren zerbitzu publikoei, HTLS eroaleen instalazioan, erabileran eta konexioan esperientzia ematea eta eroale hauen fabrikatzaileek baieztatzen duten eroale hauen portaera egiaztatzea da. Lanaren azken helburua eroale hauen erabiltzaileei eroale horiek hautatzerakoan edo mota ezberdinen artean hautaketa egiterakoan laguntza ematea da eta eroale hauen instalazioan edo linearen iraunaldian arazoak ekiditeko bidea erakustea.

EPRIren proiektuko proben ondoren ez dago argi aztertutako HTLS eroaleen artean zein izango litzatekeen egokiena ahalmen handitze zehatz batean. Ala eta guztiz ere, eroale bakoitzaren esfortzu-deformazio kurbak eskuragarri daude eta zerbitzu publikoetako ingeniariak arazo baten aurrean aukera bakoitza aztertzeke aukera dute. Eroalearen aukeraketa azken finean tokiaren, hasierako diseinuaren marjinen, ingurugiro baldintzen, eta lortu nahi den ahalmen handitzearen menpe egongo da [EPRI08].

2.4. AIREKO EROALEEN KALKULU MEKANIKOA

Eroaleen kalkulu mekanikoa edo gezi/trakzio-tenperatura kalkulua, eroaleek jasango duten tentsio mekanikoan eta izango duten gezia oinarritzen dira. Trakzioaren kalkulua eroaleak bere haustura tentsio muga gainditu ez dezan kalkulatu dira. Geziaren kalkulua segurtasun distantziak mantentzeko egiten da.

Tesi honen helburua gezi txikiko eroaleen portaeraren karakterizazioa egitea izanik eta horretarako, bere trakzio-tenperatura portaera karakterizatzeko metodologia proposatuko denez, nahitaezkoa da eroale hauen gezi/trakzio-tenperatura portaera kalkulua eta portaera horretan eragina duten faktoreak aztertzea.

Gezi/trakzio-tenperatura portaeraren kalkulua baoaren geometria eta eroalearen portaera baldintzak betetzen dituzten eroalearen T trakzio eta L luzera balioak kalkulatzeko datza.

2.62 eta 2.63 irudietan baldintza bakoitzari dagokion trakzio-luzera grafikoak irudikatzen dira.

Eroaleen ezaugarri bereziak eroaleen kalkulu mekanikoan eragina izango dute, ondorioz eragin hori eroaleen portaeran nabaritutako da.

2.4.1. BAOAREN GEOMETRIA

Ohikoena eroalearen gezia, eroalea kokaturik dagoen tartearen luzera eta eroalearen trakzioa kontuan hartzen duen katenariaren ekuazioa erabiliz kalkulatzeko da.

- **Katenariaren ekuazioa**

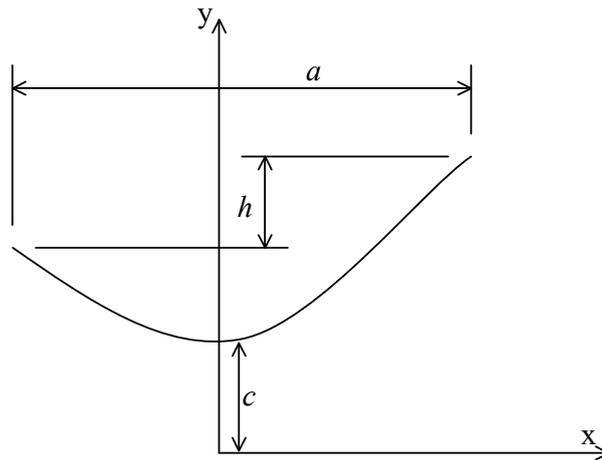
Puntu biren artean kokaturik dagoen aire linea baten forma katenaria baten bidez deskriba daiteke. Katenaria eroalearen pisuak osatzen du eta kosinu hiperboliko funtzioa erabiliz zehaztasunez modela daiteke.

Zintzilik dagoen eroaleak katenariaren itxura hartzen du [MORE04] (2.2). (2.3) ekuazioan, H trakzioaren osagai horizontala da, eta ω luzera unitateko karga.

$$y = c \cdot \cosh\left(\frac{x}{c}\right) \tag{2.2}$$

$$c = \frac{H}{\omega} \tag{2.3}$$

Katenariaren erpinaren koordenatuak $(0,c)$ izan daitezkeen kokatzen da x - y ardatzaren jatorriaren posizioa (2.58 irudia).



2.58 irudia. Katenaria.

Kurbaren luzera (2.4) ekuazioak ematen du.

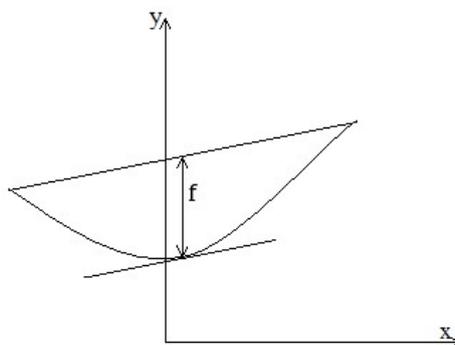
$$L = c \cdot \left(\sinh\left(\frac{X + a/2}{c}\right) - \sinh\left(\frac{X - a/2}{c}\right) \right) \quad (2.4)$$

$$X = c \cdot \ln \left(\left(\frac{h}{2 \cdot c \cdot \sinh\left(\frac{a}{2 \cdot c}\right)} \right) + \sqrt{\left(\frac{h}{2 \cdot c \cdot \sinh\left(\frac{a}{2 \cdot c}\right)} \right)^2 + 1} \right) \quad (2.5)$$

Bi muturrak altuera berdinean badaude ($h=0, X=0$):

$$L = 2 \cdot c \cdot \sinh\left(\frac{a/2}{c}\right) \quad (2.6)$$

Bi muturrak altuera berdinean badaude ($h=0$), katenariaren erpinean neurtzen da gezia. Altuera-diferentzia dagoenean, berriz, gezia neurtzeko katenariaren erpinetik urrundu behar da (2.59 irudia).



2.59 irudia. Gezia.

Gezia (2.7) ekuazioaren arabera kalkulatu da.

$$f = c \cdot \cosh\left(\frac{X + a/2}{c}\right) - c \cdot \cosh\left(\frac{x_f}{c}\right) - \frac{h}{a} \cdot (X + a/2 - x_f) \quad (2.7)$$

$$x_f = c \cdot \ln\left(\frac{h}{a} + \sqrt{\frac{h^2}{a^2} + 1}\right) \quad (2.8)$$

Bi muturrak altuera berdinean badaude ($h=0, X=0, x_f=0$):

$$f = c \cdot \left(\cosh\left(\frac{a/2}{c}\right) - 1 \right) \quad (2.9)$$

Puntu batean, eroalearen ω kargaren eta puntu horren eta kurbaren erpinaren d altuera-diferentziaren arabera da T trakzioaren eta bere H osagai horizontalaren arteko aldea.

$$T = H + \omega \cdot d \quad (2.10)$$

$$d = c \cdot \left(\cosh\left(\frac{x}{c}\right) - 1 \right) \quad (2.11)$$

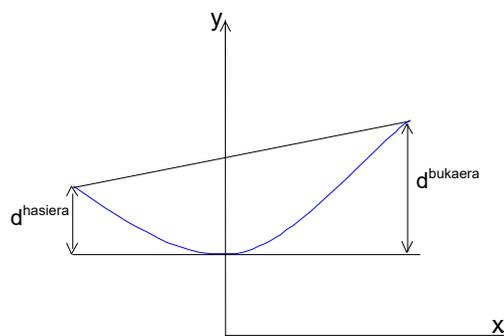
Hasierako eta bukaerako muturren kasuan (2.60 irudia):

$$d^{\text{hasiera}} = c \cdot \left(\cosh\left(\frac{X - a/2}{c}\right) - 1 \right) \quad (2.12)$$

$$T^{\text{hasiera}} = H + \omega \cdot \left(\cosh\left(\frac{X - a/2}{c}\right) - 1 \right) \quad (2.13)$$

$$d^{\text{bukaera}} = c \cdot \left(\cosh\left(\frac{X + a/2}{c}\right) - 1 \right) \quad (2.14)$$

$$T^{\text{bukaera}} = H + \omega \cdot \left(\cosh\left(\frac{X + a/2}{c}\right) - 1 \right) \quad (2.15)$$



2.60 irudia. Erpinarekiko muturretako d altuera-diferentziak.

Bi muturrak altuera berdinean badaude ($h=0$):

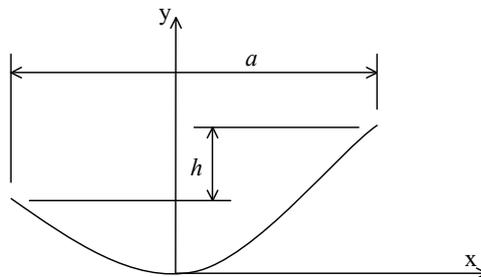
$$d^{hasiera} = d^{bukaera} = f \quad (2.16)$$

$$T^{hasiera} = T^{bukaera} = H + \omega \cdot f \quad (2.17)$$

Katenariaren ekuazio zehatza erabili beharrean, parabola erabil daiteke hurbilketa bezala (2.17).

$$y = \frac{x^2}{2 \cdot c} \quad (2.18)$$

Kasu honetan, x-y ardatzen jatorria parabolaren erpinean kokatzen da, eta (0,0) dira erpinaren koordinatuak. (2.61 irudia):

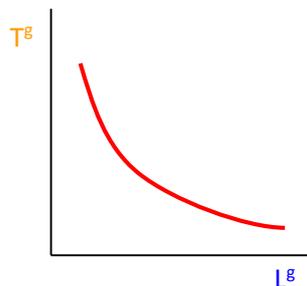


2.61 irudia. Parabola.

Bi muturrak altuera berdinean badaude ($h=0$), (2.19) ekuazioak ematen du kurbaren luzera.

$$L = a + \frac{a^3}{24 \cdot c^2} \quad (2.19)$$

Baoaren geometriaren arabera, baoaren ezaugarriek eta karga-baldintzek mugatzen dituzte L^g - T^g luzera-trakzio bikoteen konbinazioak. Trakzioaren balioa handiagotu ahala, luzeraren balioa murriztu egiten da, 2.62 irudia.

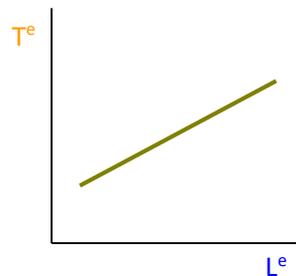


2.62 irudia. Trakzio-luzera baoaren geometria arabera.

- **Eroalearen portaera**

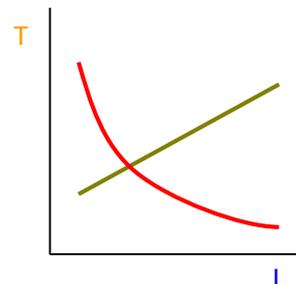
Trakzio eta tenperatura zehatz batean eroalearen luzera, bere erreferentzia luzeratik abiatuz, aldatu egiten da. Luzera-aldaketa eragiten duten faktoreetako bat eroalearen tenperatura aldaketa da. Trakzioaren aldaketak ere luzera-aldaketa eragiten du. Gainera, luzera modu iraunkorren handiagotzen da isurpena dela eta. Isurpenaren balioa handituz doa denborarekin. Eroalearen ezaugarrien arabera dira aldaketa horiek (materialak, sekzioa, dilatazio-koefizientea, elastikotasun-modulua...).

Eroalearen portaeraren arabera, L^e - T^e luzera-trakzio bikoteen konbinazioak mugatzen dituzte eroalearen ezaugarriek. Kasu honetan, trakzioaren balioa handiagotu ahala, luzeraren balioa handiagotu egiten da, 2.63 irudia.



2.63 irudia. Trakzio-luzera eroale portaeraren arabera.

Trakzio-tenperatura kalkulu metodoen helburua baldintza biak batera, geometria eta portaera, betetzen dituzten trakzio luzera balio pareta bilatzea da; baldintza biak batera betetzen dituen puntu bakarra egongo da, hau da trakzio eta luzera balio pare bakarrak beteko ditu geometria eta eroale portaera baldintzak, 2.64 irudia.



2.64 irudia. Trakzio-luzera baoaren geometria eta eroale portaeraren arabera.

Kalkulu mekanikoaren soluzioa aldatu egiten da bi kurbetako baten itxura edo posizioa aldatzen denean. Baoaren geometriaren kurba aldatu egiten da

haizearen edo izotzaren baldintzak aldatzen direnean. Eroalearen kurbari dagokionez, eroalearen tenperatura edota isurpena aldatzean gertatzen da aldaketa.

Kalkulu mekanikoaren abiapuntua erreferentzia-egoera baten definizioa da. Gezi/trakzio-luzera balioak definitzen dira gainkarga (haize, izotz), tenperatura eta isurpen balio jakin batzuentzat. Ohikoa da erreferentzia bezala instalazio-baldintzak hartzea. Gero, gainkargan, tenperaturan eta isurpen balioetan izandako aldaketen eraginak hartuko ditu kontuan kalkuluak, trakzio-luzera balio berriak kalkulatzeko. Metodo iteratiboen bidez bilatzen da soluzioa.

Aire linea bateko eroale baten trakzio-tenperatura portaera analizatzeko orduan zenbait faktore izan behar dira kontuan. Argi dago analizatu nahi den linearen ezaugarriak direla faktore esanguratsuenak. Eroalearen ezaugarrietan masa, elastikotasun-modulua eta dilatazio termikoko koefizienteak eragina daukate trakzio-tenperatura portaeran.

Bao luzerak eta esekidura dorre kopuruak trakzio-tenperatura portaeran eragingo dute. Linearen diseinuaz gain trakzio-tenperatura portaeran eragingo duten zenbait faktore daude: baldintza klimatologikoak besteak beste.

2.4.2. EROALEAREN EZAUGARRI MEKANIKOAK

Aireko eroale batek tenperatura aldaketa, izotz, haize, karga puntual eta denboraren eraginari erantzuten dion trakzio-tenperatura portaera, eroalearen ezaugarri mekanikoak definitzen dute.

Ezaugarri mekaniko hauek eta beraien balioak egiaztatzeko prozedurak ondorengo lerroetan deskribatzen dira.

- **Haustura mekanikoaren erresistentzia**

Eroalearen haustura mekanikoarekiko erresistentzia nukleo eta aluminioaren erresistentzien eta bakoitzaren sekzioaren araberakoa da. Gainera, alanbreen elongazio maximoa ere kontuan hartu behar da jakiteko ea nukleo eta aluminioaren artean zein hautsiko den lehen.

Haustura mekanikoarekiko erresistentziak gezi/trakzio-tenperatura portaeran zuzeneko eragina du [CIG 426]. Eroaleak zehazturiko erresistentzia

bete behar du. Eroalearen erresistentzia trakzioa hornitzaileak zehazturiko haustura mekanikoaren erresistentzia izendatuaren balioan edo handiagotan dagoen egiaztatzeko helburuarekin [CIG 426]-en eroalearen test metodoak gomendatzen dira. Metodo hauek ANSI C119.4 eta IEC 61284 jarraitzen dute.

- **Elastikotasuna. Elastikotasun-modulua, E**

Gehienetan elastikotasun-moduluaren balioa konstantetzat hartzen den arren, bere balioa tenperaturaren mende dago [CIG244], [CIG324]. Temperatura igotzean elastikotasun-moduluaren balioa murrizten da.

Elastikotasun-moduluaren balioa [IEC 61597] dokumentuan adierazten den metodoa jarraituz kalkulatu da. Eroalearen elastikotasun-modulua, E , nukleoaren E_n eta aluminioaren E_a elastikotasun-moduluaren eta beraien azalaren bidez, A_n eta A_a lortzen da (2.20) [CIG 426].

$$E = \frac{E_a \cdot A_a + E_n \cdot A_n}{A_a + A_n} \quad (2.20)$$

Eroalearen elastikotasun-modulua harien elastikotasun-moduluaren mende dago. Ordea, hariak helikoidalki biribilkatzen direnez, eroalearen ardatzeko deformazioa harien ardatzeko deformazioa baino handiagoa da [IEC 61597]. Hau dela eta, eroalearen elastikotasun-modulua harien elastikotasun-modulua baino txikiagoa da. Fabrikazio arauak eroalearen geruza bakoitzarentzako urrats-diametro erlazioarentzako balio maximo eta minimoak definitzen dituzte. Urrats-diametro erlazio txikiena duen eroaleari dagokio balio txikiagoko elastikotasun-modulua.

Eroalearen fabrikatzaileak eta bezeroak eroalearen elastikotasun-moduluaren balioa egiaztatzeko laborategiko proba egiteko akordioa hartu dezakete. Proba hau esfortzu-deformazio proba da [EN50182][ETC99]. Esfortzu-deformazio proban, eroalea zenbait ziklotan handitzen doan kargaren eta ondoren gutxitzen doan kargaren eraginpean ipintzen da. Elastikotasun-moduluaren balioa karga gutxitzen doan ziklo aldiko esfortzu-deformazio kurbaren bidez lortzen da.

Eroalearen erosleak horrela eskatzen badu eroalearen esfortzu probak egingo dira, horrela eroalearen esfortzu-deformazio kurbak lortuz. Trakzio kurba hauek eroalearen geziaren programen bidezko kalkulua ahalbidetzen dute.

Neurturiko trakzio kurbak koefiziente polinomikoak deribatzeko erabili daitezke [CIG 426].

[EN50182] dokumentuan trakzio erantzunaren kurbak lortzeko gomendatzen diren prozedurak azaltzen dira:

Laginaren luzera: eroalearen lagin bat erabiltzen da eta lagin honen luzera gutxienez eroalearen diametroa 400 aldiz izango da eta ez da izango 10 m baino laburragoa. Erosle eta fabrikatzaileak laginaren luzera adostu ahal izango dute. Erreferentzia luzera gutxienez eroalearen diametroa 100 aldiz izango da.

Saiakuntzaren tenperatura: tenperatura irakurketak karga mantentze ziklo bakoitzaren hasiera eta amaieran jasoko dira eta tenperatura 2 °C baino gehiago aldatzen bada, eroalearen dilatazio termikoa deskontatuko da.

Laginaren prestaketa: kontu handiz egingo da. Altzairuzko nukleoaren eta eroalearen aluminio geruzen desplazamendu oso txikiak esfortzu-deformazio kurbetan aldaketa handiak sortzen dituzte eta hau ez gertatzeko laginaren prestaketa pausu batzuk jarraituz egingo da.

Konpresio grapen baldintzak: grapa hauek erabiltzeko zehazturiko metodoa jarraituko da.

Saiakuntza prestatzea: lagina euskarrian kokatuko da eta tentsio mekaniko pean dagoenean ez da 10 mm baino gehiago igo behar. Eroalearen deformazioa erreferentzia luzeraren muturretan neurturiko desplazamendutik abiatuz ebaluatuko da.

Karga mailak: hasiera batean eroalea bere haustura tentsioaren % 5era eramango da, eroalea zuzentzeko eta deformazioaren balioa zeron ezarriko da. Ondoren eroalea bere haustura tentsioaren % 30era eramaten da eta ordu erdi batean horrela mantentzen da 5., 10., 15. eta 30. minutuetan irakurketak jasoz; berriro hasierako tentsiora eramaten da. Hurrengo pausua eroalea bere haustura tentsioaren % 50era eramatea da eta ordu batean horrela mantendu eta 5., 10., 15., 30., 45. eta 60.minutuetan irakurketak jasoz; ondoren berriro hasierako tentsiora eramaten da. Azkeneko pausu bietan eroalea bere haustura tentsioaren % 70 eta % 85era eramaten da eta aurreko kasuko prozedura berdina jarraitzen da. Hau egin ondoren berriro karga aplikatzen da

eta kasu honetan eroalea apurtu arte igotzen joaten da aldi berean % 85erarte irakurketak jasotzen dira. Kargaren aplikazio abiadura uniformeak izango da.

Altzairuzko nukleoan aplikatu beharreko tentsio mailak: aurreko kasuan bezala nukleoaren haustura tentsioaren % 30, % 50, % 70 eta % 85 aplikatuko da eta irakurketak jaso.

Lorturiko emaitzetatik abiatuz esfortzu-deformazio kurbak eraikiko dira eta bezeroari informazio guztia emango zaio.

[ETC99] dokumentuan ere esfortzu-deformazio proba egiteko prozedurak azaltzen dira.

- **Trantsizio-tenperatura. Knee-point tenperatura**

Energia elektrikoaren garraio lineen eraikuntzan hari zentral baten inguruan hari metaliko edo alanbreen bidezko kableaturik dauden eroale metaliko biluziak erabiltzen dira. Eroale hauen eraikuntzan aluminioa izan da nagusitu den materiala.

Eroale arruntek, ACSR eroaleek adibidez, 90 °C azpitik lan egin dezakete, hortik gora aluminioak ezaugarri mekanikoak galtzen baititu Tenperatura altuagotan lan egiteko, aluminio-aleazio bereziak garatu dira.

Eroale konposatu gehienak erantzun mekanikoan trantsizio-tenperatura puntua erakusten dute. Tenperatura baxuetan gezi/trakzio-tenperatura portaera aluminio eta nukleoren batezbesteko haztatua da. Trantsizio-tenperaturaren gainera eroalearen gezia nukleoaren dilatazio termikoaren mende dago [DOU13].

Trantsizio-tenperatura gertatzen denean aluminioak ez du karga mekanikorik eusten eta karga mekaniko guztia nukleoaren gain dago. Hau da, trantsizio-tenperatura aluminioak karga mekanikoa galtzen duenean gertatzen da.

IEEE Standards Association elkarteak knee-point edo trantsizio-tenperatura, ACSR eroale baten aluminio hariak tentsio mekaniko gabe geratzen diren edo konpresioan sartzen diren tenperatura moduan definitzen du.

Trantsizio-tenperatura gertatzen denean aluminioa trakzio gabe geratzen da eta eroalearen muturretan, baoaren luzera dela eta, bere luzapena mugaturik aurkitzen du aluminioaren konpresioa gertatzen da, aluminioaren alanbreak erradialki kanporantz zabaltzen dira konpresio horretatik askatuz. Hala ere,

Nigol eta Barret-ek, euren "Characteristics of ACSR conductors at high temperatures and stresses" ikerketa lanean [NIG81] trantsizio-tenperaturan gertatzen den aluminioaren konpresioaren hipotesia deskribatzen dute: aluminioaren konpresio hipotesi horretan aluminioaren geruza ezberdinen mugimendu erradialak kontuan izan behar dira. Temperatura altua denean, behin aluminio hariak zabaldu eta erlaxatzen direnean, luzapen termikoa egonkortzeko kanporantz mugimendu erradiala hasten dute. Barne-geruzak kanpo-geruzak baino abiadura azkarrago batean kanporantz mugitzen hasten dira eta honen ondorioz geruzak parekatu eta konpresio axial bat jasaten dute; temperatura altuagoa den heinean konpresioa handiago izango da, aluminioaren kanpo geruzak barnekoak baino temperatura txikiagoa izango dute eta honek indar erradialak eusteko ahalmena handitzen du, baina temperatura zenbat eta altuagoa izan kanpo geruzan trakzioa murriztu egingo da eta barne geruzetako konpresioa handitu indar erradialak orekatzen diren egoera gertatzen den arte eta aluminioaren kanpo zabalkuntza sortuz. Egileek adierazten dutenaren arabera kanpo alderantz gertatzen den zabalkuntza erradiala ez da gertatzen aluminioa trakzio gabe geratzen denean baizik eta 10 eta 15 Mpa-eko balioko konpresioa jasan dezake. Honela aluminioaren zabalkuntza erradiala gertatzen den temperatura handitzea gertatzen da eta ondorioz eroalearen luzapen koefizientearen murriztea.

Aluminioaren konpresio hipotesi horren oinarria Rawlins-ek aztertu zuen bere "Some Effects of Mill Practice on the Stress Strain Behavior of ACSR" lanean [RAW99] eta aluminioaren konpresio oso txiki bat justifikatzen da trantsizio-tenperaturan. Rawlins-en lanaren eztabaidan Rawlins-ek trantsizio-tenperatura ez dela gertatzen aluminioa trakzio gabe geratzen denean iritzikoa dela adierazten du. Bere ustez praktikoki horrela gertatzen da eta hainbat urtetan zehar horrela onartu da. Aluminioaren geruzen artean sortu daitezkeen tentsio ezberdintasunak onartzen ditu eta ezberdintasun hauek eroalearen tentsio osoan eragin dezaketela, baina ezberdintasun hauek praktikoki oso txikiak dira eta gezi-trakzio kalkuluan ez dira kontuan hartzen. Egileak bere iritzia hipotesi alternatibo batean oinarritzen du eta eroalearen trantsizio-tenperaturan eroalearen fabrikazioaren eragina onartzen du: aluminioz osaturiko eroaleetan nolabaiteko trakzio balio bat gertatu ahal dela fabrikazio prozesuan eta horrek trantsizio-tenperatura balio altuago bat eragiten du.

Urteetan zehar laborategi eta landa praktika anitzek ACSR eroaleen hondoratzea trantsizio-tenperatura baino tenperatura altuagotan ez dela konstantea adierazi dute. Eroalearen gezi-kalkulurako zenbakizko metodoak eta metodo grafikoak trantsizio-tenperatura bat onartzen du, tenperatura hortik aurrera aluminio alambreen trakzioa nulua da. Tenperatura horren azpitik eroalearen gezia eroalearen (aluminio eta altzairu) elastikotasun-moduluaren eta luzapen termiko koefizientearen menpe egongo da eta trantsizio-tenperaturaren gainera gezia altzairuaren modulu elastiko eta luzapen termiko koefizientearen menpe egongo da.

[MAM15] dokumentuan egileek tenperatura altuko eta gezi txikiko eroaleen trantsizio-tenperaturaren kalkulurako eredu analitikoa aurkeztu eta eredu honen aplikazioa erakusten dute eroaleen diseinu eta parametro ezberdinentzako. Egileek egindako analisien arabera eroalea instalaturik dagoen bao luzerak eta gezi-trakzioak eragin handia dute trantsizio-tenperaturaren. Hau dela eta, eroalearen instalazio-trakzioa eta bao luzera trantsizio-tenperaturaren faktore esanguratsuak dira. Trantsizio-tenperaturaren eroalearen ezaugarriak duten eragina ere aztertzen da, nukleoaren azaleraren handitzeak kanpo geruzen azalerarekiko, trantsizio-tenperaturaren jaitziera eragiten du. Izan ere, azaleraren erlazioak eroalearen elastikotasun-moduluaren eta dilatazio termikoko koefizientearen eragiten du. Eroalearen fabrikazio tenperatura eta instalazio tenperatura ezberdinak direnean trantsizio-tenperaturaren handitzea eragiten duela aipatzen dute. Egileek aurreikusitako eta trantsizio-tenperatura errealearen arteko ezberdintasuna aipatzen dute; egoera hau trantsizio-tenperaturaren gainera aluminioaren kanpo geruzetan gertatzen den konpresio indarren ondorio dela suposatzen dute eta laborategi azterketan egin ondoren aurkezten dituzten datuen arabera konpresio indarra trantsizio-tenperaturaren eragiten duen funtsezko faktorea dela esaten dute eta proposatzen duten ereduak aluminioaren konpresio indarrak kontuan hartzea ahalbidetuz.

Zenbait ikerketen arabera [SIB16] trantsizio-tenperatura ez da tenperatura balio zehatza, eroalearen ezaugarrien arabera 10etik 20 °C-ko tartea egon daiteke eta ohiko kalkulu metodoak onartzen duten baino balio altuagoa izaten da gehienetan.

[SIB16] dokumentuan egileek kalkulu metodo klasikoek aurreikusitako trantsizio-tenperatura baino tenperatura altuago den tenperaturaren zergatia

aztertzen dute. Horretarako hipotesi nagusi bitan oinarritzen dira: aluminio harien konpresio indarren hipotesia eta eroalearen fabrikazio prozesuaren eraginaren hipotesia. Egileek ACSR eroaleen portaera trantsizio-tenperatura baino tenperatura altuagoa aztertzeko aurretik aipaturiko hipotesietan adierazten diren modeloak aztertu eta aluminio harien konpresio indarren eragina kuantifikatzearen zailtasuna kontuan izanik, azterketa trantsizio-tenperatura baino tenperatura altuagotan aluminio-txirikordatzek bere ezaugarri mekanikoetan duen eraginean bideratzeko esaten dute. Azterketa proba fisiko eta zenbakizko ebaluazioekin osatuko da. Azkenik, egileek trantsizio-tenperatura baino tenperatura altuagotan ACSR eroaleen gezi kalkuluan dagoen ziurgabetasuna onartzen dute eta proposatzen duten azterketarekin eroaleen tenperatura altuko portaeraren ezagutza hobetzea dute helburu eta horrela zerbitzu publikoei gezi gehikuntzari dagokion informazioa ematea.

Trantsizio-tenperatura eroale motaren, nukleo eta aluminio sekzioen arteko erlazioaren eta baoaren luzeraren arabera da. Esan bezala, trantsizio-tenperatura aluminioak karga mekanikoa galtzen duenean ematen da. Aluminio eta nukleoaren sekzioen arteko erlazioa zenbat eta txikiagoa izan orduan eta karga mekaniko gutxiago izango du aluminioak eta ondorioz tenperatura baxuago baten galduko du karga. Baoaren luzerari dagokionez, zenbat eta luzeago izan orduan eta gutxiago murrizten da tentsioa tenperatura igotzean. Ondorioz, bao luzeek trantsizio-tenperatura altuagoak dituzte.

Temperatura altuko eta gezi txikiko eroaleak euren ezaugarriak direla eta trantsizio-tenperaturaren gainera gutxiago dilatatzeko dira eta ondorioz gezi muga tenperatura altuagotan izaten dute, hau da korrante balio altuagotan. Temperatura altuko eta gezi txikiko eroale eta eroale arrunten ezaugarrien arteko ezberdintasun nagusi bat nukleoaren dilatazio termikoaren koefizientearen balioa da.

Eroale batean errendimendua, tenperatura igotzen denean, trantsizio-tenperaturaren balioaren eta nukleoaren dilatazio koefizientearen mende egongo da.

Trantsizio-tenperatura dilatazio termikoaren koefizientearekin erlazionaturik dago. Eroalearen koefiziente hau ezagutzea ezinbestekoa da trantsizio-

temperatura hori zenbatekoa izango den jakiteko, edo eroalearen gezia nukleoaren mende ze temperaturaren gaintik geratuko den jakiteko.

- **Dilatazio Termikoko Koefizientea, DTK,**

Eroalearen α dilatazio koefiziente baliokidea α_n eta α_a nukleo eta aluminioaren dilatazio koefizienteen, E_n eta E_a elastikotasun-moduluaren eta A_n eta A_a sekzioen balioen arabera da (2.21) [IEC 61597].

$$\alpha = \frac{E_a \cdot A_a \cdot \alpha_a + E_n \cdot A_n \cdot \alpha_n}{E_a A_a + E_n A_n} \quad (2.21)$$

Eroale batean gezi/trakzio-temperatura portaera aurreikusteko beharrezkoa da dilatazio termikoko koefizientea ezagutzea. Homogeneoak ez diren eroaleetan gezi/trakzio-temperatura portaera atal bitan banatzen da: trantsizio-temperatura azpitik eta trantsizio-temperatura gaintik, hau da aluminioak karga eusteari usten dion temperatura puntuaren gaintik eta azpitik. Atal bi hauen lerroaren malda izango da trakzioa temperaturarekin aldatzen den indizea, hau da dilatazio termikoko koefizientea. Dilatazio termikoko koefizientearen balio bi neurtu daitezke, trantsizio-temperatura azpitik eta gaintik, balio hauek definituriko balioarekin bat etorri behar dira [CIG 426].

Dilatazio termikoko koefizientearen neurketan ez dago prozedura estandarrik baina [CIG 426] dokumentuan koefizientearen neurketa helburu duen prozedura gomendatzen da.

[MCC10] dokumentuan dilatazio termikoko koefizientearen neurketa adibide bat adierazten da, neurturiko balioak balio teorikoekin bat eginez.

- **Isurpena**

Denboran zehar eroalean gertatzen den deformazio edo luzapen ez elastikoa da isurpena. Deformazio edo luzapen hau harien deformazio ez elastiko eta berregokitzearen ondorioa da. Isurpena eroalearen luzapen moduan bistaratzen den gertakaria da, eta ondorioz geziaren handitze batean honek sortzen duen lege betetze arazoekin.[ADA84].

Urteetan zehar eroalearen metal ez-elastikoak jasaten dituen eguneroko tentsioa dela eta eroaleen isurpena garrantzitsu bihurtzen da. Aluminioaren

isurpena eta gezia iraunkorki handitzea da ohikoena. Handitze honen aurrezagutza karga diseinuaren atal bat bihurtzen da isurpenak eragiten duen gezia kontuan hartzen delako [CIG 426].

1930. urtetik Alcoaren gezi-trakzio metodo grafikoak isurpenaren eragina kontuan hartzen du. Metodoan laborategian eginiko isurpen proba ezberdinetako datuak erabiltzen ditu eroale batean gerta daitekeen isurpenaren aurre kalkulurako. Alcoak 1957. urtetik tenperatura altuetan eroale elektrikoaren laborategiko isurpen probak egiten ditu [HAR69].

Bi isurpen mota jasaten dituzte eroaleek. Alde batetik, isurpen metalurgikoak alanbreen egitura mikroskopikoari eragiten dio. Isurpen hori etengabe handituz doa denborarekin, eta esfortzuaren eta tenperaturaren arabera da. Beste alde batetik, alanbreen arteko elkarrekintzekin erlazionaturik dagoen asentatze geometrikoa. Isurpen hori bat-batekoa da eta eroaleak jasandako esfortzu maximoa gainditzen den bakoitzean gertatzen da. Isurpen osoa, isurpen metalurgikoaren eta asentatze geometrikoaren batura da [CIG81][IEC1597] [PIRO14].

[CIG81] dokumentuan isurpenaren kalkulurako metodologia garatzen da. Metodologia isurpenaren kalkulu sekuentziala da. Isurpenaren ondorioz gertatzen den deformazioa metatze-prozesua da eta isurpenaren aurreko etapen mende dago. Garatzen den isurpen osoaren kalkulurako denbora eta tenperatura konstante suposatzen diren denbora tarteak erabiltzen dira. Denbora tarte luzea bada isurpenari dagokion deformazioa handitzen den heinean esfortzua murrizten da. Kasu hauetan, aldaketa murrizteko helburuarekin denbora tarte azpi-tarteetan banatzen. Azpitartean gertatzen den deformazioaren aldaketa balioa $20 \mu\text{m}/\text{m}$ ingurukoa denean ontzat hartzen da.

Isurpena neurtzeko gomendatzen diren saiakuntzak Aluminium Association Guide [ETC99] edo [UNE61395] dokumentuetan adierazten dira. Azken honetan aldaketak egiten dira espero diren karga zerbitzuetako tenperatura maximoa isurpen neurketak gehitzeko [CIG 426].

Isurpen metalurgikoaren saiakuntzan, trakzio eta tenperatura konstantean mantentzen da eroalea 1000 orduz jarraian. Ohikoa da tenperatura 20°C izatea eta saiakuntza-trakzioa haustura-trakzioaren % 20. Neurketen bidez, isurpenaren bilakaera zehazten duten parametroak kalkulatu dira.

Asentatze geometrikoa zehazteko, esfortzu-deformazio saiakuntza egiten da. Saiakuntza horren bidez, eroalearen, nukleoaren eta aluminioaren hasierako kurba bereizgarria zehazten da. Kurba horrek ordu betez esfortzu jakin batekin egonez garaturiko deformazioa ematen du.

Hasierako kurban agertzen den deformazioa hiru deformazioren batura da: deformazio elastikoa, asentatze geometrikoaren deformazioa eta ordubeteko isurpen metalurgikoko deformazioa. Horrela, eroalea lasaitzen bada, hau da, trakzioa kentzen bazaio, geratzen dira asentatze geometrikoaren deformazioa eta ordubeteko isurpen metalurgikoko deformazioa.

Esfortzu-deformazio saiakuntzan balio desberdineko zenbait karga-deskarga ziklo egiten dira. 1964 urtean Aluminum Association-ek zehaztu zuen esfortzu-deformazio saiakuntza egiteko modua [ETC99]. [UNE50182] arauan ere zehazten da saiakuntza egiteko prozedura:

- Saiakuntza eroale osoarekin hasten da eta eroalea bere haustura-trakzioaren % 5era tenkatzen da. Hortik aurrera hasiko da deformazioa neurtzen.
- Trakzioa haustura-trakzioaren % 30era igotzen da eta balio horretan mantentzen da ordu erdiz.
- Eroalea lasaitu egiten da, % 5era arte; % 50era igotzen da, eta bertan ordubetez mantendu.
- Eroalea lasaitu egiten da, % 70era igo, eta bertan ordubetez mantendu.
- Eroalea lasaitu egiten da, % 85era igo, eta bertan ordubetez mantendu.
- Eroalea lasaitu egiten da, eta trakzioa igotzen da eroalea haustu arte.
- Ondoren, nukleoarekin jarraitzen da, eta eroale osoari egin zaizkion zikloak egiten zaizkio. Ziklo bakoitzean igotzen joaten da trakzioa, deformazioa eroale osoaren saiakuntzan lorturikoa den arte.

Saiakuntzen bidez, hasierako kurba bat lortzen da eroalearentzat eta beste bat nukleoarentzat. Aluminioaren hasierako kurba bi kurben arteko diferentzia eginez lortzen da.

PLS-CADD aireko lineen diseinurako programan eroaleentzako erabiltzen den eredu mekanikoan eroalearen instalazio inguruko hasierako orduak hasiera baldintza gisa definitzen dute. Eroalea beti egongo da trakzioaren eraginpean eta denborarekin isurpenaren eragina jasango du. Eroaleak jasaten duen

trakzioa hamar urtetan konstante suposatuz isurpen tenperaturan, TEMPC deituriko tenperatura, eroalearen egoera hamar urte ondoren "isurpen ondorengo" egoera gisa definitzen da. Hau da PLS-CADD programan isurpen metalurgikoaren modelizazioa eroaleak 10 urtetan jasaten duen trakzio konstante gisa modelizatzen da. Beste alde batetik asentatze geometrikoa modelizatzeko "karga ondorengo" egoera gisa definitzen da [PLS-CADD].

Eroale konposatuetan, isurpenari dagokionez nukleo eta aluminioaren portaera ezberdina da. Karga aluminio harien eta altzairuzko nukleoaren artean partekatzen da eta eroalearen tenperatura izango da isurpen-tasa emango duena. Tenperatura igo ahala aluminioak trakzio gutxiago jasotzen du eta karga altzairuzko nukleora pasatzen da, karga guztia nukleoak bakarrik eusten duen trantsizio-tenperatura heldu arte [ALA07].

[ALB09] dokumentuan egileak gap motako eroaleen egitura berezia dela eta, nukleo eta aluminioaren isurpena banatzeko behartasuna kontuan hartzen du. [ALB10] dokumentuan HTLS eroaleen kalkulu mekanikoan kontuan hartzeko alderdiak analizatzen dira eta [ALB11] dokumentuan metodoaren aldaketa eta hobekuntzak egiten dira. Metodoarekin eroalearen isurpen portaera aztertzeko eroalearen operazio denbora behar bezain besteko denbora tarteetan bana daitekeelarik.

2.4.3. EROALEAREN TRAKZIO-TENPERATURA KALKULUA

Eroaleen kalkulu mekanikoa edo trakzio-tenperatura kalkulua gehienetan linea ezartze tenperatura eta gezi maximoko baldintzetan euskarri biren arteko aire eroalearen gezi, trakzio eta luzera zehaztera bideratuta dago, karga baldintza latzenetan eroalearen trakzio maximoa alde zuzenetik ezarritako gehienezko balio bat gainditu barik [LAN51].

Gezi/trakzio-tenperatura kalkulua baoaren eta eroalearen portaera baldintzak betetzen dituzten eroalearen trakzio eta luzera bilatzean datza.

Aireko eroale baten trakzio eta gezia zenbait faktoreren mende daude. Alde batetik, haize edo izotzak eroalearen karga mekanikoa handitzea eragiten dute aldi berean gezi eta trakzio balioak handituz. Beste alde batetik, baldintza klimatologiko eta korrante elektrikoaren mende dagoen eroalearen tenperaturak trakzio-tenperatura balioetan eragiten du. Eroalearen bizitzari dagokion isurpena ere kontuan hartu behar da.

Eroale simple eta bimetalikoen gezia aurreikusi eta kalkulatzeko zenbait eredu garatu dira. Gezi eredu hauek metodo grafiko eta metodo analitikoetan sailkatu daitezke. Metodo grafikoak eroalea osatzen duten materialen trakzio-deformazio kurbatan oinarritzen dira [ALA06].

Berrogeita hamarreko hamarkadan zenbait trakzio-tenperatura metodo garatu ziren [DWI26] [EHR35] [NAS45] [HAR53] [LUM55] trakzio-tenperatura kalkulurako metodo grafiko eta analitikoetan oinarrituz bereziki.

Metodo grafikoetako bat 1926an garaturiko Alcoa metodoa da [VAR27]. Eroale oso eta bere osagaien trakzio-deformazio portaeraren analisisian oinarritzen da. Metodoak, trakzio-deformazio kurbak erabiliz gezia kalkulatu du. Metodo honek eroalearen trakzio-deformazio portaeraren mende dagoen prozedura iteratibo bat du [ALA06][SOU08] [SOU13].

Alcoa metodoa oso erabilia da eta zehaztasun maila oso ona eskaintzen du [ALB09].

Garaturiko zenbakizko metodo ezberdinen artean Numeric Sag Method (NSM) deituriko metodoa dago. NSM metodoak materialaren ezaugarrien konstanteak eta hurbilketa ekuazioak erabiltzen ditu, Young modulua eta dilatazio termikoko koefizientea barne (DTK). Ekuazio eta konstante hauek prozesu iteratibo batean erabiltzen dira geziaren balioa lortzeko helburuarekin. NSM metodoarentzako materialen trakzio-deformazio kurbak ez dira beharrezkoak, baina NSM metodoak material bi edo gehiagoekin eratuta dauden eroale konposatuentzako ezin du emaitza zehatzik lortu, eta tenperatura igotzen den heinean geziaren balioaren errorea handitzen da [ALA06].

NSM metodoaren mugak gainditzeko eta eroalearen portaera bi-lineala kontuan izanik, beste metodo bat aurkezten da, Hibrid Sag Method, HSM [ALA06]. Metodo honetan geziaren kalkulurako prozedura paralelo bi daude, bata NSMren antzeko prozedura erabiliz egiten da eta besteak gezia kalkulatzeko bakarrik nukleoaren ezaugarriak erabiltzen ditu.

Brian McDonal-ek bere lanean [McD90] edozein geometridun lineentzako gezi-trakzio kalkulurako metodologia proposatzen du. Metodologia hau ohiko metodologiekin konparatzen du, lortzen diren emaitzen adostasuna erakutsiz.

Eroaleen portaera elektriko, mekaniko eta termikoaren kontuan hartzen dituzten lau eredu matematikoen garapenean oinarriturik: eredu elektromagnetiko, eredu mekaniko, eta eredu termiko erradial eta egoera egonkorrekoa. [FIL94] lanean egileek lau ereduaren konbinazioa erabiliz eredu bateratu bat erabiltzen dute. Eredua banaketa eta aireko lineetako eroaleen diseinurako oso erabilgarri dela erakusten dute, ereduak eroaleen ezaugarri mekaniko, elektriko, elektromagnetiko eta termikoak aurreikusten dituelako.

[DON15] lanean aireko lineen trakzio kalkulurako metodologia proposatzen da. Gezi-trakzio karakterizaziorako metodo analitikoa proposatzen da. Proposaturiko metodologian egileak trantsizio-tenperatura zuzenean kalkulatu du trakzio-tenperatura erlazioaren bitartez.

[ABE15] lanean, egileek kurba parabolikoko eroaleen gezi-trakzioa kalkulatzeko metodo berri bat proposatzen dute eta kasu ezberdinetan probatzen dute. Eroaleen gezi-trakzio kalkuluan eragina duten parametroetan egon daitezkeen erroreak direla eroaleen gezi-trakzio modelizazioan ziurgabetasun ereduak erabiltzearen beharra adierazten dute. Errore hauek tenperatura aldaketa eta eroalearen ezaugarrien aldaketan oinarritzen dira eta kontuan izanik klimatologiak ezaugarri fisikoekin batera gezi-trakzioaren kalkuluan duen eragina, euri, haize eta izotzak eroalean gainkarga sortzen dutelako, eta baita ere neurketak egiteko erabiltzen diren neurgailuen doitasuna dela eta neurketetan egon daitezkeen erroreak direla eta ziurgabetasun ereduaren erabilera justifikatzen dute. Kasu honetan egileek eroalearen gezi, trakzio eta luzera kalkularen eredu egin eta probatzen dute tenperatura ezberdinen kasurako, erabiltzen duten metodo aritmetikoa beste metodo batzuekin konparatzen dute egileen metodoaren emaitzak beste metodoak baino muga kontserbadoreagoa emanez.

Azken finean zenbakizko metodoak erabiliz trakzio-tenperatura kalkularen prozedura, prozedura matematiko iteratiboa da. Oso garrantzitsua da eroalearen modulu elastiko zuzena eta dilatazio termikoaren koefiziente balioak ezagutzea, trakzio-tenperatura balioak kalkulatu dituzten programak eroalean gertatzen den luzera aldaketa zehaztasunez kalkulatu dezaten.

Trakzio-tenperatura kalkulu metodoen arteko ezberdintasuna hauek baoren geometria eta eroalearen portaera kontuan hartzen duten moduan eta

jarraitzen duten metodo iteratiboan dago. Ezberdintasun handienak eroalearen portaera kontuan hartzen den moduan daude [CIG324]. Baoaren geometriari dagokionez katenariaren kurba hurbilketa baten bidez edo adierazpen zehatzarekin adieraz daiteke.

Eroalean gertatzen diren luzera aldaketak aztertzerakoan ondorengo gertakariak kontuan hartu behar dira:

- ✓ Trakzioak sortzen duen deformazio elastikoa
- ✓ Tenperatura aldaketak direla eta sortzen den dilatazio termikoa.
- ✓ Isurpena edo deformazio iraunkorra.

Trakzio mekanikoa eta isurpena eroaleak jasaten duen trakzioari lotuta daude. Trakzioa dela eta sortzen den deformazio elastikoak, trakzioa handitzean eroalearen luzera handitzea eragiten du eta trakzioa txikitzean luzera berreskuratzen edo txikitzen da. Beste alde batetik, isurpen moduan ezagutzen den deformazio iraunkorra dago, deformazio hau denboran zehar handitzen joaten da eta ez da berreskuratzen. Dilatazio termikoa eroalearen tenperatura aldaketarekin loturiko dilatazio eta kontrakzioekin erlazionaturik dago. Trakzio-tenperatura kalkulu metodo guztiak deformazio elastiko eta dilatazio termikoa kontuan hartzen dute. Aldiz, isurpena ez da metodo guztietan kontuan hartzen eta kontuan hartzen den metodoen artean ezberdintasun handiak daude [CIG324].

Eroale konposatuetan, deformazio elastiko, dilatazio termiko eta isurpenari dagokionez nukleo eta aluminioaren portaera ezberdina da. Zenbait trakzio-tenperatura kalkulu metodok nukleoaren eta aluminioaren ereduak bilatzen dituzte, bakoitza bere aldetik eta bakoitzaren trakzioa kalkulatzuz [VAR27]. Aldiz beste metodo batzuk eroale osoaren trakzioa kalkulatzuz eroale osoaren portaera kontuan hartuz [CHE88] [MORE99].

[IOR01] lanean aireko lineen eroale konposatuen trakzio-tenperatura kalkulurako metodologia eta horretarako erabiltzen duten modeloa eta honekin baterako software informatikoa azaltzen dute egileek.

Eroaleen trakzio-tenperatura kalkulurako merkatuan eskuragarri dauden programak nahiz eta aplikazio praktiko gehienetan emaitza onak eman, gap motako eroaleekin zenbait muga dituztela kontuan hartuz, [ALB09] dokumentuan kalkulu metodo berri bat garatzen da, STOC izenekoa. Metodo

honek, gap eroaleen egitura berezia dela eta, nukleo eta aluminioaren isurpena banatzeko behartasuna kontuan hartzen du. [ALB10] dokumentuan HTLS eroaleen kalkulu mekanikoan kontuan hartzeko alderdiak analizatzen dira eta [ALB11] metodoaren aldaketa eta hobekuntzak burutzen dira, horrela metodoa edozein eroale motarentzako egokia da, temperatura altuko eta gezi txikiko eroaleak barne.

Beryozkina-k eta Sauhats-ek tentsio altuko eta gezi txikiko eroaleen eta ohiko eroaleen arteko giro egoera ezberdinetako linearen balio termikoan oinarrituriko konparaketa aurkezten dute. Kalkuluak IEEE eta CIGREren intentsitate-ahalmen arauetan oinarrituz eta PLS-CADD programaren laguntzarekin egiten dituzte. Simulazioen emaitzetatik ondorioztatzen dute eroale egokiaren hautaketa giro baldintzen, eta bereziki haize abiaduraren menpe dagoela [BERV15].

Azken finean, eroale baten trakzio-tenperatura portaera aztertzeko erabiltzen diren kalkuluak egiteko datu ezberdinak erabiltzen dira: eroalearen gezia eta tenperatura, bao luzera, eroalearen masa, eta baita ere eroalearen elastikotasun-modulua eta isurpen abiadura. Lehenengo hiru balioak neurketen bidez lortzen dira eta neurketa erroreak egon daitezke. Azken hiru balioak fabrikatzaileak ematen ditu eta datuen aldaketak kontuan hartu beharko litzateke. Datu guzti hauetan aldakuntzak egoteak diseinaturiko eta portaera errealearen arteko ezberdintasunak sor dezakete. Ziurgabetasun honek lineen gaitasun ebaluaketa kostuetan eragin handia dute [POL14].

2.5. KONKLUSIOAK

Kapitulu honetan aireko linea elektrikoetan erabiltzen diren zenbait monitorizazio sistema aztertu dira. Kasu batzuetan sistema komertzialak dira eta beste batzuetan ikerketan dauden sistemak dira. Azterturiko sistema gehienak denbora errealean linearen balioztapena dute helburu, baina aplikazio ezberdinen adibideetan adierazten den moduan ba daude beste zenbait erabilpen.

Azterturiko sistemak parametro zehatz batzuen neurketetara bideratuta daude, baina neurturiko parametroaren datuen erabilera edo aplikazioa desberdina izan ahal da.

