



IKER
GAZTE
NAZIOARTEKO
IKERKETA EUSKARAZ

II. IKERGAZTE

NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2017ko maiatzaren 10, 11 eta 12
Iruñea, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)

INGENIARITZA ETA ARKITEKTURA

**Makina-erreminta baten elastiko-
tasun eraginaren analisi
mekatronikoa**

*Igor Ansoategui, Francisco Javier
Campa, Carolina López-Ugarte eta
Ana Isabel Boyano*

119-125 or.

<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.ii.03.17>

ANTOLATZAILEA:



ELKARLANEAN:



LAGUNTZAILEAK:



UDALBILTZA



Makina-erreminta baten elastikotasun eraginaren analisi mekatronikoa

Ansoategui Igor; Campa Gómez Francisco Javier; López-Ugarte Carolina; Boyano Ana.

Ingeniaritza Mekanikoa Saila

Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)

igor.ansoategui@ehu.eus

Laburpena

Makina-erreminta industriarako makina haundien garapenak zurruntasun mugatuarekin pisu haundiak mugitzean arazoak sortzen ditu. Makina hauek diseinatzerakoan, eredu mekatroniko berriak behar dira. Lan honetan 3 askatasun maila duen eredu bat aurkezten da. Mugituko den elementuak eragina izango duela ikusten da. Makina bertikal baten zutabea zurrun infinitua dela kontuan hartzean, erremintaren puntan nahi dugun balioa edukitzeko, “jerk”-aren komandoan %90-eko errorea suposatuko du. Ereduaren azterketa esperimentala burutzen da.

Hitz gakoak: eredu mekatronikoa, jerk, erroreak.

Abstract

Moving big weights with limited rigidity can cause problems regarding development of big machines in the machine tool industry. New mechatronic models must be developed when designing these machines. In this work a 3 degree of freedom model is presented. The influence of the movement of the elements is described. Considering infinite rigid the column of a vertical machine, trying to get the desired value at the tip of the tool, will result in an error of 90% of the "jerk" command. The experimental assessment of the model is carried out.

Keywords: mechatronic model, jerk, errors.

1. Sarrera eta motibazioa

Azken urteetan, energia berriztagarrien, trenbideen, hegazkintzaren, plataforma maritimoen, instalazio zientifiko handien fusio energiaren, eta abar arloen hazkuntza makina-erreminta haundien garapena behartu da. Diseinatzaileentzako makina hauen arazo nagusia erremintaren puntan zehaztasun nahikoa garantizatzea zen bere pisu haundia eta zutabe haundietan lan egiteagatik. Horregatik, makina hauek frekuentzia natural txikiak daukate eta, ondorioz, chatter-ekin arazoak sortzen dira [1]. Hauek ere leku haundietan kalibratu behar dira, bere pisu propioagatik sortzen diren deflazioak konpentsatzeko [2]. Ere arazo termikoak sortzen dira eta konpentsatu beharko dira, nabarmenki klima tropikaletan giro tenperaturaren gradiente altuko baten menpean [3]. Azkenik, frekuentzia naturalaren eta indar inertzialen handien konbinazioa erremintako puntaren posizioaren kontrola zailtzen dute. Hau gertatzen da makinak mugimendu azkarrak burutzen saiatzen denean [2].

