

Faktore klimatikoaren degradazioaren efektua igogailuetako kable-polea trakzio sistemaren adherentzian

N. Barayzarra¹, A. Zabala¹, L. Pecharroman¹, L. Arraiago², W. Tato¹, P. Gonzalez², A. Aginagalde¹.

¹Mondragon Goi Eskola Politeknikoa, Gainazal Teknologien Ikerkuntza Taldea, Loramendi Kalea 4, 20500 Arrasate, Gipuzkoa

²ORONA EIC, Lastaola Poligonoa s/n, 20120 Hernani, Gipuzkoa
Kontaktua: nerea.barayzarra@alumni.mondragon.edu

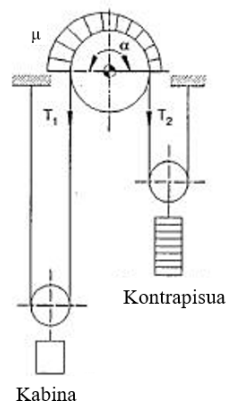
Gako-hitzak: Itsaspena, marruskadura, trakzio-sistema, degradazio klimatikoa, TPU

Laburpena. Igogailuak trakzionatzeko existitzen diren hainbat metodoen artean kable eta polea bidezko trakzio-sistema oso arrunta da. Trakzio-sistema honetan kablearen eta polearen arteko itsaspenak berebiziko garrantzia du, eta beraz, kontrolatuta eduki behar den faktorea da. Itsaspena marruskadura handiko sistema tribologikoetan lortzen da eta ondorioz, laborategi mailan esperimentazio tribologiko bidez aztertzen dugu.

Lan honetan, faktore klimatikoek, hala nola, tenperaturak, hezetasunak eta erradiazio ultramoreak kable eta polearen arteko itsaspenean duten eraginaren analisia egin da. Horretarako, bi hilabeteetan zehar kableak degradatu ditugu erradiazio ultramoreak aplikatzen duen kamera klimatiko batean eta ondoren sistema tribologikoan izandako efektua aztertu dugu. Itsaspen fenomenoak neurtzeko igogailu bateko trakzio polea eta igogailuaren kabina eta kontrapisua lotzen dituen kablearen arteko kontaktua simulatzen dituen saiakuntza-banku bat erabili dugu. Emaitzek, sistema honek faktore klimatikoekiko duen sentzibilitatea erakutsi digute.

1. Sarrera

Igogailu baten mugimendua trakzio-sistema baten bidez sorrarazten da, 1. Irudian ikus daitekeena. Sistema honen osagai garrantzitsuenak polea eta kablea dira; poleak biratzean, hau eta kablearen artean dagoen marruskadurak arrastatu egiten du kablea, honen muturretan dauden kabinaren eta kontrapisua mugimendua eraginez. Hauen arteko itsaspena ezinbesteko aldagaia da ondorioz, mugimenduan eragin zuzena baitu.



1. irudia. Kable-polea sisteman oinarritutako igogailu baten trakzio-sistema¹.

Itsaspena material batek bestearekiko itsasteko duen gaitasuna da. Marruskadura-indarra, aldiz, mugimendu erlatiboa duten bi gainazalen norabide tangenzialean agertzen den indarra da. Gainazalen arteko desplazamendu erlatiboa desagertzen denean eta, beraz, hauen artean mugimendu erlatiborik ez dagoenean, itsaspenari buruz hitz egiten dugu¹.

Igogailu sektorean hainbat modutara modelizatzen da itsaspena. Hauek, marruskaduraren modalizazioaren baitan daude. Trakzio-sistema baten itsaspena neurtzeko metodo erabilienak hurrengoak dira: kablearen eta polearen arteko marruskadura koefizientearen neurketa, trakzio faktorearen neurketa eta Adiasystem sistema neurtzailea².

Kablearen eta polearen kontaktuaren ondorioz sortutako marruskadura modelizatzeko hiru lege erabili daitezke, Amontonsena, Eulerrena edo Coulombena^{1,3,4}. Amontonsek, frikzioa eta gainazalen arteko presio kontaktua zuzenki proportzionalak direla eta gainazalen kontaktua azalerarekiko independenteak direla dio. Eulerrek frikzio fenomenoaren erregimen estatikoan eta dinamikoan zatitzen du. Azkenik Coulombek, frikzioa eta gorputzen arteko labaintze abiadura independenteak direla definitzen du.