Adibidez aireko lineetako eroaleen tenperatura neurketa metodo zuzen eta ez zuzenen bidez monitorizatu ahal da. Metodo zuzenak eroalearen tenperatura neurketa zuzenean oinarritzen dira edo tenperaturarekin zuzenean erlazionaturik dagoen parametro fisiko baten neurketan: gezia, trakzioa, bibrazio maiztasuna, katenariaren linea angelua edo lurrarekiko distantzia. Hau da, monitorizazio sistema batek neurtzen duen parametroa eroalearen trakzio balioa izanik, datu hori eroalearen tenperatura kalkulurako erabil daiteke. Metodo ez zuzenak, estazio meteorologikoak neurturiko parametro meteorologikoak eta eroalearen karga elektrikoa erabiltzen dituzte eredu teorikoen bidez eroalearen tenperatura kalkulatzeko; baina estazio meteorologiko hauen datuak monitorizazio sistemarekin batera zenbait azterketa egiteko erabili daitezke: eroalearen portaera baldintza klimatologiko ezberdinetan, haizearen eragina linean, etab. Tenperatura eta geziaren neurketarekin eta kalkulu matematikoak eginez denbora errealean eroalearen intentsitate-ahalmena kalkula daiteke baina interesgarria da momentu horretako baldintza meteorologikoak kontuan izatea eta horretarako estazio meteorologiko baten instalazioa erabiliko litzateke. Hau da sentsore eta estazio meteorologikoen baterako erabilera denbora errealeko monitorizazioaren helburua betetzeko irtenbide ona izan daiteke.

Azken urteetan, industria elektrikoaren berregituratzea, kontsumo elektrikoaren handitzea (intentsitate-ahalmenaren balio kritikoak, galkargak), eroale berrien instalazioa edo energia berriztagarrien sarrera dela eta sistema hauen garapena gehiago bultzatu da eta linea elektrikoaren denbora errealeko monitorizazioaren erabilera gero eta zabalago da.

Sistema bat edo bestea hautatzeko orduan monitorizatu beharreko linearen helburua edo monitorizazio horren helburua kontuan izan behar da.

Denbora errealeko monitorizazio sistemak erabiliz eta eguraldi baldintzetan oinarrituz, sistema hauek aireko lineen gainbegiratze, kontrol eta ebaluaziorako irtenbide bat dira.

Tenperatura altuko eta gezi txikiko eroaleen ezaugarriak aurkeztu dira: egitura, materialak, muga termikoa, dilatazio termikoa, erresistentzia mekanikoa eta instalazioa. Ezaugarri hauek baldintzatzen dituzte eroalearen portaera mekanikoa eta termikoa. Eroale hauek muga termiko handiagoak dituzte erabilitako aluminio berezia dela eta. Gezi txikiko portaera lortzeko

dilatazio termiko txikiko materialak erabiltzen dituzte nukleoetan (invar, konposite), egitura berezia dute trantsizio-tenperatura murrizteko (gap motako eroaleak) edo aluminio suberatuaren deformazio plastikoan oinarritzen dira. Erresistentzia mekanikoaren eta masaren eragina ere aztertu da.

Tesiaren garapenean adieraziko den moduan eroaleen ezaugarri bereziak eroaleen kalkulu mekanikoan eragina izango dute, ondorioz eragin hori eroaleen trakzio-tenperatura portaeran nabaritu da.

Dilatazio termikoko koefizienteak, elastikotasun-moduluak eta eroalearen masak kalkulu mekanikoan eragiten dute. Eroalearen haustura mekanikoarekiko erresistentziak ere eragiten du. Beste alde batetik, tenperatura altuko eta gezi txikiko eroaleak trantsizio-tenperaturatik gora duen portaeran oinarritzen direla, hau da, aluminioak ez du karga mekanikorik eusten trantsizio-tenperaturatik gora; karga mekaniko guztia nukleoaren gain dago.

Beraz, hiru parametroren arabera da gezi txikiko ezaugarria:

- Eroalearen dilatazio-koefizientea
- Nukleoaren dilatazio-koefizientea
- Trantsizio-tenperatura

Eroale motaren, nukleo eta aluminio sekzioen arteko erlazioaren eta baoaren luzeraren arabera da trantsizio-tenperatura. Esan bezala, aluminioak karga mekanikoa galtzen duenean gertatzen da trantsizio-tenperatura. Aluminioaren eta nukleoaren sekzioen arteko erlazioa zenbat eta txikiagoa izan, orduan eta karga mekaniko gutxiago izango du aluminioak, eta, ondorioz, tenperatura baxuago batean galduko du karga. Baoaren luzerari dagokionez, zenbat eta luzeago izan orduan eta gutxiago murrizten da tentsioa tenperatura igotzean. Ondorioz, bao luzerak ere eragina izango du eroalearen portaeran.

HTLS eroaleak naiz eta zenbait urte eraman merkaturatuta ez daude instalazioetan finkatuta eta erabiltzaileek eroale hauen portaera egokiaren segurtasuna behar dute.

HTLS eroaleen fabrikatzaileek eroale hauekin gauzatzen dituzten probak deskribatu dira. Eroaleen fabrikatzaileek egiten dituzten laborategi probetaz gain fabrikatzaileak berak edo ikertzaileek egindako landa probak ere

deskribatu dira. Landa proba hauek gauzatzeko instalazio bereziak eraikitzen dira edo funtzionamenduan dagoen linea bateko bao batean egiten dira probak. Landa probetan jasotzen diren neurketak monitorizazio sistemen bidez gauzatzen dira.

HTLS eroalearen instalazioaren helburua kontuan izanik neurketa batzuk edo beste batzuk gauzatzen dira.

Tesi honen helburua tenperatura altuko eta gezi txikiko eroaleen portaeraren karakterizazioarako metodologia garatzea da eta garapen horretarako eroale hauen knee-point edo trantsizio-tenperatura bilatzea da helburu. Atal honetan eroale hauen fabrikatzaileek trantsizio-tenperatura horren kalkulurako jarraitzen duten prozedurak aztertu dira eta azterketa horretatik ondorengoa ondorioztatzen da:

Fabrikatzaileek ematen duten trantsizio-tenperatura eroaleengan laborategi probak edo aire zabaleko probak egin ondoren lorturiko balio bat da.

Fabrikatzaile batzuk jarraituriko proben emaitzak aztertu ondoren adierazten da trantsizio-tenperatura hori tenperatura zehatz bat izan beharrean tenperatura tarte bat izango litzatekeela.

Aurreko lerroetan adierazitakoa dela eta oso interesgarria izango litzateke lanean dagoen linea erreal bateko eroale baten knee-point tenperatura ezagutzea eta hori da tesi honen helburua eroale mota hauen trakzio-tenperatura portaera karakterizazio metodologia garatzerakoan.

Proba desberdinek eroale egokienaren emaitza ez dute ematen, kasu bakoitzean linean eta eroaleengan eragiten duten zenbait faktore aztertu behar dira.

Tesiaren hurrengo ataletan adieraziko den moduan eroaleen ezaugarri bereziak eta eroalea instalatzen den inguruak edo faktore klimatikoak eroaleen portaeran eragina izango dute. Eroaleen portaera egokia izan dadin eta fabrikatzaileak adierazitakoarekin bat egon dadin eroaleekin egin beharreko zenbait proba kontuan izan beharko dira.

Aireko lineetako eroaleen kalkulu mekanikoa eta kalkulu hori gauzatzeko metodologiak aztertu dira. Tenperatura altuko eta gezi txikiko eroaleen trakzio-tenperatura portaera kalkulua eta portaera horretan eragina duten faktoreak aztertu dira, faktore hauen eraginean sakonduz. Faktore batzuk

eroaleen fabrikatzaileak emandako datuen menpe daude baina beste batzuk ez. Trantsizio-tenperaturari dagokionez azterturiko bibliografian aurreikusitako balio eta balio errealaren arteko ezberdintasunak aipatzen dira. Berrikusitako bibliografian trantsizio-tenperaturaren kalkulua gehienetan kalkulu teorikoen bidez edo laborategi saiakuntzen bidez egiten da.

Beste alde batetik isurpenari dagokionez, berrikusitako bibliografian isurpenaren kalkulurako metodoak aipatzen dira baina lanean dagoen linea erreal bateko jarraipena eginez isurpen portaeraren egiaztapenerako metodologiarik ez da aipatzen.

**METODOLOGIAREN
GARAPENA**

3. METODOLOGIAREN GARAPENA

3.1. INSTALAZIO PILOTUA

Aireko lineen eroaleen gezi/trakzio-tenperatura portaera analizatzeko instalazio pilotua instalatu da. Instalazioa Iberdrolak Gipuzkoan, zehazki Elgoibarren, daukan linea batean egin da.

Azpiestazioaren ondoan dagoen instalazioa aukeratzen da linearen intentsitatea azpiestazioan neurtzeko helburuarekin. Tesiaren garapenean ikusiko da aukeraketa hau ez dela egokia izan eroaleen trakzio-tenperatura portaera karakterizazioa bada helburua baina bai izan da egokia tesiaren helburu den metodologia garatzeko.

Instalazio pilotuaren kokapen geografikoa 3.1 irudiko argazkian ageri da. Bao luzera ezberdineko zirkuitu bi monitorizatzen dira: 1-2 eta 2-3 puntuekin adierazten direnak. Linearen diseinuan 1-2 baoaren luzera 89 m dela adierazten da eta 2-3 baoarena 100 m.



3.1 irudia. Instalazio pilotuaren kokapen geografikoa

Tesiaren helburua monitorizazio sistema bat erabiliz eroaleen gezi txikiko portaeraren karakterizazioa egitea da eta horretarako trakzio-tenperatura portaeraren karakterizazio metodologia garatzea. Helburua kontuan izanik monitorizatuko den eroalean zer neurtu behar den zehaztu behar da monitorizazio sistema aukeratzeko.

Berrikuspen bibliografikoan gezi txikiko eroaleak aztertu dira eta eroale hauen fabrikatzaileak egiten dituzten proba edo saiakuntzak. Aztertu dira baita ere eroaleen kalkulu mekanikorako metodologiak. Eta azterketa honetan oinarrituz erabiliko den monitorizazio sistema erabaki da:

Eroalearen tenperatura monitorizatuko da. Gezi txikiko eroaleak trantsizio-tenperatura gaineratik eta azpitik daukaten portaeran oinarritzen dira, eroalearen tenperatura zuzenean neurtzean eroalearen trakzio-tenperatura portaeran eragina duen parametro hori neurtzen da. Berrikuspen bibliografikoan eroaleen tenperatura monitorizaziorako zenbait gailu komertzial aztertu ondoren Artech enpresaren SMT korrante eta tenperatura neurketa sentsorea aukeratzen da.

Eroalearen trakzioa monitorizatuko da. Berrikuspen bibliografikoan egindako azterketan oinarrituz trakzio monitorizaziorako karga zelula instalatuko da. Gezi-txikiko portaera eroaleak trantsizio-tenperatura azpitik eta gaineratik duen

portaeran oinarritzen da. Trantsizio-tenperatura gainera aluminioak ez du karga mekanikorik eusten eta karga mekaniko guztia nukleoaren gain dago. Hau gertatzearen arrazoia aluminioaren dilatazio termikoko koefizientea nukleoaren dilatazio termikoko koefizientea baino handiagoa izatea da. Ondorioz, trantsizio-tenperaturaren gainera eroalearen portaera nukleoaren portaeraren arabera da eta nukleoaren dilatazio koefizientea eroalerena baino txikiagoa denez, gutxiago luzatuko da tenperatura igotzean. DTK trakzio-tenperatura neurketekin erlazionaturik dago. Dilatazio termikoa luzeraren aldaketa da tenperatura aldatzean, eta luzera trakzioan islatzen da. Eroalearen luzera handitzean, eroalearen trakzioa murrizten da, ondorioz tenperatura aldaketa dela eta eroalearen gertatzen den luzera aldaketa kuantifikatzeko eroalearen trakzio neurketa erabil daiteke.

Berrikuspen bibliografikoan eginiko analisisan ikusi da gezi-txikiko portaera egiaztapenerako eroaleen fabrikatzaileak laborategi probetan oinarritzen direla eta tesi honen helburua gezi-trakzio portaera karakterizazioa lanean dagoen linea batean egitea da, beste alde batetik berrikuspen horretan gezi txikiko eroaleen ezaugarriak aztertu dira eta baita ere eroaleen kalkulu mekanikoaren metodologiak, azterketa hauetatik abiatuz eta lanean dagoen linea baten trakzio-tenperatura portaera horretan eragin dezaketen faktoreak kontuan izanik monitorizazio sistema tenperatura sentsoare eta karga zelulaz gain beste zenbait elementuez osatzen da: haizearen abiadura eta norabidea neurtzeko anemometro ultrasonikoa, giro tenperatura eta eguzki erradiazioa neurtzeko sentsoareak eta plubiometroa. Elementu hauek eroalearen gezi-trakzio portaera karakterizaziorako metodologia garapenean eroalearengan eragiten duten zenbait faktoreen azterketarako erabiliko dira. Hau da, instalaturiko monitorizazio sistemak eroalearen trakzio eta tenperatura neurtzen ditu eta baita ere haize abiadura eta euria baldintza klimatologiko horietan eroalearen karga aztertzeko.

3.1.1. INSTALAZIOAREN DESKRIBAPENA

Instalazioa Elgoibarren instalaturik dagoen Iberdrolaren 30 kV-eko linean egin da, ACSR LA180 eroalearekin (147- AL1/34-ST1A).

Monitorizatu den eroalearen ezaugarriak 3.1 taulan erakusten dira.

3.1 TAULA
ACSR LA180 EROALEAREN EZAUGARRIAK

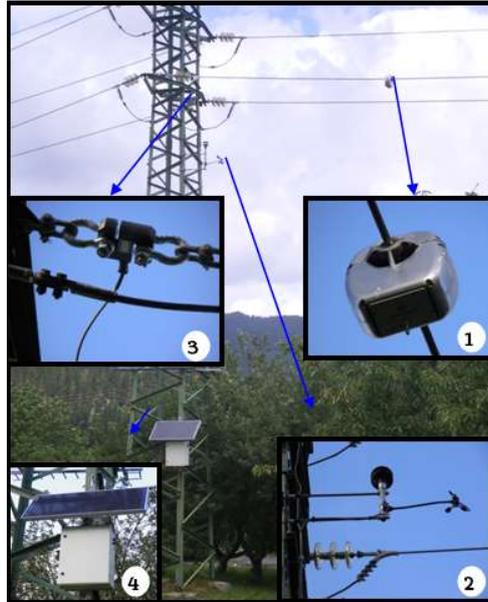
Eroalearen DTK trantsizio-tenperatura azpitik	$\alpha_e = 17.8 \text{ e-6 } [^{\circ}\text{C}^{-1}]$
Nukleoaren DTK trantsizio-tenperatura gainetik	$\alpha_n = 11.5 \text{ e-6 } [^{\circ}\text{C}^{-1}]$
Eroalearen elastikotasun-modulua trantsizio-tenperatura azpitik	$E_e = 8200 \text{ [kg/mm}^2\text{]}$
Nukleoaren elastikotasun-modulua trantsizio-tenperatura gainetik	$E_n = 19000 \text{ [kg/mm}^2\text{]}$
Eroalearen azalera trantsizio-tenperatura azpitik	$A_e = 181.6 \text{ [mm}^2\text{]}$
Nukleoaren azalera trantsizio-tenperatura gainetik	$A_n = 34.3 \text{ [mm}^2\text{]}$
Eroalearen masa	$\omega_e = 0.676 \text{ [kg/m]}$
Trantsizio-tenperatura	$\theta_{knee} = \text{Ez da ezagutzen}$

Instalazio pilotuan neurketak egiteko erabilitako sistemaren elementuak ondorengoak izanik:

- Eroalearen tenperatura neurtzeko sentsorea.
- Haizearen abiadura eta norabidea neurtzeko anemometro ultrasonikoa.
- Eroalearen trakzio mekanikoaren balioa neurtzeko karga-zelula.
- Giro tenperatura eta eguzki erradiazioa neurtzeko sentsoreak.
- Plubiometroa.

Neurketa datuak minuturo jasotzen dira.

Neurketak egiteko sistema osatzen duten elementu batzuk 3.2 irudian erakusten dira.



3.2 irudia. Instalazio pilotua. Eroalearen tenperatura neurtzeko sentsorea (1), anemometroa (2), karga zelula (3), giro-tenperatura sentsorea eta eguzki erradiazio sentsorea (4).

3.1.1.1. Monitorizazio sistemako elementuen ezaugarriak

Ondorengo ataletan monitorizazio sistema osatzen duten elementuen deskribapena egiten da elementuen ezaugarri teknikoak azalduz.

- **SMT, tentsio altuko lineetan tenperatura eta korronea neurtzeko sentsorea [SMT]**

Korronte eta tenperatura neurketa sentsorea, SMT V.0 (3.4 irudia), linean uneko tenperatura eta korronea neurtzeko eta GPRS (General Packet Radio Service) eta/edo SMS (Short Message Service) mezu bidez ordenagailu batera transmititzeko diseinatua izan da.

SMTa kanpoko elikadura laguntzailerik behar ez duen ekipoa da. Instalaturik dagoen eroaletik hartzen du energia. Ez du behar mantenurik (3.3 irudia)

Ekipoak tenperatura eta korronte informazioa transmititu dezan, beharrezkoa da ekipotik igarotzen den intentsitate minimo bat egotea.

Eroalearen tenperatura neurketa SMT barnean instalaturik dagoen tenperatura zunda batek egiten du, kablea sentsorearengandik isolatzen duen material batekin, kablearekin kontaktu ona lortuz. Kable eta zundaren kontaktu termikoa hobetzeko helburuarekin material termo eroalea erabiltzea gomendatzen da.

Gaur egungo SMTa 100 A-tik 1500 A-rainoko korrontea neurtzeko gai da.

SMTaren komunikazioa GPRS (General Packet Radio Service) bidez egiten da. SMTak SIM (Subscriber Identity Module) telefono txartel bat darama, dagokion telefono zenbakiarekin identifikaturik.

SMTaren konfigurazioa bezero edo zerbitzari konfigurazioa izan daiteke.

Ezinbestekoa da SMTa instalatzen den tokian kontrataturiko telefono konpainiaren seinalea heltzea. SMTak sare telefonikoa erabiliz bidaltzen du mezua eta moden batekin mezu hori ordenagailu batek jasotzen du.

Tenperatura eta korrante neurketa sentsoarek oinarrizko programa informatiko batekin doaz. Programa edo kotsola monitorizatu nahi diren SMT sentso ezberdinen tenperatura eta datuen harrera eta doitzea errazteko erabiltzen da. Kotsola monitorizaturiko SMT sentsoeren tenperatura eta korrontek irudikatzeko ere erabil daiteke.

Datuak kalkulu-orri formatuan biltegitratzen direnez biltegitratze hori erraza da, baita ere grafikoak egitea eta tenperatura datuak interesgarri diren beste datu batzuekin erlazionatzea (giro tenperatura, lineako intentsitatea, haize abiadura).



3.3 irudia. SMT instalazio pilotuan.



3.4 irudia. SMT.

- **Anemometroak [GIL][PRO]**

Haize abiadura eta norabidea neurtzeko anemometro bi instalatu dira. Alde batetik Sistem Electronic Progress-en transmisorea duen kopazko anemometroa (3.5 irudia) [PRO].



3.5 irudia. Kopazko anemometroa.

Beste alde batetik Gill Wind Sonic haize sentsoa instalatu da (3.6 irudia). Haize sentsoa hau oso sendoa, arina eta atal mugikor gabekoa da, sentsoa hauekin haizearen abiadura eta noranzkoa lortzen dira [GIL].



3.6 irudia. WindSonic anemometroa.

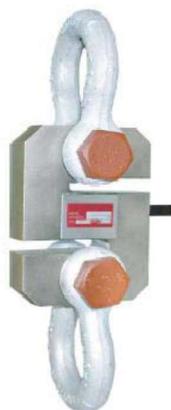
3.7 irudian instalazio pilotuan anemometroen kokapena erakusten da.



3.7 irudia. Anemometroak instalazio pilotuan.

- **Karga zelula [ALT]**

Instalaturiko karga zelula 2000 kg-koa da, ALTHEN etxearen ATLC seriekoa(3.8 irudia) [ALT].



3.8 irudia. Karga zelula.

- **Plubiometroa [DAV]**

Eroritako prezipitazioa jaso eta neurtzeko erabiltzen den tresna 3.9 irudian erakusten den plubiometroa da.

Euri-ura lehenengo goiko aldean jarritako inbutu batean jasotzen da eta hondakin-iragazki pantaila bat igaro ondoren kubeta baskulagarriaren ganbera batean biltzen da. Ur-kantitate edo bolumen jakin bat jasotakoan (0,2 mm) kubeta irauli egiten da. Kubetak iraulitakoan etengailua zarratzen du eta

bigarren kubeta inbutuaren parean jartzen da hurrengo erortzen den ura jasotzeko. Euri-ura hustubide batzuetatik kanporatzen da.



3.9 irudia. Plubiometroa.

3.2. TRAKZIO-TENPERATURA PORTAERA EBALUATZEKO EREDU TEORIKOAREN DISEINUA

Monitorizazio sistemarekin neurturiko datuez gain eroalearen trakzio-tenperatura portaera ebaluatzeko eredu teorikoaren beharra dago. Eredu teorikoa trakzio-tenperatura portaera ebaluatzeko behar denez, portaera horretan eragiten duten faktoreak definitu eta aztertu behar dira.

3.2.1. EROALE BATEN GEZI/TRAKZIO-TENPERATURA PORTAERAN ERAGINA DUTEN FAKTOREAK

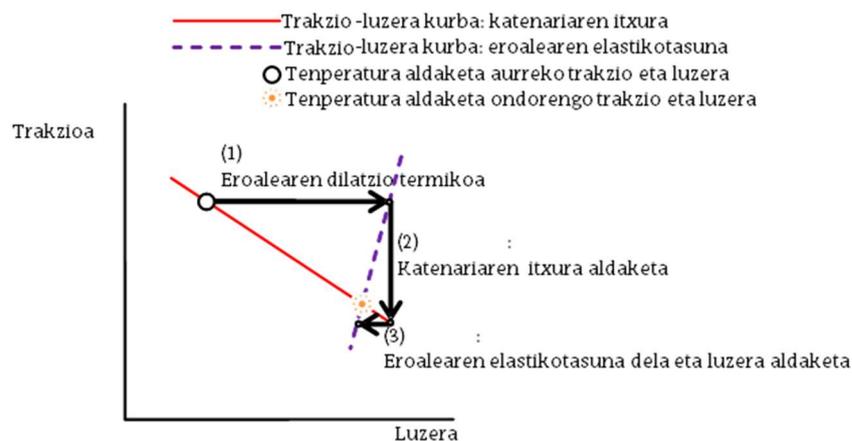
3.2.1.1. Dilatazio termiko prozesua

Lanean dagoen eroale batean tenperatura aldaketaren ondorioz dilatazio termiko prozesua garatzen da, hau da tenperaturaren eraginez eroalea luzatu egingo da. Tenperatura aldaketa hau eroalean zehar igarotzen den korrontearen edo baldintza klimatologikoen eragina izan daiteke.

3.10 eta 3.11 irudietan dilatazio termikoari dagokion prozesua erakusten da. Prozesuaren lehenengo ondorioa eroalearen luzapena da (1). Eroalea luzera aldaketak katenaria itxura aldaketa sortzen du eta ondorioz trakzio aldaketa bat egongo da (2). Sortzen den trakzio aldaketak eroalearen luzeran eragiten du (3) eroalearen elastikotasuna dela eta.



3.10 irudia. Eroalean dilatazio termiko prozesua.



3.11 irudia. Tenperatura aldaketaren ondorioz trakzio eta luzera aldaketa eroalean.

3.11 irudiko adibidean tenperatura igotze batek eroalearen luzera aldaketa sortzen du (1) trakzioa gutxitu egiten da (2) eta eroalearen luzera gutxitzen da (3) eroalearen hasierako luzapena gutxituz.

(1) egoeran gertatzen den eroalearen luzatzea dela eta katenariaren itxura aldatzen da honek trakzio aldaketa sortuz (2) egoera, eta ondorioz eroalearen luzera aldatzen da (3) egoera, eta honela jarraituko luke tenperatura aldaketak sortzen duen trakzio portaerak eta katenaria itxura aldaketak. Hau da, (2) eta (3) egoerak biak elkarrengan eragiten dute luzeran eta katenaria itxuran aldaketarik sortzen ez duten azken trakzio eta azken luzera balioak lortu arte.

Deskribaturiko dilatazio termiko prozesua eroalearen ezaugarrien menpe egongo da. Kontuan izan behar da eroalean gertatzen den dilatazio termikoa

eroalearen dilatazio termikoko koefizientearen menpe dagoela, katenariaren forma eroalearen masaren eta eroalearen elastikotasuna eroalearen elastikotasun moduluaren menpe. Eroalea ez baldin bada eroale homogeneoa eroalearen nukleo eta kanpo aluminioaren elastikotasun-moduluak eta dilatazio termikoko koefizienteak desberdinak direla kontuan izan behar da.

Laburtuz, eroalean gertatzen den dilatazio termiko prozesua eroalearen masa, modulu elastiko eta dilatazio termikoko koefizientearen menpe egongo da.

Dilatazio termiko koefizientea zenbat eta handiago izan, (1) egoeran gertatzen den luzera aldaketa orduan eta handiagoa izango da. Ondorioz, eroalearen dilatazio termikoko koefizientea zenbat eta handiago izan bere eragina dilatazio prozesuan handiagoa izango da.

Elastikotasun-moduluari dagokionez, zenbat eta balio handiagoa izan orduan eta luzera berreskuratze txikiagoa gertatuko da (3) egoeran. Hau dela eta, elastikotasun-modulua zenbat eta handiagoa izan bere eragina dilatazio prozesuan txikiagoa izango da.

3.2.1.2. Eroalea

Temperatura altuko eta gezi txikiko eroale eta eroale arrunten ezaugarrien arteko ezberdintasun nagusi bat nukleoaren dilatazio termikoaren koefizientearen balioa da.

Eroalearen trakzio-tenperatura portaeran eragina daukaten parametroak eta parametro hauek agertzen diren ekuazioak 3.2 taulan adierazten dira.

3.2 TAULA
PARAMETROAK ETA EKUAZIOAK

<p>Masa Eroalearen masan egon daitezkeen aldaketak katenariaren luzera ekuazioan eragiten dute.</p>	$L = 2 \cdot c \cdot \sinh\left(\frac{a/2}{c}\right)$ $c = \frac{H}{\omega}$ <p>H trakzioaren osagai horizontala eta ω luzera unitateko karga.</p>
<p>Elastikotasun-modulua Eroalearen elastikotasun-moduluan egon daitezkeen aldaketak eroalearen luzera ekuazioan eragiten dute.</p>	$L_{eroale} = L_o \cdot \left(1 + \alpha_{eroale} \cdot \Delta\theta + \frac{\Delta T}{E_{eroale} \cdot A_{eroale}}\right)$

<p>Dilatazio termikoaren koefizientea</p> <p>Eroalearen dilatazio termikoan egon daitezkeen aldaketak eroalearen luzera ekuazioan eragiten dute.</p>	$L_{eroale} = L_o \cdot \left(1 + \alpha_{eroale} \cdot \Delta\theta + \frac{\Delta T}{E_{eroale} \cdot A_{eroale}} \right)$
---	---

[CIG324] dokumentuan eroalearen masa errore iturri gisa aurkezten da. Eroalearen masa balioa balio izendatuaren %0.2tik %0.6rako balioen gainetik egotea da ohikoena eta eroalea lanean dagoen denboran zehar eroalearen masa gehitu egiten da eroalearen distira galtzea dela eta. Eroalearen fabrikazio arauak eroalearen masa desbiderapena mugatzen dute. Eroalearen masa lineala ezin da egon balio izendatuaren %2 gainetik [EN50182] [IEC 62420] [EN 50540]. Eroalearen masa fabrikazio prozesuan frogatzen da.

Eroalearen elastikotasun-moduluaren balioa egiaztatzeko esfortzu-deformazio proban [EN50182][ETC99] eroalea zenbait ziklotan handitzen doan kargaren eta ondoren gutxitzen doan kargaren eraginpean ipintzen da. Elastikotasun-moduluaren balioa karga gutxitzen doan ziklo aldiko esfortzu-deformazio kurbaren bitartez lortzen da. Hala ere, aukeraturiko aldiaren arabera, lortzen den balioa ezberdina da, hau da haustura mekanikoarekiko erresistentzia izendatuaren % 30, 50, 70 edo 80 aukeratzeak elastikotasun-moduluaren balio ezberdinaren emaitza emanez. % 30eko aukera erabiltzean lortzen den elastikotasun-moduluaren balioa % 80a erabiltzen deneko baino handiagoa da. Gainera, trakzio kurbaren malda ez denez konstantea emaitza aukeraturiko puntu kopuruaren mende dago, elastikotasun-moduluaren balio ezberdinak lortuz.

Elastikotasun-moduluaren balio aldaketak zein aluminioan zein altzairuan eroalearen dilatazio termikoko koefizientearen balio aldaketa sortzen du. Gainera eroale konposatuaren kasuan elastikotasun-moduluaren aldaketak Trantsizio-tenperaturaren zuzeneko eragina du, gezi ezberdinak sortuz [CIG324]

Eroalearen α dilatazio-koefiziente baliokidea α_n eta α_a nukleo eta aluminioaren dilatazio-koefizienteen, E_n and E_a modulu elastikoen eta A_n and A_a sekzioen balioen arabera da [IEC 61597].

$$\alpha = \frac{E_a \cdot A_a \cdot \alpha_a + E_n \cdot A_n \cdot \alpha_n}{E_a A_a + E_n A_n} \quad (3.1)$$

Aluminioaren α_a dilatazio-koefizienteak eroale guztietan balio bera dauka ($23 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$). Ondorioz, eroaleen arteko aldea nukleoaren materialen araberakoa izango da.

Eroalearen masan eta elastikotasun-moduluan egon daitezkeen erroreek trakzio-tenperatura portaeran eragina daukate, ondorioz trakzio-tenperatura portaeran ziurgabetasuna dago.

Parametroen errorea dela eta trakzio-tenperatura portaeran desbiderapen bat agertzen da. Trakzio-tenperatura erreferentzia bat suposatuz, eroalearen tenperatura ezberdin batean, trakzioaren balioa parametroen errorean mende dago.

3.2.1.3. Euskarriak

Aireko lineen euskarrien malgutasuna errore iturri gisa adierazten da [CIG324] dokumentuan: "Eroalearen trakzio aldaketek angelu eta euskarriaren desbiderapen elastiko eta ez elastikoa sortzen du, desbiderapen honek gezi aldaketa sortuz".

Aireko lineetan probak egitean euskarrien mugimenduak duen eragina [CIG426] dokumentuan adierazten da: "euskarrien euste puntuen mugimendu txikiak egiaztatu beharreko gezian gertatzen diren aldaketa txikiak zapaldu dezake".

Beste alde batetik "ruling span" metodoa erabiltzearen akatsak [MOT99] dokumentuan aztertzen dira. Bao luzera aldaketa handiak dauden lineetan eta eroaleak $100 \text{ } ^\circ\text{C}$ baino tenperatura altuagotan lan egiten duten lineetan izan ezik, erroreak apalak direla ondorioztatzen da. Hau dela eta, tenperatura altuko eta gezi txikiko eroaleetan euren lan tenperatura altua dela eta erroreak garrantzitsuak izan daitezke. Linearen sekzioa bao bakar batez osaturik badago eta ez baldin badago esekidura-dorrerik linearen hasierako eta amaierako euskarrien artean ez litzateke errorerik egongo ruling span metodoa erabiltzerakoan.

3.2.1.4. Baoa

(2.6) ekuazioan adierazten da trakzio eta luzeraren arteko erlazioa a bao luzeraren mende dagoela. Ekuazioa hau erabiltzerakoan bao luzeraren

neurrian errorea baldin badago, dilatazio termikoa gertatzen deneko trakzioaren balioa itxarondako balioaren ezberdina izango da.

[CIG426] dokumentuan bao luzeraren eragina aipatzen da, bao luzera txikiak dituzten aire lineak baztertuz trakzio-tenperatura analisisian. Erreferentzia gisa Oak Ridge National Laboratory (ORNL) laborategiak eskaintzen duen Powerline Conductor Accelerated Testing (PCAT) aire zabaleko probak 180 metroko bao luzera erabiltzen du.

3.2.1.5. Klimatologia

Klimatologiaren eragina dela eta trakzio-tenperatura portaeran aldaketak sortu daitezke.

[CIG324] dokumentuan adierazten da eroale busti baten masa eroale lehor baten masaren %1.5etik 2.5 handiagoa dela. (2.6) eta (2.3) ekuazioetan adierazten den moduan trakzio eta luzeraren arteko erlazioa eroalearen masaren, ω , mende dago. Hau dela eta euriaren eragina dela eta eroalearen masa aldatuko litzateke horrek trakzio-tenperatura portaeran daukan eraginarekin.

Beste alde batetik, haizeak sorturiko karga haize abiaduraren karratuarekiko proportzionala da. Eta gainera haizeak eragindako bibrazioek eroalean eragina izan dezakete [KIE03].

Ondorengo lerroetan trakzio-tenperatura portaeran eragiten duten faktoreak analizatzen dira, horretarako analisisian erabiliko den eroalearen eredu teorikoa deskribatzen da.

3.2.2. EROALEAREN EREDU TEORIKOAREN DEFINIZIOA

Aurreko puntuetan aztertutako faktoreak kontuan izanik tesi honen helburu den trakzio-tenperatura portaera karakterizazio metodologia definitzeko erabiliko den eroalearen eredu teorikoa zehaztuko da.

Eroalearen portaera eredutzeko erabiliko den kalkulu metodoa, eroalearen baldintzen aldaketa ekuazioan oinarrituz, gezi txikiko portaera analizatzeko egokitu da eta eroalearen portaera knee-point edo trantsizio-tenperatura gainetik eta azpitik ezberdintzen da.

Eroalearen trakzio eta luzerak kalkulatzeko erabiltzen den ereduaren erreferentzia tenperatura, knee-point edo trantsizio-tenperatura eta lan tenperaturak dituzten balioak kontuan hartu behar dira. Tenperatura altuko eta gezi txikiko eroaletan trantsizio-tenperatura gainerik aluminioak bere ezaugarri mekanikoak galtzen ditu eta aluminioaren portaera hori modelizatzea beharrezkoa da. Aluminio eta nukleo portaera modelizatu behar dira trantsizio-tenperatura azpitik eta gainerik, egoera bakoitzari dagokion parametroak erabiliz.

Eredu honetan, trantsizio-tenperatura definiturik dagoenean eta analisiaren garapenaldian isurpena baztergarria suposatzen bada, isurpena ez da kontuan hartzen.

Trakzio-tenperatura ereduaren parametroak ondorengoak dira:

-Bao luzera: a .

-Eroale masa: ω_e .

-Eroale eta nukleoaren elastikotasun-modulua: E_n, E_e .

-Eroale eta nukleo azalera: A_n, A_e .

-Eroale eta nukleoaren dilatazio termikoaren koefizientea: α_n, α_e .

-Trantsizio-tenperatura: $\theta_{\text{knee-point}}$.

Ereduak trakzio-erreferentzia behar du, balio hauek ikerketa periodoaren hasieran neurturiko balio bikote bat izanik: T_o, θ_o .

Eredu teorikoaren aplikazioan jarraitu beharreko lehenengo pausua eroalearen erreferentzia luzera L_o bilatzea da, erreferentzia trakzio T_o eta tenperaturaren θ_o baoaren luzera dena.

Eroalearen masa erreferentzia baldintzetan, ω_o , ere kontuan hartzen da, ohikoena gainkarga gabeko eroalearen masa hartzea da, ω_e .

$$c_o = \frac{T_o}{\omega_o} \quad (3.2)$$

$$L_o = 2 \cdot c_o \cdot \sinh\left(\frac{a/2}{c_o}\right) \quad (3.3)$$

Behin erreferentzia luzera, L_o , kalkulatu ondoren Trantsizio-tenperaturari $\theta_{\text{knee-point}}$ dagokion trakzioaren balioa $T_{\text{knee-point}}$ kalkulatu da. Hau egiteko

trakzioaren balioan iteratzen da katenariaren L_{kat} eta eroalearen L_e luzerak berdindu arte. Eroalearen masa $\omega_{knee-point}$ ere kontuan hartzen da, ohikoena gainkarga gabeko eroalearen masa, ω_e , hartzea da.

Trakzioaren balioak T ikerketari dagokion tenperatura tartetik ϑ abiatuz kalkulatzen dira. Honetarako trakzioaren balioan iteratzen da katenariaren L_{kat} eta eroalearen L_e luzerak berdindu arte. Eroalearen masa ω ere kontuan hartzen da, ohikoena gainkarga gabeko eroalearen masa, ω_e , hartzea da.

$$c_{knee-point} = \frac{T_{knee-point}}{\omega_{knee-point}} \quad (3.4)$$

$$L_{kat} = 2 \cdot c_{knee-point} \cdot \sinh\left(\frac{a/2}{c_{knee-point}}\right) \quad (3.5)$$

$$L_e = L_o \cdot \left(1 + \alpha_e \cdot (\theta_{knee-point} - \theta_o) + \frac{T_{knee-point} - T_o}{E_e \cdot A_e}\right) \quad (3.6)$$

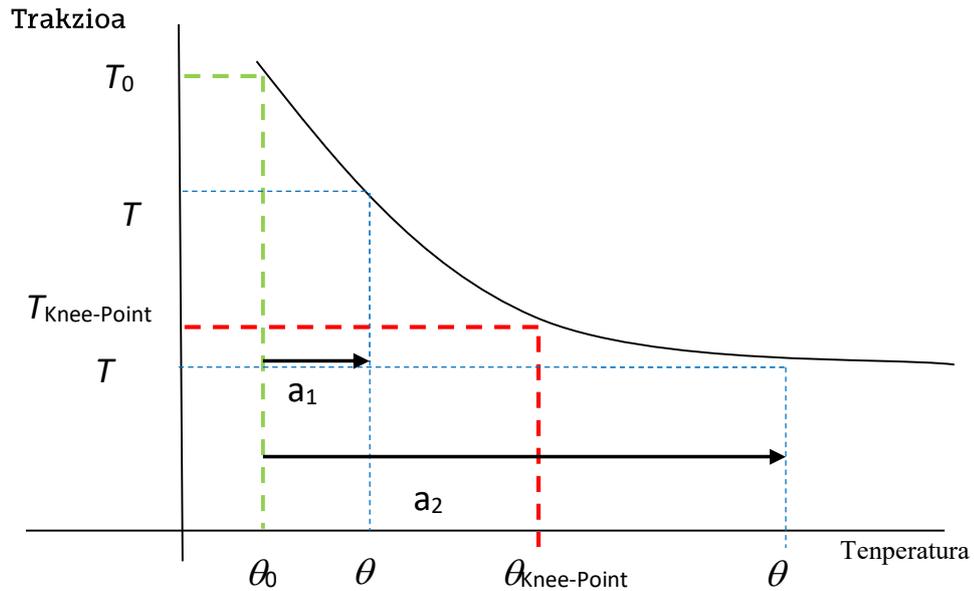
Trantsizio-tenperatura gainerik aluminioak ez du karga mekanikorik eusten eta karga mekaniko guztia nukleoaren gain dago. Hau gertatzearen arrazoia aluminioaren dilatazio termikoko koefizientea nukleoaren dilatazio termikoko koefizientea baino handiagoa izatea da. Ondorioz, trantsizio-tenperaturaren gainerik eroalearen portaera nukleoaren portaeraren arabera da eta nukleoaren dilatazio koefizientea eroalerena baino txikiagoa denez, gutxiago luzatuko da tenperatura igotzean

Beste alde batetik, lan tenperatura trantsizio-tenperatura gainerik edo azpitik egoteak erudian eroale osoaren ezaugarriak edo nukleoaren ezaugarriak erabiltzea suposatzen du.

Ondorioz, erreferentzia tenperatura, θ_0 , lan tenperatura, θ , eta trantsizio-tenperaturaren, $\theta_{knee-point}$, arabera, kasu ezberdinak egongo dira:

a) Erreferentzia tenperatura, θ_0 , Trantsizio-tenperatura, $\theta_{knee-point}$, azpitik dagoenean: $\theta_0 < \theta_{knee-point}$

Erreferentzia tenperatura eta lan tenperatura trantsizio-tenperatura azpitik baldin badaude, ereduaren kalkuluak egiteko erabiltzen den tenperatura tartea 3.12 irudiko grafikoan a_1 gezi bidez adierazten da. Beste alde batetik, lan tenperatura trantsizio-tenperatura gainerik baldin badago kalkuluak egiteko erabiltzen den tenperatura tartea a_2 gezi bidez adierazten da.



3.12 irudia. Eredu teorikoa $\theta_0 < \theta_{knee-point}$.

Kasu honetan trantsizio-tenperatura trakzioaren kalkulua (3.7) ekuazioak ematen du:

$$L_e = L_o \cdot \left(1 + \alpha_e \cdot (\theta_{knee-point} - \theta_o) + \frac{T_{knee-point} - T_o}{E_e \cdot A_e} \right) \quad (3.7)$$

a₁) Lan tenperatura trantsizio-tenperatura azpitik: $\theta < \theta_{knee-point}$

Kasu honetan analisia egiteko aukeratzeko tenperatura, hau da lan tenperatura, trantsizio-tenperatura azpitik egongo litzateke eta ondorioz eroalearen portaeran nukleo parametroek ez daukate eraginik. Hau dela eta, eroalearen luzera kalkulatzeko erabiltzen den formula ondorengoa izango da:

$$L_e = L_o \cdot \left(1 + \alpha_e \cdot (\theta - \theta_o) + \frac{T - T_o}{E_e \cdot A_e} \right) \quad (3.8)$$

a₂) Lan tenperatura trantsizio-tenperatura gainetik: $\theta > \theta_{knee-point}$

Kasu honetan analisia egiteko aukeratzeko tenperatura, hau da lan tenperatura, Trantsizio-tenperatura gainetik egongo litzateke eta ondorioz eroalearen portaeran nukleo parametroek eragina daukate. Hau dela eta, eroalearen luzera kalkulatzeko erabiltzen den formula ondorengoa izango da:

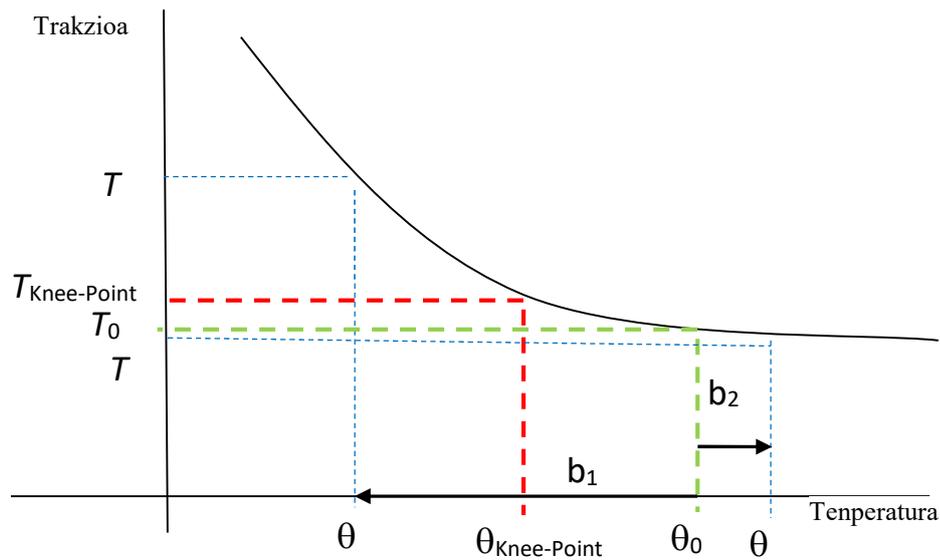
$$L_e = L_o \cdot \left(1 + \alpha_e \cdot (\theta_{knee-point} - \theta_o) + \alpha_n \cdot (\theta - \theta_{knee-point}) + \frac{T_{knee-point} - T_o}{E_e \cdot A_e} + \frac{T - T_{knee-point}}{E_n \cdot A_n} \right) \quad (3.9)$$

b) Erreferentzia temperatura, θ_0 , trantsizio-temperatura, $\theta_{\text{knee-point}}$ gainera dagoenean: $\theta_0 > \theta_{\text{knee-point}}$

3.13 irudiko grafikoan ageri da erreferentzia temperatura eta lan temperatura trantsizio-temperatura gainera baldin badaude, ereduaren kalkuluak egiteko erabiltzen den temperatura tartea adierazteko erabiltzen den b_2 gezia. Beste alde batetik, lan temperatura trantsizio-temperatura azpitik baldin badago kalkuluak egiteko erabiltzen den temperatura tartea b_1 geziaren bidez adierazten da.

Kasu honetan trantsizio-temperatura trakzioaren kalkulua:

$$L_e = L_o \cdot \left(1 + \alpha_n \cdot (\theta_{\text{knee-point}} - \theta_o) + \frac{T_{\text{knee-point}} - T_o}{E_n \cdot A_n} \right) \quad (3.10)$$



3.13 irudia. Eredu teorikoa $\theta_0 > \theta_{\text{knee-point}}$.

b₁) Lan temperatura trantsizio-temperatura baino txikiago denean: $\theta < \theta_{\text{knee-point}}$

Kasu honetan analisia egiteko aukeratu den temperatura, hau da lan temperatura, trantsizio-temperatura azpitik egongo litzateke eta ondorioz eroalearen portaeran nukleo parametroek eragina daukate. Hau dela eta, eroalearen luzera kalkulatzeko erabiltzen den formula ondorengoa izango da:

$$L_e = L_o \cdot \left(1 + \alpha_n \cdot (\theta_{\text{knee-point}} - \theta_o) + \alpha_e \cdot (\theta - \theta_{\text{knee-point}}) + \frac{T_{\text{knee-point}} - T_o}{E_n \cdot A_n} + \frac{T - T_{\text{knee-point}}}{E_e \cdot A_e} \right) \quad (3.11)$$

b₂) Lan temperatura trantsizio-temperatura baino handiago denean: $\theta > \theta_{\text{knee-point}}$

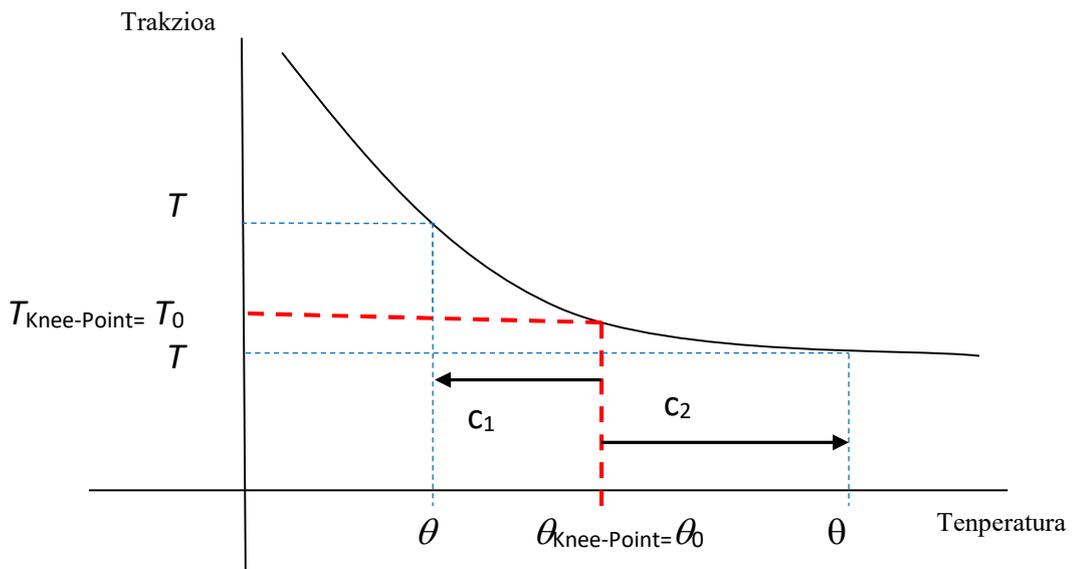
Kasu honetan analisia egiteko aukeratzten den temperatura, hau da lan temperatura, trantsizio-temperatura gainetik egongo litzateke eta ondorioz eroalearen portaeran nukleo parametroek bakarrik daukate eragina daukate. Hau dela eta, eroalearen luzera kalkulatzeko erabiltzen den formula ondorengoa izango da:

$$L_e = L_o \cdot \left(1 + \alpha_n \cdot (\theta - \theta_0) + \frac{T - T_0}{E_n \cdot A_n} \right) \tag{3.12}$$

c) Erreferentzia temperatura, θ_0 , trantsizio-temperatura, $\theta_{\text{knee-point}}$ berdina denean: $\theta_0 = \theta_{\text{knee-point}}$

Kasu honetan (3.14 irudia) trantsizio-temperatura trakzioaren kalkulua:

$$T_{\text{knee-point}} = T_0$$



3.14 irudia. Eredu teorikoa $\theta_0 = \theta_{\text{knee-point}}$.

c₁) Lan temperatura trantsizio-temperatura azpitik: $\theta < \theta_{\text{knee-point}}$

Kasu honetan analisia egiteko aukeratzten den temperatura, hau da lan temperatura, trantsizio-temperatura azpitik egongo litzateke eta ondorioz eroalearen portaeran nukleo parametroek ez daukate eraginik. Hau dela eta, eroalearen luzera kalkulatzeko erabiltzen den formula ondorengoa izango da:

$$L_e = L_o \cdot \left(1 + \alpha_e \cdot (\theta - \theta_o) + \frac{T - T_o}{E_e \cdot A_e} \right) \quad (3.13)$$

c₂) Lan temperatura trantsizio-tenperatura gainetik: $\theta \rightarrow \theta_{\text{knee-point}}$

Kasu honetan analisia egiteko aukeratzen den temperatura, hau da lan temperatura, trantsizio-tenperatura gainetik egongo litzateke eta ondorioz eroalearen portaeran nukleo parametroek bakarrik daukate eragina daukate. Hau dela eta, eroalearen luzera kalkulatzeko erabiltzen den formula ondorengoa izango da:

$$L_e = L_o \cdot \left(1 + \alpha_n \cdot (\theta - \theta_o) + \frac{T - T_o}{E_n \cdot A_n} \right) \quad (3.14)$$

3.2.2.1. Isolagailu katea kontuan hartzen duen eredua

Eroalearen portaera mekanikoak isolagailuaren eragina [EHR35] dokumentuan ikertzen da, isolagailuak kontrapisu portaera jarraituz trakzio aldaketa tarteak murrizten dituela adieraziz; baina isolagailuaren eragin hau kontuan ez hartzea onargarria dela esanez.

Eroalearen trakzio eta luzerak kalkulatzeko erabiltzen den ereduan erreferentzia temperatura, trantsizio-tenperatura eta lan temperaturak dituzten balioez gain isolagailu katea ere kontuan hartzen duen eredua garatu da.