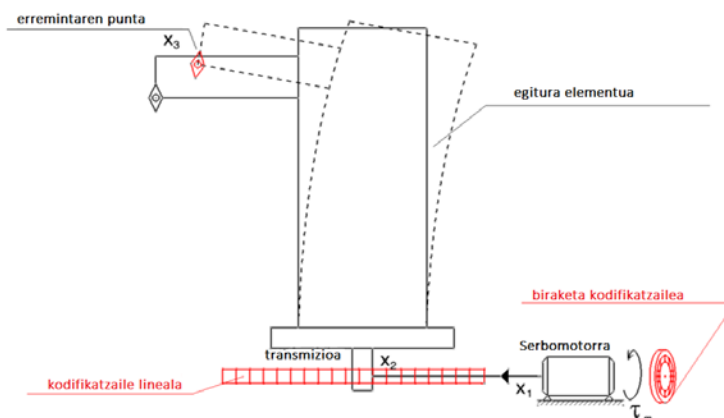
Lan hau azken arazoa lantzen du, hau da, makina haundiaren erreminta puntaren kontrolean. Makina hauetan, posizioa kontrolatzeko erabiltzen diren kodifikatzaileen kokalekua erremintaren puntatik oso urrun dago (ikus 1. Irudia). Orduan, indar inertzialek sortzen duten deflazioa egitura elementuetan akats nabarmenak ekartzen du. Hau minimizatzeko diseinu arlotik, beharrezkoa da mekatronika ereduaren erabilera. Honekin, transmisio mekanikoak eta egitura dinamikoaren errendimendua analizatuko dira.

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Serboakzionamenduaren analisi mekatroniko sinple baterako, inertzia ereduak erabil ahal dira [4]. Dena dela, transmisio katearen malgutasuna kontutan hartu nahi bada, gehien erabiltzen dena 2 askatasun mailako (a.m.) ereduak da. Hamarkada honetan, garatu egin dira zenbait eredu mekatronikoak 2 a.m.-ekin, motorraren kodifikatzailean posizio angeluarren eta kodifikatzaile

linealaren posizioa. A. Dequidt [5] 2000. urtean 2 a.m.-ko eredu bat garatu zuen, lege berriekin bandaren zabalera eta inertzia ratioa determinatzeko. Gainera, Altintas [6] 2011. urtean akzionamendu sistemetako diseinuaren azterketa integrala eta kontrola landu zuen. Eta, duela gutxikoa, R. Caracciolo [7] 2014. urtean eredu mekatroniko bat proposatu zuen, non motorraren parra minimizatzen duena. Izan ere, makina-erreminta haundietan, makinaren elementuetan inertzia handia eta zurruntasunmurriztua dutenean, 2 a.m.-ko ereduak ez dira nahiko zehatzak. 3. a.m. gehitu beharko da erremintaren puntarako (1. Irudian ikusten den bezala), egitura elementuen malgutasun naturala modelatzen, kodifikatzaile linealetik erremintaren puntara arte. Hau ez bada egiten esfortzu haundiegiak edukiko dira zutabeen edo erremintaren punta kokatzen den zikiroan.

1. irudia. Zutabeko malgutasunaren influentzia erremintaren akatsean. X1: Motorreko kodifikatzailearen posizioa. X2: Kodifikatzaile linealaren posizioa. X3: Erremintaren puntaren posizio erreala



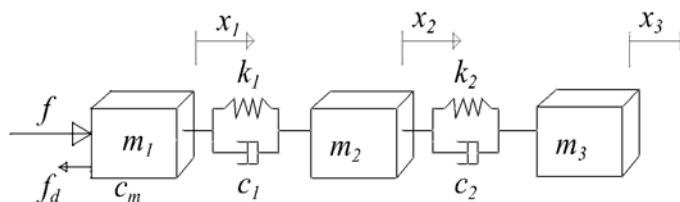
Lan honetan 3 a.m.-ko eredu mekatroniko bat akzionamendu orokor batena aurkezten da eta “jerk” komandoaren influentzia analizatzen da, CNC-tik abiatuta kodifikatzaile linealeko eta erremintaren puntako errorean. Hemen, 3 a.m.-ko eredu erabiltzen da jerk-aren influentzia kuantifikatzeko esfortzu haundian kontsideratzen makinako egitura elementuen malgutasuna. Analisia onetsi da esperimientalki makina-erremintaren malgutasuna simulatzen entseiu gunean, masa bat kokatzen bi plaka finen gainean hegal batekin boladun torloju baten akzionamendu mahaiari lotuta.

