

Temperatura altuko eta gezi txikiko eroaleen gezi-temperatura erlazioa

Igor Albizu, A. Javier Mazon, Elvira Fernandez, Miren T. Bedialauneta

Ingeniaritza Elektrikoa Saila (UPV/EHU)

Laburpena: Aireko lineen eroalea temperatura altuko eta gezi txikiko eroale baten ordez jartzen bada, lineak eraman dezakeen potentzia elektrikoa handiagotu egiten da. Lorturiko handitzea eroalearen araberakoa da. Artikulu honetan, temperatura altuko eta gezi txikiko eroaleen portaera mekaniko eta termikoa azaldu eta aztertuko dira. Azterketak kontuan hartzen ditu eroaleen ezaugarriak eta bere gezi-temperatura erlazioan eragiten duten zenbait faktore: instalazio prozesuan garaturiko isurpena eta temperatura altuko isurpena.

Hitz gakoak: aireko linea elektrikoak, temperatura altuko eta gezi txikiko eroaleak, gezi-temperatura erlazioa, kalkulu mekanikoa.

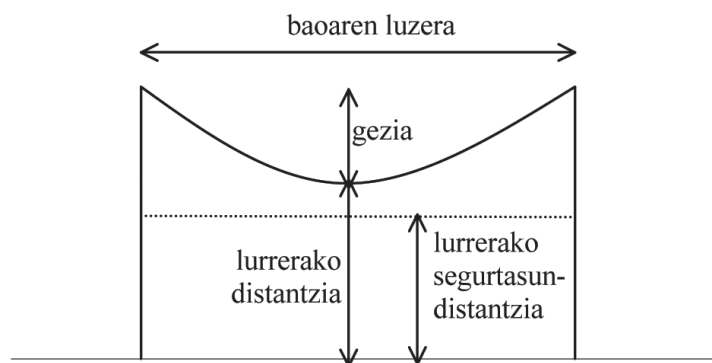
Abstract: The conductor replacement by high temperature low sag (HTLS) conductors allows increasing the power rating of electrical overhead lines. The obtained uprating depends on the behavior of the conductor. In this paper, the mechanical and thermal behavior of the high temperature low sag conductors currently available is presented and analyzed. This behavior analysis takes into account the conductor characteristics and some aspects that affect the sag-temperature relation of the conductor such as the creep developed during the installation or the high temperature creep.

1. SARRERA

Azkenaldian, linea elektrikoetan zehar doan potentzia elektrikoaren balioa handiagotu egin da. Igoera honek zerikusia dauka energia elektrikoaren eskariaren handitzearekin. Ondorioz, zenbait linea bere intentsitate-ahalmenaren mugatik gertu egon daitezke. Intentsitate-ahalmena edo anpazitatea «linea jakin baten diseinu eta segurtasun-irizpideak bermatuko dituen korrontea da».

Bi euskarriren artean dagoen linea elektrikoaren zatiari bao esaten zaio. 1. irudian ikus daitekeen bezala, gezia esaten zaio bao bat mugatzen duten bi puntuen arteko zuzenaren eta eroaleak osatzen duen kurbaren arteko distantzia bertikal maximoari. Distantzia maximo hori baoaren erdialdean

gertatzen da gehienetan. Bestalde, lurrerako distantzia eroalearen kurba-
ren garaiera minimoko puntuaren eta lurraren arteko distantzia bertikala da.
Gezia eta lurrerako distantzia elkarrekin loturiko magnitudeak dira; izan ere,
gezia handiagoz denean lurrerako distantzia txikiagoz da eta alderantziz.
Eroalea goi tentsioan dagoenez, mugatu egin behar da lurrerako distantzia.
Onargarria den distantzia maximoari lurrerako segurtasun-distantzia esaten
zaio. Eroalea berotzen denean, luzatu egiten da eta ondorioz gezia handia-
gotu eta lurrerako distantzia murriztu egiten da. Eroalearen gehiegizko ten-
peratura batek eroalea gehiegi luzaraz dezake, eta lurrerako distantzia era
arriskutsu batean murriztu daiteke. Lurrerako segurtasun-distantziari lotu-
ta, baoaren geziaren balio maximoa dago. Era berean, geziaren balio ma-
ximoari loturiko eroalearen tenperatura maximoa dago. Beraz, anpazitatea
eroaleak tenperatura maximoa izatea eragiten duen intentsitatea da, hots,
lurrerako distantzia segurtasun-distantzia izatea eragiten duena.



1. irudia. Linea elektrikoaren baoa.

Arazoa konpontzeko nahikoa da linea gehiago ipintzea. Hala ere, egun,
hau ez da lan erraza. Izan ere, oso toki gutxi geratzen da linea berriak egin
ahal izateko, biztanleen dentsitate handiak, lurraren erabilera zabalak eta az-
kenaldian instalazio elektriko berrien aurrean dagoen aurkako jarrera dela-eta.
Horregatik, lineen eraikuntza arautzen duten legediek bete beharreko zenbait
urrats zehazten dituzte: baimenak eskatzea, proiektuaren aurkezpen publikoa,
aurkako alegazioak jaso ahal izateko aukera, etab. Ondorioz, linearen beharra
sumatzen denetik hau eraikitze baimena lortzen den arteko denborak erraz
gaindi dezake hamar urteko tarte. Beraz, dagoeneko eraikita dauden linea-
pasabideetan potentzia ahalmena handiagotzeko presio handia dago, dagoen
azpiegiturari ahal den etekin handiena ateraz beti ere [1-3].

Lineetan zenbait aldaketa egin izan dira potentzia-ahalmena handi-
tu ahal izateko. Besteak beste, linearen tentsioa igo da edota eroale kopu-
rue handiagotu dira. Baina aukera hauek euskarri eta zimenduak indartzeko
beharra dute.

Eroalearen ordeztu tenperatura altuko eta gezi txikiko eroale bat jartzen bada, potentzia ahalmena handitu ahal da euskarriak eta zimenduak indartzeko beharrik gabe. Artikulu honetan, eroale hauen ezaugarriak aztertuko dira.