Isolagailu katearen masa eroalearen masa baino handiagoa da. Gainera isolagailu katea ez da dilatatzeko eroalea adina, ez baita intentsitatearen eragina dela eta berotzen. Baina isolagailu katea katenariaren parte da.

Aurreko lerroetan garaturiko eredu teorikoak eroalearen dilatazioz hartzen du kontuan, horretarako L_0 eroalearen hasierako luzera dagokion faktoreez biderkatzen du dilatazio horren eragina kontuan hartzeko. Ekuazioetan ez da kontuan hartzen L_0 luzera horren atal bat isolagailu kateari dagokiona dela. Hau dela eta, eroalearen dilatazioa bakarrik kontuan hartzen duen eredua garatzen da.

Eredu hau garatzerakoan, eroalearen luzerari dagokion ekuazioan isolagailu kateari dagokion luzeran eroalearen luzeran eragina gehitzen da.

$$L_e = L_o + (L_o - IK) \cdot \left(\alpha \cdot \Delta\theta + \frac{\Delta T}{E \cdot A} \right) \quad (3.15)$$

Non,

IK isolagailu katearen neurria.

Isolagailu katea ez dela dilatitzen suposatzen da.

3.2.3. EROALEAREN TRAKZIO-TENPERATURA PORTAERAN ZIURGABETASUNAK

Urteetan zehar aireko eroale elektrikoaren gezi/trakzio-tenperatura portaera kalkulatzeko hainbat metodo garatu eta aurkeztu dira eta honekin batera zenbait laborategi eta landa proben emaitzek ACSR eroalearen gezi/trakzio portaera trantsizio-tenperaturaren gainetik ez dela konstantea adierazten dute. Proba eta neurketa hauetan eroalearen gezi erreal eta aurretik kalkulaturiko geziaren arteko ezberdintasunak daude, gezi erreala kalkulaturikoa baino handiagoa. Ezberdintasun hauek azaltzeko hipotesi ezberdinak aurkeztu dira [NIG81] [SEP94][SEP10][POL14].

Eroale baten gezi/trakzio-tenperatura portaeran eragina daukaten zenbait parametro daude, parametro hauen balioak errorea baldin badauka ziurgabetasuna sortzen da. Errore hauek analizatuz ziurgabetasun hori estimatzea posible da. Adibidez [POL14] dokumentuan egileak eroalearen egoera ekuazioan eragina duten sei parametroen errore azterketa teorikoa egiten du (eroalearen masa eta elastikotasun-modulua, bao luzera, instalazio gezi eta tenperatura eta isurpena) eta ondoren gezi-errorea parametroen errore partzialen batura eginez adierazten du. Azterketa egiteko egileak isurpen errorea % 20an, modulu elastiko errorea % 10ean, tenperatura errorea % 6.25ean eta beste erroreak % 2an ezartzen ditu. Azterketaren ondoren masa eta modulu elastiko erroreen eragina berdina dela eta elastikotasun-moduluaren erroreak eragina bao luzeetan murrizten dela ikusten da. Egileak eroalearen instalazio gezi eta tenperatura neurketa zehatza egitearen garrantzia ondorioztatzen du eta baita ere isurpen erroreak eragin txikia.

Egile ezberdinen lanetan eroalearen gezi/trakzio-tenperaturaren eragin dezaketen baina aipatzen ez diren edo oso gainetik aztertzen diren faktoreak daude. Adibidez [POL14] dokumentuan eroalearen eragina duten sei parametro

aztertzen dira baina alde batetik azterketa orokorra da eta ez du adibidez kontuan hartzen baldintza klimatologikoen eragina (euria, haizea), ez da aztertzen errore partzialen eragina katenariaren puntu ezberdinetan, eta lortzen diren emaitzak emaitza teorikoak dira.

Tesiaren helburu den metodologia zehazteko, aurreko atalean azaldu diren gezi/trakzio-tenperatura portaeran eragina duten faktoreak/parametroak portaera horretan sortzen duten ziurgabetasunak aztertuko dira definitu den eredu teorikoan oinarrituriko analisietan baliatuz eta eroalean gertatzen den dilatazio termikoa kontuan izanik.

Ondoren aireko eroale baten gezi/trakzio-tenperatura portaera aztertzeko instalaturiko monitorizazio sistema batekin neurturiko datu ezberdinetan oinarrituz eta eroalearen eredu teorikoarekin baliatuz eroalearen portaera aztertuko da eta parametro ezberdinen eraginak sortzen duen ziurgabetasuna analizatuko da.

3.2.3.1. Eroalearen ezaugarriak. Parametroen eragina

Eroalearen masan, elastikotasun-moduluan eta dilatazio termikoko koefizientearen balioetan errorea baldin badago eroalearen gezi/trakzio-tenperatura portaeran errore horrek nola eragiten duen aztertuko da.

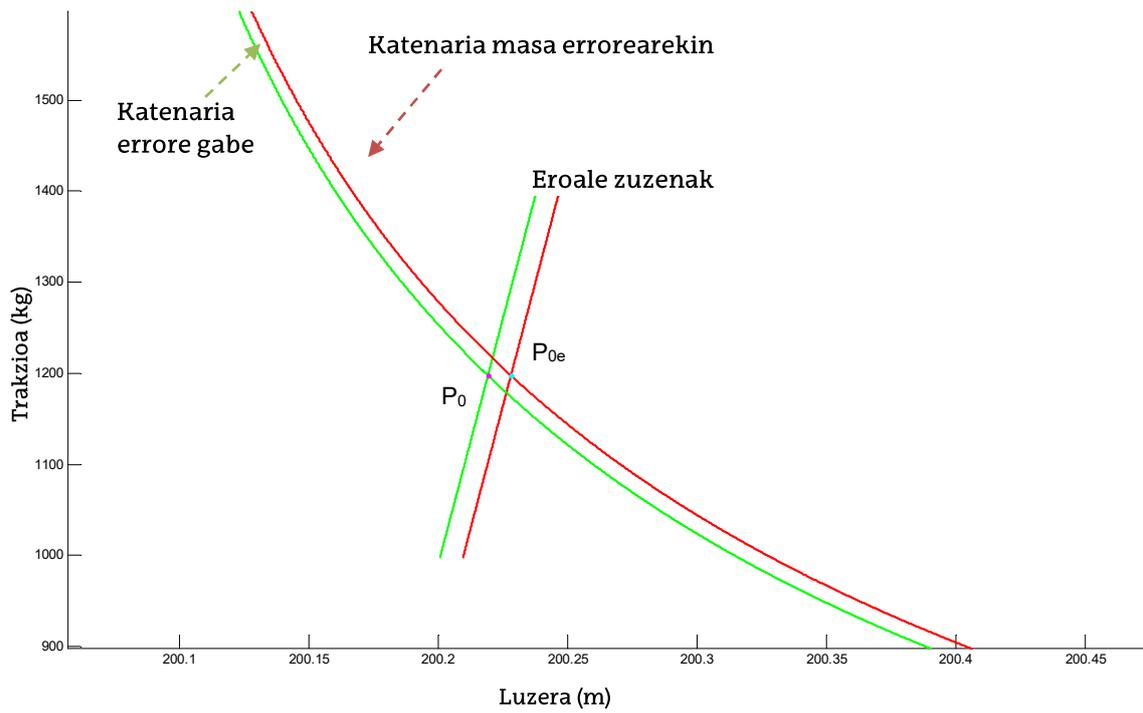
Azterketa honetan, aurretik definituriko eroalearen eredu teorikoa erabiliz, eroalearen portaeran hautaturiko parametroa errore gabe eta erreorearekin konparatzen dira.

Ondorengo lerroetan parametro bakoitza aztertzerakoan lortzen diren emaitzak analizatzen dira kasu bakoitzari dagokion irudi eta emaitza taulekin.

- **Masaren eragina**

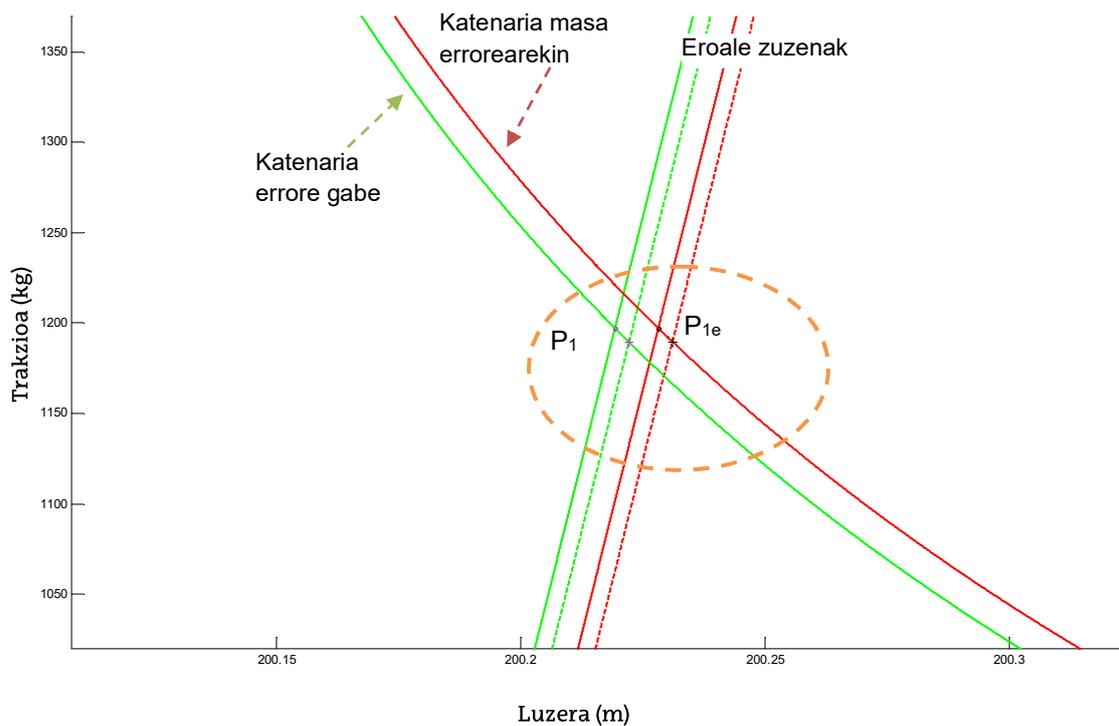
Eredu teorikotik abiatuz, eroalearen masan egon daitezkeen erroreak katenariaren luzera ekuazioan duten eragina aztertuko da.

Errore hau aztertzeko, eroale zehatz bat aukeratzen da eta eroalearen katenaria irudikatzen da masa erreorearekin eta errore gabe. Katenarian trakzio puntu bat aukeratzen da, erreferentzia puntua izango dena: errore gabeko katenarian $P_0(L_0, Tr_0)$ eta errorea daukan katenarian $P_{0e}(L_{0e}, Tr_0)$. Erreferentzia puntuan eroalearen zuzena irudikatzen da, 3.15 irudia.



3.15 irudia. Katenaria eta eroale zuzena aukeraturiko puntuan

Aukeraturiko trakzio puntuan dilatazio bat aplikatzen da, hau da, tenperatura igotze bat. 3.16 irudian dilatazio ondorengo trakzio puntuak masa errore gabe, P_1 , eta errorearekin, P_{1e} , eta dagokien eroale zuzenak irudikatzen dira.



3.16 irudia. Dilatazio aurretik eta ondoren katenaria eta eroale zuzenak.

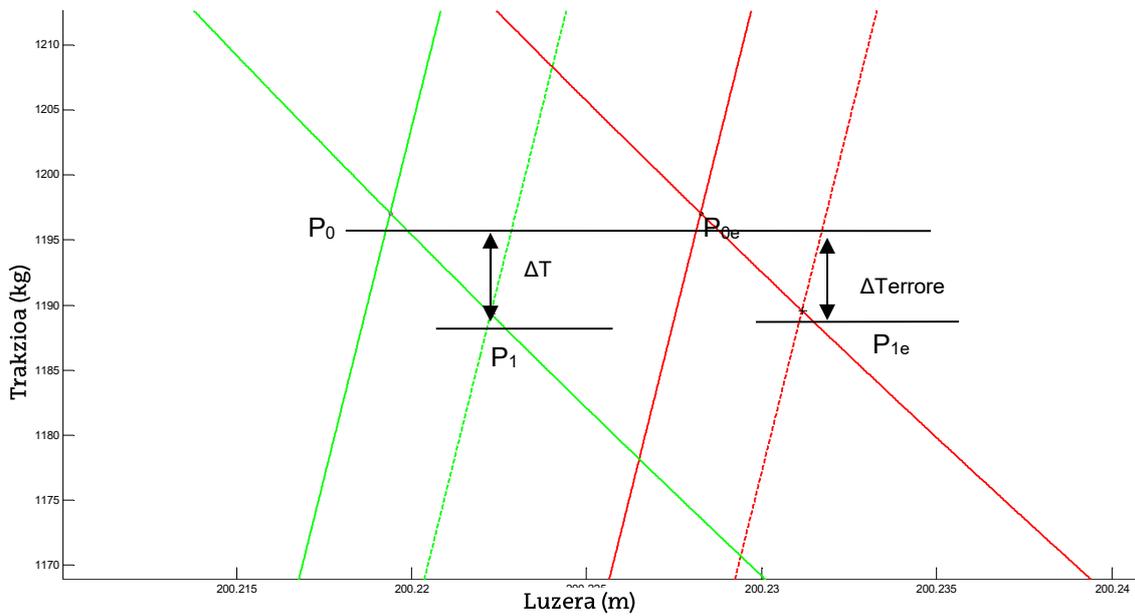
Eroalean tenperatura igotze baten ondorioz, hau da dilatazio baten ondorioz, trakzio balioa murrizten da. Trakzioaren balioa txikitzen bada, eroalearen masa zenbat eta handiagoa izan trakzioaren txikitze hori txikiagoa izango da. Ondorioz, eroalearen masa errorea balio errealearen gainetik baldin badago tenperatura igotzearen ondoriozko trakzio txikitzea, txikiagoa izango da eta eroalearen masa errorearen ondorioz masaren balioa bere balio errealearen azpitik baldin badago, tenperatura igotzearen ondoriozko trakzio txikitzea handiagoa izango da.

3.3 taulan eta 3.17 irudian aurreko lerroetan adierazitakoa azaltzeko adibide bat erakusten da.

3.3 TAULA

DILATAZIO AURREKO ETA ONDORENGO BALIOAK MASA ERRORE ANALISIAN

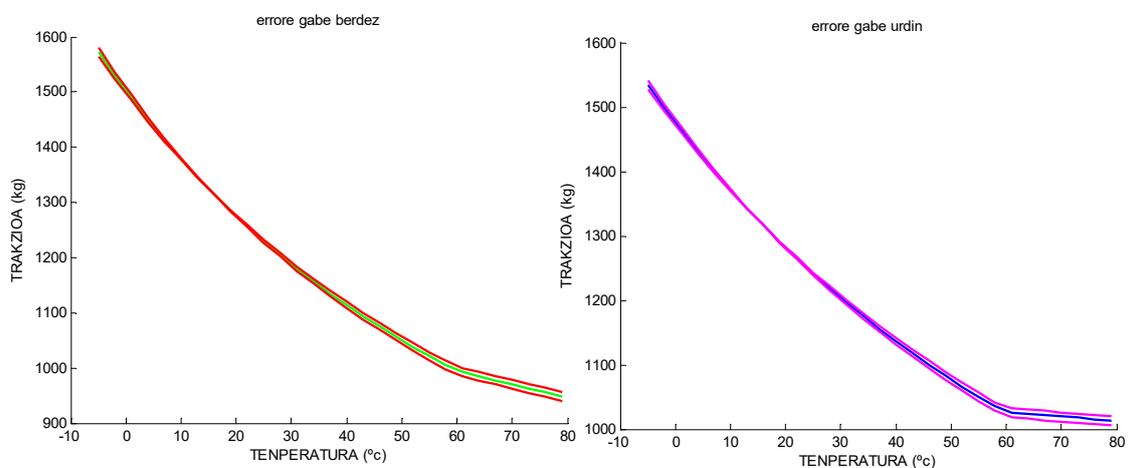
Dilatazio aurreko balioak	
Erreferentzia puntua errore gabeko katenarian	Erreferentzia puntua errorea daukan katenarian
$L_0=200,219389$ m	$L_{0e}=200,228256$ m
$Tr_0=1197,07715$ kg	$Tr_0=1197,07715$ kg
Dilatazio ondorengo balioak	
Errore gabeko balioak	Errorea daukaten balioak
$L_1=200,222257$ m	$L_{1e}=200,23115$ m
$Tr_1=1189,33205$ kg	$Tr_{1e}=1189,56159$ kg
$\Delta T=7,7451$ kg	$\Delta T_{errore}=7,51556$ kg



3.17 irudia. Dilatazio aurretik eta ondoren katenaria eta eroale zuzenak trakzio desbiderapena adieraziz masa errore eta masa errore gabeko kasuetan.

3.17irudian ikus daiteke eroalearen masan errore positiboa baldin badago, hau da eroalearen masa balio errearen gaintik dagoenean trakzioaren balioa balio errearen gaintik dagoela. Masa errorea dela eta masa balioa balio errearen azpitik baldin badago trakzioaren balioa balio errearen azpitik egongo litzateke.

3.18 irudian eroale ezberdin bi erakusten dira ±%2ko masa errorearen kasurako. Masa errore positiboaren kasuan trakzioa handitzen da eta errore negatiboaren kasuan gutxitzen da.



3.18 irudia. Trakzio tenperatura portaera 200 metroko bao batean ±% 2ko masa errorearen kasuan. a) HAWK eroalea eta b) ZTACIR eroalea.

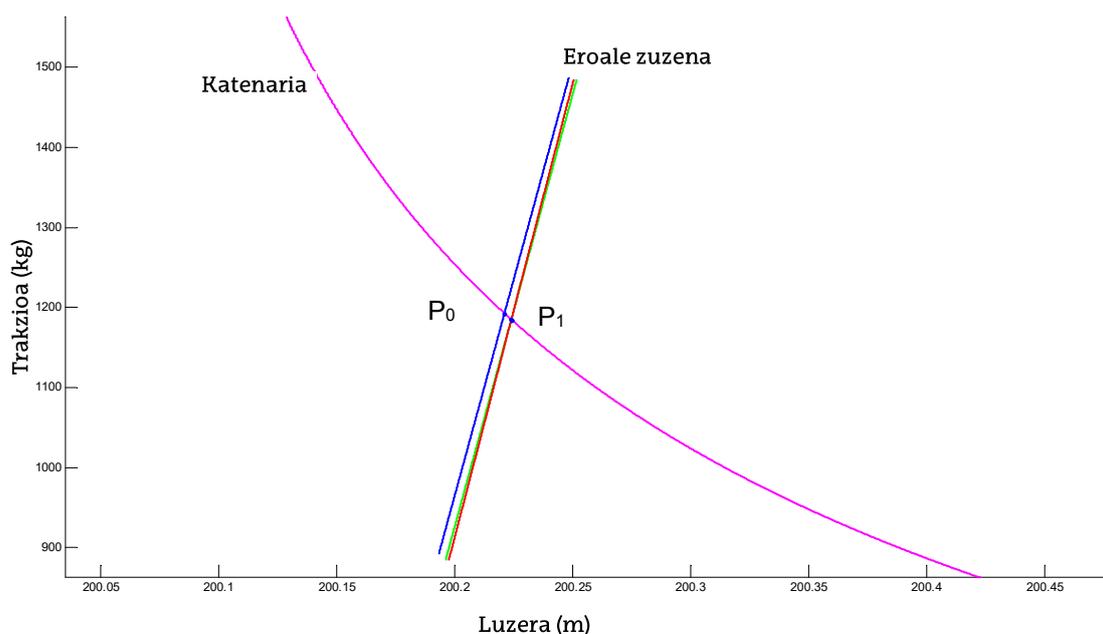
Masa errore positiboak trakzio aldaketa handiagoa sortzen du eta alderantziz.

- **Elastikotasun-moduluaren eragina**

Elastikotasun-moduluaren erroreak eroalearen luzera ekuazioan eragiten du. Errore hau aztertzeko, eroale zehatz batentzako katenaria irudikatu eta katenariaren gainean trakzio puntu bat aukeratzen da, puntu hori erreferentzia puntua izango da $P_0(L_0, Tr_0)$. Erreferentzia puntu horretan eroalearen zuzena irudikatzen da.

- Aukeraturiko puntu hori dilatatzeko da. Hau da eroalearen tenperatura igo egiten da. Katenarian lan puntu berri bat edukiko da, eroalearen zuzen berri bat egongo da $P_1(L_1, Tr_1)$.
- Lan puntu horren balioetan elastikotasun-moduluaren errorea egon daiteke edo ez; zuzen berria erroreakin edo errore gabe: $P_{1e}(L_{1e}, Tr_{1e})$ eta $P_1(L_1, Tr_1)$.
- Dilatazio ondorengo puntuetatik eroalearen zuzena irudikatzen da, erroreakin eta errore gabe.

3.19 irudian eroalean gertatzen den dilatazioaren ondorioz trakzio erorketa bat erakusten da. Hau da dilatazioak eroalearen ahuldura dakar.

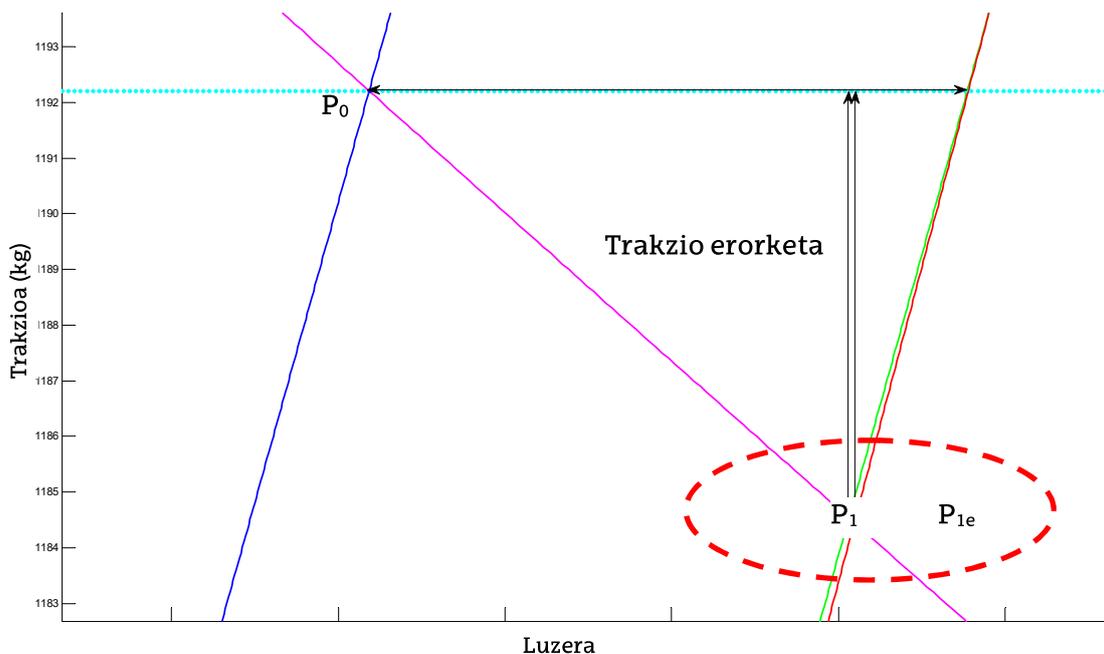


3.19 irudia. Katenaria eta eroale zuzena dilatazio aurretik eta ondoren.

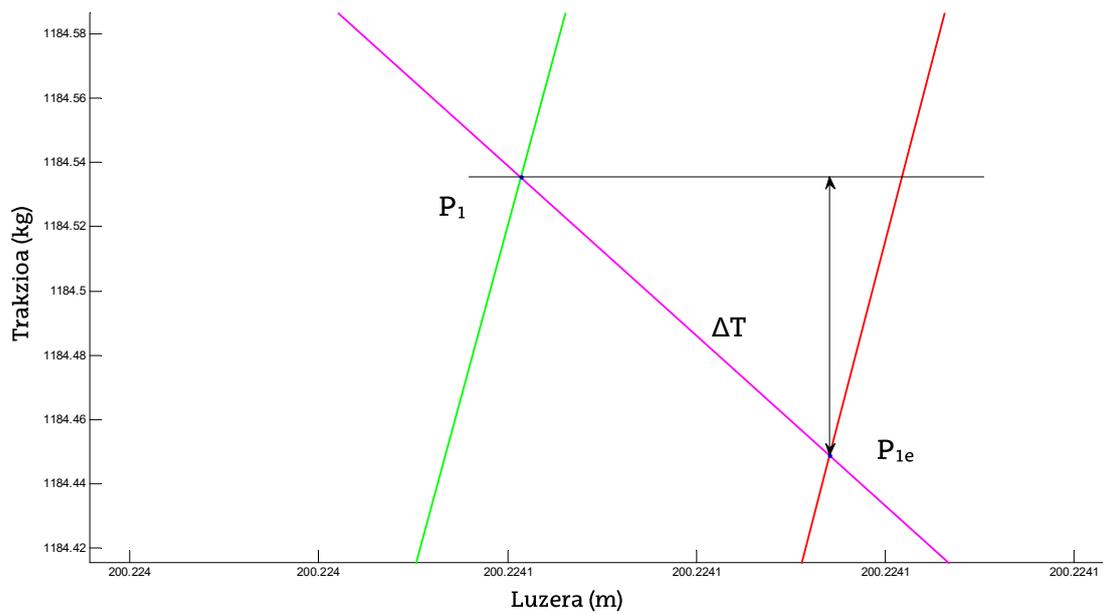
Eroalearen ezaugarrietan, zehazki elastikotasun-moduluaren balioan, errorea baldin badago tentsio erorketa hori ezberdina da. 3.20 irudian elastikotasun-moduluan errorea dagoen edo ez kasuak ageri dira. Grafikoan errore eta errore gabeko kasuen arteko trakzio erorketa ezberdina ikusten da; elastikotasun-moduluan errorea dagoen kasurako, P_{1e} puntua, trakzio erorketa handiagoa da. 3.21 irudian eta 3.4 taulan errorea daukan P_{1e} eta errore gabeko P_1 puntuaren arteko trakzio ezberdintasuna adierazten da.

Azterturiko kasu honetan elastikotasun-moduluaren errorea, errore positiboa da, ondorioz eroalearen elastikotasun-moduluaren balioan errorea egoteak trakzio erorketa handiago baten emaitza ematen du.

Errore negatiboaren kasuan trakzio erorketa txikiago baten emaitza sortuko litzateke.



3.20 irudia. Dilatazio ondorengo errorea daukan eta errore gabeko puntua.



3.21 irudia. Trakzio erorketa desberdintasuna modulu elastikoaren errorea daukan eta errore gabeko puntuaren artean.

3.4 TAULA

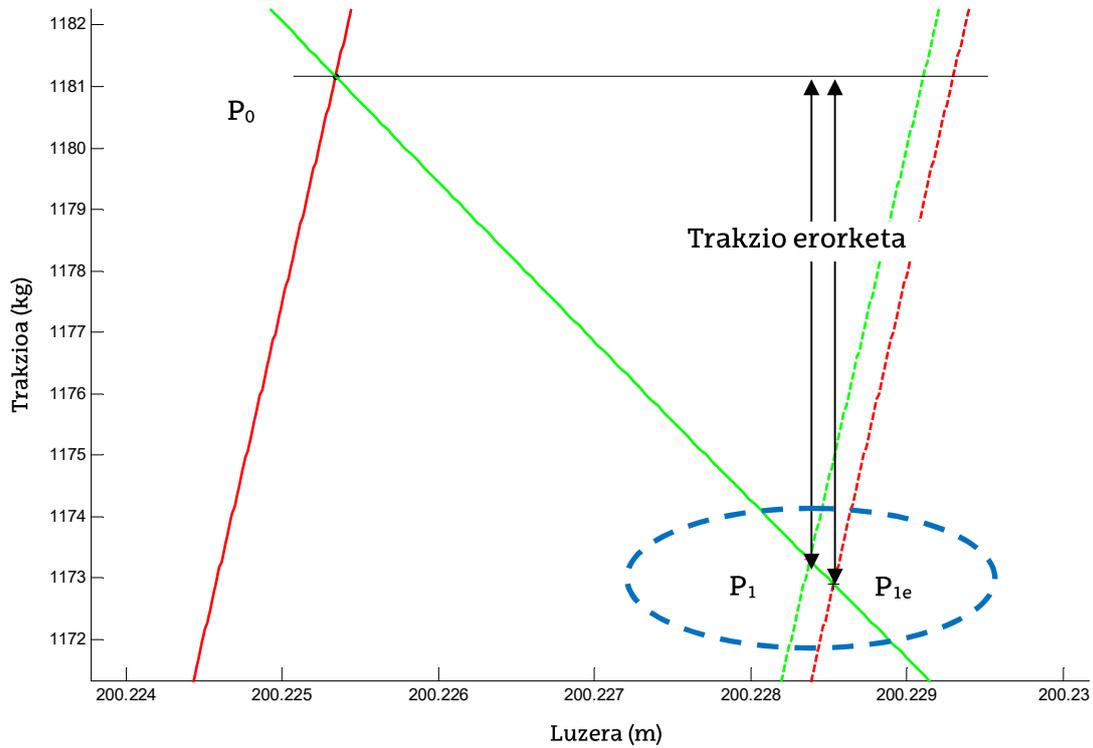
DILATAZIO AURREKO ETA ONDORENGO BALIOAK MODULU ELASTIKO ERRORE ANALISIAN

Dilatazio aurreko balioak	
$L_0=200,22355$ m	
$Tr_0=1185,88126$ kg	
Dilatazio ondorengo balioak	
Modulu elastiko errore gabeko balioak	Modulu elastiko errorea daukan balioak
$L_1=200,2265$ m	$L_{1e}=200,2266$ m
$Tr_1=1177,9328$ kg	$Tr_{1e}=1177,8587$ kg
$\Delta T=0,074167$ kg	

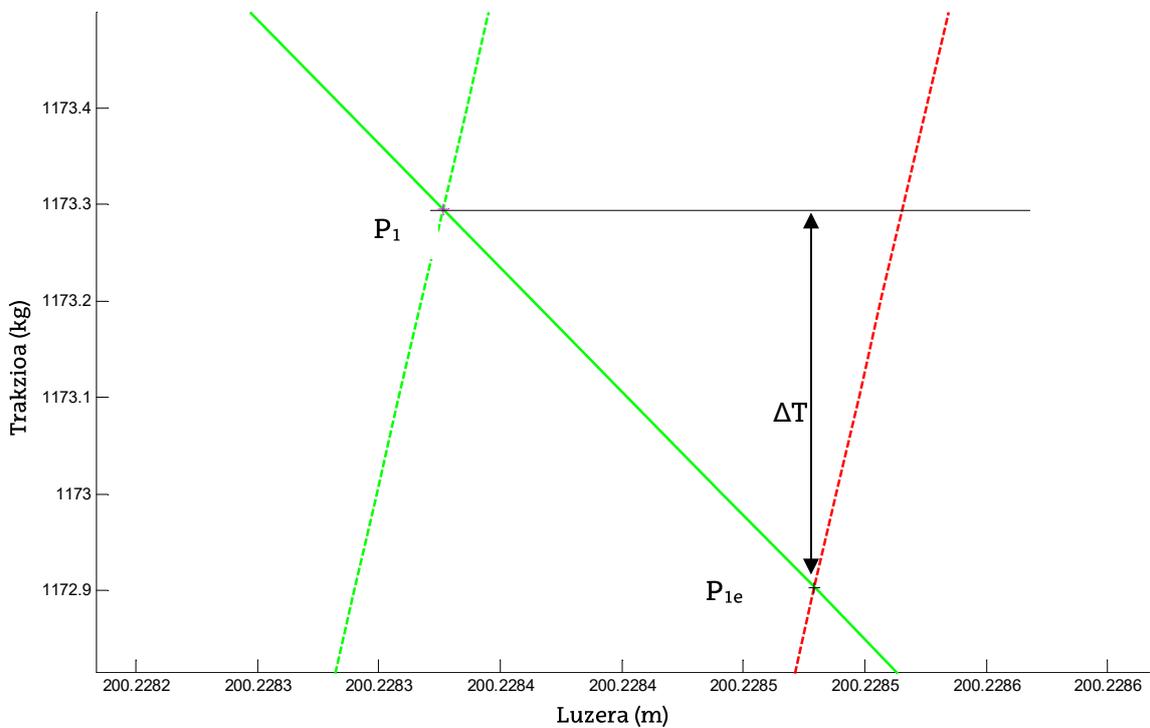
- **Dilatazio termikoko koefizientearen (DTK) eragina**

Dilatazio termikoaren koefizientearen erroreak eroalearen luzera ekuazioan eragiten du. Errore hau aztertzeke, eroale zehatz bat aukeratzen da eta elastikotasun-moduluaren eragina aztertzeke jarraituriko prozedura berdina aplikatzen da baina kasu honetan errorea DTKn aztertzen da.

3.22 eta 3.23 irudietan dilatazio ondorengo errorea daukan eta errore gabeko puntuak erakusten dira.



3.22 irudia. Dilatazio ondorengo errorea daukan eta errore gabeko puntuak.



3.23 irudia. Trakzio erorketa desberdintasuna dilatazio termikoaren koefizientean errorea daukan eta errore gabeko puntuen artean.

3.5 taulan tenperatura igotze batek edo dilatazio batek luzeran daukan eragina erakusten da, hau da katenarian forman daukan eragina; trakzioa aldatzen da eta portaera elastikoaren ondorioz luzera aldatzen da.

3.5 TAULA

DILATAZIO AURREKO ETA ONDORENGO BALIOAK DILATAZIO TERMIKOAREN KOEFIZIENTEAREN ERRORE ANALISIAN

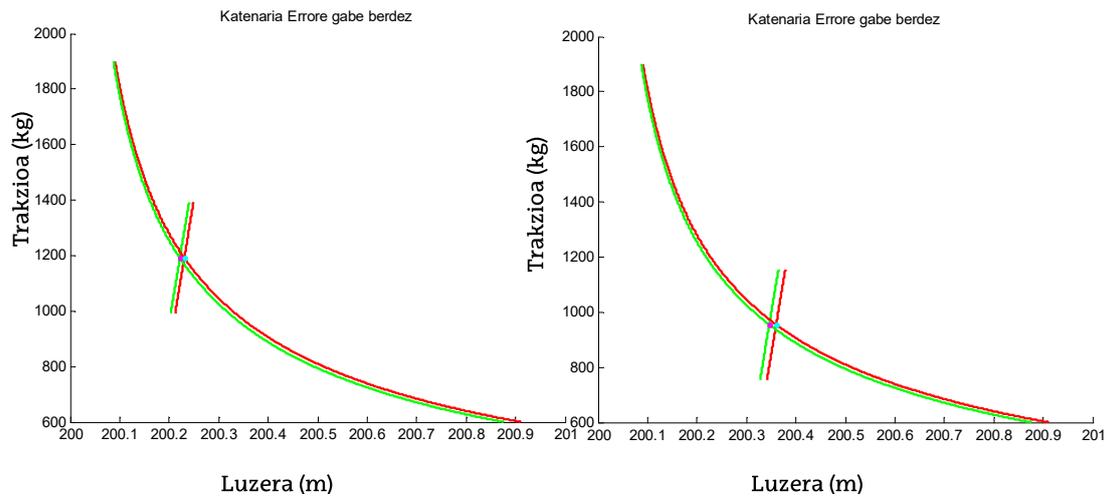
Dilatazio aurreko balioak	
$L_0=200,22534$ m	
$Tr_0=1181,16816$ kg	
Dilatazio ondorengo balioak	
Dilatazio termiko koefiziente errore gabeko balioak	Dilatazio termiko koefiziente errorea daukan balioak
$L_1=200,22837$ m $Tr_1=1173,29544$ kg	$L_{1e}=200,22852$ m $Tr_{1e}=1172,90313$ kg
$\Delta T=0.39231463$ kg	

3.2.3.2. Parametroen eragina katenariaren puntu ezberdinetan

Aukeraturiko trakzio puntuaren arabera parametroen eragina ezberdina da. Hau da, katenariaren puntu ezberdinetan sortzen den eragina parametroen errorea dela eta ezberdina da.

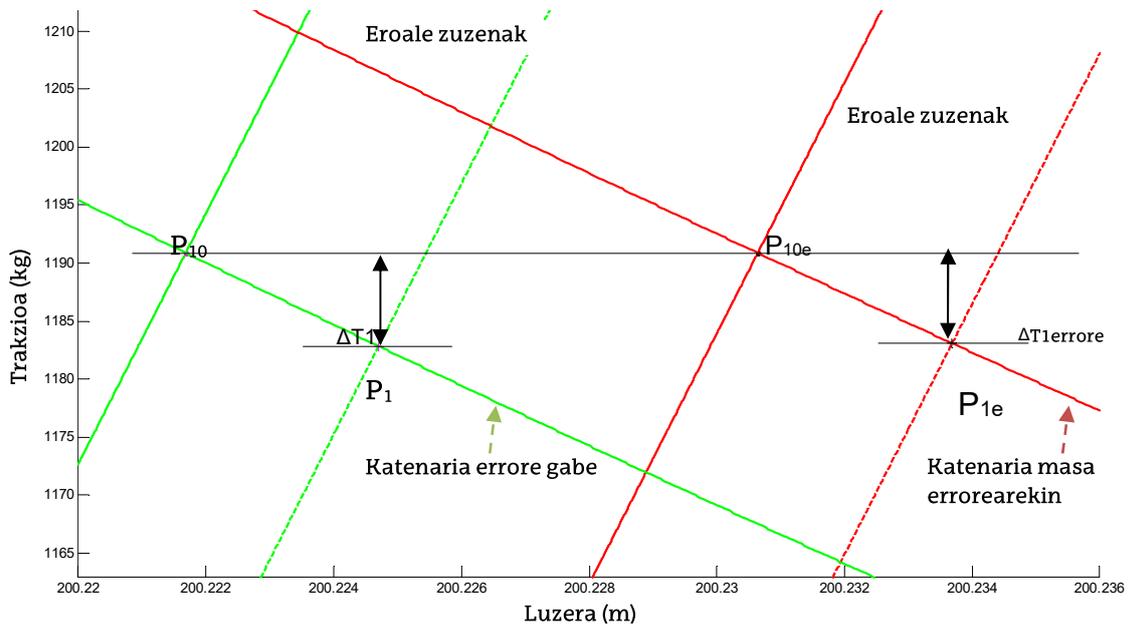
- **Masaren eragina**

Katenariaren puntu bat edo beste batean kokatzeak masaren erroreak sorturiko eragin ezberdinak ematen ditu. Hau aztertzeke masaren eragina aztertzerakoan jarraituriko prozedura berdina jarraitzen da baina katenarien gainean trakzio puntu bi aukeratzen dira. Errore gabeko katenarian $P_{10}(L_{10}, Tr_{10})/ P_{20}(L_{20}, Tr_{20})$ eta errorea daukan katenarian $P_{10e}(L_{10e}, Tr_{10e})/ P_{20e}(L_{20e}, Tr_{20e})$. Erreferentzia puntu horietan eroalearen zuzena irudikatzen da, 3.24 irudia.



3.24 irudia. Katenaria eta eroale zuzena aukeraturiko puntuetan.

Temperatura baxuago baten kasurako, hau da katenariaren ezkeragoko edo trakzio balio handiago baten kasua 3.25 irudian ageri da.



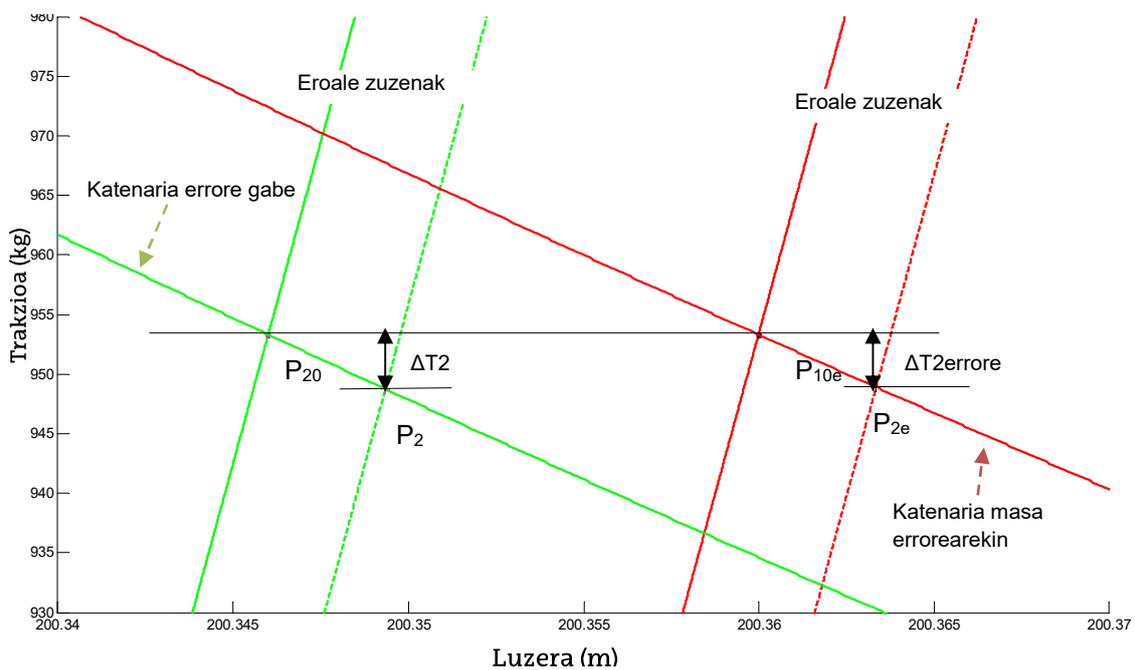
3.25 irudia. Katenaria eta eroale zuzena aukeraturiko lehenengo puntuan

3.6 TAULA

DILATAZIO AURREKO ETA ONDORENGO BALIOAK MASA ERRORE ANALISIAN. KATENARIAREN EZKER ALDEKO PUNTU BAT AUKERATUZ

Dilatazio aurreko balioak	
Masa errore gabeko balioa	Masa errorea daukan balioa
$L_{10}=200,221681717234$ m	$L_{10e}=200,230640755917$ m
$Tr_{10}=1190,87408855997$ kg	$Tr_{10}=1190,87408855997$ kg
Dilatazio ondorengo balioak	
Masa errore gabeko balioa	Masa errorea daukan balioa
$L_1=200,2247023967$ m	$L_{1e}=200,233684754227$ m
$Tr_1=1182,84520921302$ kg	$Tr_{1e}=1183,09514780214$ kg
$\Delta T_1=8,028879$ kg	$\Delta T_{1errore}=7,778940$ kg

Tenperatura altuago baten kasua, hau da katenariaren eskuinagoko edo trakzio balio txikiago bateko kasua 3.26 irudian ageri da.



3.26 irudia. Katenaria eta eroale zuzena aukeraturiko bigarren puntuan.

3.7 TAULA

DILATAZIO AURREKO ETA ONDORENGO BALIOAK MASA ERRORE ANALISIAN. KATENARIAREN ESKUIN ALDEKO PUNTU BAT AUKERATUZ

Dilatazio aurreko balioak	
Masa errore gabeko balioak	Masa errorearekin balioak
$L_{20}=200,244382605207$ m	$L_{20e}=200,25425942646$ m
$Tr_{20}=1134,23495705829$ kg	$Tr_{20}=1134,23495705829$ kg
Dilatazio ondorengo balioak	
Masa errore gabeko balioak	Masa errorearekin balioak
$L_2=200,247486662191$ m	$L_{2e}=200,257384718876$ m
$Tr_2=1127,10216570302$ kg	$Tr_{2e}=1127,3303449446$ kg
$\Delta T_2=7,13279136$ kg	$\Delta T_{2e}=6,90461211$ kg

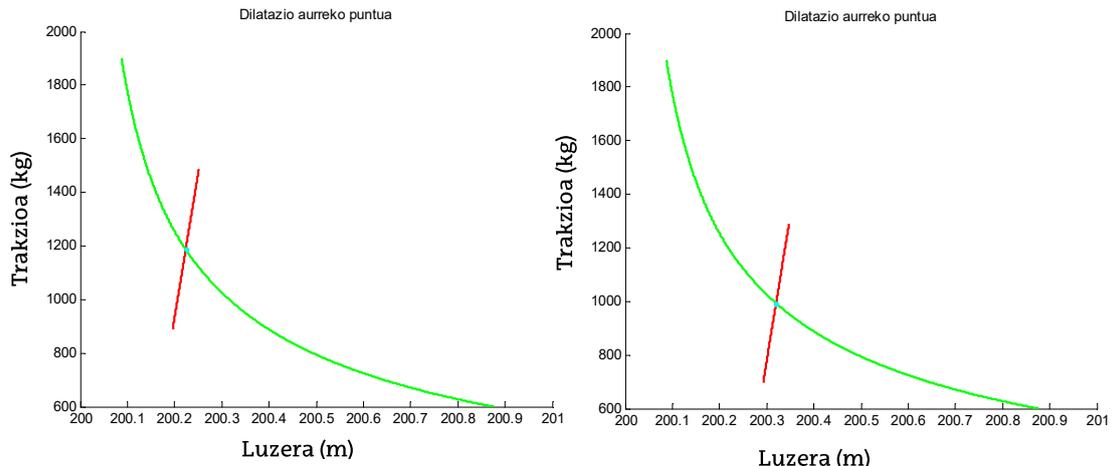
Aztertutako kasu hauetan masa errorea, errore positiboa da, ondorioz errorearen masa balioan errorea egoteak trakzio erorketa handiago baten emaitza ematen du.

Errore negatiboaren kasuan trakzio erorketa txikiago baten emaitza sortuko litzateke. Baina, aurreko irudietan ikus daiteke tenperatura altuago baten kasurako, hau da katenariaren eskuinagoko edo trakzio balio txikiago baten kasuan, masa errorearen eragina txikiagoa dela. Masa errore berdin batek eragin ezberdina dauka katenariaren puntu batean edo beste batean.

- **Elastikotasun-moduluaren eragina**

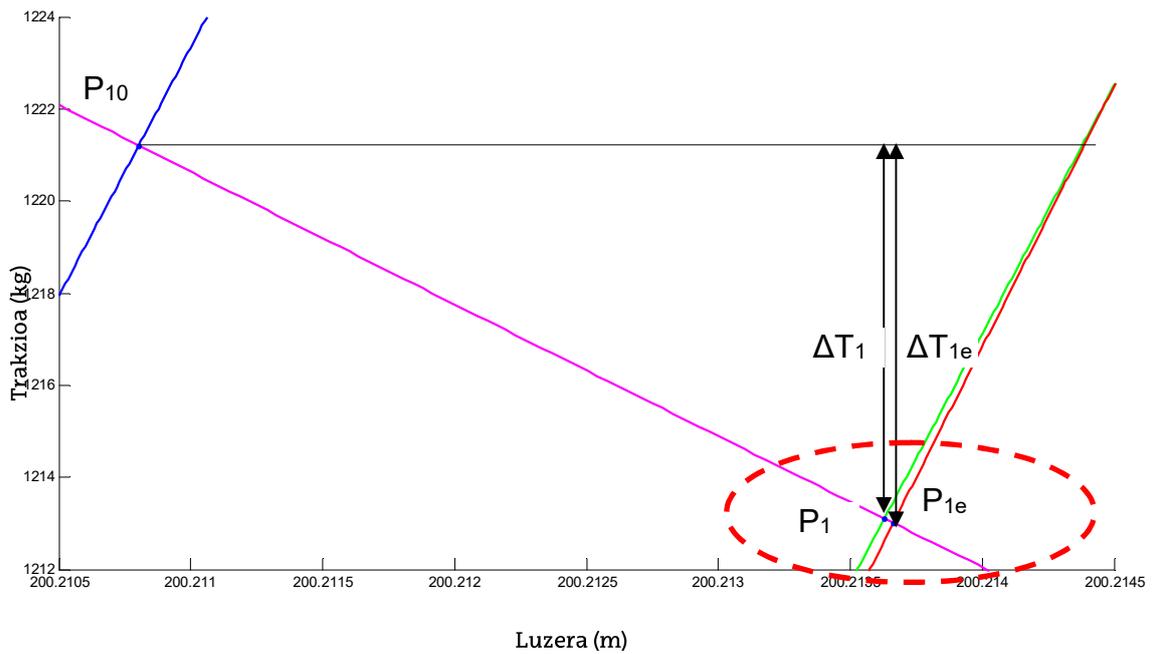
Katenariaren puntu bat edo beste batean kokatzeak elastikotasun-moduluaren erroreak sortutako eragin ezberdinak ematen ditu. Hau elastikotasun-moduluaren azterketarako jarraitutako prozedura berdina jarraitzen da baina katenariaren gainean trakzio puntu bi aukeratu, 3.27 irudian erakusten diren $P_{10}(L_{10}, Tr_{10})$ eta $P_{20}(L_{20}, Tr_{20})$.

Jarraitutako prozeduraren emaitzak 3.28 eta 3.29 irudietan eta 3.8 eta 3.9 tauletan erakusten dira.



3.27 irudia. Katenaria eta eroale zuzena aukeraturiko puntuetan

Tenperatura baxuago baten kasurako, hau da katenariaren ezkererago edo trakzio balio handiago baten kasua 3.28 irudian ageri da.



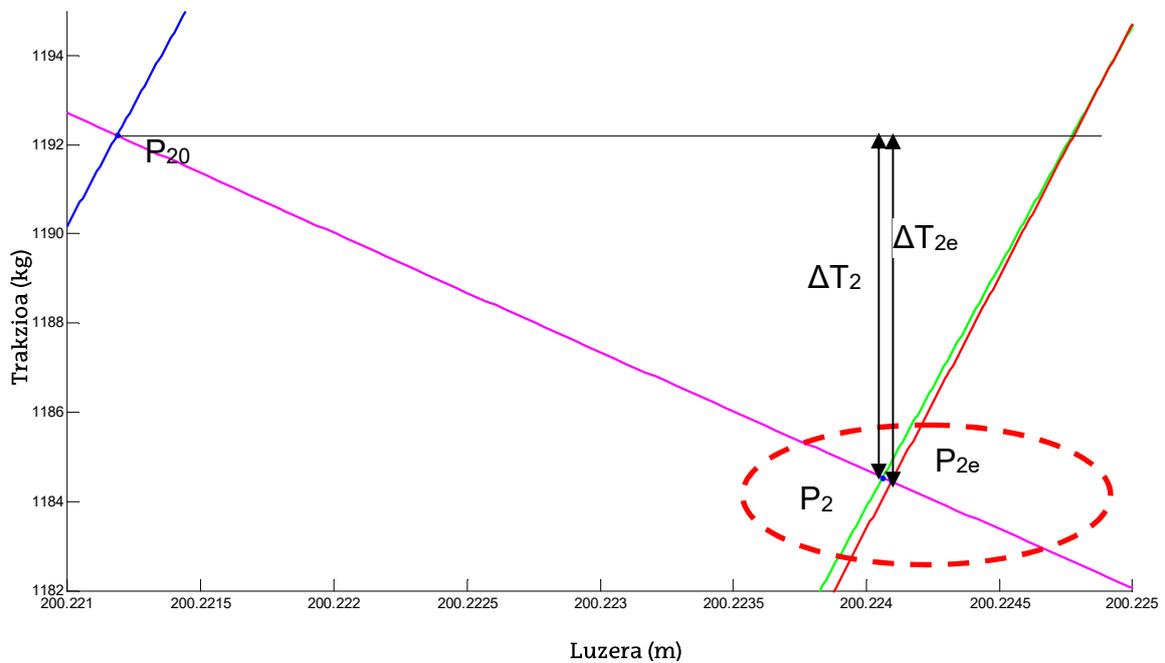
3.28 irudia. Dilatazio ondorengo errorearekin eta errore gabeko puntuak, katenariaren ezker aldean.