3. Ikerketaren muina, eredu mekatronikoa

3.1 Eredu dinamikoa

3 a.m.-ko eredu garatzeko, lehenik beharrezkoa da instalazioaren eredu dinamikoa analizatzea. 2. irudian, ikusi ahal da 3 a.m.-ko parametro kontzentratuen eredu, malgukien eta indargetzaileen bidez masak konektatuta. Hau da ondo ezagutzen den eredu da akzionamendu elektromekanikoko baten eredu dinamikorako [8].

2. irudia. Kontzentratutako parametroen eskema. 3 a.m.-ko eredu



3 a.m.-ko ereduari, x_1 motorraren posizioa da, x_2 kodifikatzaile linealean neurtutako posizioa da eta x_3 erremintaren puntaren posizioa. M_1 masak motorraren inertzia irudikatzen du, bigarren masak, m_2 , transmisioaren inertzia. Hirugarren masak, m_3 , egitura elastikoaren inertzia irudikatzen du. Aldi berean, k_1 eta c_1 transmisio katearen zurruntasuna eta indargetzaileak dira, motorretik kodifikatzaile lineal arte. K_2 eta c_2 egitura estrukturalaren zurruntasuna eta indargetzailea, kodifikatzaile linealetik erremintaren punta arte. Gainera, f indarra baliokidea da serbomotorraren parrera, f_d frikzioak sortzen duen perturbazio eta mozketaren indarra da. C_m motorraren indargetzaile likatsua da. Azken bi elementuak kontsideratuko dira kanpoko perturbazio par baten moduan. Hau izango da 3 a.m.-ko ereduaren mugimendu ekuazioa matrize erara jarrita:

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 & -c_1 & 0 \\ -c_1 & c_1 + c_2 & -c_2 \\ 0 & -c_2 & c_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 \\ 0 & -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

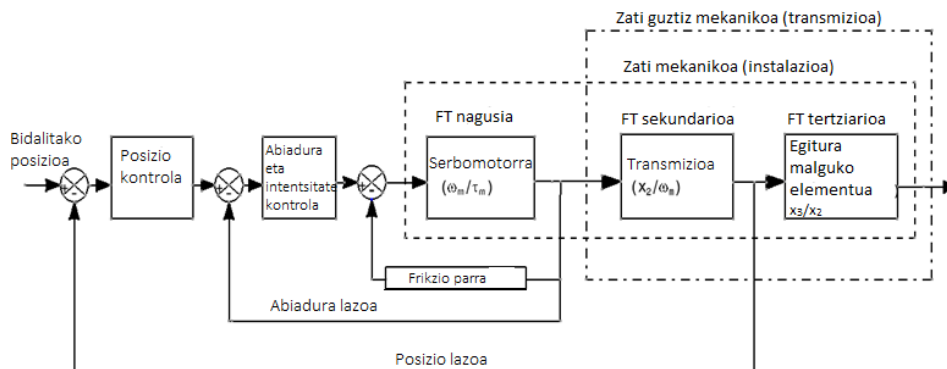
Mugimendu ekuaziotik abiatuta, frekuentziaren dominiora pasa eta gero, akzionamenduaren dinamika eraldatuko da transferentzia funtzioen bidez. Lehen transferentzia funtzioa TF1 definitzen da kodifikatzailearen posizio angeluarra eta motorraren parra erlazionatzen dutenaren bezala. Bigarren funtzioak, TF2, erlazionatzen du kodifikatzailearen posizio lineala motorraren posizio angeluarekin. Azkenik, hirugarren transferentzia funtzioak, TF3 erlazionatzen du erremintaren punta eta kodifikatzaile linealaren posizioa erlazionatzen ditu.

