

Memorias del Encuentro Argentino de Ingeniería

- | Enseñanza de la Ingeniería-CAEDI
- | Gestión de la Educación en Ingeniería
- | Agrimensura, Geodesia y Ciencias de la tierra y el mar
- | Biotecnología y Bioingeniería
- | Materiales y Nanotecnología aplicada a los materiales
- | Desarrollo Tecnológico Social, Vinculación Universidad, Empresa y Estado
- | Ejercicio Profesional de la Ingeniería, Empresas y Servicios
- | Ferroviaria, Automotriz, Naval y Transporte
- | Alimentos y Agroindustria
- | Agronomía y Forestal
- | Energía, Energías Limpias, Energías Renovables y Eficiencia Energética
- | Ingeniería Sostenible, Gestión Ambiental y Cambio Climático
- | Innovación y Emprendedorismo en Ingeniería
- | Mujeres en Ingeniería y Cambio Social
- | Obras y Proyectos de Ingeniería, Infraestructura y Conservación del Patrimonio
- | Tecnología de la Información y Comunicación



Memorias del Encuentro Argentino de Ingeniería : edición 2022 / José Basterra...

[et al.] ; contribuciones de Carolina Orcola ; compilación de Martina Perduca ; prólogo de Nestor Braidot ; Jose Basterra. - 1a ed compendiada. - Corrientes : Universidad de la Cuenca del Plata. Secretaría de Políticas del Conocimiento, 2023.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-4050-08-3

1. Ingeniería. 2. Educación. I. Basterra, José, prolog. II. Orcola, Carolina, colab. III. Perduca, Martina, comp. IV. Braidot, Nestor, prolog.

CDD 620.007

ISBN 978-987-4050-08-3



“Desarrollo virtual del mecanismo de siega para una segadora autopropulsada”

García, Carlos H. A.^a; Camprubí, Germán E.^a; Basterra, José L.^a; Larrea, Marcelo F.^a; Derka, Carlos A.^b

a- Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional del Nordeste (UNNE),

b- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) – EEA Sáenz Peña, Chaco

e-mail adriangarcia_98@hotmail.com

Resumen

En Chaco, los ganaderos de mediana-baja escala afrontan el problema del bache forrajero en invierno. Entre 2016 y 2020, INTA y UNNE desarrollaron una rotoenfardadora cuya fabricación y comercialización está actualmente a cargo de una PyME metalmecánica con pago de regalías al binomio institucional. Esa máquina resulta aún insuficiente para resolver el bache forrajero porque las pasturas necesitan ser cortadas y ordenadas como requisito previo al paso de la rotoenfardadora. Una segadora autopropulsada completará un kit de recolección de pasturas junto con la rotoenfardadora. La máquina se subdividió en partes para facilitar su posterior ensamblaje virtual: mecanismo de corte, cilindros acondicionadores y chasis.

El objetivo de este trabajo es presentar el proceso de diseño y cálculo del mecanismo de siega de una máquina segadora autopropulsada. Se aplicó una metodología de diseño y cálculo de máquinas adaptada de bibliografía especializada y la contribución metodológica de este trabajo consistió en la aplicación de la vigilancia tecnológica no sólo en la definición conceptual del mecanismo de siega sino también en las posteriores etapas de diseño. El software SolidWorks permitió obtener dibujos 3D y simulaciones de las partes y componentes del mecanismo de siega con una secuencia de cuatro prototipos virtuales hasta llegar a la última versión previa al ensamble final. Queda pendiente integrar este mecanismo diseñado y calculado con los cilindros acondicionadores y el chasis para lograr un producto virtual mínimo viable de la segadora con sus planos de fabricación generales y de detalle.

Abstract

In Chaco, medium and low-scale livestock producers face the problem of forage shortage in winter. Between 2016 and 2020, INTA and UNNE developed a roto-baler which is being produced and sold by a metal-mechanic SME with royalty payments to the institutional binomial. This machine is still insufficient to resolve the forage shortage because the pastures need to be cut and sorted as a prerequisite for the roto-baler to pass through. A self-propelled mower will complete a pasture collection kit along with the roto-baler. The machine was subdivided into parts to facilitate its subsequent virtual assembly: cutting mechanism, conditioning cylinders and chassis.

The objective of this work is to present the process of design and calculation of the mowing mechanism of this self-propelled mower. A methodology for the design and calculation of machines adapted from specialized bibliography was applied and the methodological contribution of this work consisted in the application of Technological Surveillance not only in the conceptual definition of the mowing mechanism but also in the subsequent designing stages. SolidWorks software was applied to obtain 3D drawings and simulations of the parts and components of the mowing mechanism with a sequence of four virtual prototypes to reach the latest version prior to final assembly. It remains to integrate the designed mechanism with the conditioning cylinders. and the chassis until reaching a virtual minimum viable product of the self-propelled mower.

Palabras Clave: mecanismo de siega, vigilancia tecnológica, prototipado virtual

INTRODUCCIÓN

Los vínculos entre la Universidad y el sector productivo han adquirido importancia en la evolución de las universidades hacia la tercera misión. Esta forma de entender la investigación y la innovación, está relacionada con el desarrollo regional, la dinámica interinstitucional y la promoción del conocimiento fuera del ámbito universitario [1].