3.8 TAULA

DILATAZIO AURREKO ETA ONDORENGO BALIOAK MODULU ELASTIKO ERRORE ANALISIAN.
KATENARIAREN EZKER ALDEKO PUNTU BAT AUKERATUZ

Dilatazio aurreko balioa	
$Tr_{10}=1221,206192 \text{ kg}$	
Dilatazio ondorengo balioak	
Errore gabeko balioak	Errorearekin balioak
$Tr_1=1213,103958 \text{ kg}$	$Tr_{1e}=1213,007417 \text{ kg}$
$\Delta T_1=8,10223 \text{ kg}$	$\Delta T_{1\text{errore}}=8,198774 \text{ kg}$

3.29 irudian tenperatura altuago baten kasua, hau da katenariaren eskuinerago edo trakzio balio txikiago baten kasua ageri da.



3.29 irudia. Dilatazio ondorengo errorearekin eta errore gabeko puntuak, katenariaren eskuinaldean.

3.9 TAULA

DILATAZIO AURREKO ETA ONDORENGO BALIOAK MODULU ELASTIKO ERRORE ANALISIAN.

KATENARIAREN ESKUIN ALDEKO PUNTU BAT AUKERATUZ

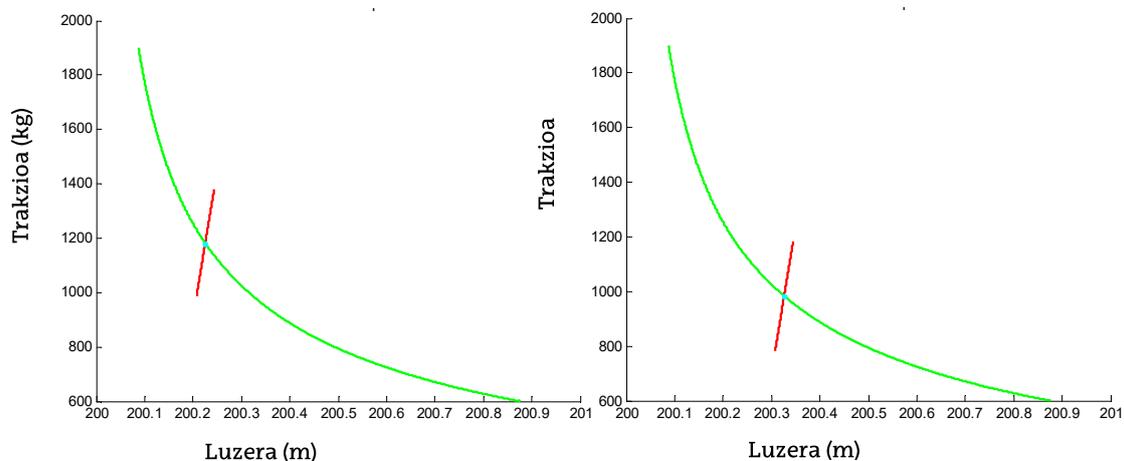
Dilatazio aurreko balioak	
$Tr_{20}=1192,2090148$ kg	
Dilatazio ondorengo balioak	
Errore gabeko balioak	Errorearekin balioak
$Tr_2=1184,53545297723$ kg	$Tr_{2e}=1184,44892760102$ kg
$\Delta T_2=7,673561$ kg	$\Delta T_{2\text{errore}}=7,760087$ kg

3.28 eta 3.29 irudietan ageri denaren arabera temperatura altuago baten kasurako, hau da katenariaren eskuinerago edo trakzio balio txikiago baten kasuan, elastikotasun-moduluaren errorearen eragina txikiagoa da. Elastikotasun-moduluaren errore zehatz batek eragin ezberdina dauka katenariaren puntu batean edo beste batean.

- **Dilatazio termikoaren koefizientearen (DTK) eragina**

Katenariaren puntu bat edo beste batean kokatzean dilatazio termikoaren koefizientearen erroreak eragin ezberdinak ematen ditu. Hau adierazteko aurreko ataleko prozedura berdina jarraituko da baina DTKren erroreari aplikatuz.

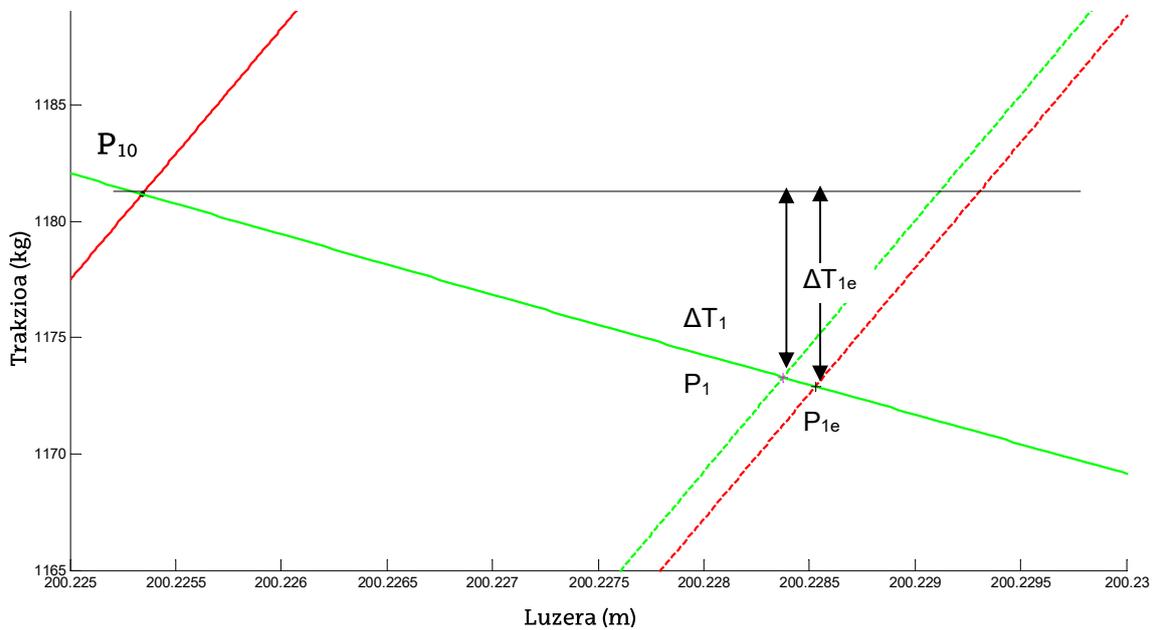
3.30 irudian aukeraturiko erreferentzia puntuak erakusten dira: $P_{10}(L_{10}, Tr_{10})$ eta $P_{20}(L_{20}, Tr_{20})$.



3.30 irudia. Katenaria eta eroale zuzena aukeraturiko puntuetan.

Jarraituriko prozeduraren emaitzak 3.31 eta 3.32 irudietan eta 3.10 eta 3.11 tauletan erakusten dira.

3.31 irudian tenperatura baxuago baten kasua, hau da katenariaren ezkererago edo trakzio balio handiago baten kasua ikus daiteke.



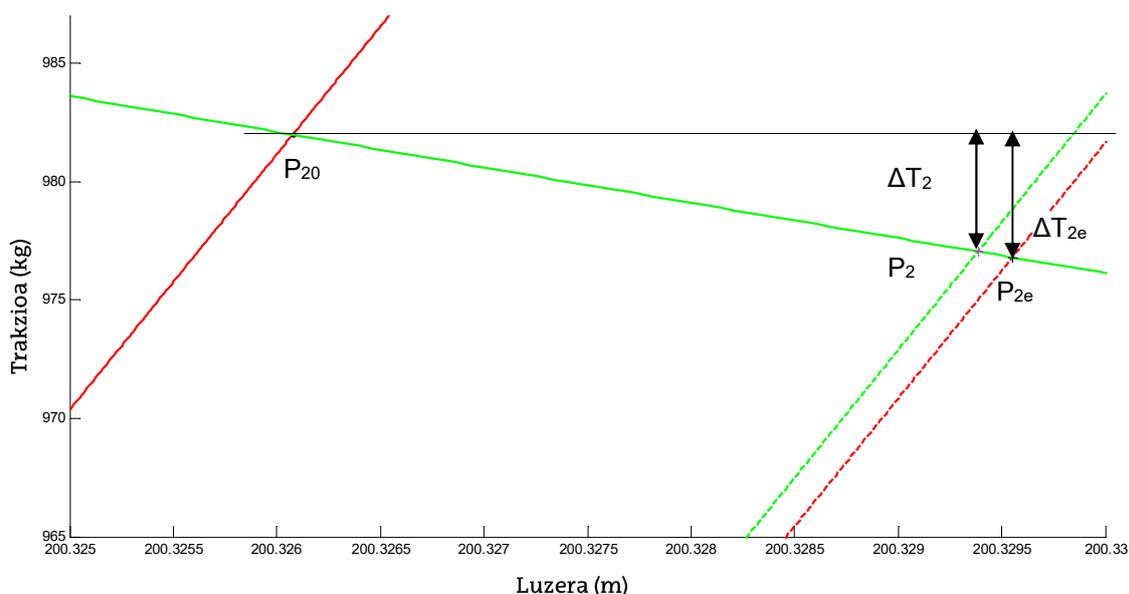
3.31 irudia. Dilatazio ondorengo errorearekin eta errore gabeko puntuak, katenariaren ezker aldean.

3.10 TAULA

DILATAZIO AURREKO ETA ONDORENGO BALIOAK DILATAZIO TERMIKO KOEFIZIENTE ERRORE ANALISIAN. KATENARIAREN EZKER ALDEKO PUNTU BAT AUKERATUZ

Dilatazio aurreko balioa	
$Tr_{10} = 1181,1681 \text{ kg}$	
Dilatazio ondorengo balioak	
Errore gabeko balioak	Errorearekin balioak
$T_{r1} = 1173,2954 \text{ kg}$	$T_{r1e} = 1172,90313 \text{ kg}$
$\Delta T_1 = 7,872712 \text{ kg}$	$\Delta T_{1\text{errore}} = 8,265027 \text{ kg}$

3.32 irudian tenperatura altuago baten kasua, hau da katenariaren eskuinerago edo trakzio balio txikiago baten kasua erakusten da.



3.32 irudia. Dilatazio ondorengo errorearekin eta errore gabeko puntuak, katenariaren eskuinaldean.

3.11 TAULA

DILATAZIO AURREKO ETA ONDORENGO BALIOAK DILATAZIO TERMIKO KOEFIZIENTE ERRORE ANALISIAN. KATENARIAREN ESQUIN ALDEKO PUNTU BAT AUKERATUZ

Dilatazio aurreko balioa	
$Tr_{10}=981,9848$ kg	
Dilatazio ondorengo balioak	
Errore gabeko balioak	Errorearekin balioak
$Tr_2=977,04334$ kg	$Tr_{2e}=976,7967$ kg
$\Delta T_2=4,9415$ kg	$\Delta T_{2\text{errore}}=5.1881$ kg

Emaitzen arabera tenperatura altuago baten kasurako, hau da katenariaren eskuinerago edo trakzio balio txikiago baten kasuan, dilatazio termikoaren koefizientearen errorearen eragina txikiagoa da.

3.2.3.3. Parametroen eragin orokorra

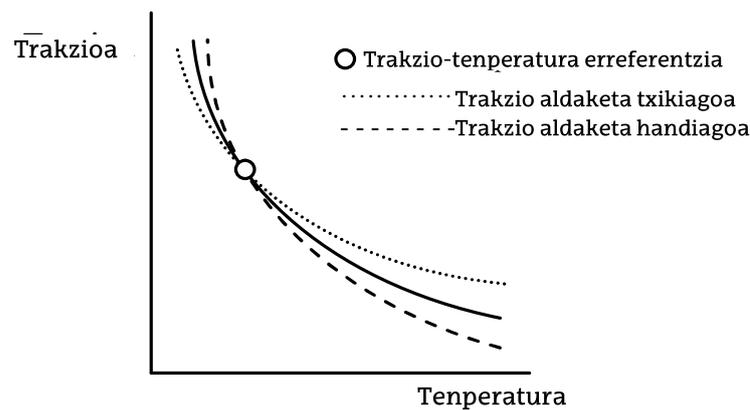
3.12 taulan erroalearen parametroen erroreak trakzioan duen eragina erakusten da.

3.12 TAULA

TRAKZIO DESBIDERAPENA ERRORE PARAMETROEN FUNTZIOAN

	Errore positiboa (balio altua)	Errore negatiboa (balio baxua)
Masa	Trakzio aldaketa txikiagoa	Trakzio aldaketa handiagoa
Elastikotasun-modulua	Trakzio aldaketa handiagoa	Trakzio aldaketa txikiagoa
DTK	Trakzio aldaketa handiagoa	Trakzio aldaketa txikiagoa

Trakzio-tenperatura erreferentzia bat izanik, eroalearen tenperatura ezberdinetan trakzio balioa errorearen menpe agertzen da (3.33 irudia). Irudian errore gabeko kurba eta tentsio aldaketa handiago edo txikiagoko kurbak erakusten dira. Trakzio aldaketa txikiagoko kurbak masaren errore positiboa adieraz dezake.



3.33 irudia. Trakzio-tenperatura kurba eroalearen errore parametroekin.

3.2.3.4. Isolagailu katearen eragina

Isolagailu katea katenariaren parte da baina isolagailu katearen masa eroalearen masa baino handiagoa da eta isolagailu katea ez da dilatzen eroalea adina. Eroalearen trakzio-tenperatura portaera analisisian erabiltzen den eredu teorikoan isolagailu katea kontuan hartzeak edo ez zer nolako eragina duen aztertzen da. Horretarako eroale bat aukeratzen da, eta eredu teoriko biak erabiliz, isolagailu katea kontuan hartzen duena eta ez duena, trakzio-tenperatura portaera aztertzen da bao luzera ezberdinentzako. Azterketa honen adibide batzuk ondorengo taula eta grafikoetan erakusten dira.

ACSR Hawk eroale baten trakzio-tenperatura portaeraren kasua aztertzen da. Azterketa egiteko erabilitako tenperatura tartea $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -tik $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra izanik, eroalea bere apurketa trakzioaren % 15ean eta $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ -tan instalatua izan dela suposatuz.

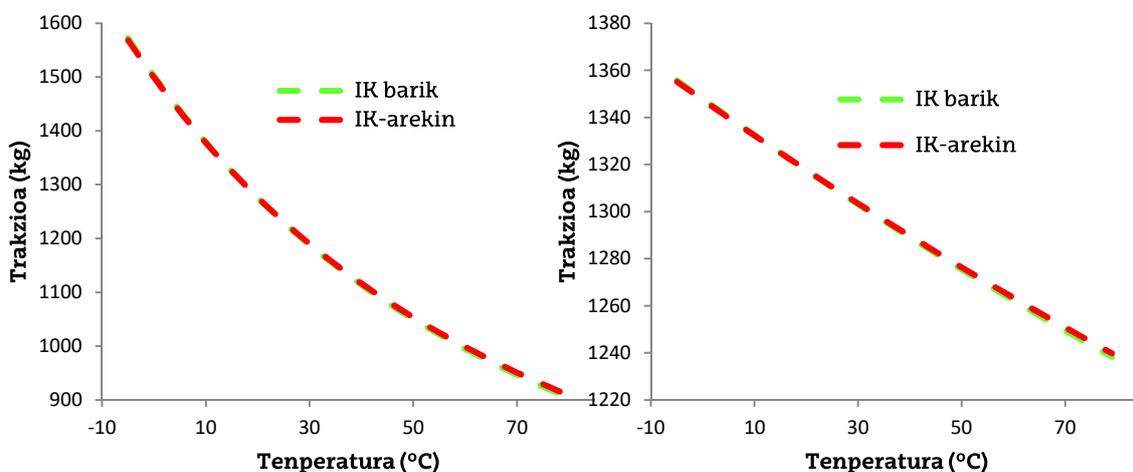
3.13 taulan adierazten da bao luzera handitzean isolagailu katearen eragina murrizten dela.

3.13 TAULA

EREDU TEORIKOAN ISOLAGAILU KATEA KONTUAN HARTZEAK EDO EZ SORTZEN DUEN TRAKZIO EZBERDINTASUNA BAO LUZERA EZBERDINENTZAKO

Bao luzera	Trakzio ezberdintasuna. Batez bestekoa
200 m	2,7 kg
400 m	1,3 kg
500 m	0,9 kg
600 m	0,7 kg

3.34. irudian 200 metroko bao batean egindako eroale baten trakzio-tenperatura portaeraren analisia erakusten da.



3.34 irudia. Eroalearen Trakzio-tenperatura portaera isolagailu katea kontuan harturik eta kontuan hartu gabe.

a) 200 m-ko baoa eta b) 600 m-ko baoa.

Ondoren, eroalearen parametroen errorearen azterketan isolagailu katea kontuan izateak edo ez zer nolako eragina duen aztertzen da.

3.14 eta 3.15 tauletan Hawk eroale batekin egindako masa errore azterketaren emaitzak erakusten dira. Azterketa 200 metroko bao batean egin da. 3.14

taulan adierazten diren emaitzak isolagailu katea kontuan hartzen duen eredu teorikoarekin lortu dira eta 3.15 taulan isolagailu katea kontuan hartzen ez duen eredu teorikoa.

3.14 TAULA

DILATAZIO AURREKO ETA ONDORENGO BALIOAK MASA ERRORE ANALISIAN ISOLAGAILU KATEAREKIN

Dilatazio aurreko balioak	
Erreferentzia puntua errore gabeko katenarian	Erreferentzia puntua errorea daukan katenarian
$L_0=200,1898\text{m}$ $T_{r0}=1286,7579\text{ kg}$	$L_{0e}=200,1975\text{ m}$ $T_{r0}=1286,7579\text{ kg}$
Dilatazio ondorengo balioak	
Errore gabeko balioak	Errorearekin balioak
$L_1=200,1926\text{ m}$ $T_{r1}=1277,364\text{ kg}$	$L_{1e}=200,2003\text{ m}$ $T_{r1e}=1277,6431\text{ kg}$
$\Delta T=9,3936\text{ kg}$	$\Delta T_{\text{errore}}=9,1147\text{ kg}$

3.15 TAULA

DILATAZIO AURREKO ETA ONDORENGO BALIOAK MASA ERRORE ANALISIAN ISOLAGAILU KATE GABE

Dilatazio aurreko balioak	
Erreferentzia puntua errore gabeko katenarian	Erreferentzia puntua errorea daukan katenarian
$L_0=200,19003\text{ m}$ $T_{r0}=1286,1868\text{ kg}$	$L_{0e}=200,19771\text{ m}$ $T_{r0}=1286,18683\text{ kg}$
Dilatazio ondorengo balioak	
Errore gabeko balioak	Errorearekin balioak
$L_1=200,19288\text{ m}$ $T_{r1}=1276,6573\text{ kg}$	$L_{1e}=200,20058\text{ m}$ $T_{r1e}=1276,9389\text{ kg}$
$\Delta T=9,5295\text{ kg}$	$\Delta T_{\text{errore}}=9,2478\text{ kg}$

3.14 eta 3.15 tauletan adierazten diren emaitzak oso antzerakoak dira. Isolagailu katea kontuan hartzen duen eredu erabiltzerakoan masa erroreak sortzen duen trakzio ezberdintasuna txikiagoa da.

3.16 taulan bao luzera ezberdinentzako lorturiko emaitzak erakusten dira. Dilatazioa aplikatzerakoan gradu berdinak aukeratu dira kasu guztietan, horrela emaitzak alderatu ahal izateko. Bao luzera zenbat eta handiago izan orduan eta isolagailu katearen eragin txikiagoa.

3.16 TAULA

ISOLAGAILU KATEAREN ERAGINA MASA ERRORE ANALISIAN BAO LUZERA EZBERDINEN KASUAN

Bao luzera	Isolagailu kate gabe		Isolagailu katearekin	
400	Dilatazio aurretik		Dilatazio aurretik	
	Errore gabeko katenarian	Errorea daukan katenarian	Errore gabeko katenarian	Errorea daukan katenarian
	$L_0=401,4605$ $T_{r0}=1312,737$	$L_{0e}=401,5196$ $T_{r0}=1312,737$	$L_0=401,4600$ $T_{r0}=1312,9598$	$L_{0e}=401,5191$ $T_{r0}=1312,9598$
	Dilatazio ondoren		Dilatazio ondoren	
	Errore gabeko balioa	Errorearekin balioa	Errore gabeko balioa	Errorearekin balioa
	$L_1=401,46750$ $T_{r1}=1309,6405$	$L_{1e}=401,5266$ $T_{r1e}=1309,751$	$L_1=401,46688$ $T_{r1}=1309,9184$	$L_{1e}=401,52596$ $T_{r1e}=1310,02727$
	$\Delta T=3,0971$	$\Delta T_{errore}=2,9864$	$\Delta T=3,0414$	$\Delta T_{errore}=2,9325$
	600	Dilatazio aurretik		Dilatazio aurretik
Errore gabeko katenarian		Errorea daukan katenarian	Errore gabeko katenarian	Errorea daukan katenarian
$L_0=604,8877$ $T_{r0}=1319,2176$		$L_{0e}=605,08569$ $T_{r0}=1319,2176$	$L_0=604,88691$ $T_{r0}=1319,3263$	$L_{0e}=605,08484$ $T_{r0}=1319,3263$
Dilatazio ondoren		Dilatazio ondoren		
Errore gabeko balioa		Errorearekin balioa	Errore gabeko balioa	Errorearekin balioa
$L_1=604,89862$ $T_{r1}=1317,7531$		$L_{1e}=605,0966$ $T_{r1e}=1317,8077$	$L_1=604,897604$ $T_{r1}=1317,8896$	$L_{1e}=605,0955$ $T_{r1e}=1317,9432$
$\Delta T=1,4644$		$\Delta T_{errore}=1,4098$	$\Delta T=1,4367$	$\Delta T_{errore}=1,3830$

Isolagailu katearen eragina kontuan hartzeak erabilitako eredu teorikoan isolagailu katearen neurria kontuan hartzea suposatzen du. Ereduak horrela eroalea katenaria baino laburragoa dela onartuz.

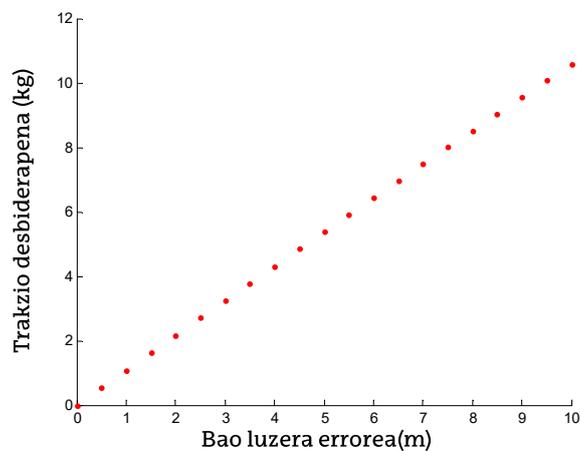
3.2.3.5. Bao luzeraren eragina

Lanean dagoen eroale baten trakzio-tenperatura portaera aztertu nahi denean eroalea kokaturik dagoen bao luzera kontuan izan behar da.

Eroale bat instalatu baino lehen instalazio horren proiektua diseinatzen da eta eroalearen instalazio prozesua dela eta hasierako proiektua diseinatzerakoan adierazitako bao luzera neurria eta bao luzera erreala berdinak ez izatea

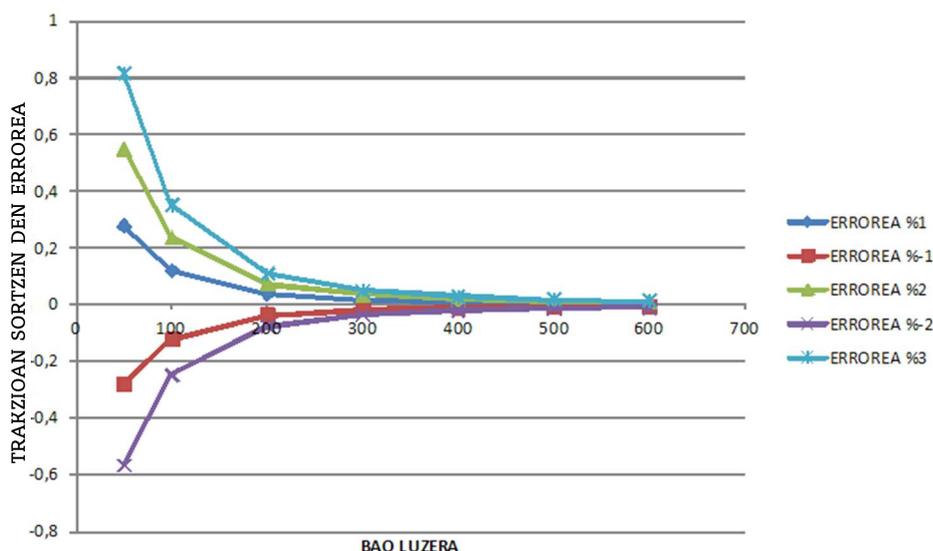
gertatu ahal da. Eroale baten trakzio-tenperatura portaera azterketa egitean eroalearen instalaziorako diseinaturiko hasierako proiektuko balioak erabiltzen badira errorea egoteko arriskua egongo da. Bao luzera topografia baten bidez zehazten bada bao luzeran egon daitekeen errorea minimizatzen da.

3.35 irudian eredu teorikoa aplikatuz 200 metroko bao luzera baten gertatzen den trakzio desbiderapena bao luzeraren erroreak arabera ageri da, bao luzeraren errore positibo batek trakzio desbiderapen positibo bat sortzen duela ondorioztatzen da.



3.35 irudia. Trakzio desbiderapena bao luzera erroreak arabera.

3.36 irudian trakzio desbiderapena bao luzera erroreak arabera aztertzen da bao luzera ezberdinen kasurako. Bao luzera handitzen doan heinean trakzio desbiderapena gutxitzen dela ondorioztatzen da.



3.36 irudia. Trakzio desbiderapena bao luzera errorearen arabera bao luzera ezberdinen kasuan.

3.2.3.6. Dilatazio termikoaren koefizientearen errore baliokidea

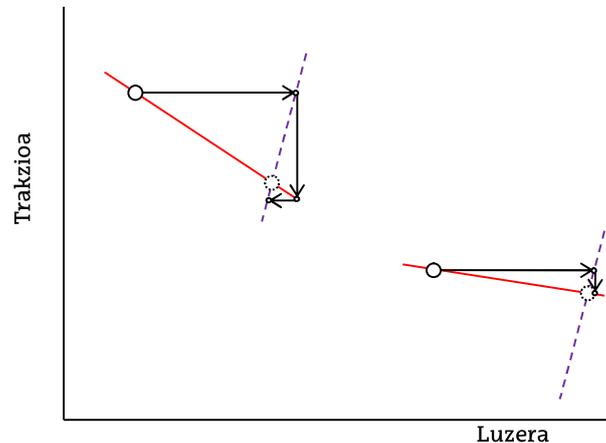
Errore iturri ezberdinen eragina kuantifikatzeko eta konparatzeko dilatazio termikoko koefizientearen (DTK) errore baliokidea definitzen da. Errore iturri batek sortzen duen trakzio desbiderapenari dagokion DTK errorea; hau da "DTK errore baliokidea".

Eroalean eragina duten parametroetan egon daitezkeen erroreak eroalearen portaeran eragiten dute, ondorioz eroalearen trakzio-tenperatura portaeran ziurgabetasuna dago. Aztertutako parametroen erroreak sortzen duten ziurgabetasun hori DTK errore baliokidearekin erlazionatu ahal da.

Kontuan izan behar da eroalearen trakzio-tenperatura portaera trantsizio-tenperaturarekin loturik dagoela, trantsizio tenperaturaren azpitik portaera eroalearen DTKrekin erlazionaturik dago eta trantsizio-tenperaturaren gainetik nukleoaren DTKrekin. DTKn errorea baldin badago, eroalearen portaera errealearen distortsioa sor daiteke eta eroalea trantsizio-tenperatura gainetik edo azpitik dagoen ezkutatu.

Adibidez eroalearen masan % 2ko errore positibo batek sortzen duen eragina dilatazio termikoaren koefizientearen % 1eko errore negatiboak sorturikoaren berdina da, errore biak trakzio desbiderapen beraren eragin izanik.

Dilatazio termikoaren koefizientearen errore baliokidea ez da balio konstante bat. Bao luzeraren, trakzio balioaren eta eroalearen ezaugarrien mende dago. Eroale zehatz baten trakzio-tenperatura portaera aztertzerakoan trakzio balio txikien kasuan trakzio balio altuen kasuan baino trakzio aldaketa txikiagoa da, ikus 3.37 irudia.



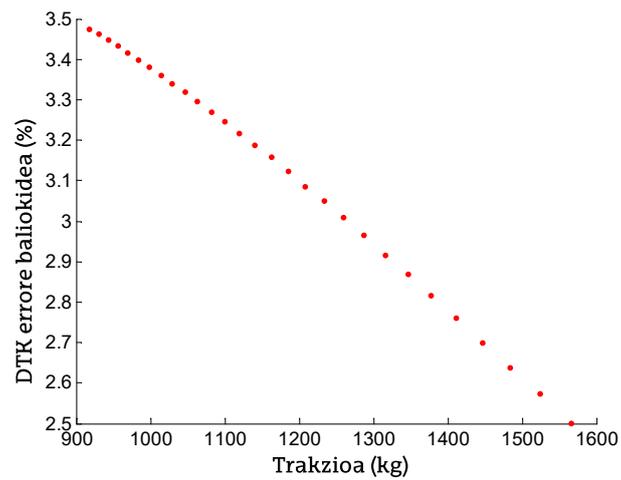
3.37 irudia. Trakzio aldaketa tenperatura aldaketa berdinen kasuan.

Eroalearen ezaugarrien arabera errore zehatz baten eragina ezberdina izango da.

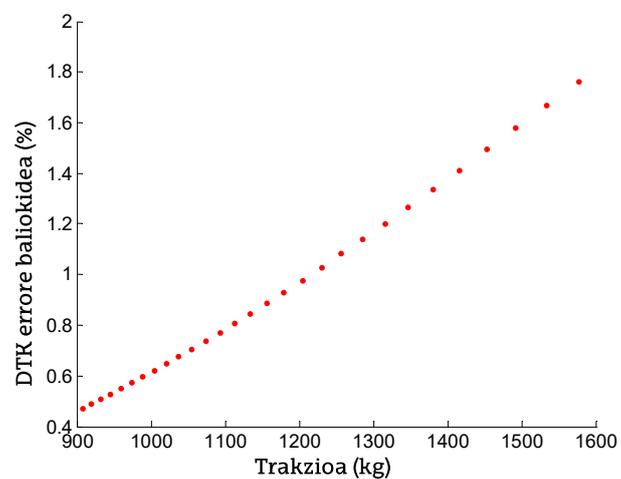
- **Eroalearen masa, elastikotasun-modulu eta azterketarako bao luzera erroreen DTK errore baliokidea**

Bao luzeran, eroalearen masan eta eroalearen modulu elastikoen erroreen DTK errore baliokidea bilatzeko 200 metroko luzera duen bao baten ACSR Hawk eroale baten trakzio-tenperatura portaeraren kasua aztertzen da eredu teorikoa erabiliz.

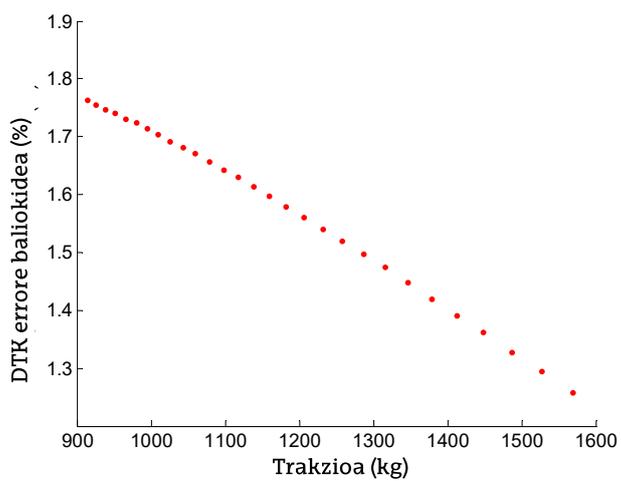
Azterketa egiteko erabilitako tenperatura tartea $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -tik $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra tartea izanik, eroalea bere apurketa trakzioaren % 15ean eta $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ -tan instalatua izan dela suposatuz. Azterketaren emaitzak 3.38, 3.39 eta 3.40 irudietan eta 3.17 eta 3.18 tauletan adierazten dira.



3.38 irudia. Masa errorea % 2 deneko DTK errore baliokidea.



3.39 irudia. Modulu elastiko errorea % 5 deneko DTK errore baliokidea.



3.40 irudia. Bao luzera errorea % 1 deneko DTK errore baliokidea.

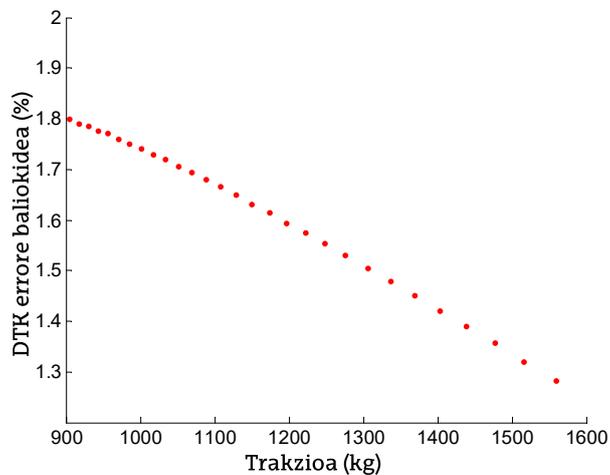
3.17 taulan aztertutako erroalearen parametroen errore balio ezberdinei dagozkien DTK errore baliokideak adierazten dira. Masa eta bao luzera erroreei dagozkien DTK errore baliokideak berdinak izanik.

3.17 TAULA

BAO LUZERA, EROALE MASA ETA MODULU ELASTIKOEN DTK ERRORE BALIOKIDEA

Errorea daukan parametroa	Errorea (%)	DTK errore baliokidearen batez bestekoa (%)	DTK errore baliokidearen aldaketa temperatura tartean (%)
Masa	0.2	0.3	0.1
	1	1.6	0.5
	2	3.1	1
Modulu Elastiko	2.5	0.5	0.6
	5	0.9	1.3
	7.5	1.4	1.9
Bao luzera	1	1.6	0.5
	2	3.1	0.9
	3	4.6	1.4

Isolagailu katea kontuan hartzeak edo ez sortzen duen eragina aztertzeko isolagailu katea kontuan hartzen duen eredu teorikoa erabiltzen da. Isolagailu katearen luzera aukeraturiko bao luzeraren portzentaje izanik, bao luzera ezberdinentzako DTK errore baliokidea kalkulatzen da. Azterketaren emaitzak 3.41 irudian eta 3.18 taulan erakusten dira.



3.41 irudia. % 2ko isolagailu kate luzerarentzako DTK errore baliokidea.

3.18 TAULA

ISOLAGAILU KATEA KONTUAN HARTZEN DUEN EREDUAREN DTK ERRORE BALIOKIDEA

Isolagailu kate luzera bao luzerarekiko (%)	DTK errore baliokidearen batez bestekoa (%)	DTK errore baliokidearen aldaketa tenperatura tartean (%)
1	0.8	0.3
2	1.6	0.5
3	2.9	1.6

Isolagailu katearen eragina aztertzeko parametro ezberdinek sortzen duten errorea aztertzen da. Beste alde batetik isolagailu katea kontuan ez hartzeak sortzen duen errorearen DTK errore baliokidea ere bilatzen da. 3.19 taulan azterketa hauen emaitzak adierazten dira.

3.19 TAULA

ISOLAGAILU KATEA KONTUAN HARTZEN EZ DUEN EREDUAREN DTK ERRORE BALIOKIDEA

	(%)	DTK errore baliokidearen batez bestekoa (%)	DTK errore aldaketa tenperatura tartean (%)
Masa errorea	0.2	0.3	0.1
	1	1.6	0.5
	2	3.1	1
Modulu elastiko errorea	2.5	0.5	0.6
	5	0.9	1.3
	7.5	1.4	1.9
Bao luzera errorea	1	1.6	0.5
	2	3.1	0.9
	3	4.6	1.4
Isolagailu katea bao luzerarekiko	1	0.8	0.3
	2	1.6	0.5
	4	2.9	1.6

3.20 taulan isolagailu katea kontuan hartzen duen erabiliz egindako azterketaren emaitzak adierazten dira.

3.20 TAULA

ISOLAGAILU KATEA KONTUAN HARTZEN DUEN EREDUAREN DTK ERRORE BALIOKIDEA

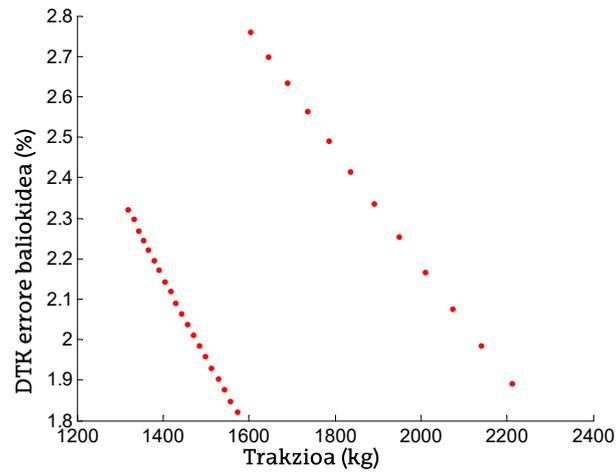
	(%)	DTK errore baliokidearen batez bestekoa (%)	DTK errore aldaketa tenperatura tartean (%)
Masa errorea	0.2	0.32	
	1	1.6	0.5
	2	3.1	1
Modulu elastiko errorea	2.5	0.5	0.6
	5	0.9	1.3
	7.5	1.4	1.9
Bao luzera errorea	1	1.6	0.5
	2	3.1	0.9
	3	4.6	1.4

• **DTK errore baliokidea tenperatura altuko eta gezi txikiko eroaleetan**

Temperatura altuko eta gezi txikiko eroaleak nukleoan DTK balio txikiko materialez osaturik daude. Trantsizio-tenperaturaren gainetik aluminioak ez du karga mekanikorik eusten eta karga mekaniko guztia nukleoaren gain dago. Hau gertatzearen arrazoa aluminioaren dilatazio termikoko koefizientea nukleoaren dilatazio termikoko koefizientea baino handiagoa izatea da. Ondorioz, trantsizio-tenperaturaren gainetik eroalearen portaera nukleoaren portaeraren araberako da eta nukleoaren dilatazio koefizientea eroalearen dilatazio termikoko koefizientea baino txikiagoa denez, gutxiago luzatuko da tenperatura igotzean. Ondorioz, DTK errore baliokidea ezberdina izango da trantsizio-tenperatura gainetik edo azpitik.

200 metroko bao luzera batean GTACSR eroale baten portaera aztertzen da, eredu teorikoa aplikatuz. Portaeraren analisisan eroalearen parametro ezberdinen erroreak sortzen duen ziurgabetasuna aztertzen da. Azterketa honen emaitzak 3.42, 3.43 eta 3.44 irudietan eta 3.21 taulan erakusten dira.

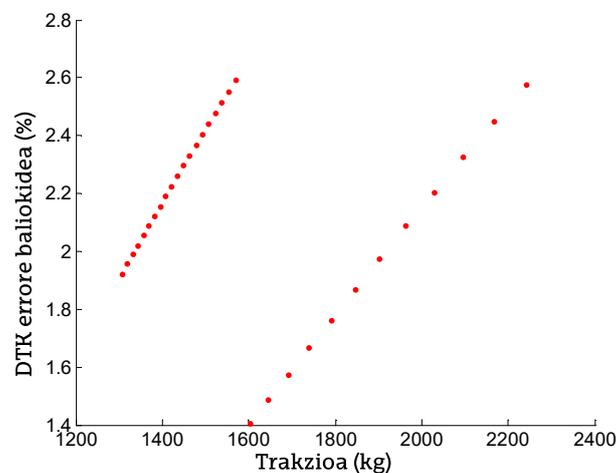
Masa errorearen kasuan, trantsizio-tenperatura gainetik DTK errore baliokidea gutxitu egiten da.



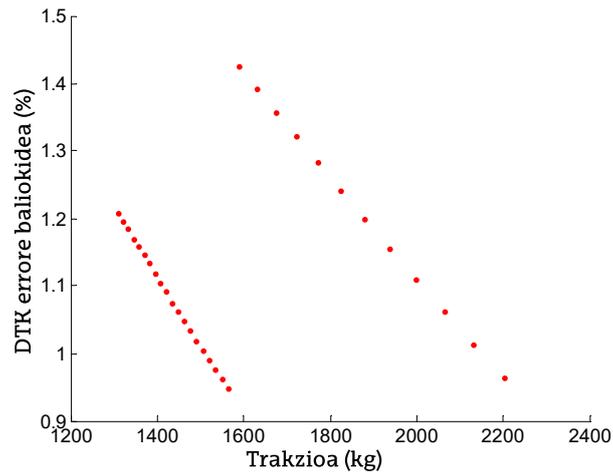
3.42 irudia. GTACSR eroalearen DTK errore baliokidea trantsizio-tenperaturaren gainetik eta azpitik masa errorea % 2 denean.

3.43 irudian trakzio balio txikiagoak temperatura trantsizio-tenperaturaren gainetik dagoeneko balioak dira.

3.44 irudian eroale berdinean elastikotasun-moduluaren errorea % 5 deneko kasua erakusten da. Trantsizio-tenperatura gainetik DTK errore baliokidearen balioa handitzen da.



3.43 irudia. GTACSR eroalearen DTK errore baliokidea trantsizio-tenperaturaren gainetik eta azpitik modulu elastiko errorea % 5 denean.



3.44 irudia. GTACSR eroalearen DTK errore baliokidea trantsizio-tenperaturaren gaineratik eta azpitik bao luzera errorea % 1 denean.

3.21 taulan DTK errore baliokidearen balioak adierazten dira tenperatura altuko eta gezi txikiko zenbait eroaleentzat, hauek beraien apurketa trakzioaren % 15ean eta 15 °C-tan instalatu direnean.

3.21 TAULA

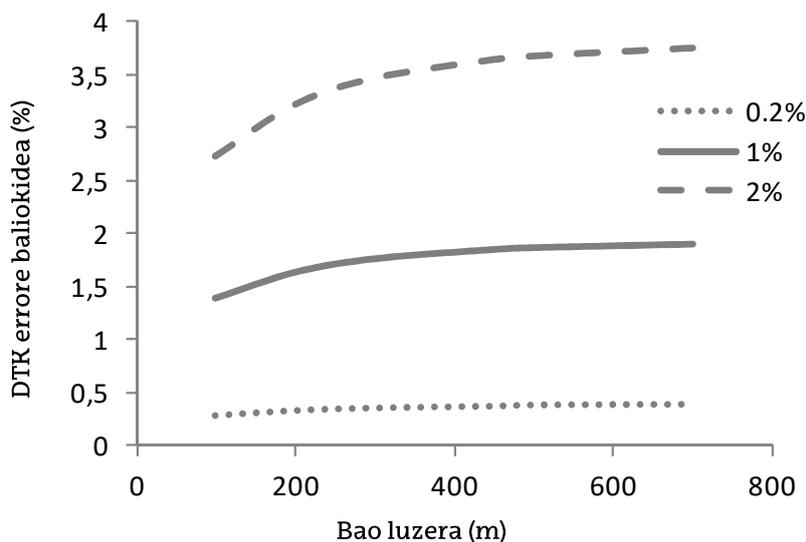
DTK ERRORE BALIOKIDEA TEMPERATURA ALTUKO ETA GEZI TXIKIKO ZENBAIT EROALEENTZAT

Eroalea	Masa Errorea % 2		Modulu Elastiko Errorea % 5		Bao Luzera Errorea % 1	
	Knee-point azpitik	Knee-point gaineratik	Knee-point azpitik	Knee-point gaineratik	Knee-point azpitik	Knee-point gaineratik
ACSR	3	2.8	1.1	1.3	1.5	1.4
GTACSR	2.4	2.1	1.9	2	1.2	1
ACSS	3.3	3.1	0.7	1	1.7	1.6
ZTACIR	3	2.4	1.1	1.7	1.5	1.2
ACCR	2.7	2.7	1.5	1.4	1.4	1.4
ACCC	2.5	1.9	1.7	2.2	1.3	1

Masa errorea % 2koa denean DTK errore baliokidea % 3 inguruan kokatzen da. 3.21 taulan ikus daiteke eroale ezberdinak analizatzerakoan antzerako DTK errore baliokidea lortzen dela. Tenperatura altuagotan, trakzio txikiagotan, masa errorearen eragina nabariagoa da, baina trantsizio-tenperatura gaineratik eragin hori gutxitu egiten da. Dena den, arrazoi hau dela eta DTK errore baliokidearen aldaketa oso txikia da % 1 ingurukoa.

Bao luzera aldaketak zer nolako eragina izan dezaken analizatzeko zenbait azterketa egiten dira. Dilatazio termikoko koefizientearen errore baliokidean bao luzerak duen eragina ondorengo irudietan adierazten da.

Masa errorearen kasuan, 3.45 irudia, errore baliokidearen balioa handitzen da baina bao luzeraren eragina txikia da errore baliokidearen aldaketan.

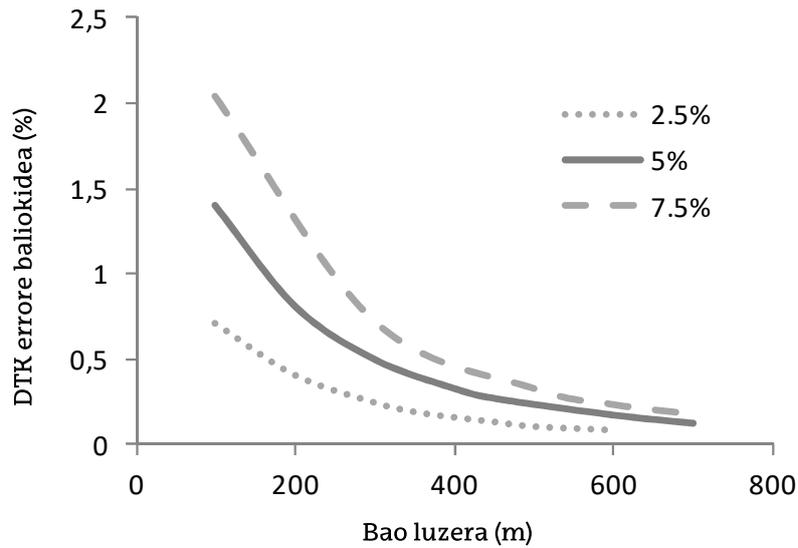


3.45 irudia. DTK errore baliokidea bao luzeraren arabera, masa errorearen kasuan.

Bao luzeraren eragina masa errorearengan hutsala da.

Elastikotasun-moduluaren kasua aztertzerakoan, elastikotasun-modulu errorea % 5koa denean DTK errore baliokidea % 1 inguruan kokatzen da, azterturiko eroale ezberdinentzat lorturiko emaitza oso antzekoa da. Tenperatura altuetan, trakzio txikietan, elastikotasun-moduluaren eragina gutxitu egiten da baina trantsizio-tenperatura gainetik igo. Tenperatura aldaketaren ondorioz DTK errorean sortzen den aldaketa % 1 ingurukoa da.

Elastikotasun-modulu errorearen kasuan, 3.46 irudia, DTK errore baliokidea bao luzera handitzerakoan murriztu egiten da.

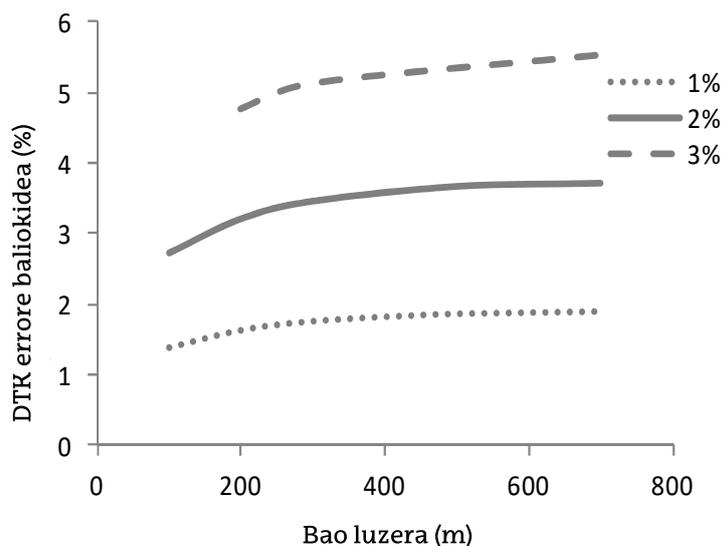


3.46 irudia. DTK errore baliokidea bao luzeraren arabera, modulu elastiko errorearen kasuan.

3.46 irudian ageri da elastikotasun-moduluaren errorean bao luzerak duen eragin nabaria. Bao luzera handitzen den heinean elastikotasun-moduluaren errorea gutxitu egiten da.

Errorea bao luzeraren neurrian dagoenean, errore honen eragina masa erroreak sortzen duen berdina da.

Bao luzera errorea bao luzera ezberdinentzako aztertzen denean , 3.47 irudia, DTK errore baliokidea ia ez da aldatzen kasu bakoitzean, baina errorea unitate batean handitzean DTK errore baliokidea bikoiztuz.



3.47 irudia. DTK errore baliokidea bao luzeraren arabera, bao luzera errorearen kasuan.

