



IKER
GAZTE
NAZIOARTEKO
IKERKETA EUSKARAZ

VI. IKERGAZTE

NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2025eko maiatzaren 28, 29 eta 30a
Bilbo, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)



Aitortu-PartekatuBerdin 4.0

INGENIARITZA ETA ARKITEKTURA

**Mugikortasun murriztua duten
pertsonentzat off-road ibilgailu
baten analisi dinamikoa**

*Aimar Bermejo Ugarte,
Pablo Barroso Ledesma
eta Igor Ansoategui Belategui*

267-274 or.
<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.vi.03.33>

ANTOLATZAILEA



BABESLEAK



EUSKO JAURLARITZA
GOBIERNO VASCO



LAGUNTZAILEAK



Mugikortasun murriztua duten pertsonentzat off-road ibilgailu baten analisi dinamikoa

Aimar Bermejo Ugarte, Pablo Barroso Ledesma, Igor Ansoategui Belategui
Abermejo027@ikasle.ehu.eus

Euskal Herriko Unibertsitatea UPV/EHU, Ingeniaritza Mekanikoa Saila

Laburpena

Ikerketaren helburua mugikortasun murriztua daukaten pertsonentzat asfaltatu gabeko bideetatik mugitzeko ahalmena duen ibilgailu bat diseinatzea eta bere bideragarritasuna aztertzea izan da. Proiektuaren garapena Caminus erakunde arabarrarekin batera egin da, erakunde horren xedea gaixotasun ezezagunei ikusgarritasuna ematea izanik. Ikerketaren zati nagusia txasisaren analisi dinamikoan zentratu da. Hori aurrera eramateko 3 metodo desberdin erabili dira: metodo analitikoa, Elementu Finitoen Metodoa (EFM) eta Analisi Modal Experimentalak (AME). Hiru metodoak batera garatu dira egituraren bibrazio-moduak eta maiztasun naturalak zehazteko asmoarekin. Horrela, emaitza analitikoak emaitza esperimentalekin eta simulazioekin alderatu ahal izan dira.

Hitz gakoak: Analisi dinamikoa, Ibilgailua, Mugikortasun murriztua, Off-road

Abstract

The aim of the research was to design a vehicle capable of moving on unpaved roads for people with reduced mobility and to analyze its feasibility. The development of the project has been carried out together with the organization Caminus. The purpose of this organization is to give visibility to unknown diseases. The main part of the research has focused on the dynamic analysis of the chassis. To carry this out, 3 different methods have been used: The analytical method, the Finite Element Method (FEM) and the Experimental Modal Analysis (EMA). The three methods have been developed together with the intention of determining the vibration modes and natural frequencies of the structure. With this it was possible to compare the analytical results with experimental results and simulations.

Keywords: Dynamic analysis, Vehicle, Reduced mobility, Off-road

1. Sarrera eta motibazioa

Artikuluaren aurretik egin den ikerketa baten garapena eta emaitzak azalduko dira, mugimendu murriztua daukaten pertsonentzat diseinatu den off-road ibilgailu baten analisi dinamikoa zehazki.

Analisi dinamikoaren gai nagusia ibilgailuaren txasisaren bibrazioak aztertzea izan da. Analisiak egituraren integritatea eta bizitza erabilgarria ezagutzea ahalbidetzen du. Horrez gain garrantzitsua da ibilgailua erabiltzean honek izango duen erantzuna aurreikustea, baita ingurumenean dauden oztopoek izango duten eragina ere, ibilgailuan zein gidarian.