Trakzio-sistemaren itsaspenean eragina duten hainbat aldagai daude. J. Barcinak⁵ termoplastiko eta burdinurtuaren arteko kontaktua zilindro karratuen geometriara sinplifikatu eta tribometro bidez hainbat faktoreen inpaktua ebaluatu zuen. Aldagaietako batzuk lan baldintzek ezartzen dituzte (aplikatutako karga, labaintze abiadura eta hezetasun erlatiboa) eta beste batzuk ekoizpen metodoaren menpekoak dira (polearen lepoaren zimurtasuna adibidez). Eragin handiena zuen parametroa trakzio polearen zimurtasuna zela ondorioztatu zuen. Zimurtasunaren eraginari dagokionez, U formako joera zegoela demostratu zuen; material polimerikoentzako, polea metalikoaren zimurtasunaren balioa txikia denean, kontaktu azalera handia da eta ondorioz itsaspen handia dago. Zimurtasuna handitzean itsaspen hau murrizten den arren, berriz ere handitzen da zimurtasun balio altuetara iristean; izan ere, katigamenduak ematen dira muga batetik aurrera. Autore berak, hezetasunaren eragina aztertu zuen. Hezetasuna %10etik behera zegoenean marruskadura koefizienteak baxua zela erakutsi zuen alde batetik, eta bestetik, hezetasun balio altuetarako, bi portaera ezberdin lortu zituen. Hezetasuna oso altua denean kondentsaziora iritsi daiteke eta honek portaera labainkorra sortu, marruskadura txikituz. Kondentsazio puntura iristen ez denean, aldiz, marruskadura areagotu egiten da. Lan baldintzen inpaktua kontsideratuz, M. Sarasolak⁶ haratago joan eta tenperaturaren efektua ikertu zuen material pare berdinentzako. Honek ere tribometro batean zilindro karratuen konfigurazioaz eta TPU estaldurako kable batetik ateratako probetaz baliatuz, hainbat ondorio atera zituen. TPUaren beiratrantsizioko tenperaturaren (T_g) azpitik, zimurtasuna handitzen doan heinean marruskadura koefizienteak ere handitzen dela erakutsi zuen, baina tenperatura altuagotarako, aldiz, kontrako portaera zegoela.

Egindako aurreko ikerketek, beraz, oinarritzko laborategi ekipoetan egindako lanetan, polearen zimurdurak alde batetik, eta hezetasun eta tenperatura lan baldintza bestetik, sistemaren itsaspenean eragina dutela erakutsi zuten. Lan baldintzek duten eragina irristapen fenomenoan aztertzerakoan, bi gai desberdin daitezke ordea. Alde batetik, baldintza horietan denbora motzean lan egitea, eta horrek izan dezakeen eragina itsaspenean, baina bestetik, baldintza horietan denbora luzez egoteagatik sistemak jasan dezakeen degradazioaren ondorioz, itsaspen fenomenoan eraginik egotea. Aurreko ikerketek, lehen puntua, laborategiko tribometroetan egindako esperimendu bidez erantzun zuten. Bigarren puntua ordea, ez. Ikerketa honetan, tenperaturak eta hezetasunak itsaspenean duten eragin konbinatua aztertuko dugu, kableak degradazio klimatiko ziklotara eramanez denbora luzean zehar eta erradiazio ultramorea ere kontsideratuz. Gainera, konponente errealak probatzeko simulazio bankuan egingo dira entseguak, aplikaziotik gertuago dagoen metodoa izanik.

2. Materialak eta metodoak

2.1. Materialak

Materialak aplikazioan erabiltzen diren kable eta poleak dira, 2. Irudian ikus daitezkeenak. Bi kable mota erabili ditugu, SDR eta SDR E. Biek TPU termoplastikozko estaldurak dituzte; lehenengoaren kasuan, Elastollan 1190 A eta bigarrena Elastollan 1195 A gehigarriekin. Kable mota bakoitzeko lau egoera ezberdin aztertu ditugu: berria, erabilia, berria eta degradatua eta erabilia eta degradatua.