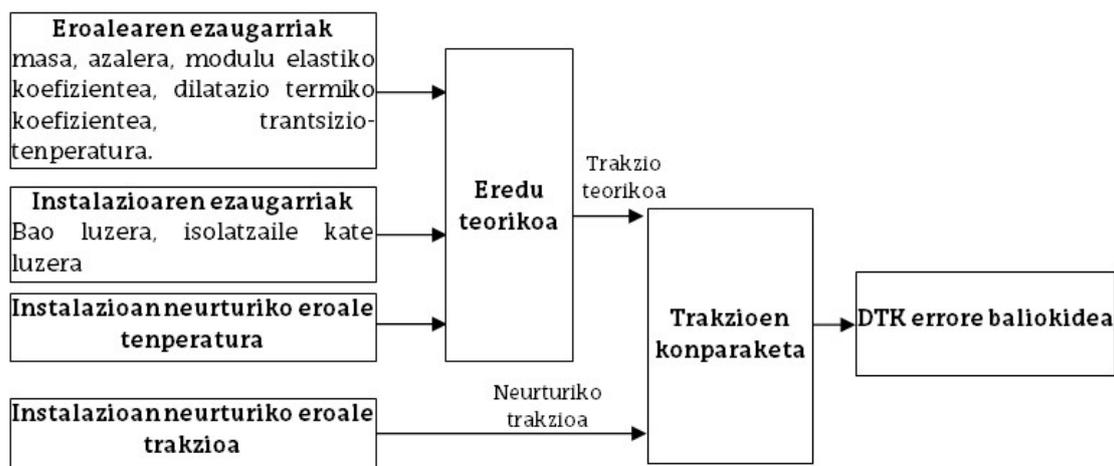
Bao luzera errearen kasuan kontuan hartu behar da ez dela berdina bao luzera errorea bao luzeago edo laburrago batean aztertzea. Hau da, bao luzeran errorea 1 metrokoa bada ez da berdina 200 metroko bao luzera batean metro bateko errorea egotea edo 500 metroko bao batean 1 metroko errorea egotea; kasu batean % 0.5eko errorea da eta bestean % 0.2ko errorea. Era berean errore portzentaje berdinak DTK errore baliokide ezberdina eragiten du.

3.3. TRAKZIO-TENPERATURA EBALUAKETA ELGOIBARKO INSTALAZIO PILOTUAN

3.3.1. DTK ERRORE BALIOKIDEAREN KALKULUA

Instalazio pilotuan neurturiko datuak erabiliz, eta aurretik definituriko eroalearen eredu teorikoan baliatuz, instalazio pilotuko eroalean trakzio teorikoa eta neurturiko trakzioen arteko konparaketa egiten da. Bi trakzio hauen artean ezberdintasunen bat egonez gero, ezberdintasun edo errore horren baliokide den DTK errore baliokidea bilatzen da. DTK errore baliokidearen kalkuluan instalazio pilotuan neurturiko datuetan, aurreko puntuetan azalduko datuen prozesamendua eginez eroalearen trakzio-tenperatura portaeran eragina duten faktore ezberdinen azterketa egiten da.

DTK errore baliokidearen kalkulurako jarraitzen den prozedura 3.48 irudian laburtzen da.



3.48 irudia. DTK errore baliokidearen kalkulua.

3.3.2. INSTALAZIOKO NEURKETAK. DATUEN PROZESAMENDUA

Instalazioan neurturiko datuekin jarraituriko prozesamenduaren emaitzak adierazi baino lehen, datuen prozesamenduan jarraituriko urratsak azalduko dira. Monitorizazio bidez neurturiko datuen helburua eroalearen trakzio-tenperatura portaera egiaztapena denez monitorizazio bidez lorturiko datuen prozesamendua egiten da, eroalearen portaera horretan eragina duten faktoreak kontuan hartuz. Hau da portaeraren egiaztapenerako erabiltzen diren datuak datu fidagarriak eta distortsionatu gabekoak izan behar dira.

Kalkulu mekanikoko ereduko ekuazioen bidez eroalearen kurba teorikoaren ereduak lortzen da.

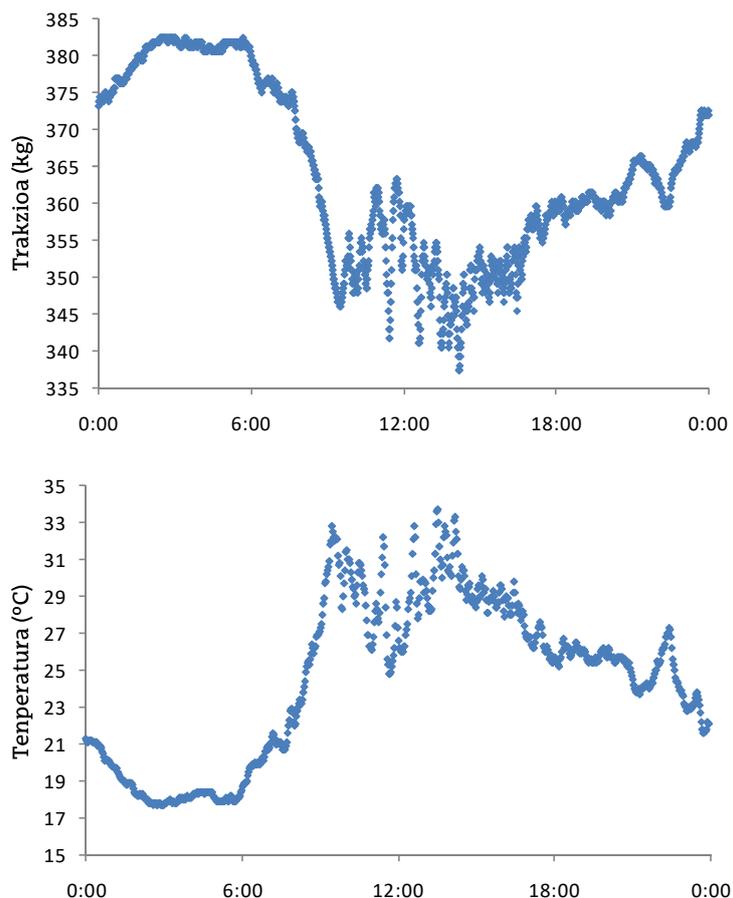
Monitorizazio sistemarekin eroalean eginiko neurketak lortzen dira: trakzio-tenperatura.

Eredu teorikoa erabiliz datu teorikoak eta neurturiko datuak konparatzen dira:

Neurturiko datuen trakzio-tenperatura kurba ezberdinak bilatzen dira: euri gabe, haize gabe, batez besteko balioak, denbora tarte ezberdinetako kurbak. Neurturiko datuen kurbak datu teorikoekin lorturiko kurbarekin konparatzen dira

Neurturiko instalazio pilotuan egun oso bateko tarteaz aztertzean 3.49 irudian erakusten diren trakzio-tenperatura balioak neurtzen dira.

Argi ikusten da trakzio eta tenperaturaren arteko erlazioa. Tenperatura igotzean trakzioaren balioa gutxitu egiten da eta alderantziz.



3.49 irudia. Instalazio pilotuan monitorizaturiko eroalearen trakzio-temperatura egun oso batean.

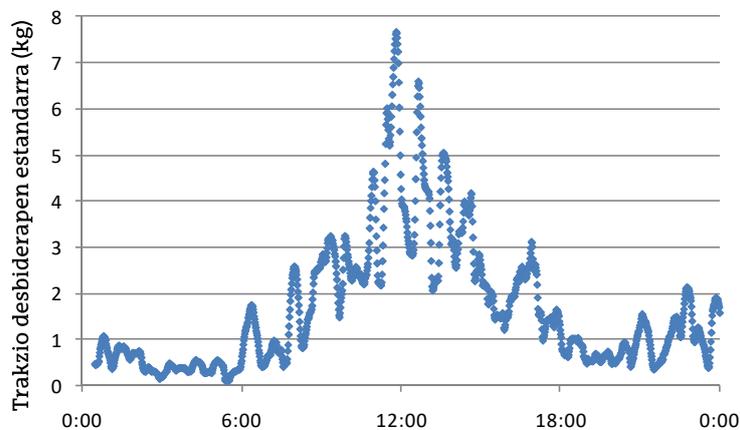
Eroalearen portaera erreala erakusten duten trakzio-temperatura datuak neurturiko datuak prozesatu ondoren lortzen dira. Prozesamendu hau egiteko neurketen sinkronizazioa, neurketen gorabeherak eta haizearen eragina kontuan hartzen dira.

Neurturiko balioetan gorabeherak agertzen dira, hau da dispersioa agertzen da. Gorabehera hauek datuetan eragina izan dezakete. Neurturiko balioetan nabaritzen diren gorabeheren eragina minimoa izan dadin neurturiko datuen gorabehera txikia izan behar da. Hau lortzeko datuen onarpenean baldintza batzuk ezar daitezke. Ondorengo ataletan datuen onarpen horretan jarraitu daitezkeen aukera ezberdinak adierazten dira.

3.3.2.1. Neurturiko balioetan agertzen diren gorabeheren murrizketa aukerak

- **Trakzio desbiderapena eta neurketa denbora tartea**

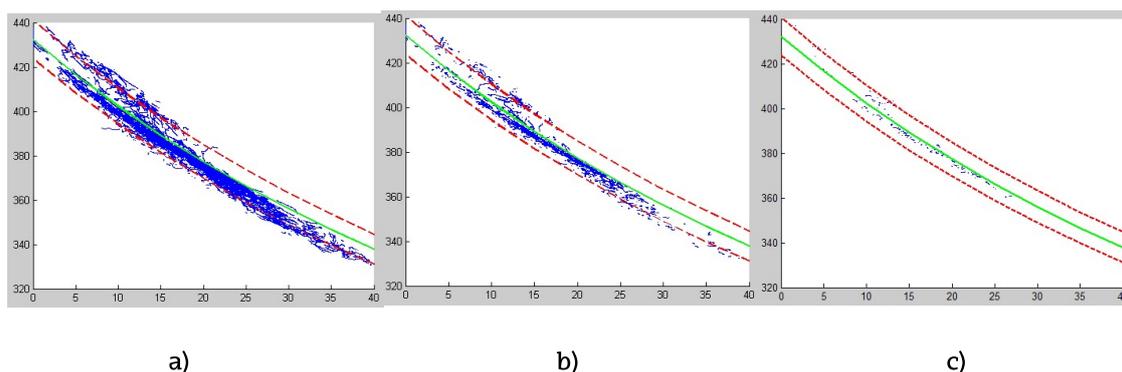
Neurketa datuen trakzio desbiderapen estandarra ezarritako denbora tarte batean kalkulatu da eta desbiderapena atari balio bat baino txikiago den kasuetan tartea onargarria izango da. Tartea onargarria bada neurketen batez bestekoak kalkulatu dira eta emaitzak gordetzen dira. 3.50 irudian 30 minutuko denbora tarteko neurketen desbiderapen estandarra ageri da.



3.50 irudia. Trakzioaren desbiderapen estandarra.

Trakzio desbiderapen atari eta denbora tarte ezberdinak erabiliz aztertzen dira datuak balio hauen eragina aztertzeko. 3.51 irudian emaitza batzuk erakusten dira. Trakzio desbiderapen atari balioa zenbat eta handiagoa izan orduan eta neurketa datu gehiago daude aldi berean lorturiko datuen sakabanatzea ere handitzen da. Trakzio desbiderapen atari balioa txikiagotzen denean sakabanatzea gutxiagotzen da neurketa datu kopurua txikituz.

3.51 irudian eredu teorikoa aplikatuz lortzen den kurba ere irudikatzen da, neurturiko trakzio balioekin konparatzeko.



3.51 irudia. Trakzio-tenperatura balioak, teoriko eta neurturikoak. Denbora tarte 40 minutu.

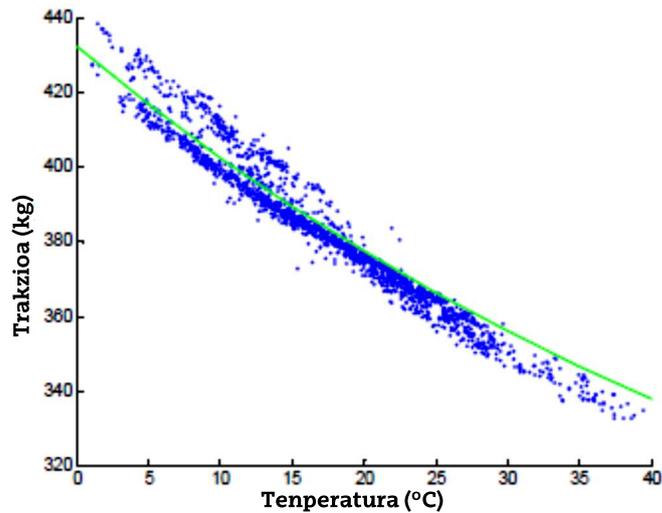
- a) Desbiderapen atari balioa: 1.5 kg.
- b) Desbiderapen atari balioa: 0.7 kg.
- c) Desbiderapen atari balioa: 0.3 kg.

Lorturiko datuetan trakzio desbiderapen atariaz gain denbora tarte balioak ere eragina dauka. Denbora tarte zenbat eta luzeago izan zailago da trakzio desbiderapena atari balio horren azpitik egotea.

Lorturiko balioak denbora tarte luze batean egonkorak badira fidagarriagoak izango dira. Hau dela eta zenbat eta denbora tarte luzeago orduan eta fidagarritasun gehiago baina neurketa balio gutxiago eta balio tarte txikiago.

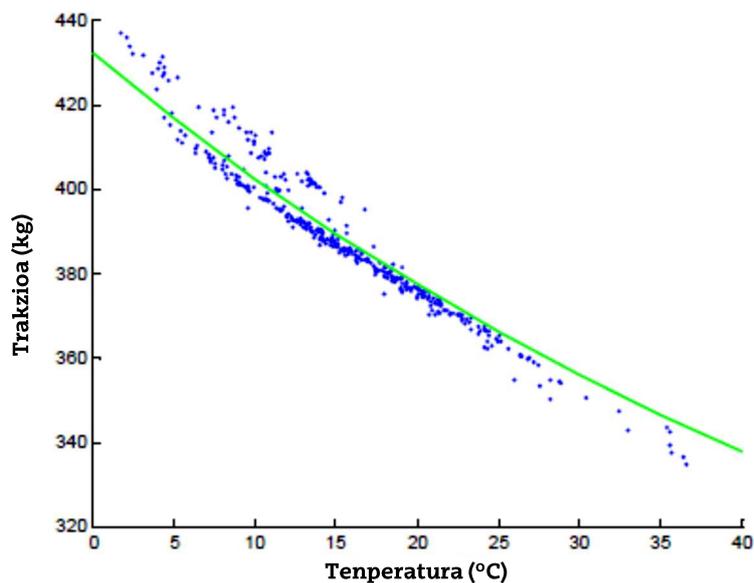
- **Datuen multzokatzea denboraren arabera**

Lortzen diren trakzio-tenperatura balio gehienak jarraian dauden denbora tartei dagokien balioak dira. Hau da denboran jarraian dauden balio kopuru bat egongo da. Balio hauek antzerakoak dira eta ondorioz balio bakar batean multzokatu daitezke balioen batez bestekoa eginez, 3.52 irudian multzokatzeko honen adibide bat erakusten da eta irudi berean eredu teorikoa erabiliz lortzen den kurba ere irudikatzen da.



3.52 irudia. Balioen multzokatzea. 20 minutuko denbora tartea eta desbiderapen atari balioa 0.5 kg.

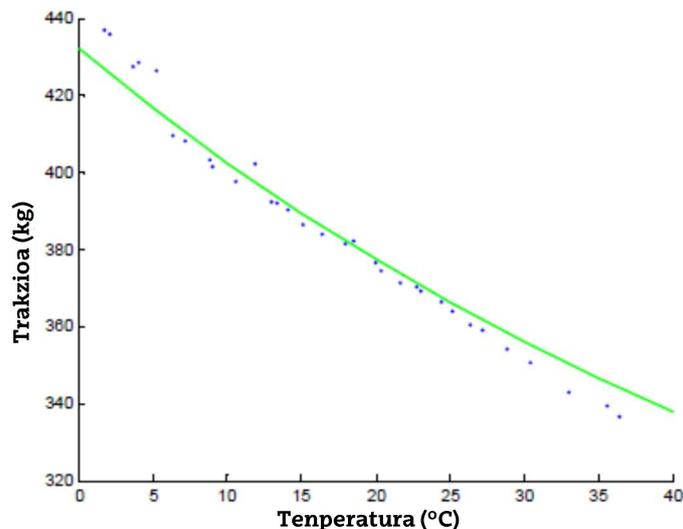
Antzerako balioak balio bakar batekin adierazterakoan, multzokatze bakoitzean balio kopuru ezberdina egongo da. Balio kopurua txikia den kasuak baztertzeko balio kopuru minimo bat ezartzen da. Balioen multzokatzearekin balioen dispersioa ere murrizten da (3.53 irudia).



3.53 irudia. Balioen multzokatzea. Gutxienez 20 balio.

3.53. irudian ikusten da tenperatura ezberdinentzako balio kopuru ezberdinak agertzen direla. Hau dela eta gradu tarte bakoitzarentzako balio gehien dituen datua hartzen da eta horrela banaketa uniforme bat lortu, emaitza hau 3.54.

irudian erakusten da eta eredu teorikoa erabiliz lortzen den kurbaren pareko emaitzak lortzen direla ikusten da.



3.54 irudia. Balioen banaketa uniformeak.

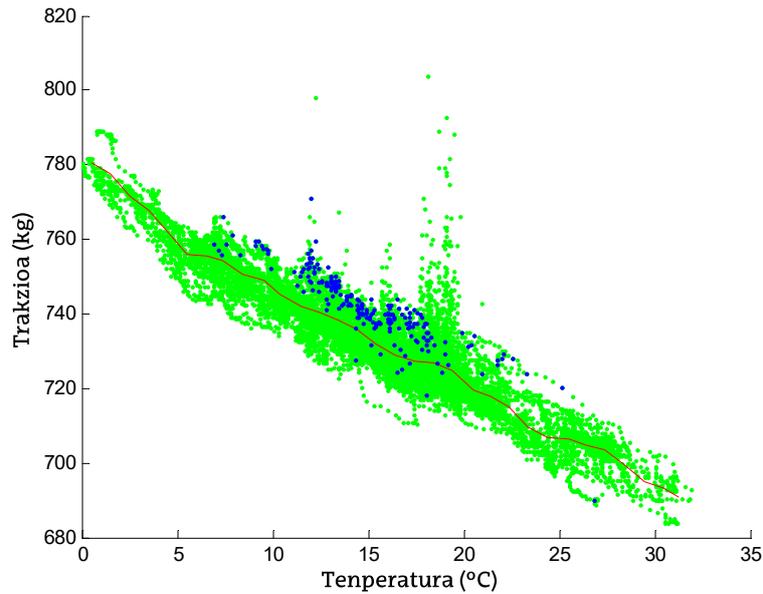
- **Datuen multzokatzea temperaturaren arabera**

Datuen prozesamendurako beste aukera bat neurketetan lorturiko datu guztien multzokatzea izango litzateke, aurretik definituriko temperatura tarte batean datuen trakzio eta temperatura batez bestekoak kalkulatu.

- **Euria dagoeneko datuak**

Plubiometroak emandako datuen bidez neurturiko datuetan euria dagoen unek bilatzen dira.

3.55 irudian eroalean neurturiko trakzio-temperatura balioak erakusten dira. Kolore urdinez plubiometroak neurketak emandako uneei dagokien datuak erakusten dira. Neurketen batez besteko balioa kolore gorri adierazitako lerroari dagokio. Plubiometroak neurketak emandako unetako trakzio balioak batez besteko balioak baino altuagoak dira.

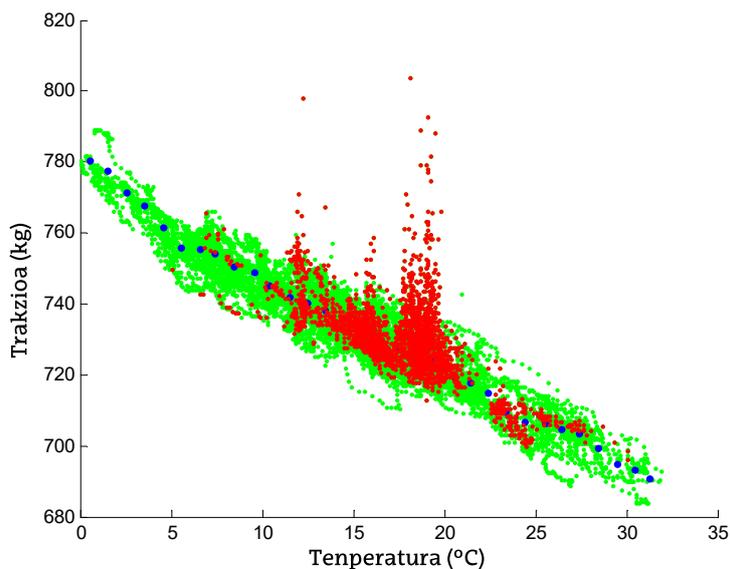


3.55 irudia. Euri unek dauden trakzio-tenperatura balioak.

Euriaren eragin hau aztertzeko euria dagoeneko unekin bat datozen trakzio balioak baztertzen dira. Eta eredu teorikoa erabiliz euri egoerako trakzio datuak kendutako datuak datu teorikoekin konparatzen dira.

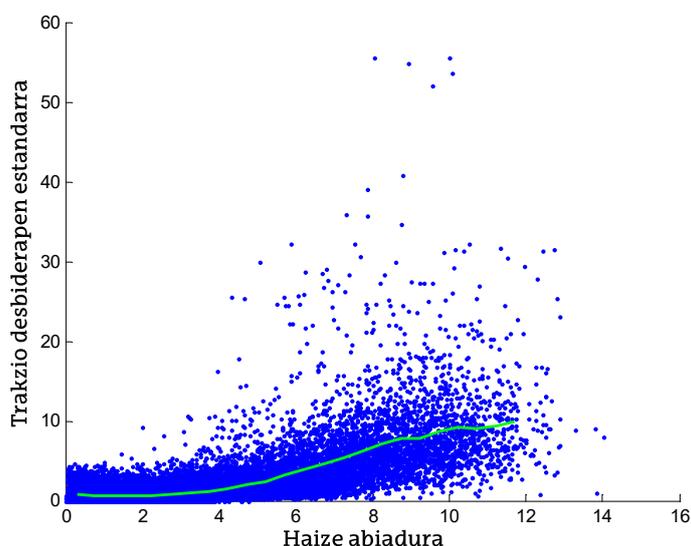
- **Haizea dagoeneko datuak**

Neurturiko datuetan haizea dagoen unek bilatzen dira. Haizea dagoeneko une hauek bilatzerakoan haize balio ezberdinak erabiltzen dira konparazioak egiteko. 3.56 irudian anemometroak 4 m/s baino haize abiadura altuagoak neurtu dituen unekin bat datozen trakzio-tenperatura balioak kolore gorritz adierazi dira. Irudi berean kolore urdinez neurturiko balioen batez bestekoa adierazten da. 3.56 irudian trakzio desbiderapen altuak ikusten dira.



3.56 irudia. 4 m/s baino abiadura handiagoko haizea dagoeneko trakzio-temperatura balioak.

Haize abiadura eta trakzio desbiderapena aztertzen dira. Aurretik zehazturiko denbora tarte batean neurturiko trakzioaren desbiderapen estandarra eta haize abiaduraren batez bestekoa kalkulatu dira. 3.57. irudian 5 minutuko denbora tarte batean kalkulaturiko desbiderapen estandarraren kalkularen emaitza erakusten da. Zenbat eta haize abiadura altuago orduan eta trakzio desbiderapen altuagoa.



3.57 irudia. Haize abiadura ezberdinentzako trakzio desbiderapen estandarra.

Haizearen eragina aztertzeko atari balio baten gainetik dauden haize balioekin bat datozen trakzio balioak baztertzen dira. Eta eredu teorikoa aplikatuz haize egoerako trakzio datuak kendutako datuak datu teorikoekin konparatzen dira.

3.3.3. ELGOIBARKO INSTALAZIO PILOTUAN LORTURIKO EMAITZAK

Instalazio pilotuan egindako neurketen bidez lorturiko datuetan aurretik azalduriko datuen prozesamendua egiten da.

Neurketa sistemen erroreak direla eta neurturiko balioetan ziurgabetasunak egongo dira. Egindako neurketetan, trakzio neurketa sistemaren doitasuna 0.6 kg-koa da eta erresoluzioa 0.615 kg. Temperatura neurtzen duen sistemaren doitasuna 1 °C-koa da eta erresoluzioa 0.1 °C.

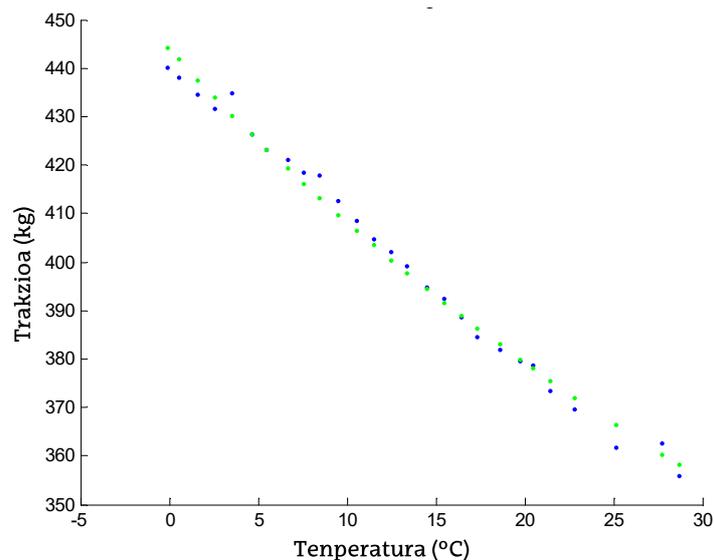
Bao luzera ezberdineko zirkuitu bi monitorizatu dira.

Monitorizazio bidez lorturiko datuekin eta eredu teorikoa erabiliz eroalearen portaeran eragina izan dezaketen faktoreak aztertu dira.

a)Trakzio desbiderapena, denbora tarte eta datuen multzokatzea

Monitorizazio bidez lorturiko datuen banaketa uniforme bat lortzeko eta trakzio desbiderapenak murrizteko helburuarekin neurketa datuen prozesamendua egiten da. Denbora tarte ezberdinak erabiliz eta trakzio desbiderapen atari balio ezberdinak erabiliz. Ondoren datuen multzokatzea egiten da eta azkenik aurretik zehazturiko temperatura tarte batentzako batez besteko balioak kalkulatu dira. Prozesaturiko datuak neurketa balioak eredu teorikora hurbiltzeko erabiltzen dira. Hurbilketa honetan trakzio erreferentzia eta bao luzera izan dira hurbilduriko balioak. Kurbaren hurbilketa karratu minimoen metodoa erabiliz egin da temperatura balio berdinentzako neurturiko balioak eta balio teorikoak konparatuz.

3.58. irudian eta 3.22 taulan monitorizaturiko 2-3 baoarentzako lorturiko emaitzak erakusten dira.



3.58 irudia. Balioen banaketa uniforme batez besteko balioa erabiliz. 20 minutuko denbora tartea eta desbiderapen atari balioa 0.5 kg.

3.22 TAULA

NEURTURIKO DATUEN HURBILKETA KURBA TEORIKORA

Denbora tartea (minutuak)	Desbiderapen ataria (kg)	Bao luzera (m)	Puntu kopurua	Puntu errorea (kg)
10	0.5	92.8	30	5.163
	1	92.8	32	4.128
20	0.5	93.6	25	6.265
	1	92.8	31	5.077
40	0.5	95.3	18	8.751
	1	92.3	27	6.826

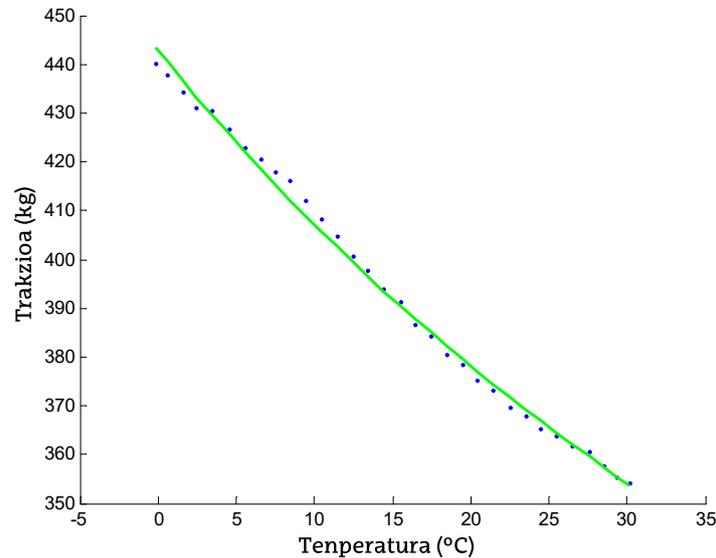
3.22. taulako datuak erakusten dutenaren arabera denbora tartea handitzeak puntu errore handitzea suposatzen du eta beste alde batetik trakzio desbiderapen ataria zenbat eta handiagoa izan orduan eta errore txikiagoa dagoela ikusten da. Hau da datuen prozesamendurako jarritako iragazkia zenbat eta zorrotzagoa izan errorea orduan eta handiagoa da.

Denbora tarte eta trakzio desbiderapen iragazki gabeko prozesamendu berdina egiten bada, hau da neurturiko datuen batez besteko balioen zuzeneko hurbilketa eredu teorikora, errorea murriztu egiten da, 3.23. taula eta 3.59 irudia.

3.23 TAULA

NEURTURIKO DATUEN HURBILKETA KURBA TEORIKORA DATUAK IRAGAZI GABE

Bao luzera (m)	Puntu kopurua	Puntu errorea (kg)
93.1	32	3.267



3.59 irudia. Balio guztiak kontsideratuz kurba teorikora hurbilketa.

Lorturiko emaitzetan ikusten da datuen prozesamenduan iragazkia aplikatzeak datuen dispersioa murrizten duela baina eredu teorikora hurbilketa egitean errorea handitzen dela.

Beste alde batetik hurbilketa honetan ikusten da hurbilketa bidez lorturiko bao luzera ez datorrela bat eroalea dagoen linearen diseinuan agertzen den balioarekin, hurbilketa bidez lortzen den balioa 93.1 m-koa da eta linearen diseinuan adierazten den balioa 100 m-koa da. Emaitza hauetatik abiatuz eroalearen portaeran eragiten duten parametroen analisia egiten da monitorizazio bidez lorturiko datuekin.

b) Bao luzera neurketa

Aurreko ataleko emaitzetatik abiatuz eta neurketa eta kalkulu teorikoak ez daudela bat kontuan izanik, topografia baten bidez monitorizaturiko eroalea dagoen linearen topografia egiten da. Topografia honen emaitzak, bao luzerari dagokionez, 3.24 taulan erakusten dira, emaitzak linearen hasierako diseinuaren balioekin konparatzen dira.

3.24 TAULA
NEURTURIKO BAOEN LUZERAK

Hasierako diseinuko bao luzera (m)	Neurturiko bao luzera (m)	Errorea (%)
100	100.85	0.8
89	88.95	-0.1

Kasu honetan lortzen diren emaitzak adierazten duten moduan errorea oso txikia da.

Monitorizaturiko trakzio-tenperatura datuak, neurturiko bao luzera eta hasierako diseinuko bao luzera erabiliz eta eredu teorikoaz baliatuz bao luzera bat edo bestea erabiltzeak sortzen duen errorearen DTK errore baliokidea bilatzen da.

Azterketa egiteko 3.48 irudian adierazitako prozedura jarraitzen da. Kasu honetan instalazioaren bao luzera izango da aldatuko den parametroa eta isolagailu katea kontuan hartzen duen eredu ere erabili da isolagailu kateak sor dezakeen eragina ere aztertzeko. Emaitzak 3.25 taulan adierazten dira.

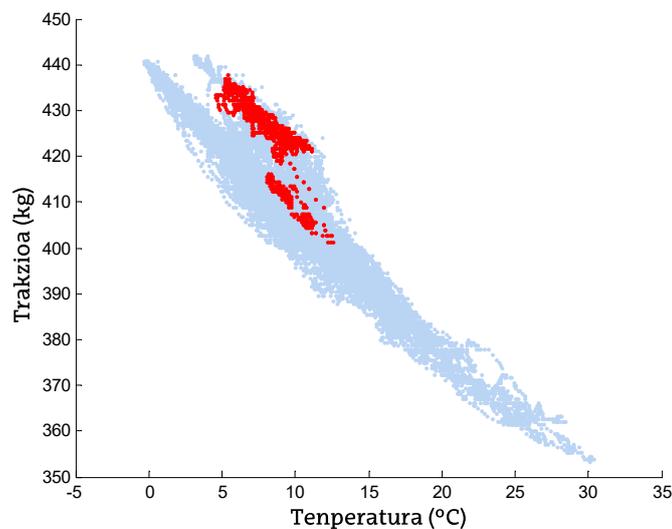
3.25 TAULA
BAO LUZERA ERROREAREN DTK ERRORE BALIOKIDEA

Hasierako diseinuko bao luzera (m)	DTK Errore baliokidea (%)		Neurturiko bao luzera (m)	DTK Errore baliokidea (%)	
	IK=0	IK=2		IK=0	IK=2
100	19.2	21.4	100.85	21	23.2
89	-5.9	-4.7	88.95	-5.9	-4.8

3.25 taulako emaitzen arabera eroalearen trakzio-tenperatura portaeran bao neurketako erroreak oso eragin txikia adierazten du 100 m-ko baoaren kasuan DTK errorearen % 1.8ko balio aldaketa suposatzen du eta 89 m-ko baoan ez dauka eraginik. Beste alde batetik eredu teorikoan isolagailu katea kontuan hartzeak edo ez duen eragina oso txikia dela esan daiteke.

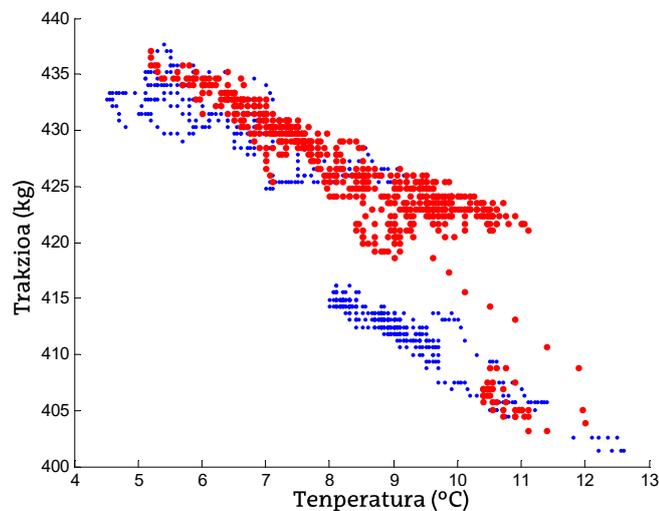
c) Euria dagoeneko datuen identifikazioa

Euriak eroalearen trakzio-tenperaturaren duen eragina aztertzeko monitorizazio sistemarekin lorturiko trakzio-tenperatura datuetan euria dagoeneko puntuen identifikazioa egiten da, euria egin duen egun bateko datuak bilatzen dira eta plubiometroaren neurketak erabiliz euria dagoeneko trakzio-tenperatura balioak identifikatzen dira neurturiko balioetan. 3.60 irudian euria dagoen egun bateko eroalearen trakzio-tenperatura balioak adierazten dira.



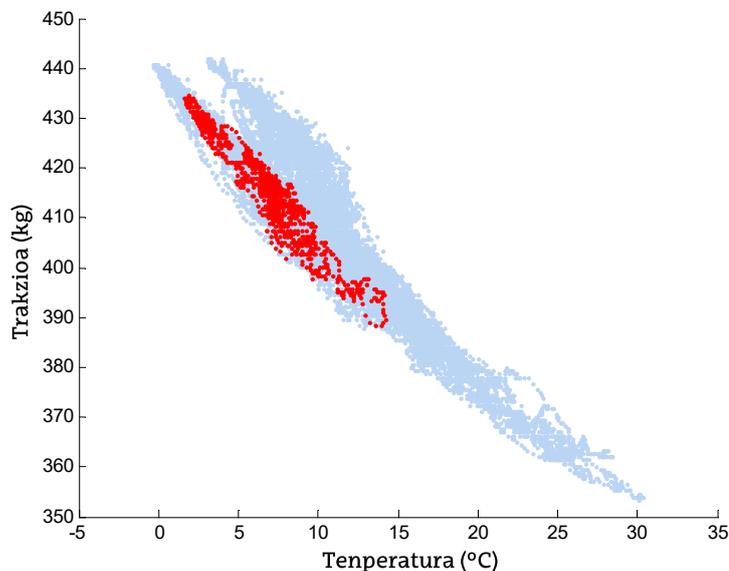
3.60 irudia. Euria egin duen egun batean neurturiko balioak (gorriz) neurturiko balio guztien gainean.

Euria dagoen uneko trakzio-tenperatura balioak 3.61 irudian erakusten dira.



3.61 irudia. Euria egin duen egun bateko datuak. Euri egoerako balioak gorriz.

3.62 irudian euriaren gainkarga ikusteko euririk ez dagoeneko egoerako trakzio-tenperatura datuak irudikatzen dira.

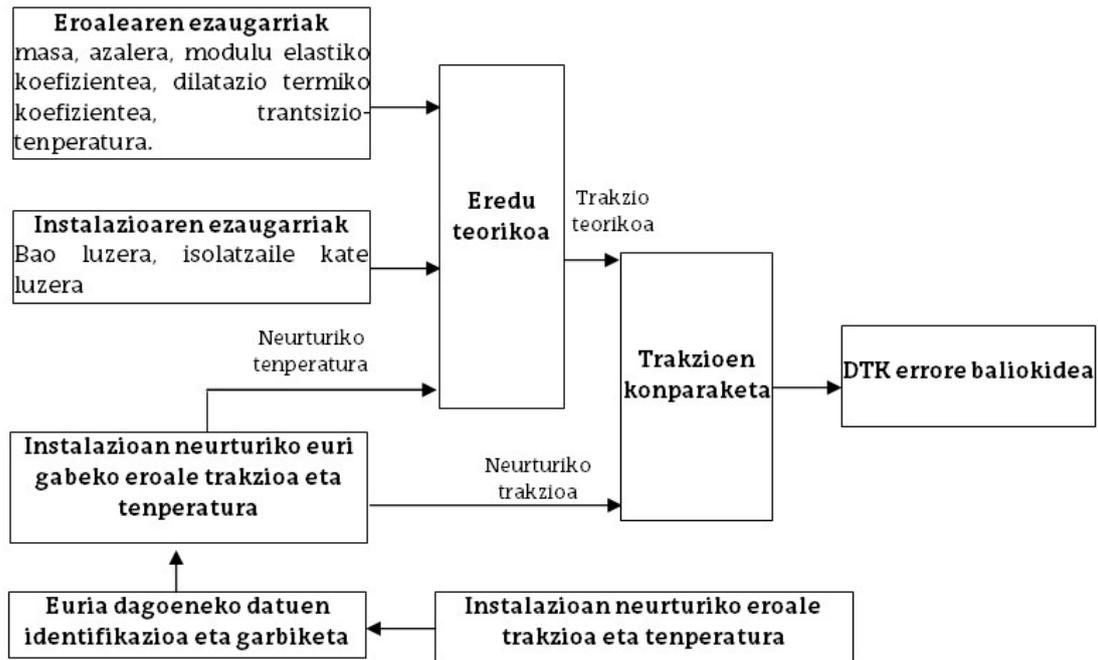


3.62 irudia. Euririk egin ez duen egun batean neurturiko balioak (gorriz) neurturiko balio guztien gainean.

3.60, 3.61 eta 3.62 irudietako grafikoak konparatzen badira euriak sortzen duen gainkarga ikusten da.

Neurketetako datuak erabiliz eta eredu teorikoa aplikatuz euria dagoeneko eta euri gabeko datuekin trakzio-tenperatura kurbak irudikatzen dira eta euria dagoeneko puntuak kontuan hartzeak suposatzen duen DTK errore baliokidea kalkulatzen da.

Kasu honetan alde batetik 3.48 irudian adierazitako prozedura jarraitzen da eta bestetik 3.63 irudian adierazten den prozedura. Azken honetan neurturiko balioetan euri egoerarako balioak identifikatu eta baztertzen dira. Honela egoera klimatologiko honek eroalearen trakzio-tenperatura portaeran duen eragina aztertuz.



3.63 irudia. DTK errore baliokidearen kalkulua neurturiko datuetan euri egoerako datuen prozesamendua eginez.

3.26 taulan lorturiko emaitzak adierazten dira. Emaitzetan bao luzeran egon daitekeen errorea eta isolagailu katearen eragina ere adierazten dira.

3.26 TAULA

EURI ETA EURI GABEKO DATUEN ERROREAREN DTK ERRORE BALIOKIDEA

Bao luzera (m)	DTK Errore baliokidea (%) Euria kendu gabeko datuak erabiliz		Bao luzera (m)	DTK Errore baliokidea (%) Euri datuak baztertuz	
	IR=0	IR=2		IR=0	IR=2
100	24.8	27.1	100	21.2	23.4
100.85	26.8	29.1	100.85	23	25.3
89	-2.2	-1.1	89	-3.2	-2.1
88.95	-2.3	-1.1	88.95	-3.3	-2.1

3.26 taulako emaitzen arabera eroalearen trakzio-temperatura portaeran euria dagoeneko datuak baztertzeak edo ez DTK erroreak % 1etik 4rainoko balio aldaketa suposatzen du. [CIG324] dokumentuan adierazten den eroale busti baten masa eroale lehor baten masaren %1.5etik 2.5 handiagoa dela kontuan izanik, euriak eroalearen portaeran masaren % 2 inguruko erroreak sortuko

lukeen antzeko errorea sortuko luke eta aurretik aztertu da errore honen eragina oso txikia dela. Eroalearen trakzio-tenperatura portaera aztertzeko datuak hautatzeko orduan kontuan izan beharko litzateke euri zaparradak sortu dezaken trakzio gorabeherak eta honekin batera sortzen den neurketa datuen dispersioa.

3.26 taulako emaitzetan eroalearen ereduari isolagailu katea kontuan hartzeak edo ez sor dezaken eragina ere aztertzen da. Emaitzetan erakusten da isolagailu katearen eragina DTK erroreak balio oso txikia dela.

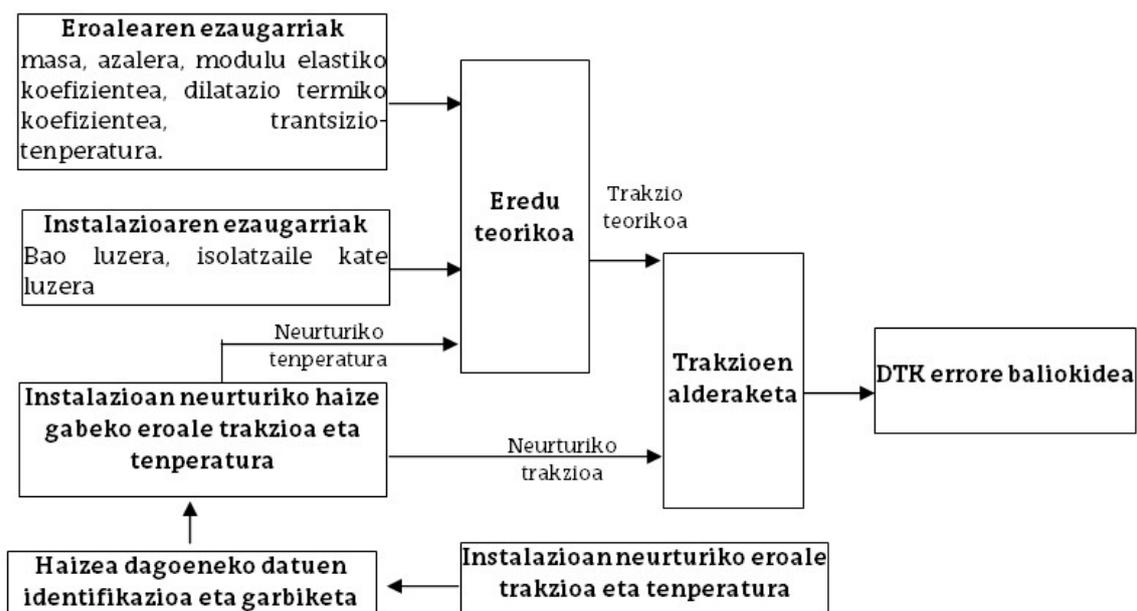
d) Haizea dagoeneko datuen identifikazioa

Anemometroaren neurketekin baliatuz haizea dagoeneko trakzio-tenperatura balioak identifikatzen dira neurturiko balioetan.

Datuen identifikaziorako haizearen balio minimo bat ezartzen da eta balio minimo horren gainera dauden balioak identifikatzen dira.

Haize balioak identifikatu ondoren balio horiek erabiliz eta eredu teorikoarekin baliatuz haizea dagoen uneko trakzio-tenperatura balioak kontuan hartzeak edo ez suposatzen duen erroreak DTK errore baliokidea bilatzen da. Horretarako haizearen balio minimo ezberdinak erabiliz.

Azterketa honetan alde batetik 3.48 irudian adierazitako prozedura jarraitzen da eta bestetik 3.64 irudian adierazten den prozedura.



3.64 irudia. DTK errore baliokidearen kalkulua neurturiko datuetan haize egoerako datuen prozesamendua eginez.

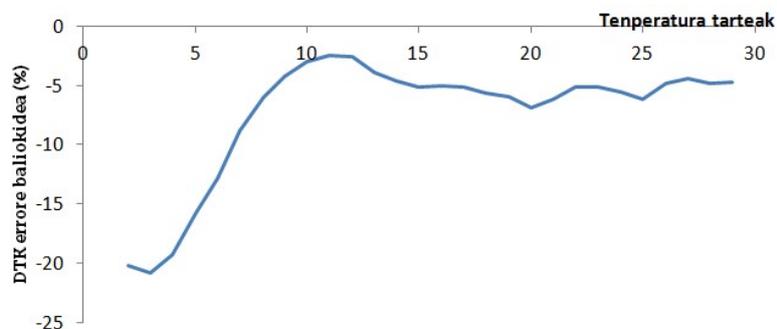
3.64 irudiko prozeduran, neurturiko balioetan ezarritako haize balio minimo horren gainetik dauden balioak identifikatu eta baztertzen dira. Honela egoera klimatologiko honek eroalearen trakzio-tenperatura portaeran duen eragina aztertuz.

3.27 taulan eta 3.64 irudian azterketan lorturiko emaitzak adierazten dira. Analisia tenperatura tarte ezberdinentzako egin da. Kasu honetan analisis tenperatura tarte ezberdinak erabiltzea erabaki da DTK errore baliokidearen bilakaera ikusteko tenperatura aldaketarekin. 10 °C-tako tenperatura tarteak hartu dira eta tarte bat eta bestearen artean gradu bateko gehikuntza eginez. Azterturiko zenbait tenperatura tarteetako emaitzak 3.27 taulan adierazten dira eta azterturiko tenperatura tarte guztietan lorturiko DTK errore bilakaera 3.65 irudian erakusten da.

3.27 TAULA

HAIZE ETA HAIZE GABEKO DATUEN ERROREAREN DTK ERRORE BALIOKIDEA

Temperatura tarteak	HAIZE GABE DTK errore baliokidea (%)	HAIZEAREKIN DTK errore baliokidea (%)
0-10	-19,3	-20,2
4-14	-12,5	-12,8
8-18	-2,7	-3
14-24	-4,6	-5
18-28	-4,7	-6,9
21-31	-4	-5,1
27-37	-4,4	-4,7



3.65 irudia. DTK errore baliokidearen kalkulua neurturiko datuetan balio guztiak kontuan harturik.

3.27 taulako emaitzen arabera haize eragina duten neurketa balioak baztertzeak edo ez DTK errorearen % 1eko aldaketa suposatzen du. Haizearen eraginak ez dauka pisu handirik DTK errorean. Dena den 3.56 eta 3.57 irudietan erakusten diren neurketen arabera, haize balio altuak gertatzen direnean haizeak sortzen dituen trakzio gorabeherak ikus daitezke, hau dela eta kontuan izan beharko litzateke trakzio-tenperatura portaeran gorabehera horien eragina.

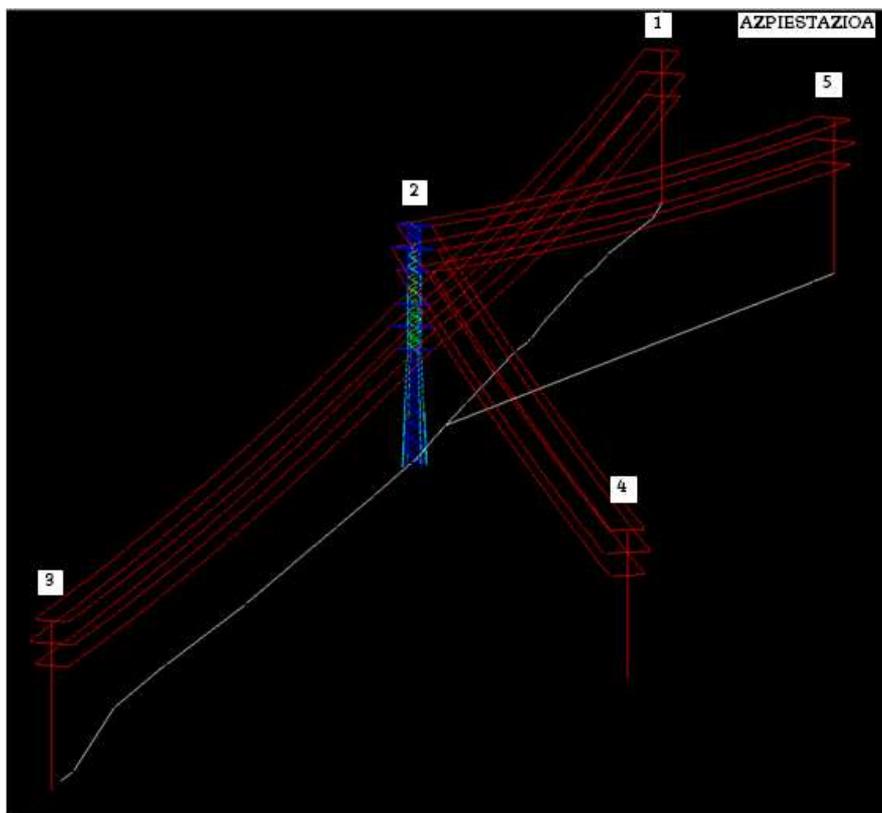
3.3.4. EROALEA FINKATUTA DAGOEN EUSKARRIAREN MUGIMENDU ERROREAREN DTK ERRORE BALIOKIDEA

Aurreko ataletan aztertutako faktoreen eraginaren DTK errore baliokidea kalkulatu ondoren, balio teoriko eta neurketa balioen arteko ezberdintasuna sortzen duen beste faktoreen bat egon behar dela susmatzen da. Monitorizaturiko eroale biak euskarri (dorre) berdinean daude eta euskarrien mugimenduek bao luzera aldaketak sortzen dituzte. Euskarrien mugimendu honek sortzen duen ziurgabetasuna aztertzeko PLS-CADD programa erabiliz linearen diseinua egin da eta azterketa ezberdinak egin dira. PLS-CADD programarekin lorturiko trakzio-tenperatura balioak eta eredu teorikoa erabiliz lorturiko emaitzak konparatu dira.