Bibrazioen barruan, zehazki, maiztasun naturalak eta bibrazio-moduak aztertu dira, txasisaren bibrazioen ezaugarriak ezagutzeko asmoarekin. Horretarako hiru metodo erabili dira. Metodoen erabilpena eta garapena ulertzeko Poppek eta Schieldenek (2010) egin zuten artikulua aztertu da, analisi modal baten faseak aztertzen dituen. Lehenik, metodo analitikoa, txasisaren ezaugarri dinamikoak ezagutzeko eredu analitiko bat garatzean datza. Metodo horretan lagungarri izan diren artikulua dira Harsek eta Piersolek (2002) garatutakoa, eredu matematikoak hiru dimentsiotan aztertuz, eta Dresselek eta Sadauckasek (2020) egindakoa, hainbat elementuren zurruntasunak kalkulatzeko. Bigarrenik, metodo esperimentala (AME) garatu da. Garapenerako (Au, 2017) artikuluan azaltzen den AME metodoaren funtzionamendua hartu da. AME metodoak kanpo hardware baten, karga zelula mailu baten eta azelerometroen erabilera behar du. Hirugarrenik, elementu finituen metodoa (EFM) erabili da. EFM metodoa CAD modelo batetik abiatuta simulazio software baten bidez egiten da. Azken biak aipatu den lehen metodoan egin den ikerketa beste bi era desberdinetan errepikatzeko eta atera diren erantzunak baliagarriak diren jakiteko erabili dira.

Ikerketaren izateko arrazoia Caminus erakundeak planteatu zuen erronkari erantzuna ematea da. Erakundeak gaixotasun ezezagunei ikusgarritasuna ematea du helburu, zehazki

mugikortasunean eragina daukaten gaixotasunei. Haien helburua lortzeko kirol ekintzak antolatzen dituzte, mendira era autonomoan ibilgailu batekin igotzea da helburua. Beraz, beraiek lortu nahi duten erronkari bideragarritasuna ematea eta proiektuan jarri duten erronka aurrera eramatea da taldean dauden pertsona guztien motibazioa.

1.Irudia. Caminus erakundea



2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Ikerketaren helburu nagusia 3 gurpileko off-road ibilgailu baten eredu analitiko bat garatzea da eta ereduaren bitartez fabrikatzen ari den prototipoaren bibrazio-moduak eta maiztasun naturalak determinatzea. Bestalde, ingeniari-taldea arloan, eredu analitikoa 3 gurpiletako edozein ibilgailuan erreminta bezala erabili daiteke diseinuan hobekuntzak inplementatzeko eta bibrazio ezaugarriak ezaugarrituz jarrera dinamikoa kontrolatzeko.

Helburu teknikoez aparte, mugikortasun murrizpenak dituzten pertsonentzat ekonomikoki eskuragarriagoa den aukera berri bat eskaini nahi da.

2.1 Ikerketaren helburuak

Helburu nagusia lortzeko, hurrengo helburu espezifikoak ezarri dira:

- Berrikuste bibliografikoa: Hainbat iturri bibliografikoen berrikuste bibliografikoa garatzea ahalik eta ezaugarritza gehien bereganatzeko helburuarekin, ikerketa aurrera eramateko momentuan era egokienean jokatzeko.
- Eredu analitikoa: Bibrazio-moduak eta maiztasun naturalak kalkulatzeko gai den eredu matematikoa bat sortzea.
- Txasisaren CAD (Computer-Aided Design) diseinua: Existitzen den txasis baten CAD eredu bat garatzea alderantzizko ingeniari-taldea erabiliz.
- Elementu finituen bidezko analisia: Simulazio bat egitea elementu finituen metodoa erabiliz.
- Diseinuaren optimizazioa: Diseinuan hobekuntza posibleak identifikatzea eta aldaketak garatzea erabilera eta gidariaren erosotasuna hobetzeko.
- Ondorioen azterketa: Hiru metodoen bitartez lortu diren emaitzen ulerpena eta metodoen arteko konparaketa emaitzen bideragarritasuna ziurtatzeko.

3. Ikerketaren muina

Off-road ibilgailuaren ikerketa lau fase desberdinetan banatu da, banaka garatuak baina beraien artean menpekoak direnak. Lehenik, txasisaren diseinua egin da CAD eredu bat lortzeko asmoarekin. Behin CAD eredu bat edukita hurrengo hiru faseak aurrera eramanez. Ikerketaren

helburua eredu analitikoa garatzea izan denez, simulazioak eta froga esperimentalak egin aurretik eredu analitikoa garatu da, hori bigarren fasea izanik. Hirugarren eta laugarren faseak Elementu Finitoen bidezko Analisia (EFA) eta metodo esperimentalak izan dira. EFM metodoan lehen fasean lortu den CAD eredua erabili da simulazioak egiteko.