2. TENPERATURA ALTUKO ETA GEZI TXIKIKO EROALEAK

Tenperatura altuko eta gezi txikiko eroaleek lan egin dezakete eroale arruntek baino tenperatura altuagoetan. Eroale arruntek, ACSR eroaleek adibidez, 90 °C azpitik lan egin dezakete, hortik gora aluminioa suberatu egiten baita eta ezaugarri mekanikoak galtzen baititu. Tenperatura altuagoetan lan egin ahal izateko, aluminio-aleazio bereziak garatu dira. Hauek tenperatura altuagoetan ez dituzte ezaugarri mekanikoak galtzen eta antzeko eroankortasun elektrikoa dute. Aleazio hauen artean hauek dira gehien erabiltzen direnak: TAl aleazioa (Thermal-Resistant Aluminum Alloy), ZTAl aleazioa (Super Thermal-Resistant Aluminum Alloy) eta XTAl aleazioa (Extra Thermal-Resistant Aluminum Alloy edo Special Thermal-Resistant Aluminum Alloy). 1350-O aluminio suberatua erabiltzea da beste aukera bat. Aluminio hau 400 °C-tik gora suberatzen da ekoizpen prozesuan. Ondorioz, erresistentzia mekanikoa txikiagoa du baina balio hau ez da murriztuko linearen tenperatura dela-eta.

I taulan ikus daitezke aluminioen ezaugarri termiko, elektriko eta mekanikoak. Bestalde, aluminioaz gain, nukleoa ere gai izan behar da tenperatura altuan lan egiteko, eroale hauetan.

I. Taula. Tenperatura Altuko Aluminioa.

	Tenperatura maximo iraunkorra (°C)	Eroankortasun elektriko minimoa (% IACS)	Hautura-tentsio minimoa (kg/mm ²)
<i>Al</i>	90	61	16,2
TAl	150	60	16,2
XTAl	230	58	16,2
ZTAl	210	60	16,2
1350-O	400	63	6

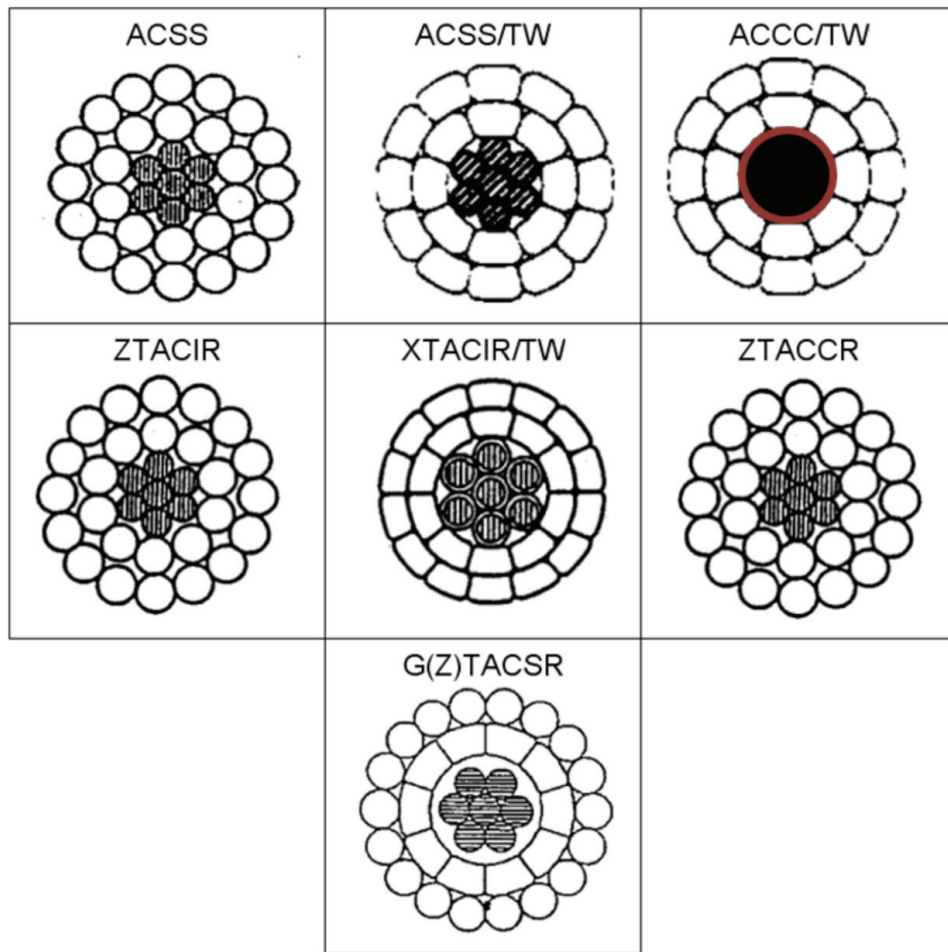
70. hamarkadaren hasieran garatu ziren lehenbiziko tenperatura altuko eta gezi txikiko eroaleak, Japonia eta Ipar Amerikan. Japonian, GTACSR (Gap Type Thermal-Resistant Aluminum Alloy Conductor Steel Reinforced) eroalea garatu zen, hau da, gap motako eroalea [4] eta Ipar Amerikan, suberatutako aluminioa duen ACSS (Aluminum Conductor Steel Supported) eroalea [5] agertu zen. 80. hamarkadaren hasieran, nukleoan erabiltzeko invar materiala

sortu zen Japonian. Honekin lotuta, XTACIR/TW (Extra Thermal-Resistant Aluminum Alloy Conductor Invar Reinforced) eroalea [6] garatu zen eta beranduago, ZTAI aleazioaren garapenarekin, ZTACIR (Super Thermal-Resistant Aluminum Alloy Conductor Invar Reinforced) eroalea. Beste bi eroale ere agertu ziren garai hartan: GZTACSR eroalea (Gap Type Super Thermal-Resistant Aluminum Alloy Conductor Steel Reinforced), hau da, ZTAI aleazioa duen gap motako eroalea, eta ACSS/TW eroalea, hau da, aluminiozko alanbre trapezoidalak dituen ACSS eroalea. Duela urte gutxi, Ipar Amerikan konposite materiala nukleoan erabiltzen hasi dira: ZTACCR (Super Thermal-Resistant Aluminum Alloy Conductor Composite Reinforced) eroalea [7] eta ACCC/TW (Aluminum Conductor Composite Core) eroalea [8].