Beste aldetik, 115 mm-ko burdinurtu grisezko polea erabili dugu. Honek, 6 lepo ditu, baina entsegua egiteko bi erabili dira soilik, kable mota bakoitzari lepo bat egokituz. Kable egoera

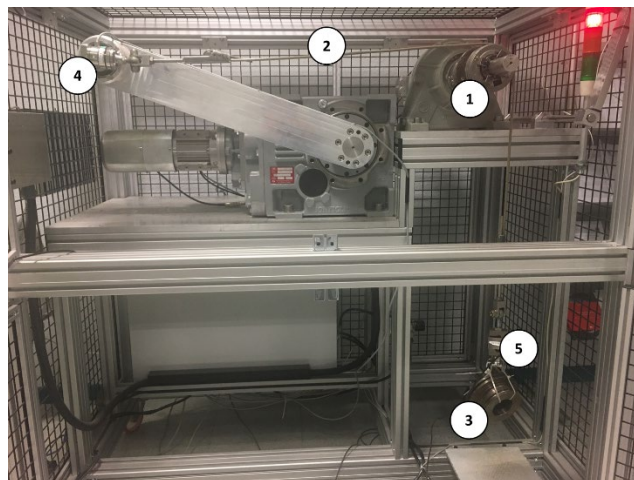
bakoitzeko polea ezberdin bat erabili dugu. Entsegu aurretik ultrasoinu bidez garbitu dugu polea eta ondoren hondakinik uzten ez duen trapu batekin eta alkoholarekin lepoa garbitu.



2. irudia. Entseguetan erabilitako materiala: SDR kablea (ezk.), SDR E kablea (erd.) eta polea (esk.).

2.2. Metodo esperimental

Efektu klimatikoaren eragina ikusteko igogailuetan erabiltzen diren kableen eta poleen kontaktua modelizatu dugu 3. Irudian ikusten den Banco Faro Iv2 makinan. Lehenik bankuan polea (1) eta kablea (2) kokatu ditugu, kablearen mutur batean pisua (3) loturik egonik. Kableak loturik dauden bi muturretan karga-zelula (4 eta 5) indar sentsoarek kokaturik daude, zeintzuk alde bakoitzeko tentsioak monitorizatzen eta erregistratzen dituzten momentu oro.



3. irudia. Banco Faro Iv2 makina.

Kableak degradatzeko Dycometal CCK ganbera klimatiko bat erabili dugu 1. Taulan ikus daitekeen zikloa ezarriz ASTM G-154 araua⁷ oinarritzat hartuz. Degradazio zikloa 120 aldiz errepikatu dugu 65 egunetan zehar. Erradiazio ultramorea ezartzeko UVA 351 erradiazioa erabili dugu. Kasu bortitzenaren erabilera baldintza errealak simulatzen ditu, igogailu panoramikoena.

1. Taula. Kableen degradazio klimatikoa egiteko ganbera klimatikoaren baldintzak.

Pausua	Denbora (h)	Erradiazioa	Temperatura (°C)	Hezetasuna (%)
1	0,5	Itzalita	60	75
2	4	Itzalita	60	75
3	0,5	Itzalita	50	40
4	8	Piztuta	50	40

Behin degradazio zikloa bukatuta, hainbat entsegu egin ditugu. Lehenenik, itsaspenean aldaketak somatzeko, erreferentzia entseguak egin dira, bai kable berriekin eta baita erabilitakoekin ere. Degradazioa behin burututa entsegu egunera arte igarotako denbora 2. Taulan definitu dugu kable tipologia eta egoera bakoitzerako. Entsegu txanda bakoitzean 3 errepikapen egin dira. Entsegu bakoitzean kable tipologia bakoitzak bete beharreko zikloak aurretik ezarrita daude, datuak egonkortzeko beharrezkoak direnak. SDR tipologiak 8 ziklo behar ditu eta SDR Eak 16 ziklo. Ziklo bakoitzean poleak 720°-ko bira ematen du eta ondoren 15 minutuko geldiduna dago hurrengo zikloarekin hasi aurretik.