3.1 Txasisaren diseinua

Txasisaren diseinua CAD ereduen sorreran oinarritu da. Txasisa fisikoki dagoenez CAD eredua lortu ahal izateko alderantzizko ingeniari prozesu bat egin da. Alderantzizko ingeniari prozesua txasisaren konponente guztien banaketarekin hasi da, elementu bakoitzaren erregistro bat eginez aurrerago arazorik gabe berriz muntatzeko. Banaketa egin ondoren hiru konponente desberdin lortu dira:

- Txasis nagusia: Konponentearen funtzioa ibilgailuari zurruntasun estrukturala ematea da. Txasis nagusiaren bitartez ibilgailuaren konponente guztiak lotzen dira, horren bizkarrezurra delarik. Geometriari erreparatu, aluminiozko hodiz eraikita dago.
- Atzeko esekitze baskulagarria: Elementuak bi funtzio nagusi ditu. Bata txasis nagusia atzeko gurpil multzoarekin batzea eta bestea motelgailuaren ibilbidea eta jarduketa ahalbidetzea da. Haren konfigurazioa beso bikoitzeko baskulagarri batena da.
- Aurreko esekitze besoak: Atzeko baskulagarriaren funtzio bera betetzen dute, baina konfigurazio desberdin batekin txasis nagusia aurreko gurpil gidariekin lotu behar delako. Gurpilak txasisaren alboetan kokatuta daude horrela ibilgailuaren egonkortasuna ziurtatuz. Motelgailuaren ibilbidea ahalbidetzen dute ere. Esekitze besoen konfigurazioa paralelogramo deformagarriez osatuta dago.

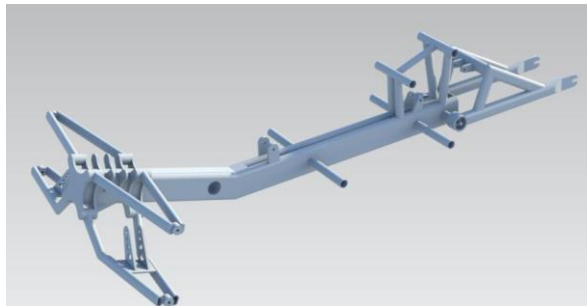
Behin aipatutako hiru elementuak identifikatu eta banandu direnean neurriak hartu dira eta elementu desberdinak akotatu dira. Balio horiek finkatu direnean konponente bakoitzaren CAD eredu independentea burutzen hasi da, CAD modelaketa hain zuzen ere. Ikerketan CAD modelaketa Siemens etxeko NX programaren bitartez egin da.

Konponente bakoitzaren modelaketa prozesua hurrengo fasetan banandu daiteke:

- 1) Kotak krokis batera garraiatzea: Krokis bat burutzen da neurriak konponente bakoitzaren geometrian jarri ahal izateko. Marrazkien kalitatea ez da zertan oso altua izan behar, helburua begirada azkar batean neurrien ulerpenera erraztea delako.
- 2) Krokisaren ulerpenera eta CAD eredua sortzea: Krokisa eginda dagoenean CAD eredua sortzen da NX programaren bitartez.
- 3) 3D ereduen eta benetako konponentearen arteko konparaketa: CAD eredua bukatuta dagoenean fisikoki dagoen modeloarekin konparatzen da. Ikerketarako CAD eredua elementu finituen bidezko analisia egiteko erabiliko denez eta ez denez fabrikatuko, akats maila bat onartzen da. Geometria eta masa antzekoa gordetzen badu nahikoa izango da.
- 4) Ereduen klasifikazioa: Nahiz eta akats-maila bat onartu, ereduan gehiegizko desberdintasuna egotea eta konponenteak ondo irudikatuak ez egotea gertatu daiteke. Hori gertatzen bada prozesua berriz hasi beharko da. Prozesua iteratiboa da lortutako eredua onargarria izan arte.