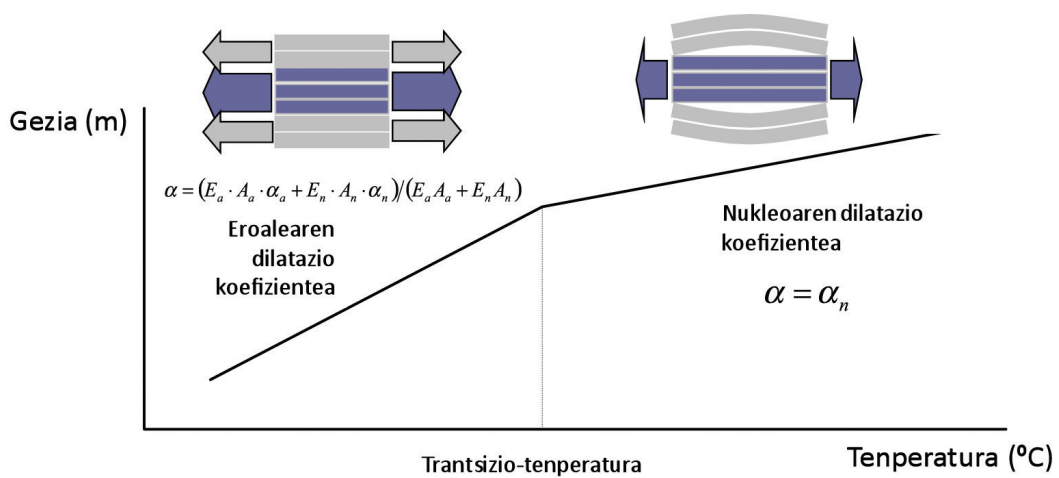
II. Taula. Nukleoa eta Aluminioa.

	Nukleoa		Aluminioa
ACSS ACSS/TW	<ul style="list-style-type: none"> • Altzairua aluminioz estalia • Altzairua galfanez estalia • Altzairu galvanizatua 		Aluminio suberatua
ZTACIR	<ul style="list-style-type: none"> • Invar galvanizatua • Invar aluminioz estalia 		ZTAI
XTACIR/TW	• Invar aluminioz estalia		XTAI
GTACSR	<ul style="list-style-type: none"> • Altzairu galvanizatua • Altzairua aluminioz estalia 	Tartea (gap) nukleo eta aluminioaren artean	TAI
GZTACSR		Lehen aluminio geruza alanbre trapezoidalekin	ZTAI
ZTACCR	Alumina zuntzak eta aluminio matrizea		ZTAI
ACCC/TW	Karbono zuntzak eta erretxina matrizea		Aluminio suberatua

Temperatura altuko eta gezi txikiko eroaleak trantsizio-tenperaturatik gora duen portaeran oinarritzen dira. Trantsizio-tenperaturatik gora aluminioak ez du karga mekanikorik eusten eta karga mekaniko guztia nukleoaren gain dago. Hori hala gertatzen da aluminioaren dilatazio termikoko koefizientea nukleoarena baino handiagoa delako. Ondorioz, trantsizio-tenperaturatik gora eroalearen portaera nukleoaren portaeraren araberrako da eta nukleoaren dilatazio koefizientea eroalearena baino txikiagoa denez, gutxiago luzatuko da tenperatura igotzean (3. irudia).



2. irudia. Temperatura altuko eta gezi txikiko eroaleak.



3. irudia. Trantsizio-temperatura.

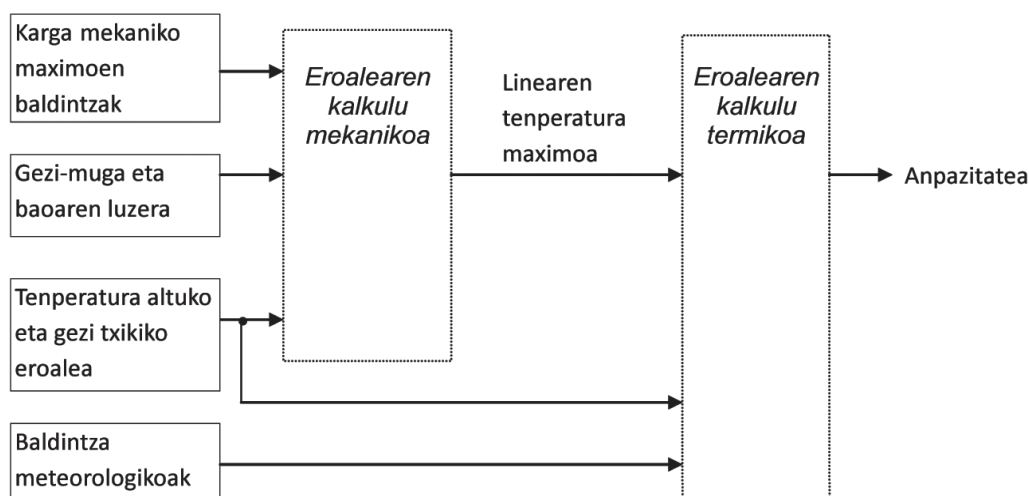
Beraz, gezi txikiko ezaugarria hiru parametroren arabera da:

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

Parametro hauen balioa zenbat eta txikiagoa izan, hobe da eroalearen gezi txikiko ezaugarria. Ondorioz, gezi txikiko eroaleak dilatazio koefiziente txikiko nukleoko materialekin edota trantsizio-tenperatura txikiarekin diseinatzen dira. Trantsizio-tenperatura txikiak lortzeko, gap motako eroaleen kasuan, aluminioa karga mekanikorik gabe uzten da eroalea instalatzen denean trantsizio-tenperatura instalazio prozesuko tenperatura izateko; ACSS eroaleen kasuan, fabrikatzaileek instalazio-prozesuaren aurretiko tenkatze bat gomendatzen dute.

Trantsizio-tenperatura eroale motaren, nukleo eta aluminio sekzioen arteko erlazioaren eta baoaren luzeraren arabera da. Esan bezala, trantsizio-tenperatura aluminioak karga mekanikoa galtzen duenean gertatzen da. Aluminio 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 luzeek trantsizio-tenperatura altuagoak erakusten dituzte.