3.66 irudiko argazkian instalazioaren kokapen geografikoa erakusten da. Monitorizaturiko eroaleak dauden zirkuituak 1-2 eta 2-3 baoetan kokaturiko beheko zirkuituak izanik, euskarria (dorrea) 2 puntuarekin adierazten da. 3.67 irudian PLS-CADD erabiliz eginiko diseinua erakusten da.



3.66 irudia. Elgoibarreko instalazio pilotuaren diseinua PLS-CADD erabiliz.



3.67 irudia. Elgoibarreko instalazio pilotuaren diseinua PLS-CADD erabiliz.

Diseinaturiko linea lau bao ezberdinekin diseinatu da elkarren ondoko baoen desoreka dela eta gertatzen den egituren mugimendua aztertzeko. Dilatazio termikoko koefizientearen errore baliokidean duten eragina adierazteko ondorengo egoerak aztertu dira:

- Instalazioaren zirkuitu kopurua.
- Instalazioan egon daitezkeen trakzio desorekak.
- Instalazioaren bao luzera.

Simulazio hauek egitean DTKren errore baliokidea bilatzen da tenperatura kasu ezberdinentzako.

3.28 taulan aztertutako kasu ezberdinak adierazten dira.

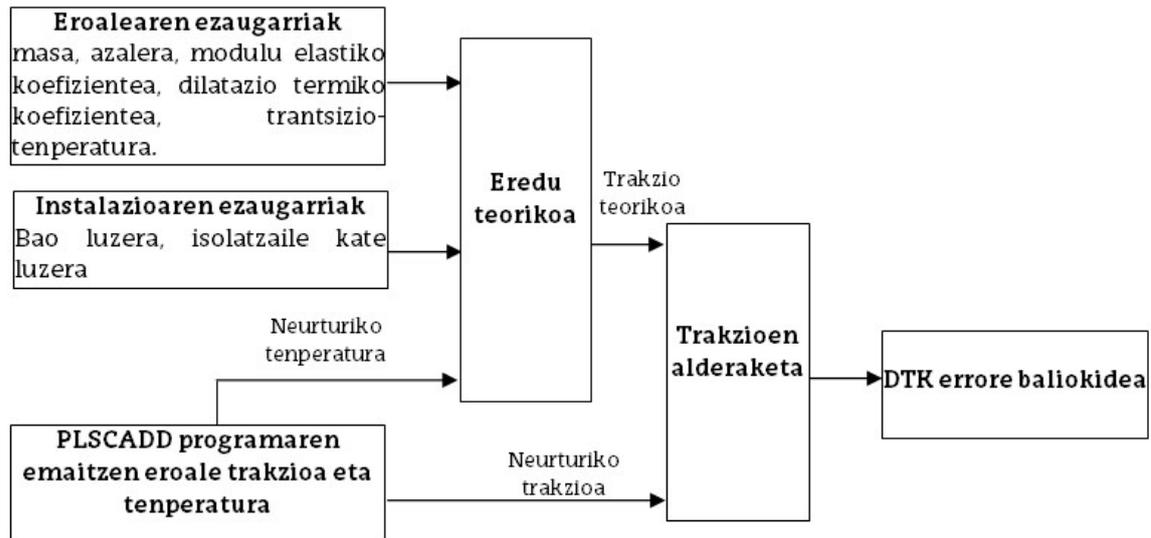
3.28 TAULA
PLS-CADD DISEINUAN AZTERTURIKO KASUAK

KASUA	AZTERKETA	JARRAITURIKO PROZEDURA
A	ZIRKUITU KOPURUAREN ERAGINAREN AZTERKETA	DISEINATURIKO LINEAN BAO KOPURUAK ALDATU ETA SIMULATU
B	BAO LUZERAREN ERAGINAREN AZTERKETA	DISEINATURIKO LINEAN BAO NEURRI EZBERDINAK SIMULATU
C	TRAKZIO DESOREKAREN ERAGINAREN AZTERKETA	DISEINATURIKO LINEAN ERREFERENTZI TRAKZIO EZBERDINAK ERABILIZ EGINDAKO SIMULAZIOAK

PLS-CADD programarekin egindako simulazioekin lorturiko trakzio-tenperatura emaitzak eta eredu teorikoa aplikatuz lorturiko trakzio-tenperatura emaitzak konparatu dira. Emaitza hauen arteko ezberdintasuna DTK errore baliokide gisa adieraziz.

3.48 irudian adierazitako prozedura jarraitzen da baina simulazioen kasurako moldatuz, oraingoan neurturiko datuak simulazioaren bidez lorturiko datuak izango dira eta ez monitorizazio sistemaren bidez neurturikoak. Prozedura 3.68 irudian erakusten da.

Trakzio-tenperatura portaera karakterizatzeko DTKren errore baliokidea tenperatura tarteentzako kalkulatzen da eta ondorioz eroalearen neurturiko trakzio-tenperatura portaerarekin bat datorren DTK tenperatura tarte ezberdinentzako kalkulatzen da eta horrela eroalearen tenperatura gehitzearekin DTKren bilakaera nolakoa den ikusten da.

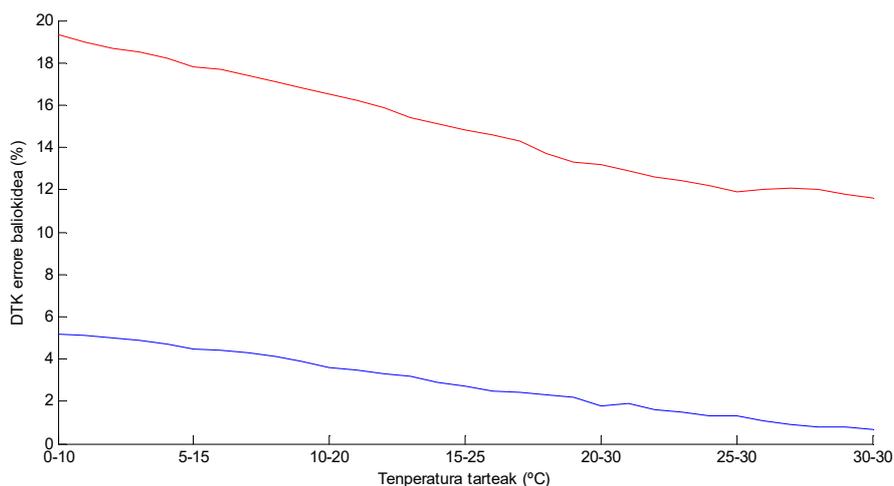


3.68 irudia. DTK errore baliokidearen kalkulua PLS-CADD simulazioaren bidez kalkulaturiko trakzio-tenperatura datuak erabiliz.

A: analisi hau egitean zirkuitu kopuruaren eragina aztertzen da, horretarako lau baoak daudenean agertzen den DTKren errore baliokidea bilatzen da 1-2 baoarentzako. Ondoren 2-5 eta 2-4 baoak baztertzen dira eta berriro ere 1-2 baoarentzako DTK errore baliokidea bilatzen da. Emaitza biak konparatuz aztertzen da nola eragiten duen zirkuitu kopuruak.

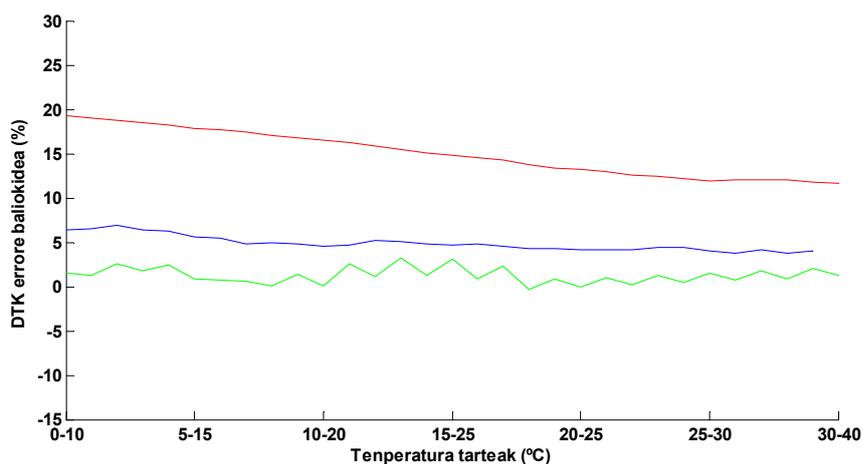
3.69 irudiko grafikoan gorri bi zirkuitu dauden kasua adierazten da eta urdinez lau zirkuituak dauden kasua.

Lau zirkuituak dauden kasuan DTK errore baliokidea txikiagoa da.



3.69 irudia. Zirkuitu kopuru azterketa

B: bao luzeraren eragina aztertzen da eta horretarako zirkuitu bi dauden kasua erabiltzen da, bao luzera ezberdinentzako analizatuz (3.70 irudia).



3.70 irudia. Bao luzera ezberdinen azterketa

Gorritz: baoak duen luzera txikienarentzako ateratzen den errore baliokidea.

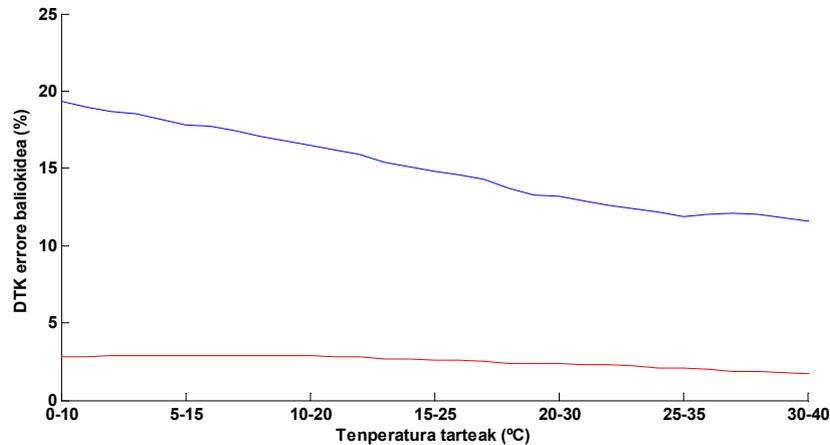
Urdinez: baoen luzera bikoiztuta.

Berdez: baoen luzera lau aldiz handituta.

Baoaren luzera zenbat eta handiagoa izan orduan eta errorea txikiagoa.

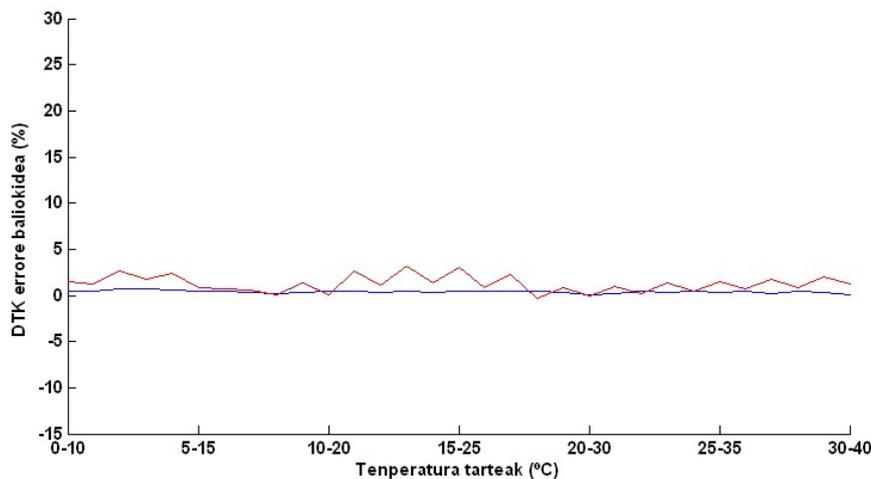
C: hirugarren analisisian trakzioen desorekaren eragina aztertu da; horretarako zirkuitu bi hartu dira eta kasu bi simulatu dira: erreferentzia trakzio ezberdinekin eta erreferentzia trakzio berdinekin (3.71 irudia).

Grafikoan urdinez erreferentzia trakzio ezberdinen kasua eta gorriz erreferentzia trakzio berdinen kasua. Trakzio desorekak errore baliokide handiago bat sortzen du.



3.71 irudia. Erreferentzia trakzio ezberdinen azterketa bao luzera txikiagoarentzako.

Kasu bera analizatu da baina bao luzera lau aldiz handiago den egoerarako, eta lortzen den emaitzan, 3.72 irudia, ikusten da alde batetik luzera handitzean nola gutxitzen den errorea eta bestetik trakzio desoreken eragina (gorriz erreferentzia trakzio ezberdinak).



3.72 irudia. Erreferentzia trakzio ezberdinen azterketa bao luzera handiagoarentzako.

3.3.4.1. Euskarrien mugimenduaren ziurgabetasunaren azterketa

Euskarriaren mugimenduak sortzen duen ziurgabetasuna aztertzeko, PLS-CADD programarekin eginiko diseinua erabili da eta simulazio ezberdinak egin dira.

3.67 irudiko prozedura jarraitzerakoan temperatura tarte ezberdinak erabili dira. Honela DTK errore baliokidearen bilakaera aztertu da temperatura tarte ezberdinentzako.

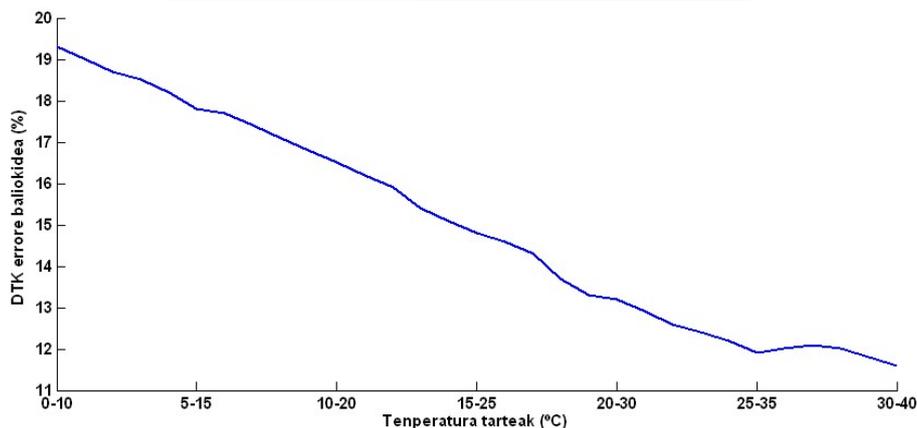
Euskarriaren mugimendu hori aztertzeko zenbait simulazio egin dira eta 1-2 eta 2-3 bakoen DTK errore baliokidea aztertu da bi bako hauek elkarri nola eragiten dioten aztertzeko.

Lorturiko emaitzak batzuk 3.29. taulan eta 3.73 irudian erakusten dira.

3.29 TAULA

PLS-CADD SIMULAZIOAREN DATUEN ERROREAREN DTK ERRORE BALIOKIDEA

1-2 bako	
Temperatura tarteak	DTK Errore baliokidea (%)
0-10	19.3
2-12	18.7
5-15	17.8
9-19	16.8
12-22	15.9
15-25	14.8
22-32	12.6
26-36	12
30-40	11.6



3.73 irudia. Temperatura tarte ezberdinentzako DTK errore baliokidearen kalkulua PLS-CADD simulazioaren bidez kalkulaturiko trakzio-temperatura datuak erabiliz. 1-2 bakoan.

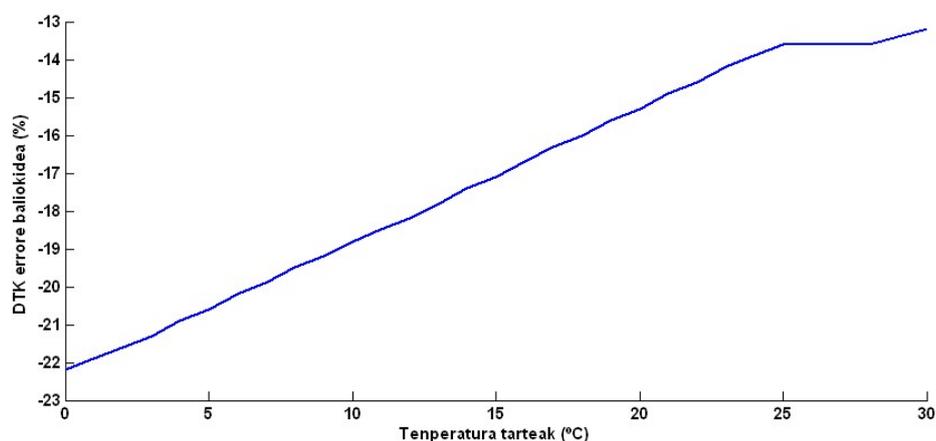
Diseinua egitean erabilitako datuetan errorerik ez dago, hau da eroalearen parametroak bai simulazio diseinuan bai eredu teorikoan berdinak dira eta baita ere eroalea instalaturik dagoen linearen ezaugarriak; baldintza klimatologikoen eraginik ez dago, ondorioz simulazioaren eta datu teorikoen arteko ezberdintasuna euskarrien mugimenduan egon behar da.

Prozedura berdina jarraituz instalazio pilotuaren monitorizaturiko beste baoa aztertu da eta lorturiko emaitzak 3.30. taulan eta 3.74 irudian adierazten dira.

3.30 TAULA

PLS-CADD SIMULAZIOAREN DATUEN ERROREAREN DTK ERRORE BALIOKIDEA

2-3 baoa	
Tenperatura tartea	DTK Errore baliokidea (%)
0-10	-22.2
2-12	-21.6
5-15	-20.6
9-19	-19.2
12-22	-18.2
15-25	-17.1
22-32	-14.6
26-36	-13.6
30-40	-13.2

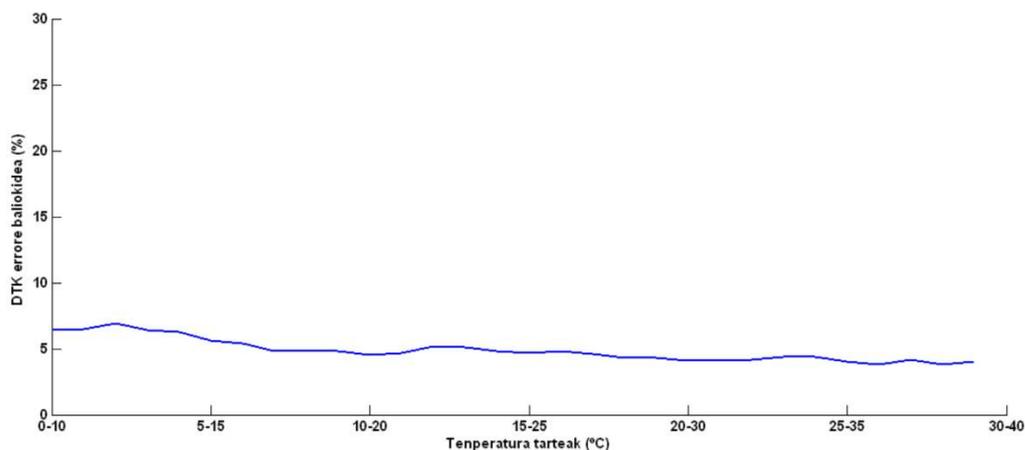


3.74 irudia. Tenperatura tarte ezberdinentzako DTK errore baliokidearen kalkulua PLS-CADD simulazioaren bidez kalkulaturiko trakzio-tenperatura datuak erabiliz. 3-2 baoan.

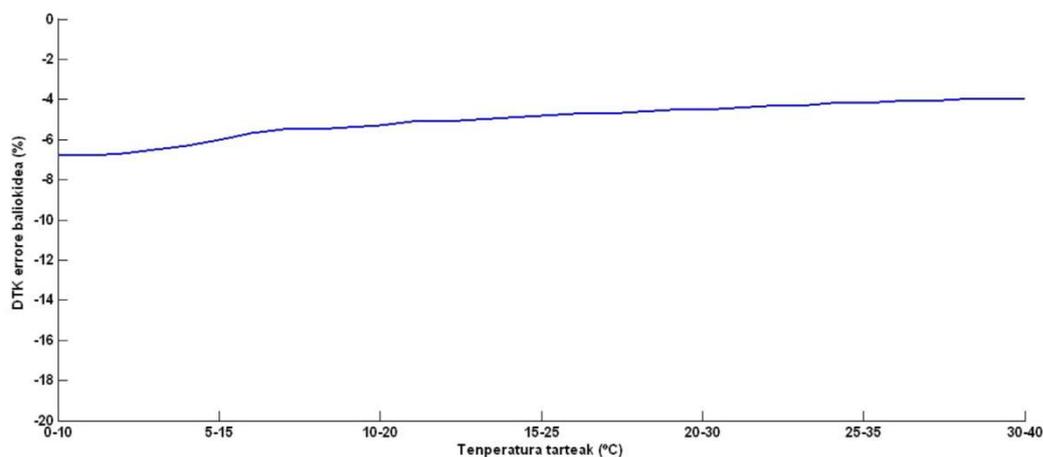
Lorturiko emaitzetan adierazten den moduan, bao bateko DTK errore baliokidearen bilakaera positiboa denean beste baoaren DTK errore baliokidearen bilakaera negatiboa da, hau da kasu batean eroalea dilatatu egiten da eta bestean konprimitu. Hemendik ondorioztatzen da euskarrian gertatzen den mugimendu hori.

Simulazio berdina berriro egin da baina baoen luzerak handituz eta horrela baoaren luzerak DTK errore baliokideari nola eragiten dion aztertuz.

Emaitzak 3.75 eta 3.76 irudietan erakusten dira.



3.75 irudia. DTK errore baliokidearen kalkulua bao luzera handitu ondoren. 1-2 baoan.



3.76 irudia. DTK errore baliokidearen kalkulua bao luzera handitu ondoren. 2-3 baoan.

Irudietako emaitzen arabera ondorioztatzen da baoa luzatzerakoan DTK errore baliokidea txikiagoa dela.

3.4. TRAKZIO-TENPERATURA EBALUATZEKO PROPOSATURIKO METODOLOGIA

Gezi txikiko portaeraren karakterizaziorako helburuarekin trakzio-tenperatura portaera karakterizaziorako jarraitu beharreko metodologia proposatzen da:

- 3.2 atalean proposaturiko trakzio-tenperatura portaera ebaluatzeke eredu teorikoa aplikatu karakterizazio horretan. Eredu teorikoak eroalearen portaeran kontuan hartzen du HTLS eroaleen kasuan trantsizio tenperatura gaintik eta azpitik eroale hauen portaera eta baita ere erreferentzia balioa. Beste alde batetik eredu teorikoan isolagailu katearen luzera kontuan hartzeko aukera ere eskaintzen da.
- Eredu teoriko horrekin batera monitorizazio sistema bat erabiliz neurketak egin trakzio-tenperatura portaera karakterizatzeko baina portaera horretan egon daitezkeen ziurgabetasunak minimizatuz. Eroaleen portaera egiaztatzeke egokiena eroalearen trakzio-tenperatura portaera neurtzen duen sistema eta aldi berean baldintza meteorologikoak neurtzen duena erabiltzea izango litzateke egokiena. Ondoren datu horien prozesamendua eta analisisa egiteko. Monitorizazio sistema hau aztertu beharreko eroalea lanean dagoen linea batean kokatu beharko litzateke, eta horrela laneko datu errealak jasoz.
- Monitorizazio sistemarekin neurturiko datuen prozesamendua. Karakterizaziorako erabiltzen diren datuak datu fidagarriak eta distortsionatu gabekoak izan behar dira. Neurketa datuen prozesamendu horretan neurturiko balioetan nabaritzen diren gorabeheren eragina minimoa izan dadin neurturiko datuen gorabehera txikia izan behar da. Hau lortzeko datuen onarpenean baldintza batzuk ezarri. Baldintza hauek 3.3.2.1 atalean adierazten diren aukera ezberdinak izan daitezke. Aukera bat edo bestea aplikatzea monitorizaturiko eroalean neurturiko balioen arabera izango litzateke. Hau da kontuan hartu beharko litzateke portaeran eragiten duten faktoreak zeintzuk diren eta horrela kasu bakoitzean egokia den baldintza aplikatu.

- Ziurgabetasunaren minimizazioa.3.31 taulan lanean dauden aireko eroaleen denbora errealeko monitorizazio bidezko trakzio-tenperatura karakterizazioa gauzatzeko zenbait ekintza edo/eta prozedura proposatzen dira eta ekintza edo/eta prozedura hauen bidez aztertu den ziurgabetasun hori minimizatzea bilatzen da.

3.31 TAULA

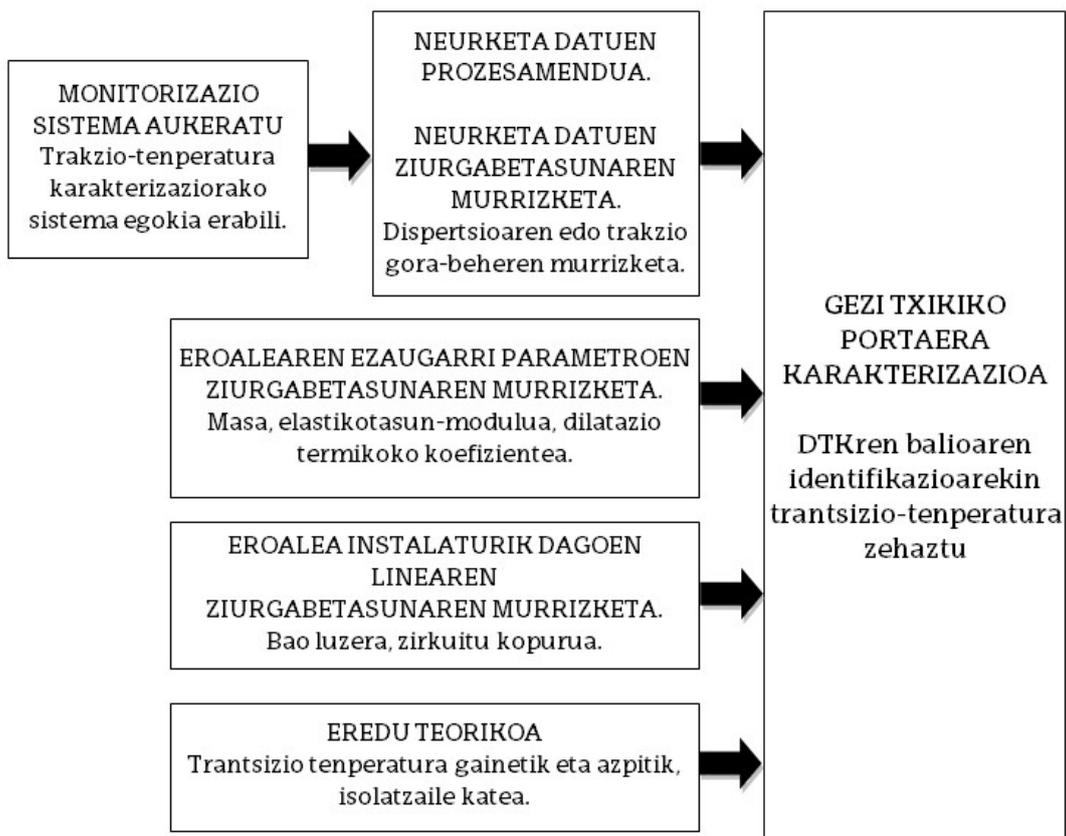
ZIURGABETASUNAREN MURRIZKETA EKINTZAK

ZIURGABETASUN ITURRIA	ZUZENKETA EKINTZA
Masa	Errore iturria minimizatu. Eroalearen fabrikazio prozesuan masa neurtu. Fabrikazio prozesuan masa neurtzeak iturri errorea % 0.2 inguruan kokatzen du.
Elastikotasun- modulua	Eroalearen elastikotasun-moduluaren balioa egiaztatzeko proba egin daiteke. Proba hau esfortzu-deformazio proba da [EN 50182][ETC99].
Bao luzera	Bao neurketa egin topografia baten bitartez. Luzera handiko baoen aukeraketa.
Bao aukeraketa. Zirkuitu kopurua	Zirkuitu ezberdinez osaturiko linea batean egiten bada azterketa, trakzio desorekak eta zirkuituen arteko eraginak kontuan hartu.
Klimatologia	Euri eta haizeak eragina duten datuak baztertu. Eroalearen trakzio-tenperatura portaeran trakzio gorabeherak agertzen diren neurketa datuak baztertu, euri eta haizearen eraginez sortu daitezkeen erroreak murrizteko Kontuan izan eroalea kokaturik dagoen linearen kokapen geografikoa eta euri eta haize egoeren maiztasuna eta zenbateko eragina izango duten datuetan.

- Neurketa datuak prozesatu ondoren eta ziurgabetasunak minimizatu ondoren eredu teorikoarekin baliatuz gezi-txikiko portaera hori karakterizatu. Tenperatura altuko eta gezi txikiko eroaleak knee-point

edo trantsizio-tenperaturaren gaintik duten portaeran oinarritzen dira. Trantsizio-tenperatura gaintik aluminioak ez du karga mekanikorik eusten eta karga mekaniko guztia nukleoaren gain dago. Hau gertatzearen arrazoia aluminioaren DTK nukleoaren DTK baino handiagoa izatea da. Ondorioz, trantsizio-tenperaturaren gaintik eroalearen portaera nukleoaren portaeraren arabera da eta azpitik eroalearen portaeraren arabera. Trakzio-tenperatura portaera karakterizatzeko DTKren errore baliokidea tenperatura tarteentzako kalkulatu honela eroalearen neurturiko trakzio-tenperatura portaerarekin bat datorren DTK tenperatura tarte ezberdinentzako kalkulatzen da eta horrela eroalearen tenperatura gehitzearekin DTKren bilakaera nolakoa den ikusten da. Eroalearen DTK balioaren aldaketak aztertuz, eroalearen trantsizio-tenperatura aurkitu.

3.77 irudian proposaturiko metodologia adierazten duen eskema irudikatzen da.



3.77 irudia. Gezi txikiko portaera karakterizaziorako proposaturiko metodologia.

3.5. ISURPENA EBALUATZEKO PROPOSATURIKO METODOLOGIA

Eroalearen trakzio-tenperatura portaera aztertzeke ereduari isurpena ez da kontuan hartzen baina isurpen hori kontuan hartu behar da eroalearen trakzio-tenperatura portaeran duen eragina aztertzeke.

Berrikuspen bibliografikoan eroaleen isurpenaren ebaluaketarako jarraitzen diren saiakuntza eta prozedurak aztertu dira baina lanean dauden eroaleen isurpena neurtzea ez da ohikoa, neurketa honek denbora luze bateko eroalearen gezi eta tenperatura monitorizazioa eskatzen ditu.

3.5.1. ISURPENA EBALUATZEKO EREDU TEORIKOA

Isurpen teorikoa monitorizazio sistemarekin neurturiko datuak erabiliz kalkulatu den isurpenarekin konparatzeko kalkulatu da.

Isurpen teorikoaren kalkulurako [ALB09][ALB10] eta [ALB11]-n garaturiko metodologia erabiliko da. Metodo hau erabiliz eroalea lanean dagoen denbora, elkarren segidako denbora tarte ezberdinetan banatu da. Aluminioa eta altzairuzko nukleoa banaturik modelatu dira.

Isurpen kalkularen oinarria isurpen saiakuntzen emaitzak dira. Eroalearen fabrikatzaileak emandako esfortzu-deformazio saiakuntzen emaitzak erabiltzen dira, nukleoaren eta eroale osoaren saiakuntzak banaturik daude. Isurpen metalurgikoari dagokionez fabrikatzaileak nukleoaren isurpen metalurgikoaren saiakuntzen emaitzak ematen ditu baina eroale osoaren kasuan ez dago isurpen metalurgikoaren saiakuntzarik. Fabrikatzaileak eroale mota hauen trantsizio-tenperatura baxua dela eta, karga osoa nukleoren gain suposatzen du, eroalea ia denbora guztian trantsizio-tenperaturaren gainetik egongo da lanean, eta ondorioz aluminioa trakzio gabe egongo da eta ez du jasango isurpen metalurgikorik.

Isurpenaren kalkulua eroalearen instalazioarekin hasten da, instalazioan garaturiko isurpena kalkulatu. Isurpen metalurgikoa eta asentatze geometrikoa, biak, nukleorentzako eta aluminioarentzako kalkulatu dira. Eroalearen instalazioko tenkatze prozesuko neurketarik ez dago eta trakzio hori baxua dela suposatzen da, hau da tenkatze prozesua ez da kontuan hartzen isurpenaren kalkulurako. Eskegitze aurreko denboran, eroalea grapa

laguntzaile batekin loturik dagoenean, trakzio osoa aluminioan suposatzen da eta altzairua aluminioaren barne aske geratzen da. Eroalea eskegitzen denean eroalea altzairu grapan dagoen denboran tentsio osoa nukleoan suposatzen da eta aluminioa aske geratzen da.

Instalazio prozesuan garaturiko isurpena kalkulatzeko, denbora tartekak definitzen dira eta denbora tartetean eroalean neurturiko tenperatura batez bestekoak kalkulatu dira isurpen metalurgikoaren kalkuluan erabiliko diren datuak izanik. Asentatze geometrikoaren kalkulurako izotz karga gisako gertakariak ere kontuan hartzen dira.

3.5.2. ISURPENAREN EBALUAZIOA ELGOIBARKO INSTALAZIO PILOTUAN

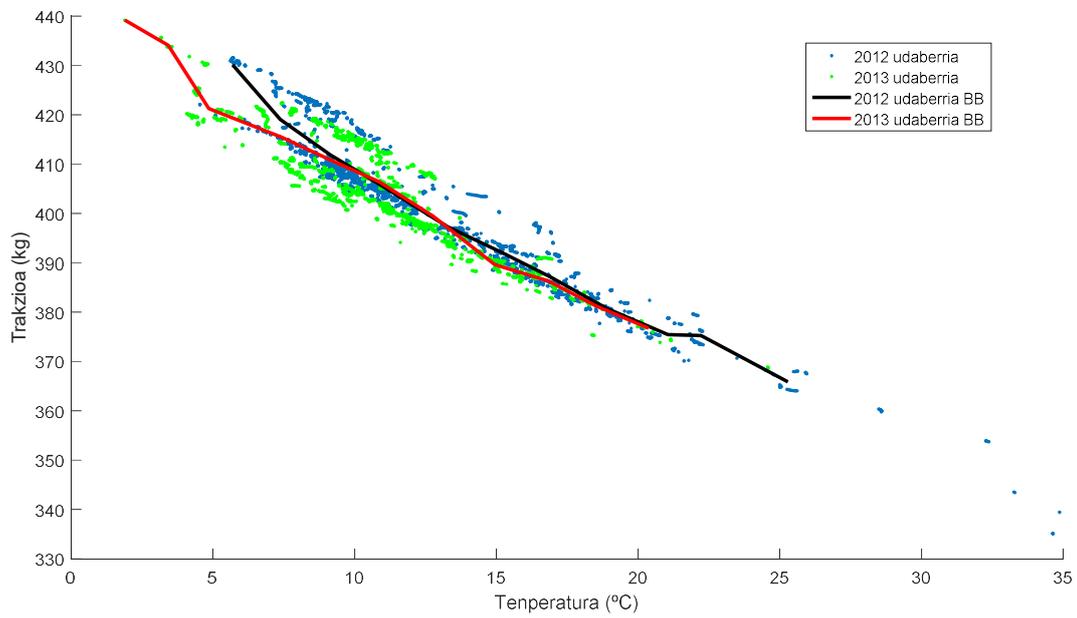
Monitorizaturiko instalazio pilotuko eroaleak zenbait urte darama instalaturik eta ondorioz hasierako urteetan jasandako isurpenaren eragina ikustea ezinezkoa da ez baitago neurketa daturik baina monitorizazio sistemarekin neurturiko datuak erabiliz isurpena edo eroaleak denboran zehar jasan dezakeen trakzio galera aztertu da gaur egungo portaeran eraginik duen edo ez ikusteko.

Monitorizazio sistemarekin neurturiko datuekin baliatuz trakzio-tenperatura portaera aztertu da eta urte ezberdinetako datuak konparatu dira.

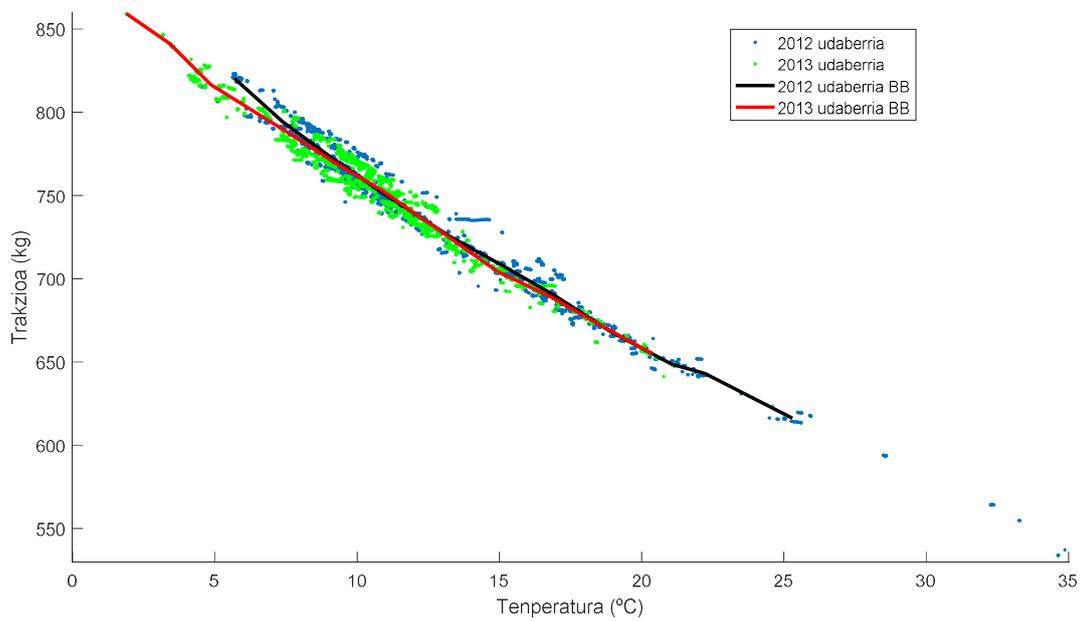
Neurturiko datuetan trakzio gorabeherak sorturiko dispertsioa murrizteko, neurturiko datuak iragazi dira. Aztertu beharreko denbora tarteko datuetan trakzio desbiderapenak kalkulatu dira eta trakzio eta tenperatura batez besteko balioak kalkulatu dira. Batez besteko balioak neurturiko datuetatik kalkulua egiteko hautaturiko datu kopuruen arabera dira. Beste alde batetik trakzio desbiderapena atari balio baten azpitik daukaten datuak ere iragazi dira. Isurpenaren azterketarako azterketa ezberdinak egin dira: urtaro ezberdinen arteko bilakaera aztertu da, ondoren hilabete ezberdinen arteko bilakaera eta azkenik hilabete batean neurturiko trakzioa ondorengo hilabeteekin.

3.78 eta 3.79 irudietan 2012ko udaberriko eta 2013ko udaberriko 1-2 eta 2-3 baoetan kokaturiko eroaleen trakzio-tenperatura portaera ageri da, urte bat hurrengoarekin konparatuz. Eroalearen trakzio murriztea ikusteko, eroalearen isurpena, kalkulaturiko denbora tarte bakoitzeko batez besteko

trakzioa irudikatzen da. Irudiko emaitzen arabera eroaleak ez du isurpen eraginik izan.



3.78 irudia. 2012tik 2013ra. Urtez urteko bilakaera 1-3 sekzioan.



3.79 irudia. 2012tik 2013ra. Urtez urteko bilakaera 2-3 sekzioan.

3.5.3. ISURPENA EBALUATZEKO PROPOSATURIKO METODOLOGIA

Isurpenaren kalkulurako metodologia proposatzen da:

Monitorizazio sistemarekin neurturiko datuekin baliatuz trakzio-tenperatura portaera aztertu eta garai ezberdinetako datuak konparatu. Neurturiko datuetan trakzio gorabeherak sorturiko dispertsioa murriztu, horretarako neurturiko datuak iragazi.

Isurpenaren azterketarako azterketa ezberdinak egin: urte ezberdinen arteko, urtaro ezberdinen arteko, hilabete ezberdinen arteko, etab. bilakaera aztertu.

Neurketa datuak erabiliz lorturiko isurpena eredu teorikoarekin lorturiko isurpenarekin konparatu. Hau egin ahal izateko isurpen teorikoaren kalkulua egiteko 3.5.1 atalean jarraituriko prozedura egin behar da eta prozedura hori gauzatzeko datuak ezagutu behar dira.

Isurpenaren kalkulurako metodologia 3.80 irudian erakusten da.



3.80 irudia. Isurpenaren kalkulurako metodologia.

3.6. KONKLUSIOAK

Kalkulu mekanikoan eragiten duten ezaugarri mekanikoko parametroak zehaztu dira eta parametro hauek eroalearen kalkulu mekanikoan, hau da portaeran duen eragina adierazi da.

Eroaleen kalkulu mekanikoan beharrezko diren zenbait parametro fabrikatzaileek eginiko laborategi proben bidez lortzen dira eta kasu batzuetan bezeroaren eskaripean bakarrik.

Eroale baten trakzio-tenperatura portaera erreala aztertzeko erabiltzen diren kalkuluak gauzatzeko erabiltzen diren datuak eroalearen gezi eta tenperatura, eroalea kokaturik dagoen bao luzera, eroalearen masa eta eroalearen elastikotasun-modulua eta isurpen abiadura dira. Eroalearen masa, elastikotasun-modulua eta isurpen abiadura eroalearen fabrikatzaileak ematen ditu, eroalearen lagin batean probak egin ondoren baina kontuan izan beharko litzateke datu hauetan egon daitezkeen aldaketak. Beste alde batetik eroalearen gezi, tenperatura eta bao luzera neurtzen diren balioak dira eta neurketa hauetan erroreak egon daitezke.

Datu guzti hauen aldakuntzak diseinaturiko portaeraren eta portaera errearen arteko ezberdintasunak sortu dezakete.

Eroale baten trakzioan eta ondorioz gezian eragina duten faktoreak aztertu dira, faktore bakoitzak eroalearen trakzio-tenperatura portaeran duen eragina zehaztuz.

Eroalearen trakzio-tenperatura portaeran eragina duten parametroak portaera horretan sortzen duten ziurgabetasunak deskribatu eta aztertu dira.

Eroalearen ezaugarrietan parametroak aztertu dira eroale ezberdinentzako eta eroalearen funtzionamendu puntu ezberdinetan parametro hauen balioen erroreak eroalearen portaeran duen eragina analizatzeko.

Bao luzeraren neurketa errorea aztertu da eta baita ere euskarriaren mugimenduak duen eragina horretarako instalazio pilotuaren PLS-CADD diseinua egin da. Bao luzera zenbat eta handiagoa izan erroreen eragina orduan eta txikiagoa da.

Eroalearen masarekin, elastikotasun-moduluarekin, bao luzerarekin eta isolagailu katearekin erlazionaturiko emaitzak aurkeztu dira.

Haize eta euriak eroalean gainkarga nola sortzen duten adierazi da. Eta gainkarga hori trakzio gora-behera gisa adierazten da neurturiko datuetan. Trakzio gora behera horiek murriztuz euri eta haizeak eroalean sortzen duen eragina baztertzen da.

Eroalearen dilatazio termiko prozesua zehatz-mehatz deskribatu da.

Errore iturri ezberdinen eragina kuantifikatzeko eta konparatzeko dilatazio termikoko koefizientearen (DTK) errore baliokidea definitzen da. Errore iturri batek sortzen duen trakzio desbiderapenari dagokion DTK errorea; hau da DTK errore baliokidea. Azterturiko parametroen erroreak sortzen duten ziurgabetasun hori DTK errore baliokidearekin erlazionatu da.

Lorturiko emaitzak aztertuz ikusten da masaren errorearen eragina temperatura altuetan, hau da trakzioa txikiago den kasuetan, handiagoa dela baina trantsizio-tenperatura gainera eragin hori murriztu egiten da. Orokorrean, masaren errorea % 2 deneko kasuan DTK errorea txikia da, % 1 ingurukoa. Masa erroreak baxuak eragina baztergarria da. Hau dela eta, masa errorearen eragina murrizteko ekintza bakarra errore iturrian murriztea da: fabrikazio prozesuan masaren neurketa egokia egin. Elastikotasun-moduluaren % 5eko errorearen kasuan DTK errore baliokide % 1 inguruan kokatzen da eta errorearen eragina temperatura altuetan murriztu egiten da baina eragin hori handiagoa da trantsizio-tenperaturaren gainera. Elastikotasun-moduluaren errorearen eraginean baxuak eragin altua dauka, baxu baten aukeraketak elastikotasun-moduluaren errorearen eragina murriztuz.

Baxuak erroreaki dagokionez, errore honen eragina masa erroreak sortzen duen eraginaren berdina da. Baxuak errorea eta honen eragina murrizketa baxuak topografia baten bidez neurtuz lortzen da, honela errore iturria eta bere eragina baztergarriak izanik. Isolagailu kateen baxuak izan dezaken errore eragina baztertzeko, trakzio-tenperatura kalkulurako erabiltzen den ereduaren isolagailu kateen baxuak kontuan hartzen da.

Ondorioz, erroreaken masa neurketarekin, masa errore hori % 0.2an kokatzen bada, elastikotasun-moduluaren neurketa egiten bada eta errorea % 5ean baldin bada, baxuak egokia hautatuz eta topografia batekin neurtuz eta isolagailu katea ereduaren kontuan hartuz, DTK errorea % 1ean egongo litzateke eta honela errore horien eragina baztergarria izango litzateke. Hau dela eta, lanean dauden erroreaken denbora errealeko monitorizazio bidezko karakterizazioa gauzatzeko zenbait ekintza edo/eta prozedura proposatzen dira eta ekintza edo/eta prozedura hauen bidez ziurgabetasun hori minimizatzea bilatzen da.

Linea batean edo gehiagotan instalatu nahi den eroale berri baten portaera egokia izango dela segurtatu nahi denean eroalearen fabrikatzaileak bezeroari konfiantza eman behar dio. Helburu hori lortzeko fabrikatzaileak prozedura batzuk jarraitzea gomendagarria izango litzateke:

Aurreko guztia kontuan izanik, gezi txikiko portaera karakterizatzeko trakzio-tenperatura portaera karakterizazio metodologia proposatzen da. Eta honekin batera eroalearen isurpena ebaluatzeko metodologia ere proposatzen da.

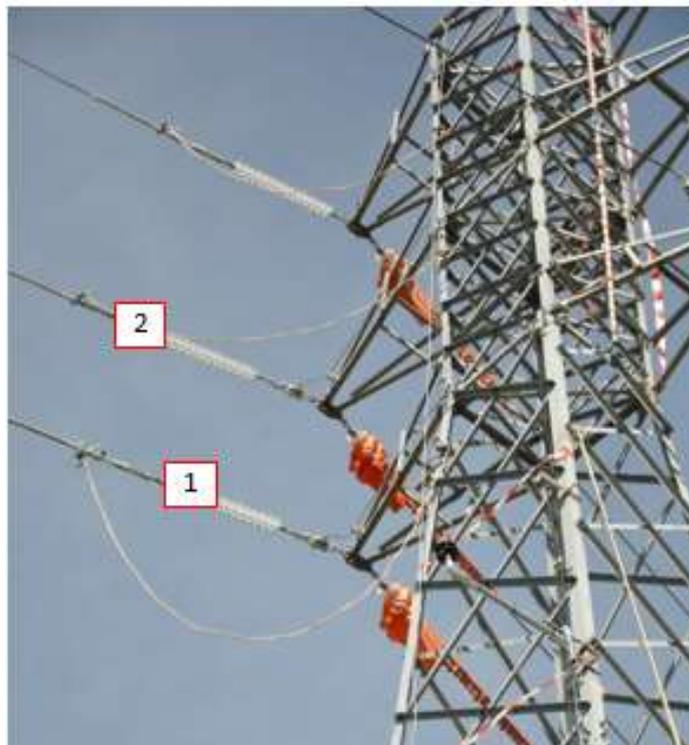
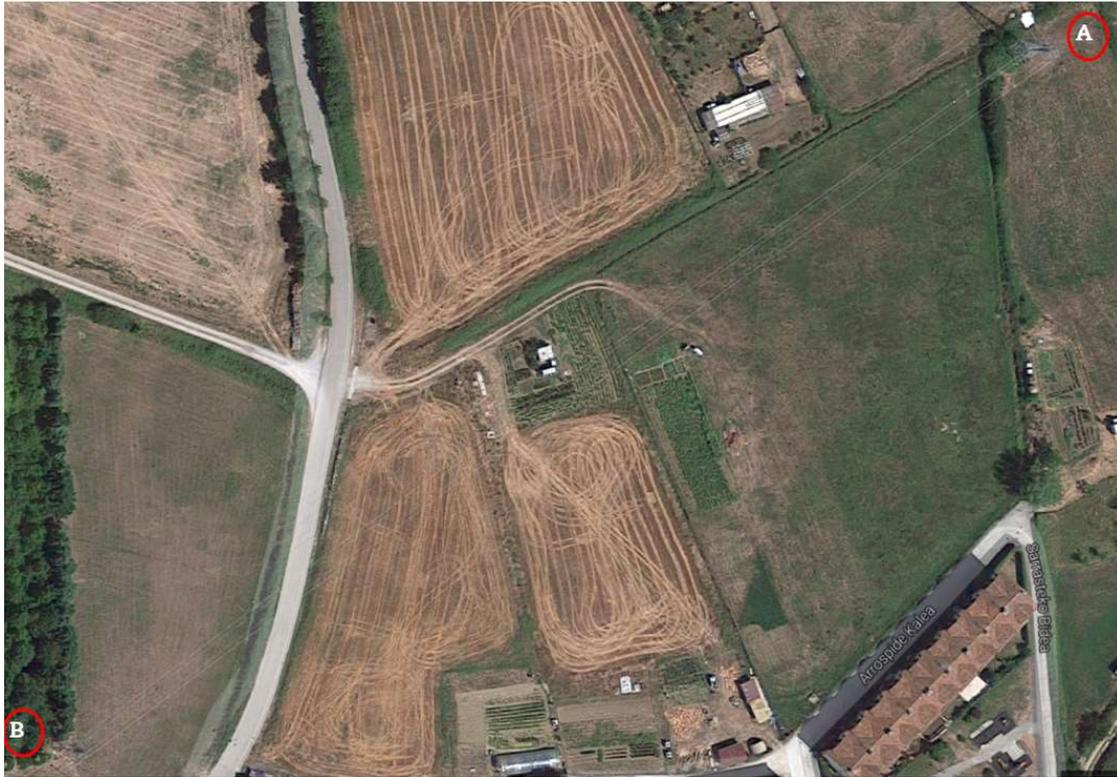
**METODOLOGIAREN
APLIKAZIOA INSTALAZIO
BERRI BATEAN**

4. METODOLOGIAREN APLIKAZIOA INSTALAZIO BERRI BATEAN

4.1. INSTALAZIOA: SAKANA

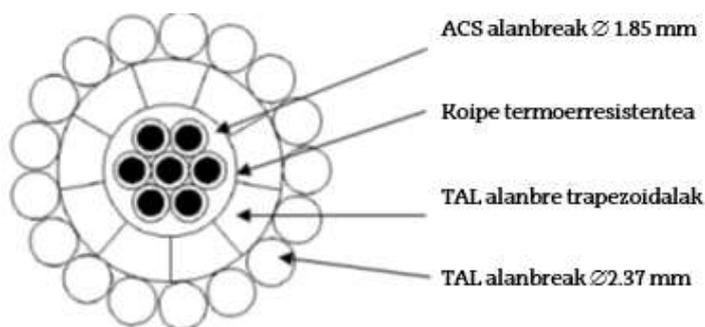
Neurketak egin diren linea Sakanan instalaturik dagoen Iberdrolaren 30 kV-eko linea da, GTACSR-150 bi eroale instalatuz. Eroalea tenperatura altuko eta gezi txikiko portaera duen eroalea izanik. Eroaleen instalazioa 2012ko urrian egin zen.