Bukatzeko, konponenteen CAD eredua eginda eta onartua dagoenean konponente guztiak lotuko dira, benetako txasisaren geometria lortuz (ikus 2. Irudia).

2. Irudia. Ezk.) Txasisaren benetako eredua. Esk.) Txasisaren CAD geometria



Behin geometria guztiz osatu denean, NX programak errealitatean txasisa eraikitzeke erabili den materiala ezartzea ahalbidetu du. Aurrerago garatu den eredu analitikorako behar izan diren hainbat parametro lortuz. 3. Irudian agertzen diren parametroak erabilgarriak izan dira:

3. Irudia. NX programak emandako parametroak

▼ Mass Properties

3 Solid Bodies

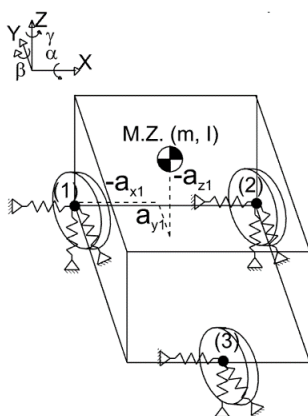
☒ MODEL (Reference set used for assembly roll-up)

	Name	Value	Unit	Source
1	Mass	1.7027	kg	
2	Weight	16.6978	N	
3	Density	2.711e-06	kg/mm ³	
4	Volume	628071	mm ³	

3.2 Analisi modal analitikoa

Analisi modal analitikoari erreparaturaz, eredu matematiko teorikoaren garapenerako txasisaren egituraren diskretizazioa egin da. 4. Irudian ikus daiteke erabili den eredu diskretua:

4. Irudia. Eredu diskretua



Diskretizazioa garatzean kontuan hartu da ibilgailuak hiru ardatz kartesiarretan desplazamendua duela, beraz, sei askatasun graduako sistema bat da. Eredu diskretutik abiatuz eredu matematikoa garatzen has daiteke. Ibilgailuaren 6 askatasun graduak, hiru ardatz kartesiarrek eta bakoitzaren errotazio ardatzak, kontuan hartuz hurrengo mugimenduaren ekuazioak lortu dira:

$$(1.) \quad m\ddot{X} + 3k_x X - 3k_x a_z \beta + k_x (2a_{y_1} - a_{y_3}) \gamma = 0$$

$$(2.) \quad I_x \ddot{\alpha} + 3k_y a_z Y + k_z (2a_{y_1} - a_{y_3}) Z + (3k_y a_z^2 + k_z (2a_{y_1}^2 + a_{y_3}^2)) \alpha = 0$$

$$(3.) m\ddot{Y} + 3k_y Y + 3k_y a_z \alpha = 0$$

$$(4.) I_Y \ddot{\beta} - 3k_x a_z X + (3k_x a_z^2 + 2k_z a_x^2) \beta + k_x a_z (2a_{y1} - a_{y3}) \gamma = 0$$

$$(5.) m\ddot{Z} + 3k_z Z + k_z (2a_{y1} - a_{y3}) \alpha = 0$$

$$(6.) I_Y \ddot{\gamma} - k_x (2a_{y1} - a_{y3}) X + k_x (2a_{y1} - a_{y3}) a_z \beta + k_x (2a_{y1}^2 + a_{y3}^2) \gamma = 0$$

Ekuazioetatik abiatuz bi matrize sortu dira. Alde batetik, masa matrizea sortu da eta bestetik, zurruntasun matrizea, ekuazio diferentzialen konponenteak osatuko dutenak (6.irudia).