Gezi txikiko ezaugarria duten eroaleak baoaren geziaren balio maximoa, ezaugarri hau ez duten eroaleak baino tenperatura altuago batean iristen dira. Ondorioz linearen tenperatura maximoa handiagotu egiten da eta anpazitatea edo intentsitate ahalmena ere (4. irudia). Anpazitatea, baldintza



4. irudia. Anpazitatearen kalkulua.

meteorologikoen arabera eroalearen temperatura temperatura maximoa izatea egiten duen korrontearen intentsitatearen balioa da.

2.1. Ezaugarri termikoak

Eroalearen ezaugarri termikoa aluminioaren eta nukleoaren ezaugarri termikoen arabera gertatzen da. III. taulan ikus daitezke eroale desberdinen temperatura maximoak.

III. Taula. Eroaleen Temperatura Maximoak.

	Temperatura maximoa (°C)
ACSS	200-250
ZTACIR	210
XTACIR/TW	230
GTACSR	150
GZTACSR	210
GTTACSR	150
ZTACCR	210
ACCC/TW	175

Eroale gehienetan temperatura-muga aluminioak ezartzen du (TAI, ZTAI edo XTAI). Hala ere, aluminio suberatu duten eroaleetan, nukleoak ezartzen du muga, zeren aluminioak ez baititu ezaugarri mekanikoak galitzen 400 °C azpitik.

2.2. Dilatazio termikoa

Eroalearen α dilatazio koefiziente baliokidea, α_n nukleoaren eta α_a aluminioaren dilatazio koefizienteen, E_n and E_a modulu elastikoen eta A_n and A_a sekzioen balioen arabera da (1).

$$\alpha = \frac{E_a \cdot A_a \cdot \alpha_a + E_n \cdot A_n \cdot \alpha_n}{E_a A_a + E_n A_n} \quad (1).$$

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

materialaren araberakoa gertatuko da. Nukleoan altzairua, invarra edo konpositea erabiltzen da. Invar eta konpositearen dilatazio koefizientea altzairuarena baino txikiagoa da (IV. Taula).

IV. Taula. Dilatazio Koefizientea.

	Nukleoaren dilatazio koefizientea α_n ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	Nukleoa
ACSS	$11,5 \cdot 10^{-6}$	Altzairu galvanizatua Altzairua galfanez estalia
	$13 \cdot 10^{-6}$	Altzairua aluminioz estalia (20 SA)
ZTACIR	$2,8 \cdot 10^{-6}$ ($T < 100$ $^{\circ}\text{C}$)	Invar galvanizatua
	$3,6 \cdot 10^{-6}$ ($T > 100$ $^{\circ}\text{C}$)	
XTACIR/TW	$3,7 \cdot 10^{-6}$ ($T < 230$ $^{\circ}\text{C}$)	Invar aluminioz estalia
	$10,8 \cdot 10^{-6}$ ($T > 230$ $^{\circ}\text{C}$)	
G(Z)TACSR	$11,5 \cdot 10^{-6}$	Altzairu galvanizatua
	$11,8 \cdot 10^{-6}$	Altzairua aluminioz estalia (13 SA)
ZTACCR	$6,3 \cdot 10^{-6}$	Alumina zuntzak eta aluminio matrizea
ACCC/TW	$1,61 \cdot 10^{-6}$	Karbono zuntzak eta erretxina matrizea

2.3. Erresistentzia mekanikoa

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. Al, TAl, ZTAI eta XTAI aleazioak erabiltzen direnean aluminioa da lehen hausten dena. Kalkuluak egiteko suposatzen da aluminioa % 1eko elongazioan hausten dela. Ondorioz, eroale osoaren erresistentzia kalkulatzeko nukleoak eta aluminioak % 1eko elongazioan duten erresistentzia hartzen da kontuan. Aluminio suberatua duten eroaleetan berriz, nukleoa da lehen hausten dena. Ondorioz, eroale osoaren erresistentzia kalkulatzeko nukleoaren erresistentzia osoa eta aluminioaren erresistentzia osoaren % 96a erabiltzen dira.

V. eta VI. Tauletan ikus daitezke nukleoaren eta aluminioaren hausturatsioak.

Temperatura altuko eta gezi txikiko eroaleen gezi-temperatura erlazioa

V. Taula. Nukleoaren Haustura Tentsioa.

	Nukleoa	Haustura-tentsioa % 1eko elongazioan (kg/mm ²)	Haustura-tentsioa (kg/mm ²)
ACSR	Altzairu galvanizatua (ST1A)	112-119	133-143
ACSS	Altzairua aluminioz estalia	112-123	123-137
ACSS/TW	Altzairu galvanizatua	119-133	140-147
	Altzairua galfanez estalia	119-133	140-147
	Erresistentzia handiko altzairu galvanizatua	137-147	154-165
	Erresistentzia handiko altzairua galfanez estalia	137-147	154-165
	Oso erresistentzia handiko altzairua galfanez estalia	156-167	174-186
	Erresistentzia ultrahandiko altzairua galfanez estalia	169-183	189-205
ZTACIR	Invar galvanizatua	—	105-110
	Invarra aluminioz estalia	—	95-105
	Erresistentzia handiko invarra aluminioz estalia	—	120-125
XTACIR/TW	Invarra aluminioz estalia	—	95-105
G(Z)TACSR	Oso erresistentzia handiko altzairu galvanizatua	—	180
ZTACCR	Alumina zuntzak eta aluminio matrizea	—	140,6
ACCC/TW	Karbono zuntzak eta erretxina matrizea	—	246

VI. Taula. Aluminioaren Haustura Tentsioa.

	Aluminioa	Haustura tentsioa (kg/mm ²)
ACSS ACCC/TW	Aluminio suberatu	6-9,8
ACSR	Al	16,3-20,4
GTACSR	TA1	16,2-17,9
ZTACIR GZTACSR ZTACCR	ZTA1	16,2-17,9
XTACIR/TW	XTA1	16,2-17,9

Tamaina bera dutela suposatuz, tenperatura altuko eta gezi txikiko eroaleen erresistentzia ACSR eroalearenarekin aldera daiteke.