2. Taula. Degradazio ziklotik entsegu egunera arte igarotako denbora kable mota eta egoera bakoitzerako.

Kable mota eta egoera	Denbora (egunak)
SDR berria + degradatua (1)	2
SDR berria + degradatua (2)	34
SDR erabilia + degradatua	21
SDR E berria + degradatua	27
SDR E erabilia + degradatua	30

Itsaspen emaitzen zehaztasuna bermatzeko, entsegu makina eta ingurua baldintza berdinetan mantendu dira. Kable eta polearen arteko angelua 90°-tan eta polearen abiadura 80 mm/min-tan mantentzen dira entsegu guztietan. Ingurua baldintza berdinetan mantentzea garrantzitsua da, entseguen emaitzetan eragin gutxien izateko. Hortaz, inguruko tenperatura 20 ± 2 °C-tan eta hezetasuna 45 ± 5 %-tan mantendu da momentu oro.

Marruskadura modelizatzeko Eulerren metodoa erabili dugu. Honek, kablearen eta polearen arteko labainteta gerta ez dadin trakzio indar maximoa definitzen du. Erlazio hau 1. Ekuazioan ikus daiteke.

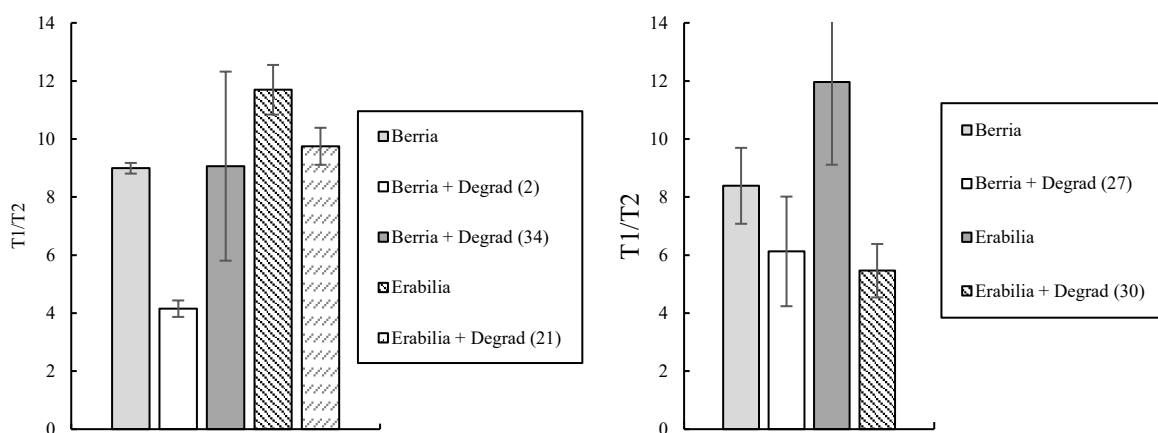
$$T_1 = T_2 e^{f\alpha}. \quad (1)$$

Non, T_1 y T_2 polearen bi muturretako kargei erreferentzia egiten dioten, eta $\frac{T_1}{T_2}$ erlazioari itsaspene esaten zaion; T_2 tentsio muturrean 6, 179 Kg-ko pisu bat kokaturik dago, beraz, konstantea da. φ polea eta kablearen artean sortutako angeluari egiten dio erreferentzia; eta f ikurrak marruskadura definitzen du, polearen lepoaren geometriaren baitan dagoena. Entsegua bukatu ondoren aurretik aipatutako karga-zelulez baliatuz, datuak bildu dira eta bi karga hauek erlazionatu, $\frac{T_1}{T_2}$, trakzio sistemaren itsaspene esaten zaiona, 1. Ekuazioan ikusi den bezala.

Bestetik, estalkien gainazala aztertu dugu. Leica DSM100 makroskopia eta FE-SEM Nova NanoSEM 450 ekorketa mikroskopia elektronikoa erabiliz.

3. Emaitzak

Itsaspen emaitzak 4. Irudian ikus daitezke, kable motaren arabera (SDR eta SDR E) eta hauen egoeraren arabera (berria edo erabilia, eta degradatua dagoen edo ez adieraziz). Aurretik aipatu diren entsegu denborak parentesi artean jarrita daude kasu bakoitzerako.