3.2 Eredu mekatronikoa

Eredu mekatronikoa instalazioaren dinamika, kontrola eta sentsoreen errendimendua integratzen ditu. Eredua ikusgai agertzen da 3. irudian, non posizio kontrola eta abiadura moldeatzen dira bere ziklo denborekin, eta transferentzia funtzio tertziario aurkitzen da posizioaren lazo itxiaren ondoren.

Sistemak serboakzionamenduaren barne dago. Honi masa moldagarri bat atxikitzen zaio 1. Irudian ikusten den bezala. Kontrolak PID ezagun bat da erorketa batean, posizio, abiadura eta intentsitate kontrolarekin. Posizio kontrola P proportzional kontrolagailu batean oinarritzen da. Abiadura kontrolak PI motatako kontrola dauka, korrante kontrola ere. Hala ere, korrante lazoa soilik eraldatuko da par konstante bat aplikatzen. Hau egiten da ziklo denbora azkarragoarekin lan egiten da, askoz azkarrago abiadura eta posizioen kontrol lazoek baino. Makina-erreminta haundietarako fenomeno elektrikoaren dinamika azkarragoak dira mekanikak baino.

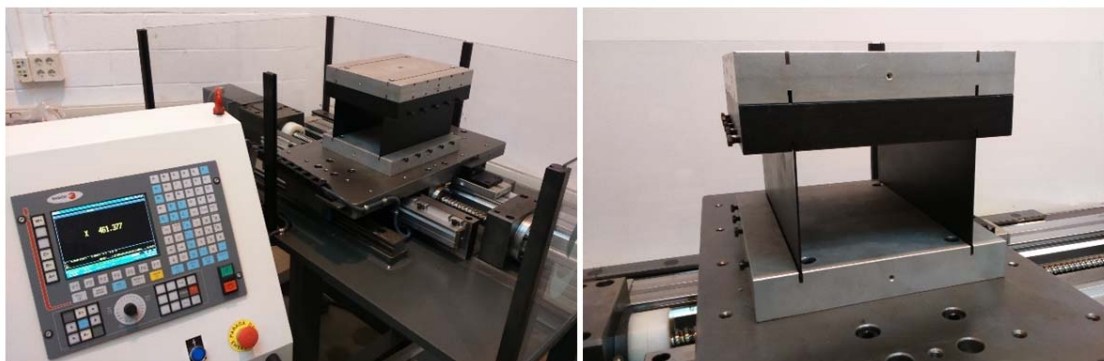
3. irudia. 3 a.m.-ko eredu mekatronikoa makina-erreminta malgu baten akzionamendua