ACSS eroalean, aluminioaren erresistentzia txikia da eta ondorioz eroalearen erresistentzia batez ere nukleoaren arabera gertatuko da. ACSS eta ACSS/TW eroaleek ACSR eroaleen aluminio 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 eroalearenarekin berdintsua da. Invarraren haustura erresistentzia altzairuarena baino txikiagoa denez, ZTACIR eroalearen erresistentzia ACSR eroalearena baino txikiagoa da. Erresistentzia handiko invarra erabiliz, ZTACIR eroalearen erresistentzia ACSR eroalearen erresistentziatik hurbil dago. XTACIR/TW eroalearen erresistentzia ACSR-arena baino handiagoa da baina hau 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 aluminioaren ezaugarri mekanikoak berdinak baitira. Hala ere, G(Z)TACSR eroaleetan oso erresistentzia handiko altzairua erabiltzen denez, erresistentzia ACSR arruntarena baino handiagoa da.

ZTACCR eroalearen erresistentzia ACSR eroalearen erresistentziaren antzekoa da. Izan ere nukleoko materialen erresistentzia antzekoa da eta bere sekzioa ere bai. ZTACCR eroaleak ordea abantaila bat du, konpositea dela eta arinagoa baita.

ACCC/TW 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 erresistentzi mekanikoa ACSR-arena baino handiagoa da. Gainera arinagoa da konpositea dela-eta.

VII Taulan ikus daiteke eroaleen haustura erresistentzia ACSR eroalearekin alderatuta. Pisua ere konparatzen da. Balioak ACSR-koak baino txikiagoak (<), berdinak (=) edo handiagoak (>) izan daitezke.

2.4. Erresistentzia elektrikoa

Eroaleen erresistentzia elektrikoa aluminioaren eroankortasunaren (VIII Taula) arabera da. Gainera, aluminioaren sekzioaren balioa ere garrantzitsua da erresistentziaren balioan. Nukleoaren eroankortasuna ere kontuan hartzekoa da (IX Taula).

Tenperatura altuko eta gezi txikiko eroaleen gezi-tenperatura erlazioa

VII. Taula. Eroaleen Haustura Erresistentzia ACSR Eroalearekiko alderatuta.

	Haustura Erresistentzia	Pisua
ACSS Altzairu arrunta	<<	=
ACSS/TW Altzairu arrunta Azalera baliokidetasuna	<<	=
ACSS/TW Altzairu arrunta Diametro-baliokidetasuna	<	>
ZTACIR	<	=
XTACIR/TW	>=	>
G(Z)TACSR Oso erresistentzia handiko altzairua	>>	=
ZTACCR	=	<<
ACCC/TW Diametro-baliokidetasuna	>>	<

VIII. Taula. Aluminioaren Eroankortasuna.

Aluminioa	Eroankortasuna (% IACS)	Eroalea
Aluminio suberatua	63	ACSS ACCC/TW
Al	61	ACSR
TAI	60	GTACSR
ZTAI	60	ZTACIR GZTACSR ZTACCR
XTAI	58	XTACIR/TW

IX. Taula. Nukleoaren Eroankortasuna.

Nukleoa	Eroankortasuna (% IACS)	Eroalea
Alumina zuntzak eta aluminio-matrizea	23-25	ZTACCR
Altzairua aluminioz estalia	20,3	ACSS
Invarra aluminioz estalia	14	ZTACIR XTACIR/TW
Altzairua aluminioz estalia	8	ACSS
Altzairu galvanizatua	8	ACSR, ACSS
Karbono zuntzak eta erretxina matrizea	0	ACCC/TW

X. Taulan ikus daitezke eroaleen erresistentzia elektrikoa, aluminio sekzioa eta aluminioaren eroankortasuna ACSR eroalearekin alderatuta.

X. Taula. Erresistentzia Elektrikoa ACSR Eroalearekin alderatuta.

	Erresistentzia Elektrikoa	Aluminio Sekzioa	Aluminio- Eroankortasuna
ACSS	<	=	>
ACSS/TW Azalera baliokidetasuna	<	=	>
ACSS/TW Diametro baliokidetasuna	<<	>>	>
ZTACIR	>	=	<
XTACIR/TW	>>	<	<
G(Z)TACSR	>	=	<
ZTACCR	< *	=	<
ACCC/TW Diametro baliokidetasuna	<<<	>>>	>

* Nukleoaren eroankortasun handiagatik.

2.5. Instalazio prozesua

Tenperatura altuko eta gezi txikiko eroale gehienen instalazio prozesua ACSR eroalearena baino konplexuagoa da. Instalazio prozesu berdina duen eroale bakarrak invarreko ZTACIR eta XTACIR/TW eroaleak dira.

Zenbait eroaleren kasuan, instalazio prozesua kontuz egin behar da, eroalea kalteturik gerta ez dadin. Adibidez, ACSS eta ACCC/TW eroaleen kasuan, aluminioaren biguntasuna dela-eta, kontuz ibili behar da aluminioaren gainazala ez kaltetzeko. Konpositetako nukleoa duten ACCC/TW eta ZTACCR eroaleen kasuan berriz, instalazio prozesuan neurri bereziak hartu behar dira, nukleoa hauskorra baita.

ACSS eroaleei dagokienez, fabrikatzaileek aurretiko tenkatze bat gomendatzen dute instalazio prozesuan. Prozesu hau arriskutsua izan daiteke, eroalea kaltetu baitezake, ondo egin ezean.

Gap motako G(Z)TACSR eroaleen instalazio prozesua berezia da, amaitzean aluminioak karga mekanikorik gabe geratu behar baitu. Helburu hau lortzeko, instalazio prozesua amaitu aurretik, eroalea nukleotik zintzilikatuta mantentzen da zenbait orduz, mutur batean libre dagoen aluminioa lasaitu eta karga mekanikoa galdu arte. Hau posible da eroale hauetan nukleoa eta aluminioaren artean dagoen tarte dela-eta. Bi aukera daude instalazio prozesua egiteko orduan. Alde batetik jatorrizko metodo japoniarra dago. Honetan aluminio-alanbreak askatu egiten dira pare bat metroko luzeran nukleoari instalazio-grapa baten bidez eutsi ahal izateko. Konpresio graparen altzairuzko atala konprimatzean, aluminio alanbreak berriro bere tokian jartzen dira. Berriki, ordezeko metodo bat garatu du SAPREM enpresak [9]. Metodo berri hau berezia da saihestu egiten duelako aluminio alanbreak askatzea.