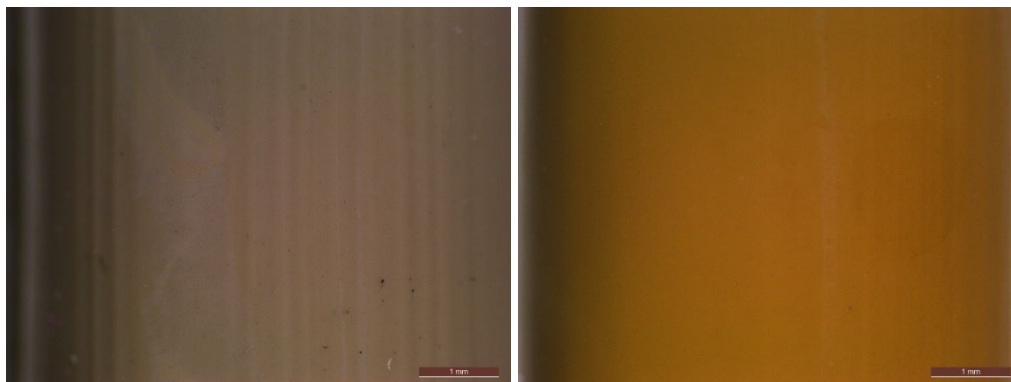


4. Irudia. SDR (ezk.) eta SDR E (esk.) kable degradatuen eta ez degradatuen itsaspen emaitzak.

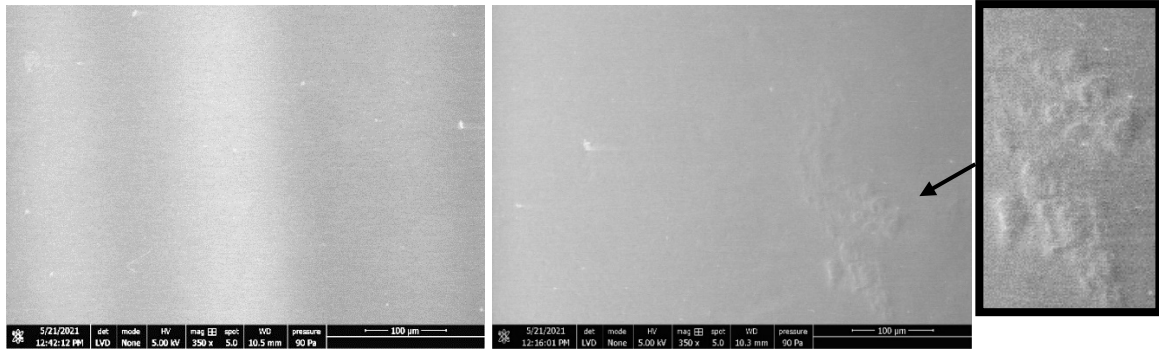
SDR kableetan, itsaspenaren balioa 9tik 4ra jaitsiz, %55 batean gutxitu dela kable berriekin alderatuz esan dezakegu degradatutako kable berrian degradazio entsegutik bi egunetara. Degradatu ondorengo bigarren txandan, ordea, berreskuratu du itsaspena, izan ere degradatu aurreko hasierako baliora bueltatu baita. Ondorioz, degradaziorik egon ez dela esan dezakegu eta hasieran neurtutako itsaspen jaitsiera kablearen ur zurgapenaren ondorioz zela pentsa daiteke, baina xurgatutako ur hau denbora batean desagertu denean, itsaspenaren errekupeazioa egon da. Honek gainera, degradazio entsegutik pasatako denboraren garrantzia nabarmentzen du. Kable erabiliaren kasuan, behin ganbera klimatikoan degradatuta hogeita bat egunetara egin dira itsaspen entseguak. Kasu honetan itsaspena %17an jaitsi da, baina ez dago jakiterik degradaziorik egon ote den edo kontrara, sikatzeko denborarik izan ez duen ur xurgapenaren ondorioz murrizten ote den itsaspena.

Beste tipologiaren kasuan, hau da, SDR E tipologian, itsaspenaren balioa %27an jaitsi da kable degradatua degradatu gabekoari dagokionez. Erabilitakoen kasuan, degradazioa eta hogeita hamar egunetara burutu dira entseguak. Itsaspenaren balioaren gutxiagotzean nabarmenagoa izan da, %55ekoa hain zuzen ere. Denbora luzeago batean ondoren errekupeaziorik egongo ote litzatekeen ez dago jakiterik ordea.