Gap motako eroalea instalatzen denean aluminioak ez du karga mekanikorik eusten eta karga mekaniko guztia nukleoaren gain dago, hau dela eta trantsizio-tenperatura instalazio-tenperaturarekin bat dator. Eroaleen instalazioa egitean instalazio-tenperatura neurtu zen. 4.1 irudian monitorizatzen diren eroaleak instalaturik dauden linearen kokapen geografikoa (A eta B puntuen artean) eta eroale bien kokapena erakusten da.



4.1 irudia. Monitorizaturiko eroaleak.

4.2 irudian monitorizatzen den eroale motaren irudia erakusten da.



4.2 irudia. GTACSR-150 eroalea.

Linea berdineko eroale bi monitorizatzen dira, bata bestearen gainean daude kokaturik, eta eroalearen ezaugarriak 4.1 taulan erakusten dira.

4.1 TAULA

SAKANAKO INSTALAZIO PILOTUKO EROALEAREN EZAUGARRIAK

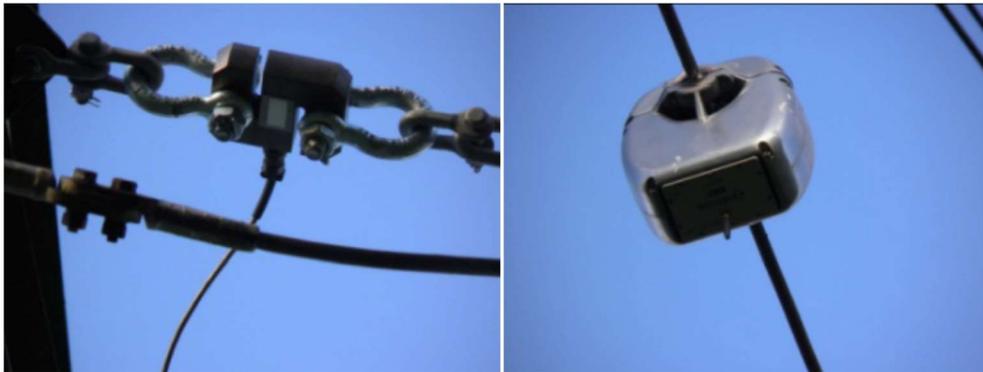
Eroalearen DTK trantsizio-tenperatura azpitik	$\alpha_e = 19.8 \text{ e-6 } [^\circ\text{C}^{-1}]$
Nukleoaren DTK trantsizio-tenperatura gainetik	$\alpha_n = 11.9 \text{ e-6 } [^\circ\text{C}^{-1}]$
Eroalearen elastikotasun-modulua trantsizio-tenperatura azpitik	$E_e = 7590/0.98 \text{ [kg/mm}^2\text{]}$
Nukleoaren elastikotasun-modulua trantsizio-tenperatura gainetik	$E_n = 17400/0.98 \text{ [kg/mm}^2\text{]}$
Eroalearen azalera trantsizio-tenperatura azpitik	$A_e = 149.8 \text{ [mm}^2\text{]}$
Nukleoaren azalera trantsizio-tenperatura gainetik	$A_n = 18.83 \text{ [mm}^2\text{]}$
Eroalearen masa	$\omega_e = 0.511 \text{ [kg/m]}$
Trantsizio-tenperatura (goiko baoko eroalea 2)	$\theta_{knee2} = 22.4 \text{ [}^\circ\text{C]}$
Trantsizio-tenperatura (beheko baoko eroalea 1)	$\theta_{knee1} = 7 \text{ [}^\circ\text{C]}$

Instalaturiko monitorizazio sistema:

- Eroaleen trakzioa neurtzeko karga zelula. Isolagailu katearekin seriean instalatzen da (4.3 irudiko ezker aldean). Karga zelula dorrearen eta isolagailu

katearen artean kokatzen da eta horrela eroalearengandik elektrikoki isolaturik geratzen da.

- SMT, eroalearen tenperatura neurtzeko sistema (4.3 irudiko eskuinaldean). Eroalearen azalera tenperatura eroalean kokatzen den sentsorearekin monitorizatzen da. Zuzeneko tenperatura neurketa egiten da.
- Neurketa datuak minuturo jasotzen dira.



4.3 irudia. Trakzioa neurtzeko karga zelula eta eroalearen azalera tenperatura neurtzeko sentsorea

4.2. ZIURGABETASUNAREN MURRIZKETA

Trakzio-tenperaturan eragiten duten faktoreak sortzen duten ziurgabetasuna murrizteko ondorengo ekintza/pausuak jarraitu dira monitorizaturiko eroale biekin.

4.2.1. EROALEAREN PARAMETROEN ERROREEN ZIURGABETASUNA

Eroalearen masa lineala ezin da egon balio izendatuaren % 2 gaineratik [EN 50182] [IEC 62420] [EN 50540]. Eroalearen masa fabrikazio prozesuan frogatzen da eta fabrikatzailearen informazioaren arabera masaren balioa balio izendatuaren % 0.5 baino gehiagokoa ez da izaten. Serie fabrikazio batean desbiderapena gehienez % 0.2koa izaten da.

Eroalearen elastikotasun-moduluaren balioa egiaztatzeko eroalearen fabrikatzaileak eginiko esfortzu-deformazio frogen emaitzen arabera elastikotasun-moduluan % 5eko aldaketak egon daitezke.

4.2.2. BAO ERROREEN ZIURGABETASUNA

Monitorizazioa egiteko bao luzeko linea bat aukeratzen da, honela bao laburrak sor dezaken ziurgabetasuna murriztuz.

Topografia baten bidez monitorizaturiko eroaleak dauden linearen topografia egiten da. Topografia honen emaitzak, bao luzerari dagokionez, 4.2 taulan adierazten dira, emaitzak linearen hasierako diseinuaren balioekin konparatzen dira.

4.2 TAULA
BAO LUZERAK ETA ERROREA

Hasierako diseinuko bao luzera (m)	Neurturiko bao luzera (m)	Errorea (%)
284	282.49	-0.53

Kasu honetan lortzen diren emaitzak adierazten duten moduan errorea oso txikia da.

4.2.3. ISOLAGAILU KATEA

Isolagailu katearen eragina kontuan hartzeko isolagailu katea trakzio-tenperatura portaeraren kalkulurako erabiltzen den ereduan kontuan hartzen da.

Faktore honen errore eragina murrizteko jarraituriko ekintzekin DTK errorea % 1 ingurukoa izango litzateke, ondorioz errore honen eragina baztertu ahal da.

4.2.4. BALDINTZA METEOROLOGIKOAK ETA ISURPENA

Kontuan izan behar da eroalearen trakzio-tenperatura portaeran eragin dezaketen beste faktore batzuk daudela: faktore klimatologikoak eta isurpena. Faktore klimatologikoen eragina neurketetan datuen gorabehera gisa ikus daiteke, eta honek datuen dispersioa. Isurpenaren eragina, alde batetik, isurpen metalurgikoak alanbreen egitura mikroskopikoari eragiten dio. Isurpen hori etengabe handituz doa denborarekin, eta esfortzuaren eta tenperaturaren araberakoa da. Beste alde batetik, alanbreen arteko elkarrekintzekin erlazionaturik dagoen asentatze geometrikoa. Isurpen hori

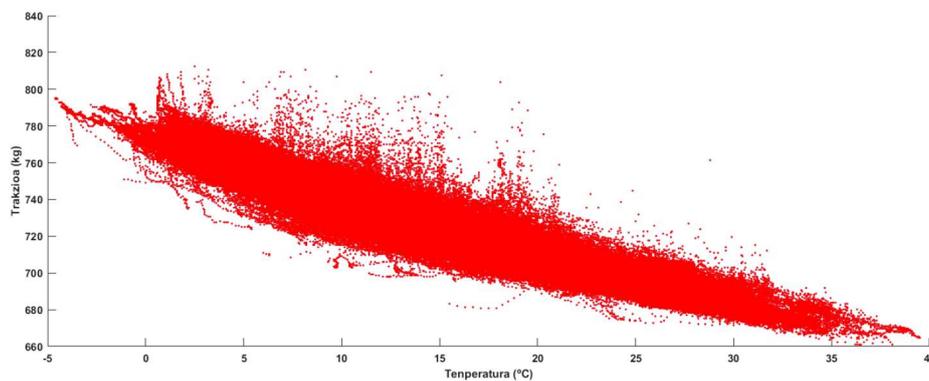
bat-batekoa da eta eroaleak jasandako esfortzu maximoa gainditzen den bakoitzean gertatzen da. Isurpen osoa, isurpen metalurgikoaren eta asentatze geometrikoaren batura da.

Portaeran eragina duten baldintza klimatologikoak eta isurpena eroalean egindako neurketekin aztertzen dira.

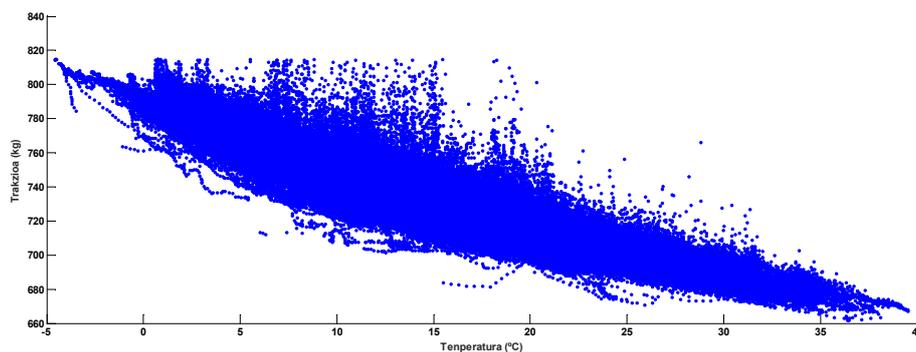
4.3. TRAKZIO-TENPERATURA EBALUAZIOA

Monitorizazio sistemarekin lortzen diren trakzio-tenperatura balioak 4.4 eta 4.5 irudietan erakusten dira. Balio hauek 2012ko urritik 2016ko urrirainoko datuak dira.

Irudian datuen dispersioa nabaritzen da, dispersio hau trakzio gorabeherak sorturikoa izanik.



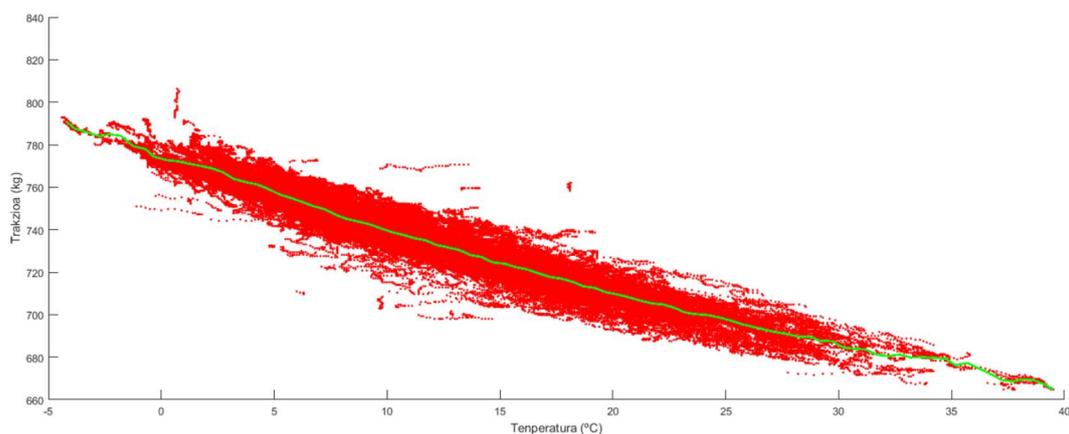
4.4 irudia. Denbora errealeko monitorizazioarekin lanean dagoen 1 eroalearen trakzio-tenperatura neurketak.



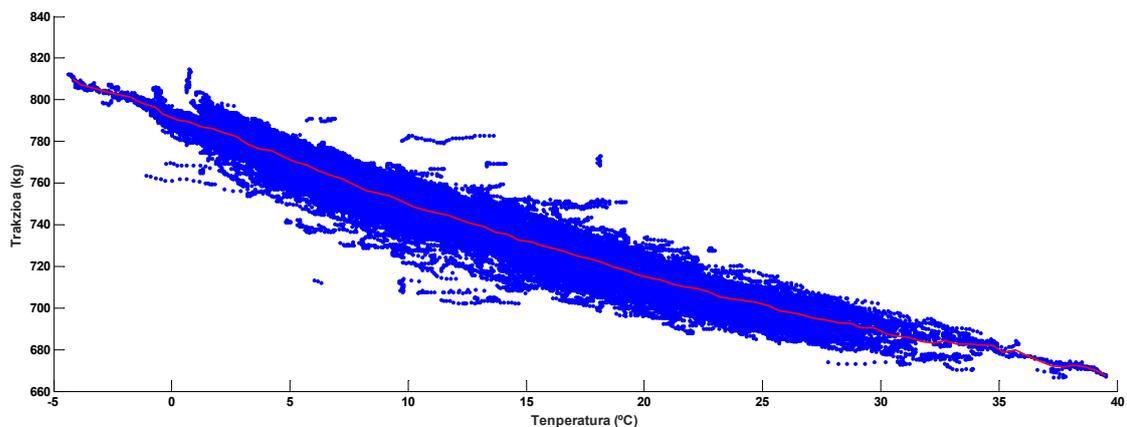
4.5 irudia. Denbora errealeko monitorizazioarekin lanean dagoen 2 eroalearen trakzio-tenperatura neurketak.

4.3.1. DISPERSIO EDO TRAKZIO GORABEHERAK

Neurturiko datuetan nabaritzen den dispersioa murrizteko, proposaturiko metodologia aplikatuz datuen prozesamendua egiten da. Prozesamendu horretan neurturiko datuetan datu bat eta hurrengoaren artean trakzio ezberdintasuna 1 kg baino handiago ez izatea eta gutxienez baldintza hori betetzen duen datu kopurua 10 datu izan behar dela esaten da. Neurturiko datuetan baldintza hauek inposatuz neurketetan agertzen den dispersioa murrizten da eta modu horretan kalkuluetarako erabiltzen diren datuak distortsio gabekoak izanik. 4.6 eta 4.7 irudietan dispersio murrizketa aplikatu ondorengo datuak erakusten dira. Aldi berean datuen banaketa uniforme bat lortzeko 1 °C-tan definituriko tenperatura tartean datuen batez bestekoa kalkulatzen da.



4.6 irudia. Dispersio murrizte iragazkia aplikaturiko neurturiko datuak 1 eroalean.



4.7 irudia. Dispersio murrizte iragazkia aplikaturiko neurturiko datuak 2 eroalean.

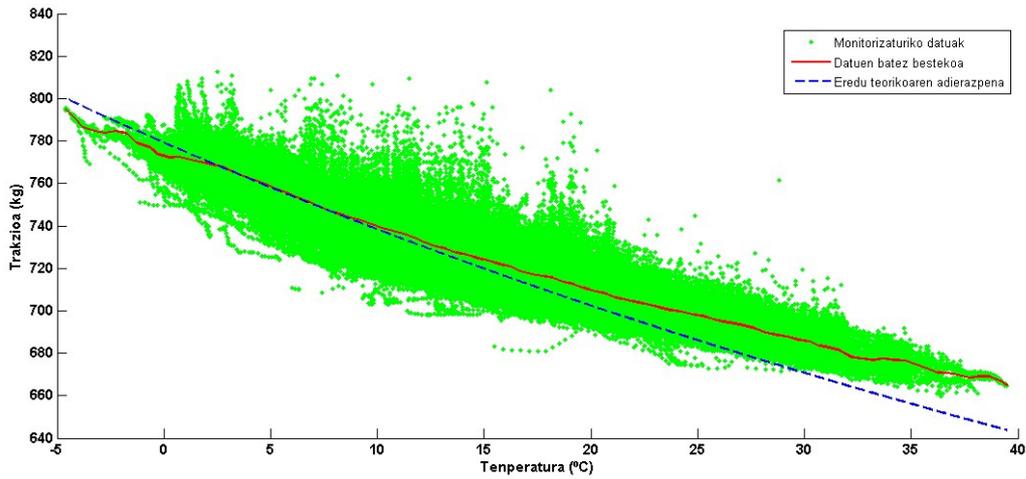
4.3.2. DTK EBALUAZIOA. EROALEAREN PORTAERA

Neurturiko datuak prozesatu ondoren eroalearen portaera definitzen duen eredu teorikoa erabiliz eroalearen trakzio-tenperatura portaera teorikoa eta erreal konparatzen dira 1 eroalearen trantsizio-tenperatura $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ izanik eta 2 eroalearen $22.4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kalkulu teorikoan erabiltzen den tenperatura neurketetako tenperaturak dira, horrela tenperatura berdinean eroalearen trakzioaren portaera teoriko eta erreal konparatzeko.

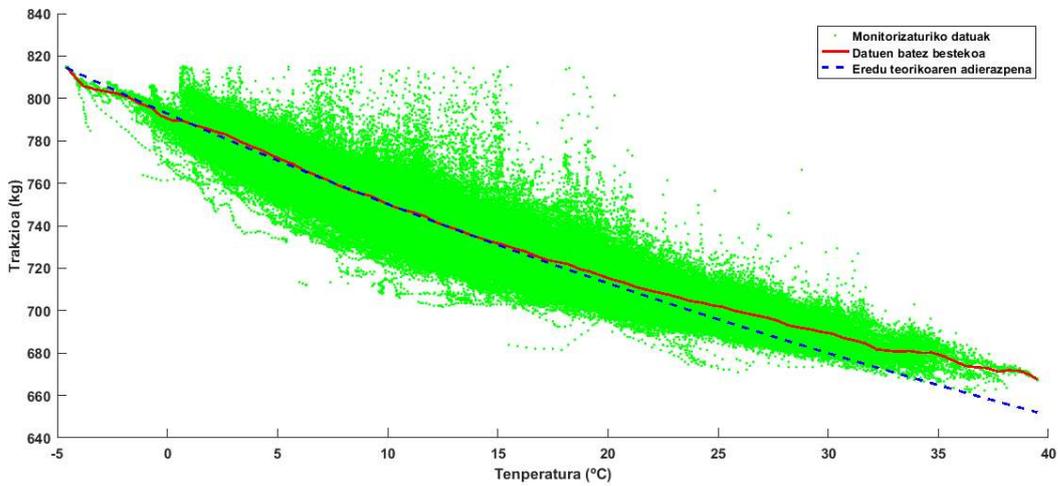
Eroaleen portaera erreal eta teorikoaren arteko ezberdintasuna DTK errorean bihurtzen dira, horretarako eroalearen trakzio portaera erreal eta teorikoaren arteko ezberdintasuna kalkulatu da eta ezberdintasun hori DTK errore moduan kalkulatu da. Kalkulu teoriko eta datu errealeen arteko doikuntza egiten da.

DTKren bilakaera aztertzeko eroalearen eredu kasu zehatza aplikatzen da: eroalea trantsizio tenperatura azpitik lanean suposatzen da. Ereduaren aplikazio honekin eroale eta nukleoaren artean gertatzen den DTKren trantsizioa ikustea helburu izanik. Eroalea trantsizio-tenperatura azpitik dagoenean eroalearen portaera eroalearen DTKn oinarritzen da eta trantsizio tenperatura gainera dagoenean eroalearen portaera nukleoaren DTKn oinarritzen da. Hau dela eta, eredu zehatza aplikatzeko eroale portaera ikuspuntuari dagokion nukleo DTK baliokidea bilatzen da. Trantsizio tenperatura gainera eroalearen portaera nukleo DTK teoriko baliokidera hurbildu beharko litzateke. Hau dela eta 4.8, 4.9 4.10 eta 4.11 irudietan eredu teorikoari dagokion kurba (marra etenak) eroalea trantsizio tenperatura azpitik lanean dagoeneko portaera adierazten duen kurba da.

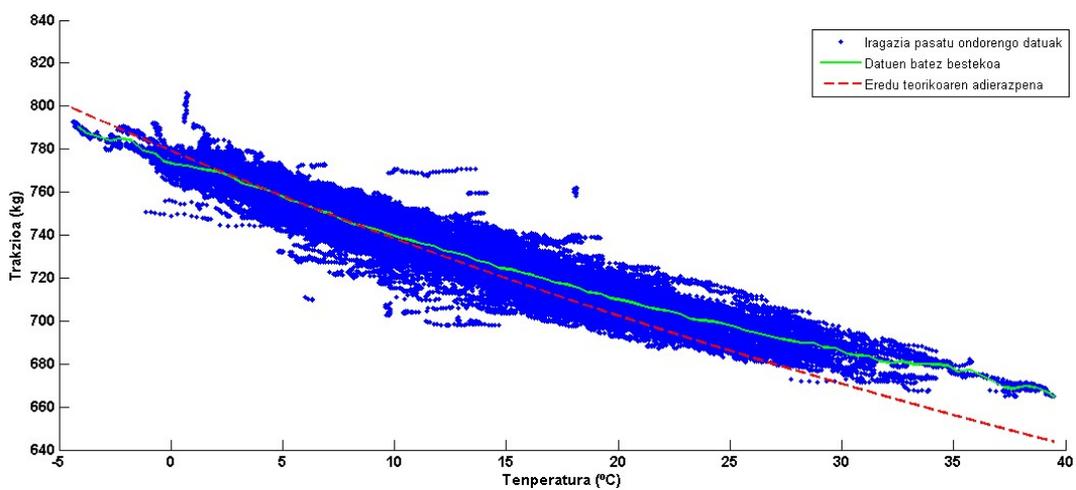
4.8 eta 4.9 irudietan iragazi gabeko neurketa datuak erakusten dira eta 4.10 eta 4.11 irudietan iragazitako neurketa datuak.



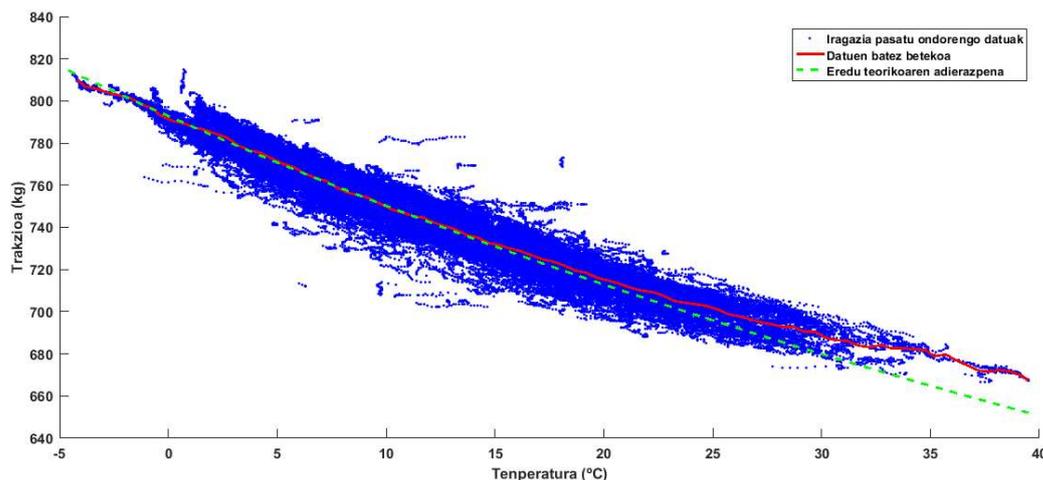
4.8 irudia. Neurturiko datuak 1 eroalean.



4.9 irudia. Neurturiko datuak 2 eroalean.



4.10 irudia. Iragazi ondorengo datuak 1 eroalean.



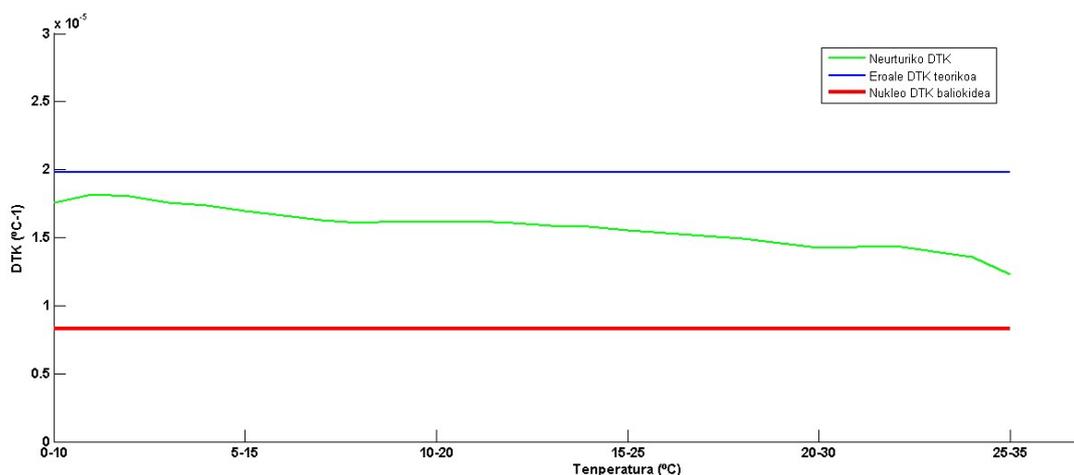
4.11 irudia. Iragazi ondorengo datuak 2 eroalean.

DTK errorea kalkulatu eta DTK ebaluatzeko kurba teoriko eta errealaren arteko doikuntza 10 °C-ko tarteetan egiten da, tarteak 1 °C-tan gehituz eta horrela DTKren errorea eta DTK tenperatura handitzearekin nola garatzen den ikusteko.

4.12 irudian 1 eroalearen kasuan lorturiko emaitzak erakusten dira.

Trakzio-tenperatura portaera karakterizatzeko DTKren errore baliokidea tenperatura tarteentzako kalkulatzen da eta ondorioz eroalearen neurturiko trakzio-tenperatura portaerarekin bat datorren DTK tenperatura tarte ezberdinentzako kalkulatzen da eta horrela eroalearen tenperatura gehitzearekin DTKren bilakaera nolakoa den ikusten da. Neurketa datuetatik abiatuz kalkulaturiko DTK eta eroalearen DTK teorikoa (fabrikatzaileak emandakoa) konparatzen dira eta horrela trantsizio-tenperatura detektatzen da.

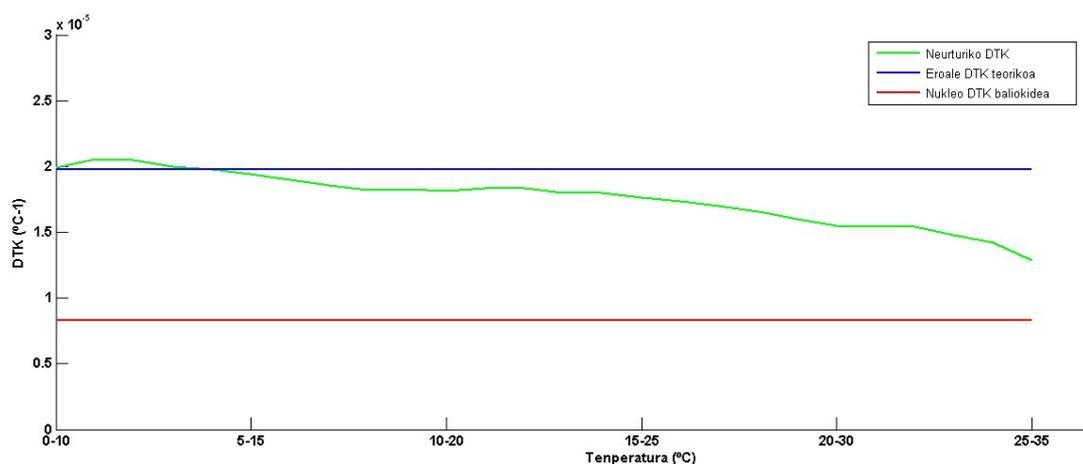
Kolore urdinez eroalearen DTK teorikoa, kolore berdez neurturiko DTK eroalearen portaera modelizatzen duen ekuazioa erabiliz eta kolore gorri nukleoaren DTK teorikoa eroalearen portaera ikuspuntutik. Eroalearen instalazioan neurturiko trantsizio-tenperatura 7 °C-takoa dela kontuan izanik tenperatura horren azpitik gertatzen den DTK portaera ia espero zena izango litzateke baina eroalea trantsizio-tenperatura teoriko horren gainetik dagoenean nukleoaren portaera ez da izan beharko litzatekeen portaera, hau da neurturiko DTK ez da heltzen nukleoaren DTK balio teorikora.



4.12 irudia. 1 eroalean neurturiko eroale DTK eta nukleo eta eroalearen DTK balioak.

4.13 irudian 2 eroalearen kasuan lorturiko emaitzak erakusten dira.

Kolore urdinez eroale DTK teorikoa, kolore berdez neurturiko DTK eroalearen portaera modelizatzen duen ekuazioa erabiliz eta kolore gorritz nukleoaren DTK teorikoa eroalearen portaera ikuspuntutik. Eroalearen instalazioan neurturiko trantsizio-tenperatura 22.4 °C-takoa dela kontuan izanik tenperatura horren azpitik gertatzen den DTK portaera ia espero zena izango litzateke baina eroalea trantsizio-tenperatura teoriko horren gainetik dagoenean nukleoaren portaera ez da izan beharko litzatekeen portaera, hau da neurturiko DTK ez da heltzen nukleoaren DTK balio teorikora.



4.13 irudia. 2 eroalean neurturiko eroale DTK eta nukleo eta eroalearen DTK balioak.

4.12 eta 4.13 irudietako emaitzetatik eroalearen trantsizio-tenperatura tenperatura zehatz bat izan beharrean tenperatura tarte bat dela ikusten da: "trantsizio-tenperatura tarte". Hau da eroalearen DTKtik nukleoaren DTKra aldaketa ez da bat batean gertatzen.

4.4. ISURPENAREN EBALUAZIOA

Monitorizaturiko gap eroalearen isurpenaren neurketa egiten da eta neurturiko balioak kalkulaturiko balio teorikoekin konparatzen dira.

Isurpenaren neurketarako ondorengo pausuak jarraitu dira:

Eroalearen isurpen saiakuntzak eta neurturiko linearen baldintzak kontuan izanik eroaleak garaturiko isurpenaren eboluzio kalkulatu da.

Trakzio-tenperatura neurketak erabiliz isurpenaren eboluzioa kuantifikatu da.

Neurturiko eta kalkulaturiko balioak konparatzen dira.

Monitorizatzen den eroalea gap motako eroalea da eta kasu honetan kontuan izan behar da eroale mota hauetan altzairuaren isurpena baxua dela baina aluminioak jasaten duena baino handiagoa dela. Hau gertatzen da eroalearen instalazioan aluminioa trakzio gabe geratzen delako eta instalazio tenperatura baino tenperatura altuagotan ere trakzio gabe egongo delako, hau da eroalea aluminioa trakzio gabe dagoen egoeran lanean dagoenean aluminioak ez du isurpenik jasango. Eroalearen instalazio prozesuan aluminioak trakzioa izaten du eta isurpen metalurgikoa eta asentatze geometrikoa jasango ditu, hau dela eta lanean dagoenean jasango duen isurpena txikiagoa izango da.

4.4.1. ISURPEN TEORIKOA

Isurpen teorikoaren kalkulurako isurpen metodologian adierazitako eredu teorikoa erabili da.

4.15 taulan 1 eroalearen isurpenaren garapena erakusten da. Instalazioan garaturiko isurpena ere kontuan hartzen da.

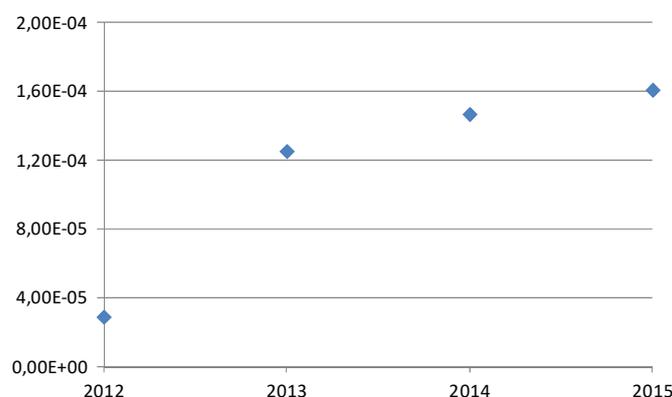
4.15 TAULA

ISURPEN GARAPENA 1 EROALEAN

Denbora tartea	Aluminioaren asentatze geometrikoa	Nukleoaren asentatze geometrikoa	Nukleoaren isurpen metalurgikoa
Instalazioa (2012ko urria)	$5.714 \cdot 10^{-4}$	$1.4578 \cdot 10^{-4}$	$2.8955 \cdot 10^{-5}$
2013 urria	$5.714 \cdot 10^{-4}$	$1.4578 \cdot 10^{-4}$	$1.2521 \cdot 10^{-4}$
2014 urria	$5.714 \cdot 10^{-4}$	$1.4578 \cdot 10^{-4}$	$1.4673 \cdot 10^{-4}$
2015 urria	$5.714 \cdot 10^{-4}$	$1.4578 \cdot 10^{-4}$	$1.6086 \cdot 10^{-4}$

4.15 taulako emaitzetan altzairuzko nukleoan denbora igarotzean gertatzen den isurpen metalurgikoaren handitzea erakusten da (4.14 irudia). Isurpen

metalurgiko honen handitzearen arrazoa instalazio prozesuan datza, non bai aluminioak bai altzairuak karga balio altuak jasaten dituzten.



4.14 irudia. Nukleoaren isurpen metalurgikoaren bilakaera.

4.16 taulan eroalearen trakzioaren bilakaera erakusten da 5 eta 25 °C-tan.

4.16 TAULA

KALKULATURIKO TRAKZIOAREN GARAPENA TENPERATURA EZBERDINETAN

Data	5 °C-tan trakzioa (kg)	25 °C-tan trakzioa(kg)
Instalazioa (2012ko urria)	768.7	718.9
2013 urria	760	702.7
2014 urria	758.2	699.2
2015 urria	756.9	696.9

25°C-tan trakzioaren murrizketa 5 °C-tan baino nabariagoa da. Honen arrazoa trantsizio-tenperatura baino tenperatura altuagotan aluminioa karga gabe geratzen delako eta nukleoaren isurpenaren eragina handiagoa delako da.

4.17 taulan 2 eroalearen isurpenaren garapena erakusten da. Instalazioan garaturiko isurpena ere kontuan hartzen da.

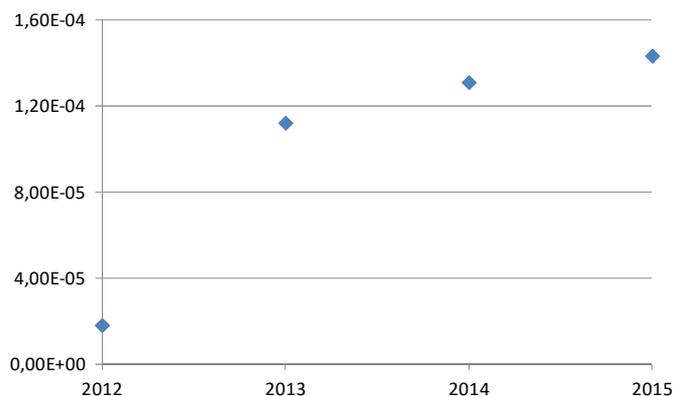
4.17 TAULA

ISURPEN GARAPENA 2 EROALEAN

Denbora tarte	Aluminioaren asentatze geometrikoa	Nukleoaren asentatze geometrikoa	Nukleoaren isurpen metalurgikoa
Instalazioa (2012ko urria)	$4.0456 \cdot 10^{-4}$	$1.3475 \cdot 10^{-4}$	$1.8137 \cdot 10^{-5}$
2013 urria	$4.0456 \cdot 10^{-4}$	$1.3475 \cdot 10^{-4}$	$1.1219 \cdot 10^{-4}$
2014 urria	$4.0456 \cdot 10^{-4}$	$1.3475 \cdot 10^{-4}$	$1.3110 \cdot 10^{-4}$
2015 urria	$4.0456 \cdot 10^{-4}$	$1.3475 \cdot 10^{-4}$	$1.4338 \cdot 10^{-4}$

4.17 taulako emaitzetan altzairuzko nukleoan denbora igarotzean gertatzen den isurpen metalurgikoaren handitzea erakusten da (4.15 irudia). Isurpen

metalurgiko honen handitzearen arrazoa instalazio prozesuan datza, non bai aluminioak bai altzairuak karga balio altuak jasaten dituzten.



4.15 irudia. Nukleoaren isurpen metalurgikoaren bilakaera.

4.18 taulan 2 eroalearen trakzioaren bilakaera erakusten da 5 eta 25 °C-tan.

4.18 TAULA

2 EROALEAN KALKULATURIKO TRAKZIOAREN GARAPENA TEMPERATURA EZBERDINETAN

Data	5 °C-tan trakzioa (kg)	25 °C-tan trakzioa(kg)
Instalazioa (2012ko urria)	812.4	706.8
2013 urria	802.9	692.6
2014 urria	801.1	691.3
2015 urria	799.8	690.4

25°C-tan trakzioaren murrizketa 5 °C-tan baino nabariagoa da. Honen arrazoa trantsizio-temperatura baino temperatura altuagotan aluminioa karga gabe geratzen delako eta nukleoaren isurpenaren eragina handiagoa delako da.

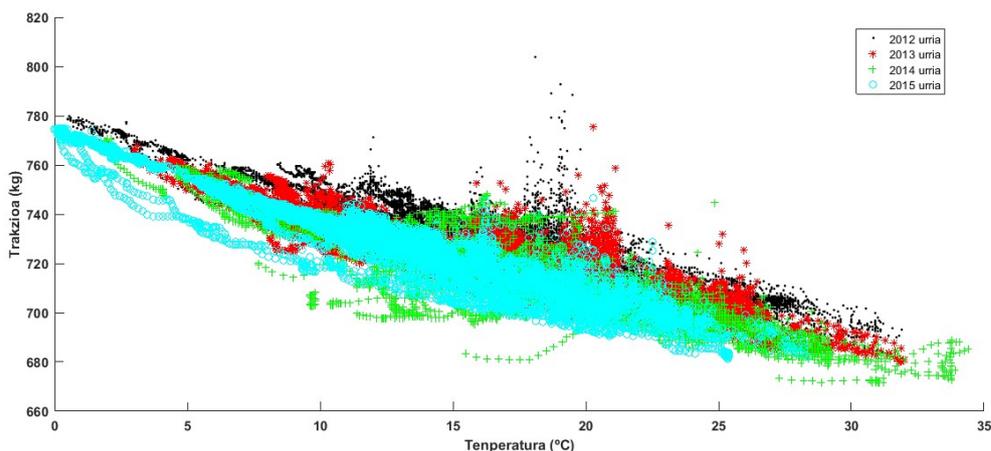
4.4.2. NEURTURIKO ISURPENA

Eroaleen monitorizazio sistemarekin neurturiko datuekin baliatuz trakzio-temperatura portaera aztertu da eta urte ezberdinetako urtaro berdinetan konparatu da.

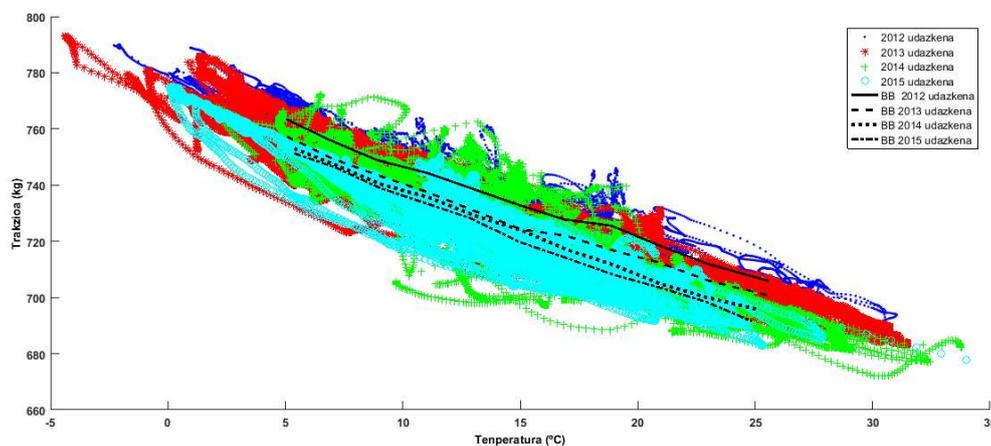
Neurturiko datuetan trakzio gorabeherak sorturiko dispertsioa murrizteko, neurturiko datuak iragazi dira. Aztertu beharreko denbora tarteko datuetan trakzio desbiderapenak kalkulatu dira eta trakzio eta tenperatura batez besteko balioak kalkulatu dira. Batez besteko balioak neurturiko datuetatik kalkulua egiteko hautaturiko datu kopuruen arabera dira. Beste alde batetik trakzio desbiderapena atari balio baten azpitik daukaten datuak ere iragazi dira. Isurpenaren azterketarako azterketa ezberdinak egin dira:

hilabete ezberdinen arteko bilakaera aztertu da eta ondoren urtaro ezberdinen arteko bilakaera.

1 eroalearen kasuan 2012tik 2015era gertaturiko trakzio bilakaera aztertu da. 4.16 irudian 2012tik 2015era neurturiko trakzio-tenperatura datuak erakusten dira. Eroalearen trakzio murriztea ikusteko, eroalearen isurpena, kalkulaturiko denbora tarte bakoitzeko batez besteko trakzioa irudikatzen da. 4.17 irudian urte guztiak batera irudikatzen dira bilakaera osoa erakusteko.



4.16 irudia. 1 eroalean neurturiko trakzio-tenperatura balioen garapena 2012tik 2015era.



4.17 irudia. 1 eroalea. 2012tik 2015era. Bilakaera osoa.

Eroalean trakzio bilakaera 5 °C eta 25 °C-tan , emaitzak 4.20 taulan erakusten da.

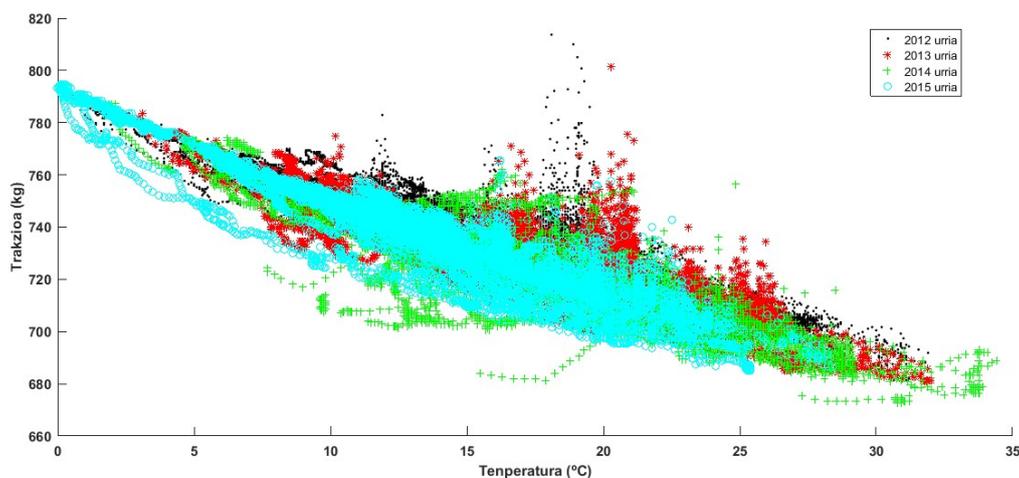
4.20 TAULA

1 EROALEAN NEURTURIKO TRAKZIOAREN GARAPENA TENPERATURA EZBERDINETAN

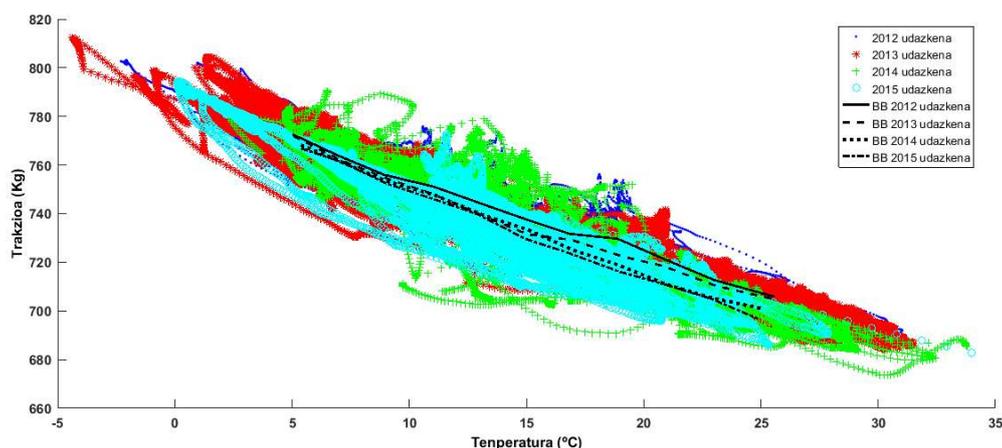
Data	5 °C-tan trakzioa (kg)	25 °C-tan trakzioa(kg)
2012ko udazkena	763.5	707.7
2013ko udazkena	757.5	702.3
2014ko udazkena	755.2	696.3
2015eko udazkena	753.2	691.7

4.19 eta 4.20 tauletako emaitzetan trakzioa denborarekin murrizten da. Tenperatura altuetan eroalearen dilatazioa dela eta trakzioa murriztea nabariagoa da tenperatura baxuan gertatzen denarekin konparatuz.

2 eroalearen kasuan 2012tik eta 2015era gertaturiko trakzio bilakaera aztertu da. 4.18 irudian 2012tik 2015era neurturiko trakzio-tenperatura datuak erakusten dira eta 4.19 irudian 2012, 2013, 2014 eta 2015 urteetako udazkenetako trakzio-tenperatura portaera erakusten da. Eroalearen trakzio murriztea ikusteko, eroalearen isurpena, kalkulaturiko denbora tarte bakoitzeko batez besteko trakzioa irudikatzen da.



4.18 irudia. 2 eroalean neurturiko trakzio-tenperatura balioen garapena 2012tik 2015era.



4.19 irudia. 2 eroalea.2012tik 2015era. Bilakaera osoa.

Eroalean trakzio bilakaera 5 °C eta 25 °C-tan , emaitzak, emaitzak 4.21 taulan erakusten dira.

4.21 TAULA

2 EROALEAN NEURTURIKO TRAKZIOAREN GARAPENA TEMPERATURA EZBERDINETAN

Data	5 °C-tan trakzioa (kg)	25 °C-tan trakzioa(kg)
2012ko udazkena	772.5	707.4
2013ko udazkena	771.9	706
2014ko udazkena	769.9	701.1
2015eko udazkena	767.7	696.9

Kalkulatoriko eta neurturiko balioak ez datoz bat. Kalkulu teorikoan erabiltzen den trantsizio-tenperatura 7°C-takoa da 1 eroalearen kasuan eta 22.4 °C-takoa 2 eroalearen kasuan eta tenperatura hori ez dator bat neurturiko balioei dagozkien trantsizio-tenperaturarekin. Aurreko atalean azertu denarekin bat trantsizio tenperatura barik trantsizio-tenperatura tarte batez hitz egin beharko litzateke. Dena den, kalkulatoriko eta neurturiko trakzio murrizketa antzerakoa da.

4.6. KONKLUSIOAK

Lanean dagoen linean aplikatu den monitorizazio sistema deskribatu da. Monitorizazio sistema honekin eroale ezberdinen datuak neurtu dira (trakzioa eta tenperatura) eta baita ere magnitude meteorologikoak.

Neurturiko datuen analisirako metodologia deskribatu da eta ondorioz eroalearen portaera deskribatzen duen trakzio-tenperatura datuak edo kurbak gauzatzeko metodologia.

Neurturiko datu errealak ahalbidetzen duten eroalearen portaera deskribatzen duen trakzio-tenperatura datuak eroalearen eredu teorikoak ahalbidetzen duen trakzio-tenperatura datuekin konparatzen dira eta hauen arteko ezberdintasunak kalkulatu dira. Ezberdintasun hauek eroalearen eredu teorikoaren eta portaera errealearen arteko erroreak dira. Errore hauetatik abiatuz eroalearen neurturiko DTK kalkulatu da tenperatura tarte ezberdinetan. Eroalearen portaeran eroalearen dilatazio termiko koefizientetik nukleoaren dilatazio termikoko koefizientera aldaketa ez dela tenperatura zehatz baten gertatzen ikusten da, baizik eta tenperatura tarte batean gertatzen da. Hau da, trantsizio tenperatura batean barik "trantsizio tenperatura tarte" batean gertatzen da.

Gap motako eroalearen isurpen azterketa egin da. Neurturiko balioa eta balio teorikoa konparatu. Neurturiko balioa kalkulaturikoa baino txikiagoa da. Honen arrazoia alde batetik aluminio eta nukleoaren trakzio partekatzean egon daiteke eta beste alde batetik aluminioaren isurpen txikia. Honekin egiaztatzen da gap motako eroaleetan aluminioan garatzen den isurpena txikia dela.