3. TENPERATURA ALTUKO ETA GEZI TXIKIKO EROALEEN GEZI-TENPERATURA ERLAZIOA

Aireko eroaleen kalkulu mekanikoak zehazten du erlazio bat geziaren, eroalearen tentsioaren, eroalearen tenperaturaren, eroalearen ezaugarrien, haize eta izotz baldintzen eta eroaleak garaturiko isurpenaren artean. Eroale baten portaera geziaren eta tenperaturaren arteko erlazioak bereizten du. Hain zuzen, gezi txikiko eroaleek geziaren handitze txikia jasaten dute tenperatura igotzean. Bere gezi-tenperatura ulertzeko orduan, kontuan hartu behar dira tenperatura altuko eta gezi txikiko eroaleen zenbait ezaugarri.

Alde batetik, kontuan hartu behar da eroalearen instalazio prozesua. Instalazio prozesuan garaturiko eroalearen isurpena instalazio prozesuaren ezaugarrien araberakoa gertatzen da. Isurpen honek eragina izango du instalazio prozesuaren ondoren eroaleak bere bizitzan zehar jasango duen

isurpenean. Izan ere, isurpenaren garapena aurretik garaturiko balioaren araberakoa da. Beraz, instalazio prozesuan zenbat eta isurpen gehiago eman, bizitzan zehar orduan eta gutxiago emango da. Instalazio prozesuaren beste eragin bat tenperaturarekin loturik dago. Gap motako eroaleen kasuan, instalazio prozesuko tenperatura izango da eroale hauen trantsizio-tenperatura.

Temperatura altuko eta gezi txikiko eroaleak eroale konbentzionalak baino tenperatura altuagoetan lan egiten dute eta gainera denbora luzeagoan. Eroalearen tenperaturak isurpenean eragina dauka. Isurpena handiagoa da tenperatura altuetan. Ondorioz, eroale hauetan isurpen handiagoa gertatuko da eta ondorioz, bukaerako geziaren balioa handiagoa izango da.

3.1. Kalkulu mekanikorako metodoak

Kalkulu mekanikoa egiteko zenbait metodo daude [10]. Hauen artean metodo grafikoa da zabalduena [11]. Hala ere, metodo honek baditu zenbait muga eroaleen portaera aztertzeke orduan; ondorioz, autoreek metodo berri bat garatu dute: STOC izenekoa, tenperatura altuko eta gezi txikiko eroaleentzat egokiagoa dena [12].

Metodo berriaren ezaugarri nagusia nahi adina isurpen etapa kontuan hartzeko eskaintzen duen malgutasuna da. Etapa bakoitza kalkulatzera-koan, kontuan hartzen da aurreko etapetan garaturiko isurpena. Gainera, metodo egokia da edozein eroale motari aplikatzeko. Instalazio prozesuan garaturiko isurpena zehaztasunez kalkulatu da. Gap eroaleen kasuan bai aluminioak bai nukleoak garaturiko isurpena kalkulatu dira. Nahiz eta instalazio prozesuaren bukaeran aluminioak ez duen tentsiorik, instalazioan zehar jasaten du tentsioa eta honek eragiten du isurpena. Nukleoari dagokionez, kontuan hartzen da instalazio prozesuan aluminioak tentsioa galdu arte zintzilikatuta dagoen ordu kopurua. Gainera, metodoak ACSS eroaleen instalazioan gerta daitekeen aurretiko tenkatzearen eragina era kalkulatu dezake.

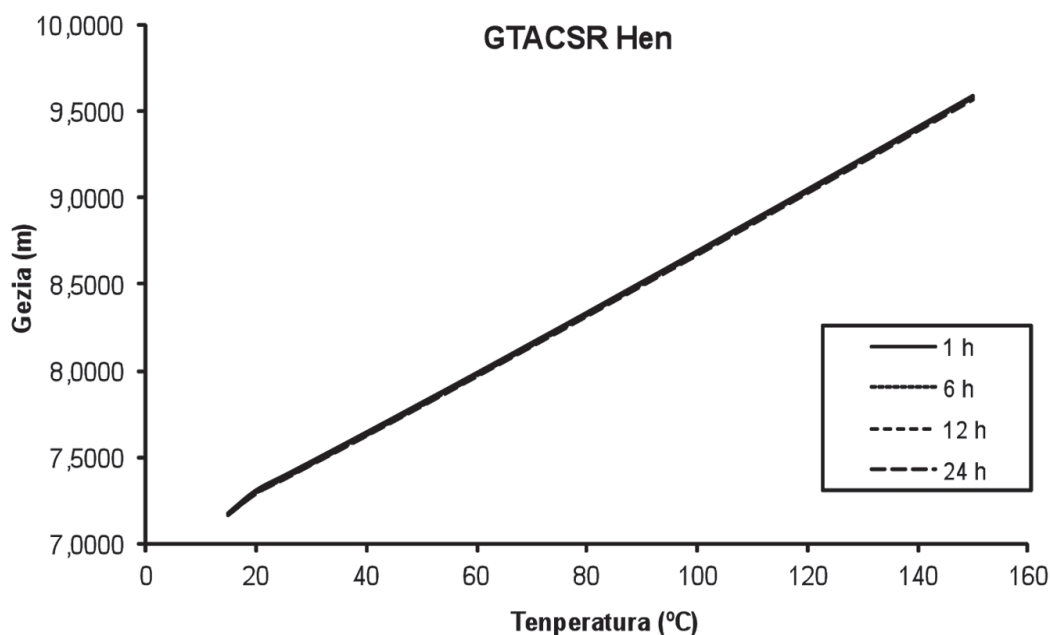
3.2. Kalkulu adibideak

Temperatura altuko eta gezi txikiko eroaleen portaera aztertzeke zenbait kalkulu adibide egin dira STOC metodoa erabiliz. Baoaren luzera 350 m-koa da.