Itsaspen galeraren aztarnen bila, SDR Eren kasuan degradatutako kableek kolore aldaketa nabarmena izan dute 5. Irudian ikus daitezkeen bezala, beraz, beste kable mota ez bezala, tipologia honetan badagoela aldaketarik esan daiteke. Azkenik, gainazalaren morfologia aldaketarik egon ote den begiratzeko, ekorketa mikroskopio elektronikoaz baliatu gara. 6. Irudian ikusten den bezala, SDR E kablearen azalean alterazio bat somatu da; degradazioaren ondorioz kable degradatuan, berrian ez bezala, gainazalean puztutako gunek agertu dira, zeintzuk itsaspenaren erorketaren arrazoi izan daitezkeen.



5. Irudia. Makroskopioan ateratako irudiak; SDR E kable berria (ezk.) eta degradatua (esk.).



6. Irudia. Ekorketa mikroskopio elektronikotik ateratako irudiak; SDR E kable berria (ezk.) eta degradatua (esk.).

4. Ondorioak

Ondorio nagusia igogailuak lan egiten duen baldintzetan sistemaren itsaspen gaitasuna alda daitekeela da, kableak degradatzera iritsita barne.

Temperatura, hezetasun eta erradiazio ultramoreak sortutako degradazioak ez du eragin berdina izan SDR eta SDR E kable mota ezberdinetan. Propietate tribologikoei dagokionez, eragin handiagoa du SDR E kablean SDRan baino.

Degradazioak, ordea, bi kableen estalki polimerikoen koloreak aldatu ditu, baina itsaspenean degradazio entsegutik igarotako denboraren funtzioan aldaketak somatu dira. Izan ere, SDR kablea ez da degradatzera iritsi, uraren xurgapenagatik handipen bat izan du. Ez da joera bera ikusi SDR E kablean. Degradazio portaera hau egiaztatuta, gomendagarria izango litzateke SDR kablea erabiltzea egoera klimatikoak eragin handia duen igogailuetan, panoramikoetan esaterako.

Gogortasunari lotuta, degradazioak SDR E kablearen estalki polimerikoa gogortu dezake eta honek itsaspena jaistera eraman. Hau ez da SDR kablean eman.

Degradazio klimatikoaren eragina sakonago karakterizatzeko, aspektu gehiago aztertu beharko lirateke. Hauen artean, uraren xurgapenaren efektuan sakondu eta bai hezetasuna, bai temperatura eta baita erradiazio ultramoreak era independentean izan dezaketan efektua aztertu beharko litzateke, aldagaietako zein izan den propietate galera eragin duena ulertzeko.

Eskerrak

Eskerrak eman Orona EIC enpresari ikerketa hau aurrera eramateko ezinbestekoak izan diren errekurtsioak jartzeagatik.

Bibliografia

1. L. Bartolomé, «THEORETICAL, EXPERIMENTAL AND NUMERICAL ANALYSIS OF MECHANICAL AND CONTACT BEHAVIOURS OF A THERMOPLASTIC POLYURETHANE ELASTOMER USED AS COVER ROPE IN LIFT INDUSTRY», Mondragon Unibertsitatea MGEP, Arrasate-Mondragón, 2012.

2. O. E. Ikerlan-Mondragon Unibertsitatea, «Diseño de bancos de alto rozamiento para la medida de rozamiento en sistemas de alta adherencia», Arrasate-Mondragón, sep. 2008.

3. L. Euler, «Sur le frottement des corps solides. *Memoires de l'academie des sciences de Berlin*», 122-132, 1750.

4. L. Euler, «Sur le frottement des corps solides. *Memoires de l'academie des sciences de Berlin*», 133-148, 1750.

5. J. Barcina, «ESTUDIO TEÓRICO-EXPERIMENTAL DEL EFECTO DE LA RUGOSIDAD DE LA POLEA EN LA ADHERENCIA DE UN CABLE DE ASCENSOR», jul. 2012.

6. M. Sarasola, «MALTRO T5.2: Analysis of the tribological behavior of the system polyurethane thermoplastic (TPU)-cast iron under different testing conditions in alternating sliding tests», MGEP, 2009.

7. A. International, *Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials*. 2006.