6. Irudia. Masa eta zurruntasun matrizeak

$$[M] = \begin{pmatrix} m & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & J_x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & J_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & J_z \end{pmatrix}$$

$$[K] = \begin{pmatrix} 3k_x & 0 & 0 & 0 & -3k_x a_z & k_x (2a_{y1} - a_{y3}) \\ 0 & 3k_y & 0 & 3k_y a_z & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3k_z & k_z (2a_{y1} - a_{y3}) & 0 & 0 \\ 0 & 3k_y a_z & k_z (2a_{y1} - a_{y3}) & 3k_y a_z^2 + k_z (2a_{y1}^2 + a_{y3}^2) & 0 & 0 \\ -3k_x a_z & 0 & 0 & 0 & 3k_x a_z^2 + 2k_z a_x^2 & k_x a_z (2a_{y1} - a_{y3}) \\ -k_x (2a_{y1} - a_{y3}) & 0 & 0 & 0 & k_x a_z (2a_{y1} - a_{y3}) & k_x (2a_{y1}^2 + a_{y3}^2) \end{pmatrix}$$

Matrizeak izango dira bibrazio-moduak eta maiztasun naturalak kalkulatzeko erabiliko diren erremintak.

Matrizeen erabilpenerako garrantzitsua da parametro bakoitzaren identifikazioa, 1.taulan adierazten dira:

1.Taula. Parametroen azalpena

Parametroa	Deskribapena
m	Masa
J_x, J_y, J_z	Ardatz bakoitzaren inertzia momentua
k_x, k_y, k_z	Ardatz bakoitzaren zurruntasuna
a, β, γ	Koordenatu naturalen posizio angeluarra
a_{y1}, a_{y2}, a_{y3}	Masa zentroari dagokion luzetarako desplazamendua
a_z	Masa zentroaren desplazamendu bertikala
a_x	Masa zentroaren alboko desplazamendua

3.3 Elementu finitoen metodoa

Elementu finitoen bidezko analisia egiteko MSC Apex programa erabili da. Analisisian lehenago diseinatu den CAD eredu erabili da.

Hasteko, CAD ereduaren saretak sortzen dira. Saretak egitura geometria jakin bateko zati finituetan banatzen dira. Zati bakoitzak egoera jakin baten aurrean izango duen erantzuna banaka aztertzen da. Sareta-tamaina eta saretaren geometria parametro garrantzitsuak dira analisirako (ikusi 2.Taula).

2.Taula. Saretaren ezaugarriak

Parametroa	Balioa
Sareta-tamaina	8 mm
Elementuen luzera globalaren ratioa	0,20
Geometriaren desbiderapen ratioa	0,10
Barne handipen faktorea	% 10.00
Elementu kopurua	55337

Ondorengo pausua egituraren materiala ezartzea da, oraingo kasuan Al 6082 erreferentziadun aluminioa delarik.

Analisiaren ezaugarriekin bukatzeko, ingurumen baldintzak ezarri behar dira. Aurrerago analisi experimental bat garatu denez, simulazioan laborategian lortuko diren baldintza antzekoak jarri dira. Esperimentuan txasisa zintzilikatuta egon denez, simulazioan ez da murrizpenik ezarri.

3.4 Metodo experimentalak

Analisi dinamikoarekin bukatzeko bibrazio-moduak eta maiztasun naturalak experimentalki lortu dira.

3.4.1 Erabilitako hardware-a

- Datuak lortzeko txartela: Datuak jasotzeko, aztertzeko eta ordenagailura bidaltzeko erabiltzen da.
- Ordenagailua: Txarteletik ailegatzen diren datuak bistaratzeaz arduratzen da. Aurretik instalatutako software baten bidez bibrazioen uhinak grafiko batean irudikatzen dira.
- Kolpekatze mailua: Txasisa eszitatzeko erabiltzen den erreminta. Kolpe batekin aztertu nahi den egitura eszitatzen da aurkeztu dituen bibrazioak jasotzeko.
- Azelerometroa: Mailuak eragindako bibrazioak inpulso elektrikoetan bihurtzeaz arduratzen den erreminta piezoelektrikoa da, geroago ordenagailura bidaltzen diren uhinak, hain zuzen ere.