3.2.1. Eroalearen instalazio prozesuaren eragina

STOC metodoak, ahalbidetzen du instalazio prozesuan aluminioak tentsioa galdu arte nukleoa zintzilikatuta dagoen ordu kopuruaren eragi-

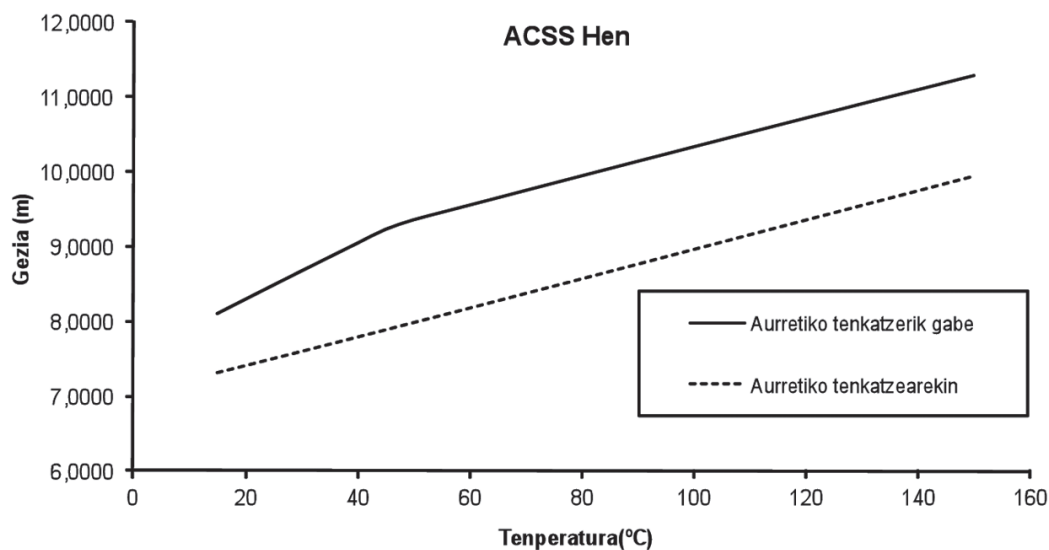
na aztertzea. Zenbat eta denbora luzeago egon zintzilik orduan eta isurpen gehiago jasaten du instalazio prozesuan. 5. irudiak gezi-tenperatura erlazioa erakusten du iraupen denbora desberdinetarako. Emaitzek erakusten dute iraupenaren eragina oso txikia dela.



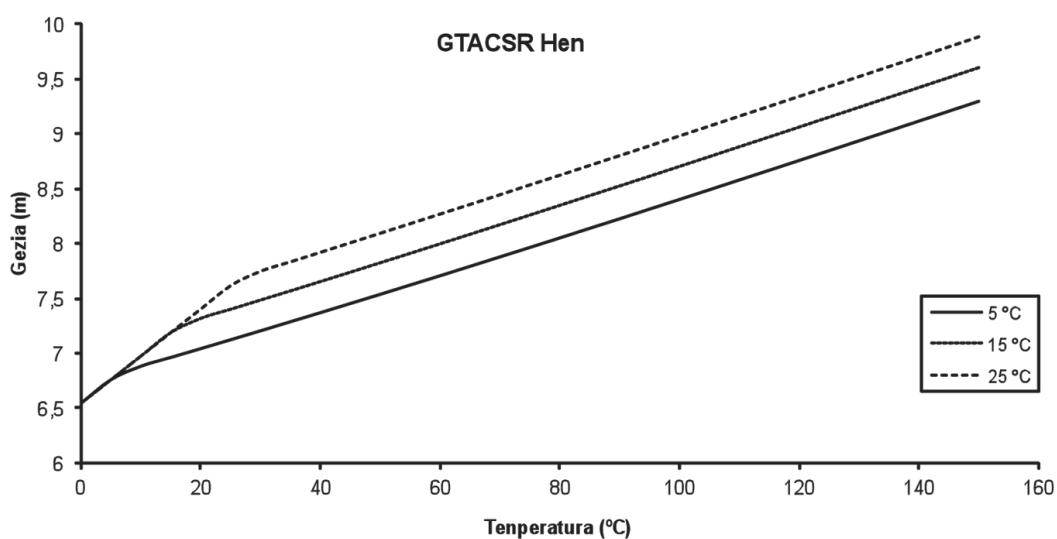
5. irudia. Gap motako eroalea nukleotik zintzilik instalazio prozesuan.

Aurretiko tenkatzearen ondorioz instalazio prozesuan isurpena garratzea bilatzen da. Aluminio suberatuaren duten eroaleen kasuan gainera, deformazio plastikoa eragiten du eta honen ondorioz eroalearen trantsizio-tenperatura murriztu egiten da. Horregatik erabiltzen da ACSS eroaleen kasuan. 6. irudiak ACSS eroale baten kasua erakusten du aurretiko tenkatzearekin. Aurretiko tenkatzearen eroalearen tentsioa haustura-tentsioaren % 50eko balioan edukitzen da. Bi kasuen arteko desberdintasuna nabarmena da.

Instalazio prozesuko tenperaturak ez du eraginik eroale konbentzionalen kasuan. Gap motako eroaleen kasuan aldiz, trantsizio-tenperatura instalazio prozesuko tenperaturaren araberakoa da. Hau horrela da aluminioak ez duelako karga mekanikorik jasaten instalazio prozesuko tenperaturaren gaitetik baina bai azpitik. 7. irudian ikus daitezke hiru instalazio prozesuko tenperatura desberdinekin egindako emaitzak. Geziaren balioa handiagoa da tenperatura altuetan egindako instalazio prozesuetarako.



6. irudia. ACSS eroalea aurretiko tenkatzearekin.