3.3 Azterketa esperimental

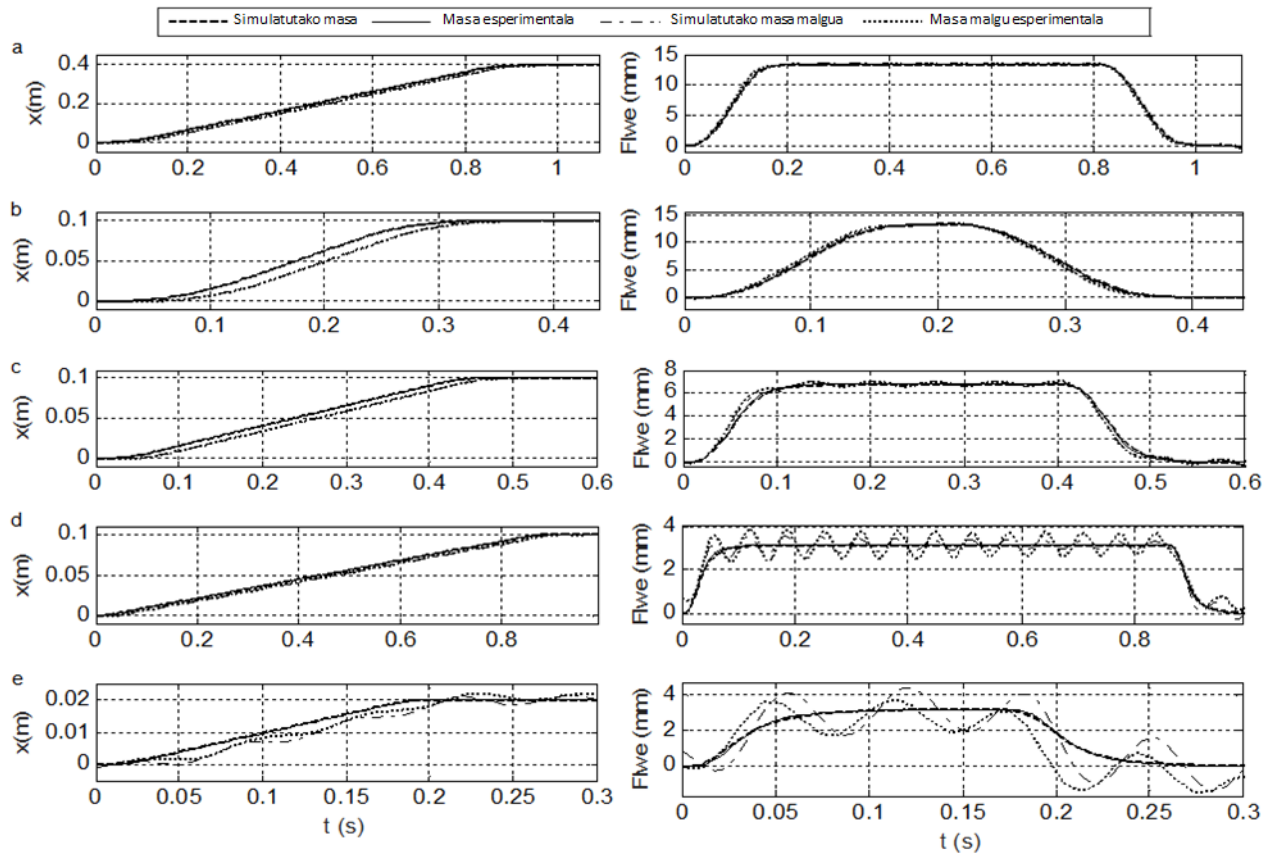
Proba gune batean montatu egin da, 4. Irudian ikusten denez. Honek Fagor serbomotor bat 42,30A FKM 6,3 Nm-ko par nominalarekin, Korta KBS-3210 boladun torloju bat 32mm-ko kanpoko diametroarekin eta 10mm-ko paso bat, eta kodifikatzaile lineal Ls 186 MI640 0,5 μm -ko prezisioa duena dauka. Akzionamendua CNC Fagor 8035 batekin kontrolatuta dago. Akzionamendu mahaiaren goi partean, altzairuzko bi plaka finak jarri dira hegal batekin eta 30 kg-ko masa batekin gainean. Azken hau kontsideratuko da erremintaren punta balitz bezala.

4. irudia. Entsausu gunea malgutasun masa batekin boladun torloju baten akzionamenduaren gainean



Entseietan hau egiten da: ainbat mugimendu lineal egiten dira abiaduraren senu karratuko longitude ezberdinekin, 20, 100 eta 400 mm, eta 7, 15 eta 30 m/min-ko aitzinapen abiadurarekin. Zenbait 6. Irudian emaitzak agertzen dira. Bertan, lorro ez-jarraiak simulatutako posizioa edo mahaia jarraipenaren errorea irudikatzen du. Lerro jarrai lodiak mahaiaren posizioa eta akatsaren jarraipena da, puntadun lerroak masa malguaren posizioa eta akats jarraipenaren simulazioa. Eta, azkenik, lerro jarrai finak mahaiaren posizioa eta akatsa jarraituen neurriak dira