3.4.2 Esperimentuaren exekuzioa

Entseguak bi era desberdinetan garatu dira:

- Egitura esekiduran: Txasisa lurretik altuera batera eskegi da froga garatzeko orduan ingurumenetik jaso daitezkeen hondar uhinak ahalik eta eragin txikien izateko asmoarekin. Azelerometroa masa zentroan (M.Z.) kokatzen da eta dena prest dagoenean mailuarekin txasisa kolpekatzen da.
- Egitura apar sintetiko (“foam”) baten gainean jarrita: Aurretik aipatu diren hondar uhinak xurgatzeko eta txasisetik baztertzeko asmoarekin “foam” izeneko materiala erabiltzen da. Prozedura berdina jarraituz azelerometroa masa zentroan kokatzen da eta mailuarekin txasisa kolpatzen da.

4. Erantzunak eta ondorioak

Behin analisiak bukatuta eta emaitzen fidagarritasuna aztertu aurretik, geometriaren baliagarritasuna ziurtatu behar da. Ziurtapenean garrantzia daukaten parametroak txasisaren luzera, ardatzen arteko distantzia, bitarteko zabalera, masa eta masa zentroaren kokapena dira. CAD ereduaren eta benetako ereduaren parametroen artean konparaketa egin da, 3.Taulan adierazi diren emaitzak lortuz:

3. Taula. Neurrien konparaketa

Parametroak	Txasisaren batez besteko balioa	CAD ereduaren emaitzak	Akats erlatiboa
Luzera	1.630 m	1.618 m	% 0.007
Ardatzen arteko distantzia	1.489 m	1.480 m	% 0.006
Tarteko zabalera	0.980 m	0.815 m	% 0.170
Masa	12.500 kg	11.680 kg	% 0.066
Masa zentroa	0.913 m	0.985 m	% 0.080

3. Taulan ikusten den moduan, bi ereduen arteko batez besteko errore erlatiboa oso txikia denez, CAD eredu baliagarria izango da elementu finituen bidezko analisia egiteko.

4.1 Analisi teorikoa

Analisi teorikotik 4.Taulan eta 7.Irudian batu diren maiztasun naturalak eta moduen matrizeak lortu dira:

4.Taula. Txasisaren maiztasun naturalak

Maiztasun naturalak	
0.731964 Hz	1.508900 Hz
0.740426 Hz	1.546490 Hz
0.743630 Hz	3.214430 Hz

7. Irudia. Moduen matrizea

$$B = \begin{pmatrix} 1.6679 \times 10^{-16} & 1.2571 \times 10^{-16} & 1.6679 \times 10^{-16} & 1. & 0.0414 & 2.4332 \times 10^{-17} \\ 1. & -1.8568 \times 10^{-15} & 1. & 7.1334 \times 10^{-14} & 4.1235 \times 10^{-17} & 1. \\ 2.0539 \times 10^{-15} & 1. & 2.0539 \times 10^{-15} & -1.5307 \times 10^{-16} & 2.2223 \times 10^{-16} & 0.3883 \\ 1.2150 \times 10^{-19} & -1.9721 \times 10^{-31} & 1.2150 \times 10^{-19} & -7.6539 \times 10^{-17} & 1.2500 \times 10^{-16} & -37.8698 \\ -6.6564 \times 10^{-17} & 2.9476 \times 10^{-21} & -6.6564 \times 10^{-17} & -0.0037 & -0.0039 & -5.2608 \times 10^{-16} \\ 1.7140 \times 10^{-16} & -7.5903 \times 10^{-21} & 1.7140 \times 10^{-16} & 0.9492 & 1. & 3.7274 \times 10^{-15} \end{pmatrix}$$

Lortutako maiztasun naturalei eta moduen matrizeari erreparatuz antzeman daiteke balioak nahiko txikiak direla, gehienak bat baino txikiagoak. Beraz, maiztasun moduak zurrunk direla ondorioztatu da.

4.2 Elementu Finitoen bidezko Analisia (EFA) eta Metodo Esperimentala (AME)

Elementu finituen bidezko analisisian, txasisa egoera libre batean jarrita, lortu diren maiztasun naturalak 5.Taulan adierazi direnak dira.