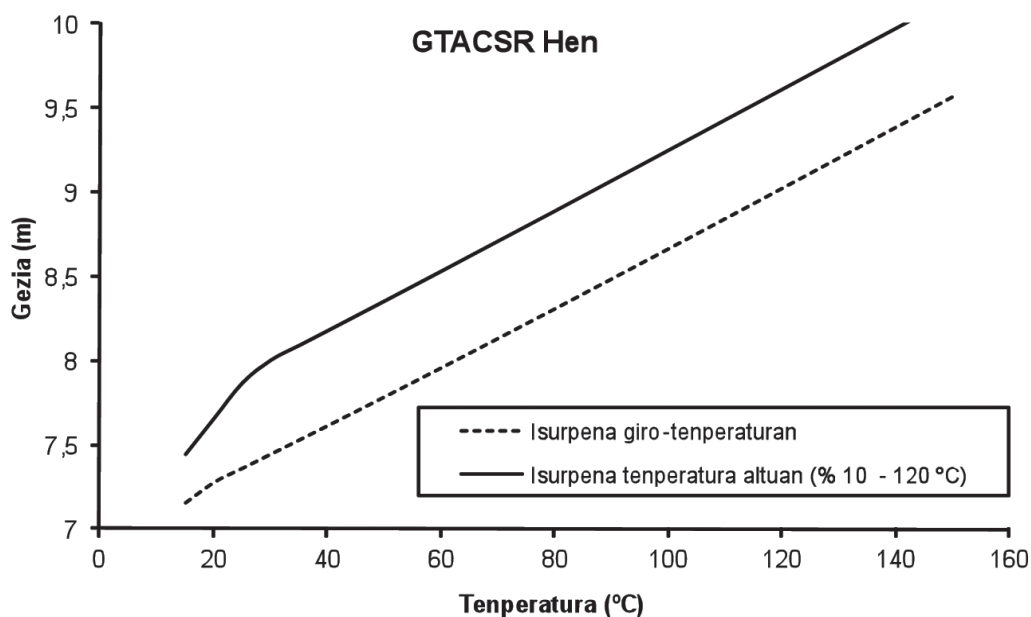
7. irudia. Gap motako eroalearen instalazio prozesuko temperatura.

3.2.2. Temperatura altuen eragina

Temperatura altuetan lan egiteak eroaleak garaturiko isurpenean duen eragina erakusteko, suposatuko da eroaleak 120 °C-ko temperaturan lan egi-ten duela denboraren % 10ean, hots, egunero 2 ordu inguruan.

Temperatura horretan aluminioak ez du tentsio mekanikorik eta ondorioz ez du isurpenik jasaten. Beraz, temperatura horretan nukleoak bakarrik garatuko du isurpena. 8. Irudian ikus daiteke temperatura altuko isurpena ja-

san duen eta jasan ez duen gap motako eroale baten portaera. Altzairuzko nukleoaren isurpenaren eta bere temperaturaren arteko erlazioa [13] erreferentzian emandako datuen arabera da. Emaitzen desberdintasun handiak erakusten dituzte geziaren balioan.



8. irudia. Isurpena temperatura altuetan.

4. ONDORIOAK

Temperatura altuko eta gezi txikiko eroaleen ezaugarriak aurkeztu dira: egitura, materialak, muga termikoa, dilatazio termikoa, erresistentzia mekanikoa eta instalazio prozesua. 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 (invarra, konpositea), egitura berezia dute trantsizio-temperatura murrizteko (gap motako eroaleak) edo aluminio suberatuaren deformazio plastikoan oinarritzen dira. Erresistentzia mekanikoaren eta masaren eragina ere aztertu da.

Gezi-temperatura erlazioa aztertu da, bertan eragina daukaten faktoreak nabarmenduz. Instalazio prozesuak isurpenean duen eragina azaldu da. Gap motako eroaleen kasuan nukleoa zintzilaturik dagoen denboraren iraupenaren eragina aztertu da eta bai instalazio prozesuko temperaturaren eragina ere. ACSS eroaleen kasuan aurretiko tenkatzearen eragina aztertu da. Azkenik, temperatura altuetan lan egitearen eragina ere aztertu da.

5. ESKERTZEAK

Lan hau diruz lagundu dute UPV/EHU Euskal Herriko Unibertsitateak (UFI 11/28 Prestakuntza eta Ikerketa Unitatea) eta Eusko Jaurlaritzako Hezkuntza, Unibertsitate eta Ikerketa Sailak (Euskal unibertsitate-sistemako ikerketa taldeak IT532-10).

ERREFERENTZIAK

- [1] ALBIZU I., MAZON A.J., ZAMORA I. . 2005. «Methods for increasing the rating of overhead lines», *IEEE Power Tech Conference*, San Petersburgo-Errusia.
- [2] CIGRÉ Brochure 353. 2008. «Guidelines for increased utilization of existing overhead transmission lines».
- [3] CIGRÉ Brochure 425. 2010. «Increasing Capacity of Overhead Transmission Lines - Needs and Solutions»
- [4] YONEZAWA K., KINOSHITA K.. 2005. «Gap type conductor», *IEEE TP & C Line Design Meeting*, Las Vegas-USA.
- [5] THRASH F.R. 2006. «ACSS», *IEEE TP & C Line Design Meeting*, Albuquerque-USA.
- [6] SASAKI S., TAKEBE T., MIYAZAKI K., YOKOTA M., SATO K., YOSHIDA S., MATSUBARA I. 1985. «ZTACIR New Extra-Heat Resistant Galvanized Invar-Reinforced Aluminum Alloy Conductor», *Sumitomo Electric Technical Review*, **24**, 117-123.
- [7] MCCULLOUGH C. 2006. «Update on ACCR conductor», *IEEE TP & C Line Design Meeting*, Albuquerque-USA.
- [8] BRYANT D. 2007. «ACCC conductor update», *IEEE TP & C Line Design Meeting*, Orlando-USA.
- [9] SAPREM. 2006. «Technical Specifications for the Installation of Gap Type Conductors. SAPREM® Method»
- [10] CIGRE Brochure 324. 2007. «Sag-tension calculation methods for overhead lines»
- [11] VARNEY T. 1927. «ACSR graphic method for sag-tension calculations». *Aluminum Company of America*.
- [12] ALBIZU I., MAZON A.J., FERNANDEZ E. 2011. «A method for the sag tension calculation in electrical overhead lines». *International Review of Electrical Engineering*, **6**, 3, 1380-1389.
- [13] BARRETT J. S., DUTTA S., NIGOL O. 1983. «A new computer model of ACSR conductors». *IEEE Trans. Power App. Syst.* **102**, 3, 614-621.