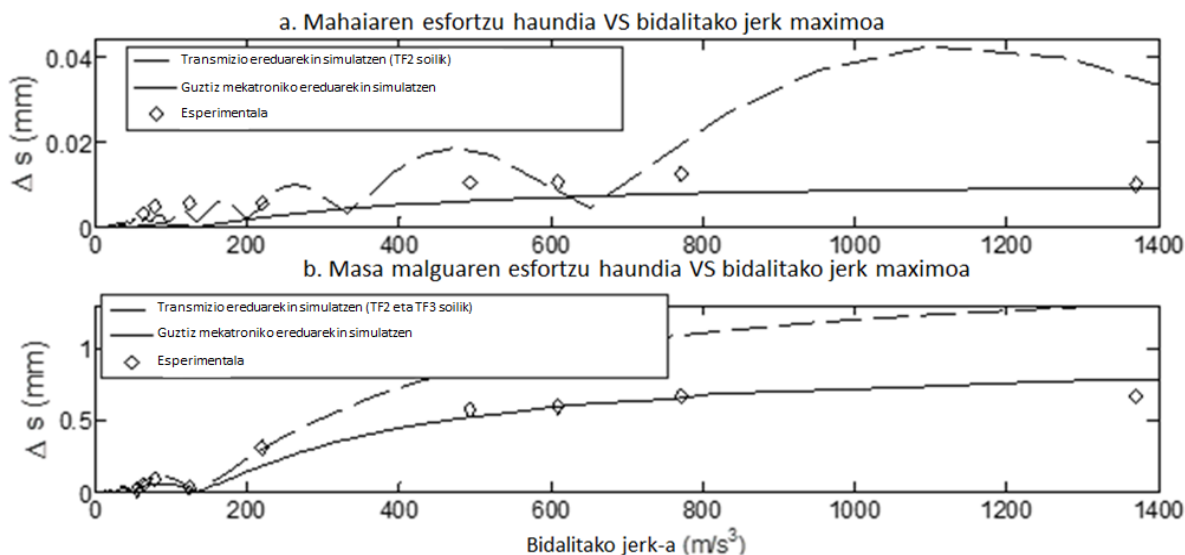
5. irudia. Posizio eta jarraipen akatsaren kurbak, hainbat lan kondizioetarako. Goitik behera: a) $V_f = 30000 \text{ mm/min}$ eta $\Delta x = 400 \text{ mm}$, b) 30000 mm/min eta 100 mm , c) 15000 mm/min eta 100 mm , d) 7000 mm/min eta 100 mm , eta e) 7000 mm/min eta 20 mm



Nagusiki, ikusten da ereduaren kurbak ondo moldatzen direla esperimental kurbetara, 5. Irudian ikusten den moduan. Distantzia motzenen dela eta, mugimendu frekuentzia haundiagoa suposatzen du (5c, 5d eta 5e. irudian), ikusten dira oszilazio haundiagoak masa malguaren jarraipen akatsen. Hau gertatzen da egitura elementuren inertzia eta zurruntasun murriztua dela eta.

Hemen hainbat entseiu egin dira mugimendu perfilaren bidalitako jerk-a aldatzen eta akzionamendu mahaian eta masa malguetan agertzen diren esfortzu haundiak neurtzen. Esperimentalki egiaztatu nahi da nola eragiten dion aldi berean jerk-a eta sistemaren malgutasuna, sistemaren esfortzu haundian. Mahaian eta masa malguan neurtutako esfortzu haundiaren balioak 6a eta 6b irudietan konparatu ahal dira. Simulazioen inguruan, eredu mekatronikoarekin kalkulatu diren esfortzu haundiak irudikatzen dira, baina erreferentzia bat edukitzeko ere agertzen da edukitako desplazamenduak transmisioaren FT-ak kontsideratzen.