5. Taula. Maiztasun naturalak EFM metodoarekin lortuta

Maiztasunak	
9.46*10 ⁻⁴ Hz	2.67*10 ⁻³ Hz
8.05*10 ⁻⁴ Hz	196 Hz
1.21*10 ⁻³ Hz	229 Hz
1.65*10 ⁻³ Hz	312 Hz
1.94*10 ⁻³ Hz	449 Hz

Metodo esperimentalean “foam” materiala erabili den kasuko erantzunak hartu dira, txasisa zintzilik dagoenean lortutako erantzunetan hondar uhinak detektatu direlako. “Foam” erabili

denean ez dira guztiz hondar uhinak saihestu, baina bi erantzun baliagarri lortu dira: 230.62 Hz–etan gailur bat eta 312.56 Hz–etan beste bat.

Bi metodoen erantzunen konparaketa egin ondoren, azkenekoan lortutako bi maiztasun naturalak elementu finitoei lortutako beste bi maiztasunen antzekoak direla antzeman da, 6.Taulan ikus daitekeen moduan:

6.Taula. Bi metodoen erantzunen arteko konparaketa

EFM metodoaren bitartez maiztasunak	AME metodoaren bitartez lortutako maiztasunak	Akats erlatiboa
229 Hz	230.62 Hz	% 0.0071
312 Hz	312.56 Hz	% 0.0018

6. taulan ikusten den bezala erantzunen arteko akats erlatiboa oso txikia denez, erantzun baliagarriak lortu dira. Emaiza erabilgarri gehiago ez lortzearen arrazoiak metodo esperimentalean erreminten zehaztasun eza eta laborategiko hondar uhinak izan daitezke.

5. Etorkizunerako planteatzeko den norabidea

Artikuluaren aipatzen den ikerketak etorkizunari begira bideak ireki ditu. Proiektua ez da oraindik bukatu, ezta ibilgailuaren diseinua ere. Ibilgailuak hiru gorpil eduki ordez lau gorpileko ibilgailu batean bihurtu nahi da. Gainera, ibilgailuaren diseinua eskatu duen erakundearen nahiei erreparatu ibilgailuaren segurtasuna hobetu behar da, txasisetik hasita ibilgailuaren osagai guztiak egokituz.

Etorkizunean fabrikatuko diren prototipoei analisi berdina egingo zaie, oraingo prototipoan ezarri diren eredu matematikoak eta analisi metodoak erabiliz.

6. Erreferentziak

Popp K., Schiehlen W. (2010). *Ground Vehicle Dynamics*. (1 ed.). Springer Berlin Heidelberg. DOI: 10.1007/978-3-540-68553-1.

Harris C.M., Piersol A.G. (5 ed.). (2002). *Harris' shock and vibration handbook* (5 ed.). McGraw-hill.

Erviti L.M., Giménez J.G., Alonso A. (2017). Error analysis of the application of combined subspace identification to the modal analysis of railway vehicles. *Journal of Sound and Vibration*, 407, 144-169. DOI: 10.1016/j.jsv.2017.06.038

AU S.K. (2017). *Operational Modal Analysis*. (1 ed.). Springer Singapore. DOI: 10.1007/978-981-10-4118-1.

Dressel A., Sadauckas J. (2020). Characterization and Modelling of Various Sized Mountain Bike Tires and the Effects of Tire Tread Knobs and Inflation Pressure. *Applied Sciences*, 10 (9), 3156. DOI: 10.3390/app10093156.

7. Eskerrak eta oharrak

Lehenik, eskerrak eman nahi zaizkio Pablo Barroso-ri, lanaren gapenaz arduratu delako eta ikerketa aurrera atera izanaren merezimendua duelako.

Bigarrenik, Igor Ansoategui-ri ikerketaren zuzendari bezala, jarraitu den bidea ezarri duelako.

Hirugarrenik, Caminus erakundeari eta beraiekin batera Vital Fundazioari. Proiektuaren sorrera bultzatu izanagatik, proiektuan konfiantza jartzeagatik eta diru laguntzagatik.

Azkenik, K-minus unibertsitatearen taldeari, proiektuan jarri duten gogoagatik. Hasieran ezinezkoa zirudien idea bat errealitatera eramatea lortu duelako.