**EKARPENAK ETA
ETORKIZUNEKO LANAK**

5. EKARPENAK ETA ETORKIZUNEN LANA

5.1. EKARPENAK

Doktorego tesi honetan denbora errealeko monitorizazio sistema erabiliz aireko eroale elektrikoaren gezi-txikiko karakterizazioarako metodologia deskribatzen delarik, tesi hau denbora errealeko monitorizazio sistemen deskribapen eta analisiarekin hasi da. Merkaturaturik dauden eta azterketan dauden zenbait sistema eta euren aplikazioak aztertu dira neurtzen duten parametroan oinarrituz. Aztertutako sistemen arteko konparaketa ere gauzatu da. Ondoren merkaturatutako dauden tenperatura altuko eta gezi txikiko eroaleak deskribatu dira. Eroale hauen azterketan euren ezaugarri mekaniko eta termikoak kontuan izan dira, ezaugarri horiek definitzen baitute eroaleen portaera. Eroale hauen zenbait aplikazio ere aztertu dira. Eta eroaleen arteko konparaketa egin da. Gezi txikiko eroaleen balioztatzerako gauzatzen diren proben ikerketa ere egin da. Azterketa hauek eroalearen fabrikatzaileak euren eroaleak egiaztatzeko egindakoak, ikertzaileak eroale berriak aztertzeke egindakoak edo bezero/erabiltzaileak eroalea bere linean instalatu baino lehen egindakoak izaten dira. Proba motak eta aplikazio errealak deskribatu eta aztertu dira. Linea elektrikoaren kalkulu mekanikoko metodoak aztertu dira. Kalkulu mekanikoan eragiten duten ezaugarri mekanikoko parametroak zehaztu dira eta parametro hauek eroalearen kalkulu mekanikoan, ondorioz portaeran duen eragina adierazi da. HTLS eroaleen kalkulu mekanikoan,

eroale hauen ezaugarriak direla eta kontuan izan behar da nukleoaren eta eroalearen portaera. Azterketa hauek tesiaren helburu den gezi-txikiko karakterizaziorako metodologiaren garapenean erabili diren monitorizazio sistemaren aukeraketa eta eroalearen eredu teorikoaren garapena ahalbidetu dute.

Kalkulu mekaniko motak aztertu ondoren, lanean dauden aireko eroaleen trakzio-tenperatura portaeran eragina duten parametroak identifikatu eta aztertu dira, parametro hauen eragina kuantifikatuz.

Eroaleen portaeran eragina duten parametroak identifikatu ondoren parametro hauek sortzen duten ziurgabetasuna aztertu da. Eroalearen dilatazio termiko prozesua deskribatu da. Errore iturri ezberdinen eragina kuantifikatzeko eta konparatzeko dilatazio termikoaren koefizientearen (DTK) errore baliokidea definitu da: errore iturri batek sortzen duen trakzio desbiderapenari dagokion DTK errorea.

Lanean dagoen linea errealean denbora errealeko monitorizazio batekin jasotako datuen azterketa egin da eta datu errealak eta eroaleen eredu teorikoak erabiliz eroaleen trakzio-tenperatura portaera aztertu da, eroalearen karakterizazioa gauzatzeko eta datu erreal eta eredu teorikoak konparatu dira, desbiderapenak aurkitzeko eta desbiderapen horien DTK errore baliokidea kalkulatu da. Honela trakzio-tenperatura portaeran eragina duten parametro edo/eta faktoreak sortzen duten errorea kuantifikatuz eta errore hori murrizteko modua aztertuz.

Guztia aztertu ondoren aireko linea elektrikoaren karakterizazioan jarraitu beharreko metodologia proposatu da. Honekin batera isurpenaren ebaluaketarako metodologia ere proposatu da.

Tesiaren ekarpen nagusiak ondorengo lerroetan laburtzen dira:

- Proposaturiko metodologiaren aplikazioekin lanean dagoen linea erreal bateko gezi txikiko eroalean trantsizio-tenperatura eta isurpenaren egiaztatu.
- Eroalearen trakzio-tenperatura portaera adierazteko eredu teorikoan eragin dezaketen errore guztiak aztertu dira eta erroreen kuantifikazioa egin da.
- Monitorizazioaren bidez eroalearen aurre zehazturiko portaera eta portaera errealearen arteko ezberdintasunak antzeman. Ezberdintasun

edo errore hauek DTK errore baliokide batekin adierazi. Eroale portaeran eragiten duten parametroen ziurgabetasuna kuantifikatuz. DTK errore baliokidea errore-adierazle gisa definitu da.

- Monitorizaturiko eroalearen gezi-trakzio portaeran eroalea dagoen euskarrien mugimenduaren edo zirkuitu kopuruak nola eragiten duen aztertzeko monitorizaturiko linea PLS-CADD programa erabiliz diseinatu da eta analisi ezberdinak egin dira.
- Errore edo ziurgabetasunak minimizatzeko jarraitu beharreko ekintzak definitu dira.
- Monitorizazioaren bidez eroalean gertatzen den isurpena neurtu da eta isurpen horrek eroalearen trakzio-tenperatura portaeran duen eragina aztertu da, horretarako isurpen ebaluaketarako proposatu den metodologia aplikatuz.
- Gap motako eroale batean portaera karakterizaziorako eroalearen DTK ebaluatu da, jakina da trantsizio-tenperatura azpitik DTK balioa eroalearen DTK izan behar dela eta neurturiko eta teorikoki kalkulaturiko balioen artean trantsizio-tenperatura gainetik nukleoaren izan behar dela. DTKren balioak fabrikatzaileak ematen dituenak dira. DTKren ebaluaketan eroalean gertatzen den DTK balio aldaketa ez dela tenperatura zehatz batean gertatzen ikusten da baizik eta tenperatura tarte batean. Hau da trantsizio-tenperatura barik "trantsizio-tenperatura tarte" ikusten da.
- Monitorizaturiko Gap motako eroale batean neurketa datuekin baliatuz eroalearen isurpena ebaluatu da.

Azkenik, tesi honen garapenean zehar lortutako emaitza batzuk argitaratu diren konferentzia eta aldizkariak aipatzen dira:

Albizu, I., Mazón, A. J., Fernández, E. and Bedialauneta, M, "Tension-temperature behaviour of an overhead conductor in operation" *IET Conference on Reliability of Transmission and Distribution Networks (RTDN 2011)*, pp. 1-5. London, 2011.

Albizu, I., Fernández, E., Mazón, A. J., Bedialauneta, M. and Sagastabeitia, K., "Overhead conductor monitoring system for the evaluation of the low sag behavior" *2011 IEEE Trondheim PowerTech*, pp. 1-6. Trondheim, 2011.

Bedialauneta, M. T., Albizu I., Fernández E., Mazón A. J. and De Arriba, S., "Monitoring the tension and the temperature in an overhead line". *2012 16th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference*, Yasmine Hammamet, 2012, pp. 245-248.

Bedialauneta, M. T., Fernández E., Albizu I., Mazón A. J., Valverde V. and Buigues G., "Pilot installation for the monitoring of the tension-temperature curve of a distribution overhead line". *2012 IEEE International Energy Conference and Exhibition (ENERGYCON)*, Florence, 2012, pp. 305-309.

Fernández E., Albizu I., Bedialauneta M. T., De Arriba S. and Mazón A. J., "System for ampacity monitoring and low sag overhead conductor evaluation". *2012 16th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference*, Yasmine Hammamet, 2012, pp. 237-240.

Bedialauneta, M. T., Fernández E., Albizu I. and Mazón A. J., "Comparison of the theoretical and the actual behavior of an overhead conductor in operation". *IEEE Power and Energy Society Conference and Exposition in Africa: Intelligent Grid Integration of Renewable Energy Resources (PowerAfrica)*, Johannesburg, 2012, pp. 1-7.

Fernández, E., Albizu I., Bedialauneta M. T., Mazón A. J. and Leite P. T., "Dynamic line rating systems for wind power integration". *IEEE Power and Energy Society Conference and Exposition in Africa: Intelligent Grid Integration of Renewable Energy Resources (PowerAfrica)*, Johannesburg, 2012, pp. 1-7.

Bedialauneta, M. T., Fernández E., Albizu I., Mazón A. J. and Sagastabeitia K. J., "Factors that affect the sag-tension model of an overhead conductor". *2013 IEEE Grenoble Conference*, Grenoble, 2013, pp. 1-6.

Fernández, E., Albizu, I., Bedialauneta, M. T., Mazón, A. J., and Leite, P. T., "Review of dynamic line rating systems for wind power integration". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016. 53, 80-92.

Ondorengo dokumentu biak ebaluaziorako bidalita daude adierazten diren aldizkarietara:

Bedialauneta, M. T., Albizu I., Fernández E., Mazón A. J., "The knee-point temperature detection in an overhead conductor in operation". *IEEE Transactions on Power Delivery*.

Fernández E., Albizu I., Bedialauneta, M. T., Mazón A. J. and Etxegarai, A., "Creep in a gap-type overhead conductor in operation". *IET Generation, Transmission & Distribution*.

5.2. ETORKIZUNEKO LANA

Ondorengo lerroetan ikerketa eremu honetan garatu daitezkeen etorkizuneko lanekin bat zenbait ideia sortu dira:

- Tesi honetan garatu diren ekintzak jarraituz beste linea bateko eroale baten monitorizazioa egin gap motako eroalea monitorizatuz eta horrela trakzio-tenperatura portaera aztertzeke beste datu batzuk neurtuz.
- Aurrekoarekin loturik beste eroale baten monitorizazioa egin baina tenperatura altuagoak jasaten dituen lineako eroalea hautatu eroalearen portaera tenperatura altuagotan aztertzeke.
- Gap motakoa ez den beste HTLS eroaleen monitorizazioa egin eroale mota ezberdinen trakzio-tenperatura portaera aztertzeke.

ERREFERENTZIAK

ERREFERENTZIAK

- [3Ma] 3M, "3M ACCR Estudio de Casos".Eskuragarri Web:
http://solutions.3m.com.br/wps/portal/3M/pt_BR/EMD_ACCR/ACCR_Home/CustomerInstall/ApplicationGuide/.
- [3Mb] 3M, "3M ACCR Instalaciones".Eskuragarri
Web:http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/EMD_ACCR/ACCR_Home/CustomerInstall/CustomerInstall/.
- [3Mc] 3M, "Field & Lab Tests.Test Subject".Eskuragarri
Web:http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/EMD_ACCR/ACCR_Home/TechnicalInfo/Tests/Subject/.
- [3M05] 3M, "The Composite Conductor".*IEEE TP & C Line Design Meeting*. Las Vegas,2005.
- [3M11] 3M, "3M Aluminum Conductor Composite Reinforced (ACCR). Technical Summary for Common Constructions and Sizes". 2011.
- [3M12] 3M, "ACCR".*CIGRE*. Chile, 2012.
- [3M14] 3M, "3M Aluminum Conductor Composite Reinforced (ACCR). High-capacity transmission conductor". 2014.
- [ABE15] Abebe, Y. M. and Rao, P. M., "Overhead transmission line sag, tension and length calculation using affine arithmetic". *2015 IEEE Power, Communication and Information Technology Conference (PCITC)*, Bhubaneswar,, pp. 211-216.2015.
- [ADA74] Adams, H.W., "Steel Supported Aluminum Conductors (SSAC) for Overhead Transmission Lines in Power Apparatus and Systems". *IEEE Transactions on* , vol.PAS-93, no.5, pp.1700-1705, Sept. 1974.
- [ADA84] Adam, J. F., Bradbury, J., Charman, W.R., Orawski, G., Vanner, M. J., "Overhead lines and some aspects of design and construction". *Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings C* , vol.131, no.5, pp.149,187, September 1984.

-
- [ADB15] ADB, Transcendergy, "Improving Grid Efficiency with High-Temperature Low-Sag (HTLS) Conductors". *Asia Clean Energy Forum. Deep Dive Workshop*. 2006.
- [ALA05] Alawar, A., Bosze, E.J., Nutt, Steven R., "A composite core conductor for low sag at high temperatures". *Power Delivery, IEEE Transactions on*, vol.20, no.3, pp.2193-2199. July 2005.
- [ALA06] Alawar, A., Bosze, E.J., Nutt, S.R., "A hybrid numerical method to calculate the sag of composite conductors". *Electric Power Systems Research*, vol 76, Issue 5, pp. 389-394. March 2006.
- [ALA07] Alawar, A., Bosze, E.J., Nutt, S.R., "High Temperature Strength and Creep of an Al Conductor with a Hybrid Composite Core". *The Sixteenth International Conference on Composite Materials*, Kyoto, Japan. 2007.
- [ALB09] Albizu I., Mazón A.J., Zamora I., "Flexible strain-tension calculation method for gap-type overhead conductors". *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 24, no. 3, pp. 1529-1537, 2009.
- [ALB10] Albizu, I., Mazón, A.J., Valverde, V., Buigues, G., "Aspects to take into account in the application of mechanical calculation to high-temperature low-sag conductors". *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 4, no. 5, pp. 631-640, 2010.
- [ALB11] Albizu, I., Mazón, A.J., Fernández, E., "A method for the sag-tension calculation in electrical overhead lines". *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, vol. 6, no. 3, pp. 1380-1389, 2011.
- [ALB11b] Albizu, I., Fernández, E., Mazón, A.J., Bengoechea, J., Torres, E., "Hardware and software architecture for overhead line rating monitoring". in *PowerTech, 2011 IEEE Trondheim*, pp.1-6, 19-23 June 2011.
- [ALB13] Albizu, I., Fernández, E., Eguia P., Torres E., Mazón, A.J., "Tension and ampacity monitoring system for overhead lines", *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 28, Iss.1, pp 3-10, 2013.

- [ALT] ALTHEN. "Tension Load Cell ATLC Series", ALTHEN GmbH Mess- und Sensortechnik.
- [AMP11] Ampacimon "How it works. Real time ampacity". 2011. Eskuragarri Web:<http://www.ampacimon.com/downloads/>.
- [AMP11b] Ampacimon "How it works. Real time sag". 2011. Eskuragarri Web:<http://www.ampacimon.com/downloads/>.
- [AMP12] Ampacimon Overhead Line Monitoring. Company presentation. 2012. Eskuragarri Web: <http://www.ampacimon.com/downloads/>.
- [AMP12b] Ampacimon Brouchure. 2012. Eskuragarri Web: <http://www.ampacimon.com/downloads/>.
- [ANG10] De Angeli Prodotti, "Bare Overhead Conductors". Eskuragarri Web:<http://www.deangeliprodotti.com>.
- [ARTE09] "Temperature and current measurement sensor for high voltage lines. SMT". *Technical Brochure, Artech*, 2009.
- [ASTMB802] ASTM Standard B802, "Zinc-5% Aluminum-Mischmetal Alloy-Coated Steel Core Wire for Aluminum Conductors, Steel Reinforced (ACSR)".
- [ASTMB803] ASTM Standard B803. "High-Strength Zinc-5% Aluminum-Mischmetal Alloy-Coated Steel Core Wire for Aluminum and Aluminum-Alloy Conductors, Steel Reinforced".
- [ASTMB856] ASTM Standard B856-13, "Standard specification for concentric-lay-stranded aluminum conductors, coated steel supported (ACSS)"
- [ASTMB857] ASTM Standard B857-14, "Standard specification for shaped wire compact concentric-lay-stranded aluminium conductors, coated steel supported (ACSS/TW)".
- [ASTROSEa] ASTROSE Data Sheet. Eskuragarri Web: <http://www.enas.fraunhofer.de/en/downloads.html#tabpanel-2>.

[ASTROSEb]ASTROSE system. Eskuragarri Web:

https://www.zfm.tu-chemnitz.de/research/mems-application/astrose_system.php.en.

[AUS06] Ausen, J., Fitzgerald, B.F., Gust, E.A., Lawry, D.C., Lazar, J.P., Oye, R.L., "Dynamic Thermal Rating System Relieves Transmission Constraint". *Transmission & Distribution Construction, Operation and Live-Line Maintenance, 2006. ESMO 2006. IEEE 11th International Conference on*. 2006.

[AVISTAR]Avistar Inc. Span Sentry. Dynamic Line Rating System Eskuragarri Web:<http://www.avistarinc.com/products/span-sentry>.

[BAK05] Baker,G. "ACSS reconductoring solution".*IEEE TP & C Line Design Meeting, Las Vegas, 2005*.

[BER11] Bernardo, R., Coelho, A., Diogo, N. "Increasing the operation efficiency of EDP distribuiçao overhead power lines".*CIREN 21st International Conference on Electricity Distribution Frankfurt*. 2011.

[BERG13] Bergstrom, A., Axelsson, U., Neimane, V., "Dynamic capacity rating for wind cooled overhead lines". *Electricity Distribution (CIREN 2013), 22nd International Conference and Exhibition on*, pp.1-4, 2013.

[BERN07] Bernauer, C., Böhme, H., Grossmann, S., et al."Temperature measurement on overhead transmission lines (OHTL) utilizing surface acoustic wave (SAW) sensors". *Proc. Int. Conf. on Electricity Distribution CIREN, Vienna, Austria, 2007*.

[BERY15] Beryozkina, S. and Sauhats, A. "Research and simulation of overhead power line uprating using advanced conductors". *Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), 2015 56th International Scientific Conference on, Riga*, pp. 1-4. 2015.

- [BLA10] Black, J., Colandairaj, J., Connor, S., O'Sullivan, B., "Equipment and methodology for the planning and implementation of dynamic line ratings on overhead transmission circuits". *Modern Electric Power Systems (MEPS), 2010 Proceedings of the International Symposium*, pp.1-6. 2010.
- [BLA15] Black, C. R., Chisholm W. A., "Key Considerations for the Selection of Dynamic Thermal Line Rating Systems". *Power Delivery, IEEE Transactions on*, vol. 30, no. 5, pp. 2154-2162, Oct. 2015.
- [BOH09] Böhme, H., Gao, Z., Kornhuber, S., Markalous, S., Pfandl, W., Strehl, T., "Overhead line temperature monitoring by using SAW sensor technology". *Proceedings of the 16th International Symposium on High Voltage Engineering 2009 SAIEE*, Innes House, Johannesburg. 2009.
- [BRY06] Bryant, D. "ACCC Update". *IEEE Winter Meeting*, 2006.
- [BRY07] Bryant, D. "ACCC conductor update". *IEEE TP & C Line Design Meeting*, Orlando-USA. 2007.
- [CAM15] Cambri Glenmar E. "3M ACCR. More Amps . More Confidence". *Asia Clean Energy Forum Grid Efficiency with HTLS Conductors*, Manila, Philippines. 2015.
- [CAR14] Cardenas, J., Canales, M., Martinez, A., Menendez, D., Mikhael, G., "Experiences using Intelligent Line Monitoring System (ILSM) and distributed fault detection base don synchrophasors". *CIGRE, 11th Symposium on Power System Management Opatija*, 2014.
- [CAT-1] CAT-1 System Brouchure. Eskuragarri Web:
http://www.nexans.us/eservice/US-en_US/navigate_206113/Dynamic_Line_Ratings.html.
- [CHA14] Chandrpal S., "Power Donuts in Overhead Lines for Dynamic Thermal Rating Measurement, Prediction and Electric Power Line Monitoring". *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineerin*, vol. 3, Issue 5, May 2014.

- [CIG244] "Conductors for the Uprating of Overhead Lines". *CIGRÉ B2-12 Brochure* (Ref. No.244), 2004.
- [CIG324] "Sag-tension calculation methods for overhead lines". *CIGRÉ Brochure 324*, 2007.
- [CIG331] "Considerations relating to the use of high temperature conductors". *CIGRÉ B2-03, B2-11, B2-12 Brochure* (Ref. No. 331), 2007.
- [CIG353] "Guidelines for increased utilization of existing overhead transmission lines". *CIGRÉ Brochure 353*. 2008.
- [CIG425] "Increasing Capacity of Overhead Transmission Lines - Needs and Solutions". *CIGRÉ Brochure 425*. 2010.
- [CIG426] "Guide for qualifying high temperature conductors for use on overhead transmission lines". *CIGRE Brochure 426*, 2010.
- [CIG498] "Guide for Application of Direct Real-Time Monitoring Systems". *CIGRE B2-36, Brochure 498*, 2012.
- [CIG498b] "Guide for Application of Direct Real-Time Monitoring Systems". *CIGRE B2-36, Presentation*.
- [CLA08] Clairmont B., "High-temperature low-sag transmission conductors". *EPRI2008*.
- [CLO10] Cloet, E., Lilien, J.-L., "Uprating Transmission Lines through the use of an innovative real-time monitoring system". *Transmission and Distribution Construction, Operation and Live-Line Maintenance (ESMO), 2011 IEEE PES 12th International Conference on*, pp.1-6, 16-19 May 2011.
- [CLO11] Cloet, E., Dos Santos, J.-L., "TSOs Advance Dynamic Rating A revolutionary line monitoring system is having a positive impact on Belgian and French transmission systems". *Transmission and Distribution World*. 2011.

- [CTC08] CTC Cable Corporation, "Una introducción a la Nueva Tecnología de los Conductores Compuestos de Fibra de Carbono y el uso de los Conductores ACCC para reducir pérdidas y aumentar el rendimiento". *CIGRE*, Santiago, 2008.
- [CTC10] CTC Cable Corporation, "High Capacity/Low Sag Conductor for the Power Industry". 2010. Eskuragarri Web:
<http://wyia.org/wp-content/uploads/2010/11/pat-avery.pdf>.
- [CTC11] CTC GLOBAL, "Engineering Transmission Lines with High Capacity Low Sag ACCC Conductors". *CTC Global* 2026 McGaw Avenue Irvine, CA 92614 USA. 2011.
- [CUS06] Custer L., 'DOE-3M demonstration project'. *Proc. IEEE TP & C Line Design Meeting*, Albuquerque, USA, 2006.
- [DAC03] Daconti, J.R., Lawry, D.C., "Increasing power transfer capability of existing transmission lines". *Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2003 IEEE PES*, vol.3, pp.1004-1009, 7-12 Sept. 2003.
- [DIV10] Divan, D. M., Harley, R.G., Habeteler, T.G. "NSF PROJECT ECS-0601423: Power Line Sensor Nets for Enhancing Line Reliability and Utilization". FOURTH AND FINAL PROGRESS REPORT: April 2010. Eskuragarri Web:
https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/40053/102238_Fourth_and_final_NSF_Report_May_24_v4.pdf?sequence=1.
- [DON15] Dong, X., "Analytic Method to Calculate and Characterize the Sag Tension of Overhead Lines". *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. PP, no.99, pp.1-1, 2015.
- [DOU04] Douglas, D., "Practical Application of High Temperature Low Sag (HTLS) Transmission Conductor". 2004.
- [DOU13] Douglas, D., Springer, P., "Sag-tension Calculations. A CIGRE Tutorial Based on Technical Brouchure 324". January 2013.

-
- [DOU16] Douglass, D., et al., "Real-Time Overhead Transmission Line Monitoring for Dynamic Rating". *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 31, no. 3, pp. 921-927. June 2016.
- [DWI26] Dwight, H.B., "Sag calculations for transmission lines". *A.I.E.E., Journal of the* , vol.45, no.6, pp.564,568. June 1926.
- [EDM14] EDM International Inc. "Span Sentry product sheet". 2014. Eskuragarri web:
<http://www.edmlink.com/images/documents/Products/SpanSentry-product-sheet-Jan2014web.pdf>.
- [EHR35] Ehrenburg, D. O., "Transmission Line Catenary Calculations". American Institute of Electrical Engineers, Transactions of the , vol.54, no.7, pp.719,728, July 1935.
- [EMO] EMO presentation. Eskuragarri Web:
http://www.ohtlgrid.com/en/downloads/p_emo.pdf
- [EN50182] EN 50182, "Aireko linea elektrikoetarako eroaleak. Geruza zentrokideetan kableatutako alanbre biribilez osatutako eroaleak", 2002.
- [EN50540] EN 50540: "Conductors for overhead lines - Aluminium Conductors Steel Supported (ACSS)". 2010.
- [ENG96] Engelhardt, J.S., Basu, S.P., "Design, installation, and field experience with an overhead transmission dynamic line rating system". *Transmission and Distribution Conference*, 1996. Proceedings., 1996 IEEE , pp.366,370, 15-20 Sep 1996.
- [ENT15] ENTSOE, "Dinamic Line Rating for overhead lines-V6", CE TSOs current practice, 2015.
- [EON11] Registered Power Zone at Skegness. 2011.Eskuragarri web:
http://www.eonuk.com/downloads/RPZ_at_Skegness.pdf.
- [EPRI01] EPRI "Video Sagometer Application Guide" 2001.

-
- [EPRI08] EPRI "Demonstration of Advanced Conductors for Overhead Transmission Lines" . 2008.
- [ETC99] Electrical Technical Committee of The Aluminum Association "A method of stress-strain testing of aluminum conductor and a test for determining the long time tensile creep of aluminum conductors in overhead lines". 1999.
- [FIS12] Fish L. "Power Donut Systems for Overhead Electric Power Line Monitoring" USi, 2012.. Eskuragarri Web:
<http://www.usi-power.com/Products%20&%20Services/Donut/donut.htm>.
- [FIL94] Filipovic-Gledja, V., Morgan, V. T. and Findlay,R. D. "A unified model for predicting the electrical, mechanical and thermal characteristics of stranded overhead-line conductors".*Electrical and Computer Engineering, 1994. Conference Proceedings. 1994 Canadian Conference on*, Halifax, NS, , pp. 182-185 vol.1.1994.
- [GAB10] Gabrovšek, M. and Lovrencic,V. "Temperature monitoring of overhead lines (OHL) is Smart Grid solution for power grid", *Conferinta Retele Energetic Inteligente, Smart Grid, SIBIU*, 21 – 23 September, 2010.
- [GAB11] Gabrošek,M. , Kovac, M., Lovrencic,V., Kosma, J., Lakota Jericek,G., Souvent, A. "Dynamic Thermal Line Rating in Slovenia", *CIGRE International Conference on Condition Monitoring, Diagnosis and Maintenance–CMDM*. Romania 2011.
- [GAL09] Gal, S.A., Oltean, M.N., Rodean, I., Opincaru, M., Brabete, L.,"Live-line installation of the RITHERM system used for on-line monitoring of OHL conductor temperature". *The 7th International Power System Conference* . 2009.

-
- [GAL11] Gal, S.A., Oltean, M.N., Brabete, L., Rodean, I., Opincaru, M., "On-line monitoring of OHL conductor temperature; live-line installation". *Transmission and Distribution Construction, Operation and Live-Line Maintenance (ESMO), 2011 IEEE PES 12th International Conference on* , pp.1-6, 16-19 May 2011.
- [GAL11b] Gal, S.A., Oltean, M.N., Fagarasan, T., Opincaru, M., "On-line monitoring of OHL conductor temperature; live-line installation of the RITHERM System". *CITTES Argentina*, 2011.
- [GEL15] General Electric "Multilin Intelligent Lyne Monitoring System" *Brochure*. 2015.
- [GOE05] Goel A., 'Hydro One Networks', *Proc. IEEE TP & C Line Design Meeting*, Las Vegas, USA, 2005.
- [GOO13] Goodwin, T. et al., "Dynamic Line Rating, Oncor Electric Delivery Smart Grid Program", *Report for Contract DE-OE0000320*, 544 pp., Aug. 2013.
- [HAL08] Halverson, P.G., Syracuse, S.J., Clark, R., Tesche, F.M.: "Non-contact sensor system for real-time high-accuracy monitoring of overhead transmission lines". *Proc. Int. Conf. on Overhead Lines – Design, Construction, Inspection, and Maintenance*, Fort Collins, USA, 2008.
- [HAL08b] Halverson, P.G., Syracuse, S.J., Clark, R., Tesche, F.M.: "Non-contact sensor system for real-time high-accuracy monitoring of overhead transmission lines". *Proc. Int. Conf. on Overhead Lines – Design, Construction, Inspection, and Maintenance*, Fort Collins, USA, 2008.
- [HAL08d] Halverson, P.G., Syracuse, S.J., Charles V. Barlow.: "Non-Contact/Invasive Sensor System for Real-time Transmission Line Monitoring & Optimization". *Distributech Conference & Exhibition*, 2008.
- [HAR53] Harley, Theodore P., "A Direct Method for Sag-Tension Calculations [includes discussion]". *Power Apparatus and Systems, Part III. Transactions of the American Institute of Electrical Engineers* , vol.72, no.2. Jan. 1953.

-
- [HAR69] Harvey, J. R. "Creep of Transmission Line Conductors". in *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-88, no. 4, pp. 281-286, April 1969.
- [HER14] Hernando, A., Hernando, A., Gallego, R.A. "Metodología de solución para planeamiento de la transmisión considerando incertidumbre en la demanda y propuestas de diferentes conductores" *Revista EIA*, ISSN 1794-1237 / Año XI / Volumen 11 / Edición N. 21 / pp. 99-112. Publicación semestral de carácter técnico-científico / Escuela de Ingeniería de Antioquia —EIA—, Envigado (Colombia). Enero-junio 2014.
- [HIL13] Hill, T. " Experience and Benefits of using High Temperature Low-Sag (HTLS) Overhead Conductors". *24th AMEU Technical Convention*. 2013.
- [HITACHI CABLE] Hitachi Cable "High-Temperature Low Sag (HTLS) conductors for easy Upgrading of Overhead Transmission Lines".
- [HOF05] Hoffmann, S. "The "Matthew" GZTACSR ("Gap-Type") Conductor". *IEEE TP&C Panel Session Las Vegas*, 1st February 2005.
- [HUN06] Hunt, J., Barrett, S. "High capacity, low sag". *Transmission & Distribution World*, December 2006.
- [IEC 61597] IEC 61597: "Overhead electrical conductors - Calculation methods for stranded bare conductors". 1995.
- [IEC 62420] IEC 62420: "Concentric lay stranded overhead electrical conductors containing one or more gap(s)". 2008.
- [IEC 1597] IEC 1597, "Overhead Electrical Conductors Calculation Methods for Stranded Bare Conductors". 1995.
- [IEEE09] IEEE, "IEEE Guide for qualifying high temperature conductors for use on overhead transmission lines". *Draft 5.1*, 2009.

-
- [IEE] IEEE, "Transmission Line Uprating Definitios".*Definitions & References*. IEEE TP&C Line Design. Eskuragarri Web orria: http://www.ieee-tpc.org/def_ref.htm.
- [IOR01] Iordanescu, M., Tarnowski, J., Ratel, G. and Desbiens, R. "General model for sag-tension calculation of composite conductors".*Power Tech Proceedings, 2001 IEEE Porto, Porto*, pp. 4 . vol.4.2001.
- [IRM14] Irminger, P., Starke, M.M.R., Dimitrovski, A., Young, M., Rizy, D.T., Stovall, J., Overholt, P., "A testing platform for validation of overhead conductor aging models and understanding thermal limits". In *PES General Meeting | Conference & Exposition, 2014 IEEE*, pp.1-5, 27-31 July 2014.
- [IRM14b] Irminger, P., "Powerline Conductor Accelerated Testing (PCAT)". 2014 Eskuragarri Web orria: <http://energy.gov/sites/prod/files/2014/09/f18/20-2014TR-PeerReview-Irminger.pdf>.
- [IRM15] Irminger, P., "Powerline Conductor Accelerated Testing (PCAT)". 2015 Eskuragarri Web orria: <http://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/07/f24/24.%20Irminger%20PCAT%20Baseline.pdf>.
- [ISH03] Ishihara, H., Okada, H., Shinoda, A., Nagano, K., Shimada, N., "Development of new type up-rating conductors with low sag". In *Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2003 IEEE PES* , pp.892-897 vol.3, 7-12 Sept. 2003.
- [JPO05] J-Power Systems Corporation. "GTACSR GZTACSR". Katalogoa.EskuragarriWeb orria: http://www.jpowers.co.jp/english/product/pdf/gap_c1.pdf.
- [JPO15] J-Power Systems Corporation. "Introduction of High Temperature Low Sag Conductor-Proyects installed in Vietnam".*Asia Clean Energy Forum Grid Efficiency with HTLS Conductors*.Manila, Philippines. 2015.
- [KIE03] Kiessling, F., Nefzger, P., Nolasco, J.F., Kaintzyk,U. "Overhead Power Lines: Planning, Design, Construction", Springer, 2003.

- [KIK01] Kikuchi, A., Yonezawa, K. "Application of gap conductor and other special conductors for uprating". *Power Engineering Society Summer Meeting, 2001. IEEE*, vol.1, pp.180-181, 2001.
- [KOP10] Kopsidas, K., Rowland, S.M., Baharom, M.N.R., Cotton, I. "Power transfer capacity improvements of existing overhead line systems". *Electrical Insulation (ISEI), Conference Record of the 2010 IEEE International Symposium on*, pp.1-5, 6-9 June 2010.
- [KUP10] Kupke S., "Pilot project - High temperature low sag conductors". *Proc. CIGRE WG B2.42, Stockholm, Sweden, 2010*.
- [KUR13] Kurth S. "ASTROSE- Autarkes Sensornetzwerk zum Monitoring in der Energietechnik". *Öffentliches Statusmeeting*. Für Projekte im Bereich der Mensch-Technik-Interaktion mit Fokus auf energieautarken, mobilen, vernetzten, nachhaltigen und nutzerorientierten Systemlösungen. Berlin 2013.
- [LAM] Lamifil "APPLICATION CASE. The improved gap conductor – GZTACSR". Eskuragarri Web orria: http://lamifil.be/wp-content/uploads/2011/05/GZTACSR_NG.pdf.
- [LAN51] Landau, M. "Incremental Method for Sag-Tension Calculations". *American Institute of Electrical Engineers, Transactions of the*, vol.70, no.2, pp.1564-1571, July 1951.
- [LAND07] Landeira, M., Morentin, P., Mazón, A.J., Albizu, I. "The high temperature cable solution for electrical overhead distribution lines", *DYNA*, vol. 82, no. 5, pp. 226-230, 2007.
- [LIN14a] LINDSEY Manufacturing, "Real Time Transmission Line Conductor Monitor". *Publication number 11F-001 TLM*. Revised December 2014.
- [LIN14b] LINDSEY Manufacturing, "Reliability-Based Dynamic Line Rating System". 2014.
- [LIN14c] www.lindsey-usa.com.

- [LOV15] Lovrencic , V., Gabrovsek,M. Kovac, M., Gubeljak,N., Sojat, Z., Klobas, Z. "The contribution of conductor temperatura and sag monitoring to increased ampacitiesof overhead lines (OHLs)". *DEMSEE'15 10th International Conference on Deregulated Electricity Market Issues in South Eastern Europe*. 24-25 . Budapest, Hungary.September 2015.
- [LSC06] LS Cable. "High Temperature and Low Sag Aluminum Alloy Conductor"2006.
- [LSC] LS Cable"Welcome to HTLS Conductor" Web orria eskuragarri: <http://www.ohmtekmin.com/nuevo/documento/HTLSC%20STACIR.pdf>.
- [LUM55] Lummis, J., Fischer, H. D., "Practical design of transmission line tensions". *Electrical Engineering* , vol.74, no.1, pp.39,39. 1955.
- [MAM15] Mamala, A., Knych, T., Smyrak, B., Kwasniewski, P., Kiesiewicz, G., Jablonski, M. and Sciezor,W. "An analytical model for the high temperature low sag conductor knee point determination", *Key Engineering Materials*, vol. 641, pp 173-180, 2015.
- [MAD13] Madrazo, A., Gonzalez, A., Martínez, R.,Mañana, M., Hervás, E., Arroyo,A., Castro, PB. and Silió,D. "Increasing Grid Integration of Wind Energy by using Ampacity Techniques".*International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICERPO '13)*, No. 11, March 2013.
- [McCU06] McCullough, C. "Update on ACCR conductor".*IEEE TP & C Line Design Meeting*, Albuquerque-USA.2006.
- [McCU10] McCullough, C. "3M Compsite Conductor. Coefficient of Thermal Expansion for 477-T16 ACCR". 2010.
- [McD90] McDonald, B., Peyrot, A. "Sag-Tension Calculations Valid for Any Line Geometry". *Journal of Structural Engineering* 116(9). 1990.
- [METAL-LINK]METAL-LINK "ACSS/TW-HMS State-of-the-art HTLS Conductor". Web orria eskuragarri: <http://www.codeasa.com/Presentacion-METAL-LINK.pdf>.

- [MIC09] Case study MICCA by Microtronics. Eskuragarri Web orria: http://www.microtronics.at/downloads/referenzen/referenz_micca_en.pdf.
- [MICH11] Michiorri, A., Currie, R., Taylor, P., Watson, F., Macleman, D. "Dynamic Line Ratings Deployment On The Orkney Smart Grid". *CIREN 21st International Conference On The Orkney Smart Grid*, Paper 1245, Frankfurt 6-9 June, 2011.
- [MOG09] Moghe, R., Yi Yang, Lambert, F., Divan, D., "A scoping study of electric and magnetic field energy harvesting for wireless sensor networks in power system applications". *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), IEEE*, pp.3550-3557, 20-24 Sept. 2009.
- [MOG10] Moghe, R., Yi Yang, Lambert, F., Divan, D., "Design of a low cost self powered "Stick-on" current and temperature wireless sensor for utility assets". *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2010 IEEE*, pp.4453-4460, 12-16 Sept. 2010.
- [MOG12] Moghe, R., Lambert, F., Divan, D., "A Novel Low-Cost Smart Current Sensor for Utility Conductors". *Smart Grid, IEEE Transactions on*, vol.3, no.2, pp.653-663, June 2012.
- [MORE04] Moreno, J. "Cálculo de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión", Málaga, 2004.
- [MOT99] Motlis, Y. et al, "Limitation of the ruling span method for overhead line conductors at high operating temperatures". *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 14, no. 2, pp. 549-560, 1999.
- [MUH08] Muhr, M., Pack, S., Jaufer, S., "Usage and Benefit of an Overhead Line Monitoring System". *High Voltage Engineering and Application, 2008. ICHVE 2008. International Conference on*, pp.557,561, 9-12. Nov. 2008.
- [MUS11] Musavi, M., Chamberlain, D., Qi Li, "Overhead conductor dynamic thermal rating measurement and prediction". *Smart Measurements for Future Grids (SMFG), 2011 IEEE International Conference on*, pp.135-138. 2011.

- [NAS45] Nash, John F., "Sag and Tension Calculations for Cable and Wire Spans Using Catenary Formulas". *American Institute of Electrical Engineers, Transactions of the* , vol.64, no.10, pp.685,692, Oct. 1945.
- [NAS04] Nascimento, C.A.M., Brito, J.M.C., Filho, E.B.G., Braga, G.E., Miranda, G.C., Bracarense, A.Q., Ueda, S., "The state of the art for increased overhead line ampacity utilizing new technologies and statistical criteria". *Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America, 2004 IEEE/PES* , pp.464,469, 8-11 Nov. 2004.
- [NIG81] Nigol, O. and Barrett, J. S. "Characteristics of ACSR Conductors at High Temperatures and Stresses" *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-100, no. 2, pp. 485-493, Feb. 1981.
- [NIS10] Nishikawa, T., Takaki, Y., Sanai, M., Kitamura, S., Nakama, K. and Kariya, T., "Development of High Strength Invar Alloy Wire for High Voltage Overhead Power Transmission Line" *SEI Technical Review* number 71. october 2010.
- [O'NEI09] O'Neill, D., "3M Composite Conductor 336_T16 ACCR Stress-Strain Test". 2009.
- [ORE07] Oreschnick, P. "Dynamic Rating Allows More Wind Generation". *TD World Magazine*. 2007. Web orria eskuragarri: <http://tdworld.com/substations/dynamic-rating-allows-more-wind-generation>.
- [ORNL14] ORNL, "Outdoor Powerline Conductor Accelerated Testing (PCAT)". 2014 Web orria eskuragarri: <http://web.ornl.gov/sci/renewables/docs/factsheets/PCAT-factsheet.pdf>.
- [OTLMa] OTLM device. Eskuragarri web orria: www.otlm.eu.
- [OTLMb] OTLM brochure. 2014.
- [PAR05] Park, S.Y. "Reconductoring case study using STACIR conductor", *IEEE TP & C Line Design Meeting*, Las Vegas, 2005.

- [PCAT] "Powerline Conductor Accelerated Testing facility (PCAT) at Oak Ridge National Laboratory". Eskuragarri web orria <http://web.ornl.gov/sci/oetd/facilities.htm>.
- [PEA09] Peabody, A. "Evolution of Real-time Monitoring and its Future Benefits". *IWAIS XIII, Andermatt*, 2009.
- [PHI11] Phillips, A. "Evaluation of Instrumentation and Dynamic Thermal Ratings for Overhead Lines". *Interim Report*, August 2011.
- [PIRO14] Pirovano, G., Mazzarella, F., Posati, A., Piccinin, A., Scarietto, S. "Creep behaviour of High Temperature Low Sag conductors". B2-302, *CIGRE* 2014.
- [PLS-CADD] PLS-CADD – Version 12.3 Power Line Systems, Inc. 2012.
- [POL14] Polevoy, A., "Impact of Data Errors on Sag Calculation Accuracy for Overhead Transmission Line". *Power Delivery, IEEE Transactions on*, vol.29, no.5, pp.2040,2045, 2014.
- [PON05a] Pon, C.J. "KINELECTRICS NORTH AMERICA INC. Test Report for 3M Company to determine the sag-temperatura-tensión performance of 774 KCMIL 3M composite conductor". 2005.
- [PUF12] Puffer, R., Schmale, M., Rusek, B., Neumann, C., Scheufen, M. "Area-wide dynamic line ratings based on weather measurements". *CIGRE session 2012*, August 26 to 31, Paris, France. 2012.
- [PYT11] Pytlak, P., Musilek, P., Lozowski, E., Toth, J. "Modelling precipitation cooling of overhead conductors". *Electric Power Systems Research*, Volume 81, Issue 12, Pages 2147-2154. December 2011.
- [RAN00] Raniga, J.K., Rayudu, R.K., "Dynamic rating of transmission lines-a New Zealand experience". *Power Engineering Society Winter Meeting*, 2000. *IEEE*, vol.4, pp.2403-2409, 2000.
- [RAW99] Rawlins, C. B. "Some effects of mill practice on the stress strain behavior of ACSR". *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 14, no. 2, pp. 602-629, Apr 1999.

- [RIB07] RIBE: RITHERM "Temperature Monitoring and Load Optimization on Overhead Transmission Lines" *Technical Sheets*.
- [RIN15] Rinaeldi, D. "Field Experiences of Installation ACCC Conductors: a growing part of capacity expansion and reliability at PLN" Asia Clean Energy Forum Grid Efficiency with HTLS Conductors ,Manila, Philippines. 2015.
- [ROD12] Rodean, I., Morar, D. "Temperature measurements to OHTL from TPG". *Journal of sustainable Energy* . vol. 3, no. 1, march, 2012.
- [SAK81] Sakabe, S., Mori, N., Sato, K., Miyake, Y., Tanaka, A., "Development of Extremely-Low-Sag Invar Reinforced ACSR (XTACIR)". *Power Apparatus and Systems, IEEE Transactions on*, vol.PAS-100, no.4, pp.1505-1511, April 1981.
- [SAN13] Sanna Uski-Joutsenvuo, Riku Pasonen, "Maximising power line transmission capability by employing dynamic line ratings – technical survey and applicability in Finland. Research Report. 2013. Eskuragarri web:
<http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2013/VTT-R-01604-13.pdf>
- [SAS85] Sasaki, S., Takebe, T., Miyazaki, K., Yokota, M., Sato, K., Yoshida, S.,Matsubara, I. "ZTACIR New Extra-Heat Resistant Galvanized Invar-Reinforced Aluminum Alloy Conductor". *Sumitomo Electric Technical Review*, 24, 117-123.1985.
- [SCH12] Schell, P., Lambin, J-J., Godard, B., Nguyen, H-M., Lilien. J-L. "Using Dynamic Line Rating to minimize curtailment of Wind power connected to rural power networks". 2012. Eskuragarri web:
<http://www.ampacimon.com>.
- [SEP94] Seppa,T.O. "Factors influencing the accuracy of high temperature sag calculations". *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 9, no. 2, April 1994.
- [SEP02] Seppa, T.O. "Increasing transmission capacity by real time monitoring".*IEEE PES Winter Meeting*, pp. 1208-11, 2002.

-
- [SEP04] Seppa, T.O. "Variability of Conductor Temperature in a Two Span Test Line ". *Document for CIGRE TF 12-6 (B2)*, October 21, 2004.
- [SEP05] Seppa, T.O. "Variability of Conductor Temperature in a Two Span High Temperature Test Line at ORNL". 2005.
- [SEP10] Seppa, T. "Error Sources of Real-Time Ratings Based on Conductor Temperature Measurements and". *Report to CIGRE WG B2.36 (Guide on Direct Real Time Rating Systems)* Stockholm, Sweden, May 20-21, 2010.
- [SIB16] Sibilant, G.C., Davidson, L.E., Stephen, R.G., Douglass, D.A. "Introduction to ACSR conductor sag at high temperature". *CIGRE-IEC Colloquium*, Montreal, QC, Canada, May 9-11, 2016.
- [SMT] ARTECHE "Sensor de Medida de Temperatura y Corriente en Líneas de A.T." Mungia EAHSA ARTECHE. 2009.
- [SOU08] Southwire, "SAG10 User Manual 3.10". *Southwire Company*. 2008.
- [SOU13] Southwire, "SAG10 User Manual 4.0". *Southwire Company*. 2013.
- [SPR02] Springer, P. "477 kcmil, 3M Brand Composite Conductor Mechanical Properties, Volume 1 Tensile and Stress-Strain Tests". 2002.
- [SPR03a] Springer, P. "477 kcmil, 3M Brand Composite Conductor Stress-Strain Tests on Oak Ridge Test Line Sample". 2003.
- [SPR03b] Springer, P. "1272 kcmil, 3M Brand Composite Conductor Tensile Tests Stress-Strain Tests". 2003.
- [SPR03c] Springer, P. "596TW Type 13, 3M Brand Composite Conductor Stress-strain, Tensile, and Resistance". 2003.
- [SPR10] Springer, P.. "3M 300 kcmil, Type 16 ACCR Conductor Stress Strain and Tensile Tests". *NEETRAC Project Number: 06-162, Rev. 1*. 2010.

- [SRI15] SrikrushnaS. Navlakhe. " Upgradationof 132kV Transmission Line using HTLS Conductors to increase the load transfer capacity". *Asia Clean Energy Forum Grid Efficiency with HTLS Conductors*. Manila, Philippines. 2015.
- [STE01] Stephen, R. et al. "Real time monitoring". *ELECTRA*, no. 197, pp. 35-47,2001.
- [STERLITE12] STERLITE "Presentation on HTLS".2012.
- [SYR09] Steven J. Syracuse, Roy Clark, Peter G. Halverson, Frederick M. Tesche, Charles V. Barlow "Sensor, Method and System of Monitoring Transmission Lines".*United States Patent Application Publication*, application number US20090284249. 2009.
- [SYR10] Steven J. Syracuse, "Transmission Line Rating Report: Results, Conclusions, Implications, and Data-Driven Recommendations". 2010. Eskuragarri web:
http://www.physicalgrid.com/pdf/case_study/Promethean_Devices_Case_Study_Summer_Peak_2009_R_102010.pdf.
- [TDW13] Advanced Technologies in Line Monitoring. T&D World Magazine. 2013. Web orria eskuragarri:
http://tdworld.com/transmission/advanced-technologies-line-monitoring#slide-0-field_images-36171.
- [THERMALRATE] ThermalRate Brochure. Eskuragarri web:
http://www.pike.com/Docs/ThermalRate_Brochure.pdf.
- [THR99] Thrash, F.R., "ACSS/TW – An Improved Conductor for Upgrading ExistingLines or New Construction". 1999
- [THR06] Thrash, F.R., "ACSS". *IEEE TP & C Line Design Meeting*, Albuquerque-USA. 2006.
- [TLO13] Tlotlollo, S. H.,Shengzhi, D. "Real Time Monitoring Of High Voltage Transmission Line Conductor Sag: The State-of-The-Art". *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*. ISSN: 2249 –8958,vol. 3, Issue-1, October 2013.

- [TOA05] Team of Ampacimon "Overhead power lines real time monitoring: a future trend?". *Revue E tijdschrift-121 eme annee/121ste jaargang-n°4-2005*.
- [TREa] TREFINASA, SAPREM, "Conductores de baja flecha". Eskuragarri
web: <http://www.saprem.com/menu.html>.
- [TREb] TREFINASA, SAPREM, "Low Sag Conductors".
- [TRE08] TREFINASA, SAPREM, "Conductores de baja flecha". 2008.
- [UNE61395] UNE-EN 61395, "Aireko linea elektrikoetarako eroaleak. Txirikordaturiko eroaleen isurpen saiakuntza egiteko prozedurak". 1999.
- [VAL] The Valley Group, "CAT-1 Transmission Line Monitoring System". Eskuragarri
Web: http://www.nexans.us/US/2008/CAT-1_Brochure_1.pdf.
- [VAR27] Varney, T., "ACSR graphic method for sag-tension calculations". *Aluminium Company of America, Pittsburgh-USA, 1927*.
- [VOI14] Voigt S., Kurth S., "ASTROSE - Autonomous sensor network for condition monitoring of power lines". Kazan, 2014.
- [WAN08] Wang, J.J.-A., Lara-Curzio, E., King, T., Graziano, J., Chan, J., "The Integrity of ACSR Full Tension Splice Connector at Higher Operation Temperature". *Power Delivery, IEEE Transactions on*, vol.23, no.2, pp.1158-1165, April 2008.
- [WAR11] Wareing B., "Types and Uses of High Temperature Conductors". *Power Delivery, Cigré AG06 Seminar Bangkok 2011*.
- [WEI06] Weibel M. Imhof K, Sattinger W., Steinegger U., Zima M., Biedenbach G., "Overhead Line Temperature Monitoring Pilot Project". *The CIGRÉ Biennial Session B2-311*. Paris, August 2006.
- [YI06] Yi Yang, Divan, D., Harley, R.G., Habetler, T.G., "Power line sensornet - a new concept for power grid monitoring". *Power Engineering Society General Meeting, 2006. IEEE*, pp.8. 2006.

- [YI09] Yi Yang, Divan, D., Harley, R.G., Habetler, T.G., "Design and implementation of power line sensor net for overhead transmission lines". *Power & Energy Society General Meeting, 2009. PES '09. IEEE*, pp.1,8, 26-30 July 2009.
- [YI09b] Yi Yang, Divan, D., Harley, R.G., Habetler, T.G., "Design and implementation of power line sensor net for overhead transmission lines". *Management of Existing Overhead Lines WG Meeting Calgary, Alberta, Canada. July 29. 2009.*
- [YON05] Yonezawa, K. Kinoshita, K., "Gap type conductor". *IEEE TP & C Line Design Meeting, Las Vegas-USA. 2005.*