6. irudia. Mahaia eta masa malguaren esfortzu haundiak, Δs , bidalitako jerk maximoaren menpe



Eredu mekatronikoaren eta esperimentalen simulatutako esfortzu haundiak konparatzen, esan ahal da nabarmenki kointziditzen direla. 6b irudian entseiu guztiak aurreikusitako joera bat segitzen dute. 6a irudian, ordez, neurtutako esfortzu haundiak aurreikusitakoak baino haundiagoak direla iruditzen da. Mekatroniko ereduaren eta transmisio ereduaren emaitzak konparatuz, argi ikusten da posizio kontrolak balio maximo txikiagoa suposatzen duela mekatroniko ereduaren emaitzak ikusita. Hala ere, aipatu behar da simulatutako kurben forma 6b irudian agertzen den kurbarekin antzekotasuna daukadala, baina ez 6a irudian.

4. Ondorioak

Lehenengo ekarpenak 3 a.m.-ko eredu mekatroniko bat da, zeinek transmisio katearen, makina-erreminta haundiaren egitura elementuak, eta posizio, abiadura eta korrante kontrola integratzen duena. Eredua makinaren egitura elementuen elastizitatearen influentzia simulatzeko helburuarekin programatua izan da. Ikusi da erremintaren punta desplazamendu ezberdina egiten duela kodifikatzaile linealaren kontrolak desplazamenduaren neurriekin konparatuta.

Proba esperimentalentzako, entseiu gune bat erabili izan da, zeinek boladun torloju batez akzionamendu bat daukana eta masa malgu bat makina-erreminta haundi baten elastikotasuna simulatzen duena. Egin dira hainbat entseiu aitzinapen eta ibilaldi ezberdinekin eta ikusten dira ereduarekin doikuntza ona.

Masaren balio maximoaren aldakuntza bidalitako jerk maximoarekin alderatuta analizatzeko, zenbait entseiu ere egin dira, desplazamendua interferometro linealarekin neurtzen. Emaitzak ereduaren predikzioarekin doikuntza onak plazaratzen dute.

Bukatzeko, erreminta bat aurkezten da diseinuaren etapako edozein egitura elementu akzionamendu ezberdineko entseiuak simulatu ahal duena, proba eta akats faseak murrizten, eta horrela saihestea prototipo haundiak eta garestiak eraikitzen.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Hurrengo urratsa, beste kontrol mota batean frogatzea litzateke.

6. Erreferentziak

- [1] Zulaika, J. J., Campa, F. J., and Lopez de Lacalle, L. N., (2011), "An integrated process-machine approach for designing productive and lightweight milling machines," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 51(7-8), pp. 591-604.
- [2] Uriarte, L., Zatarain, M., Axinte, D., Yagüe-Fabra, J., Ihlenfeldt, S., Eguia, J., and Olarra, A., (2013), "Machine tools for large parts," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, 62(2), pp. 731-750.
- [3] Gomez-Acedo, E., Olarra, A., Zubieta, M., Kortaberria, G., Ariznabarreta, E., and López de Lacalle, L. N., (2015), "Method for measuring thermal distortion in large machine tools by means of laser multilateration," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 80(1-4), pp. 523-534.
- [4] Fernandez-Gauna, B., Ansoategui, I., Etxeberria-Agiriano, I., and Graña, M., (2014), "Reinforcement learning of ball screw feed drive controllers," *Eng. Appl. Artif. Intell.*, 30, pp. 107-117.
- [5] Dequidt, A., Castelain, J.-M., and Valdès, E., (2000), "Mechanical pre-design of high performance motion servomechanisms," *Mech. Mach. Theory*, 35(8), pp. 1047-1063.
- [6] Altintas, Y., Verl, A., Brecher, C., Uriarte, L., and Pritschow, G., (2011), "Machine tool feed drives," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, 60(2), pp. 779-796.
- [7] Caracciolo, R., and Richiedei, D., (2014), "Optimal design of ball-screw driven servomechanisms through an integrated mechatronic approach," *Mechatronics*, 24(7), pp. 819-832.
- [8] GroB, H., Hamann, J., Wiegärtner, G., (2001), *Electical feed drives in automation.*, Publicis-MCD.