Este trabajo presenta una de las etapas cumplidas en una beca de pregrado orientada hacia la resolución de una necesidad de mecanización detectada entre productores ganaderos de mediana y baja escala en la provincia del Chaco. La beca se realizó en el marco de un proyecto de investigación y desarrollo denominado “Estudio y caracterización de las demandas de

innovación tecnológica para la Agricultura Familiar en el NEA”.

Entre 2016 y 2020, el INTA localizado en Presidencia Roque Sáenz Peña y la Facultad de Ingeniería de la UNNE desarrollaron una rotoenfardadora cuya fabricación y comercialización está actualmente a cargo de una PyME metalmecánica con pago de regalías al binomio institucional.

Una segadora autopropulsada permitirá completar un kit de recolección de pasturas junto con la rotoenfardadora ya desarrollada.

PROBLEMA Y OBJETIVO

En la provincia del Chaco, los ganaderos de mediana-baja escala afrontan el problema del bache forrajero que se produce en invierno. La falta estacional de forraje podría solucionarse mediante una adecuada reserva de las pasturas recolectadas en contra estación. El mercado sólo ofrece máquinas de recolección y reserva de pasturas adaptadas a mayores escalas de producción.

La rotoenfardadora INTA-UNNE resulta aún insuficiente para resolver el bache forrajero porque la pastura necesita ser cortada y ordenada como requisito previo al paso de la rotoenfardadora arrastrada por un tractor. Así, para ofrecer una respuesta integral al problema detectado en el territorio resulta necesario el desarrollo de una segadora.

Una segadora autopropulsada con un motor a explosión y un rastrillo que se acoplen a las prestaciones de la rotoenfardadora existente conformarán un kit tecnológico para el corte, recolección y enfardado de rollos de pasturas.

El objetivo de este trabajo es presentar el proceso de diseño y cálculo del mecanismo de corte de pasturas de la máquina segadora autopropulsada.

MARCO TEÓRICO

El enfoque de las Tecnologías Apropriadas (TA) fue introducido inicialmente por E. F. Schumacher (1973) [2] con una visión constructivista de la tecnología y específicamente orientado al desarrollo de productos y a las ingenierías.

Las TA generan máquinas apropiadas refiriéndose así a las diseñadas para beneficiar a la comunidad a las que van dirigidas y considerando sus adaptaciones al contexto comunitario en términos técnicos, económicos, ambientales y socioculturales, así como su sostenibilidad en el tiempo [3]. Las TA constituyen una opción para materializar innovaciones tecnológicas de producto (particularmente las de tipo incremental) en territorios subnacionales con menor desarrollo tecnológico.

En el caso de proyectos de máquinas apropiadas, el enfoque de las TA pone especial atención a dos grandes aspectos [4]: los técnicos (definir y explicitar las especificaciones técnicas que la máquina ha de cumplir: función, dimensiones, movimientos, accionamiento, fuerzas y resistencia, entre otros aspectos) y del contexto (conocer, definir y explicitar las características del entorno que afectan al proyecto de diseño y desarrollo de la máquina: aspectos sociales, culturales, económicos, tecnológicos, de género, recursos materiales, capacidades e infraestructuras, entre otros aspectos territoriales).

Generalmente las TA generan máquinas de mediana o pequeña escala, eficientes, replicables en forma modular procurando condiciones que promuevan la fácil operación, mantenimiento y reparación y de materialización con costos mínimos [5]. En 2014 se relevaron antecedentes [6] sobre ciertos indicadores de idoneidad de tecnologías apropiadas teniendo en cuenta que los enfoques tradicionales de la ingeniería necesitan ampliarse con técnicas de diseño más flexibles, participación de los usuarios finales y colaboración multidisciplinar y que los tres puntos críticos de los desarrollos convencionales de diseño de máquinas son [7]: los usuarios finales no intervienen o bien lo hacen al final del desarrollo; no se analizan explícitamente las consideraciones sociales, culturales y de género en ninguna de sus etapas; se enfocan principalmente en los artefactos en sí y no se enfatiza en la identificación de la necesidad, el problema y la solución, la transferencia de tecnología y los mecanismos de creación de capacidades en el contexto específico de su desarrollo. Apropia, en el verdadero sentido de la palabra, resulta una tecnología cuando está desarrollada localmente, preferentemente con medios y equipos locales y respondiendo a necesidades locales [8] con un gran énfasis en la sostenibilidad [9].

Algunos autores plantean tecnologías apropiadas basadas en la modularidad y el diseño colaborativo [10] procurando llegar a un producto mínimo viable que resulte apto para el contexto específico en el que se va a aplicar. Según estas propuestas basadas en un diseño modular, los productos diseñados de manera colaborativa reducen su costo, su peso y su tamaño. Por otra parte, los productos reconfigurables, pueden ser adaptados más fácilmente a las necesidades cambiantes de los usuarios y así permitir el desarrollo sostenible y hacer más provechosa y atractiva la inversión inicial en los mismos.

METODOLOGÍA

Aspectos Generales

Se aplicó una metodología adaptada en base a bibliografía especializada en arquitectura de máquinas ([11], [12], [13]) y de prototipos en entornos virtuales ([14], [15]). La propuesta metodológica fue enriquecida con la vigilancia tecnológica (VT) [16] como una impronta distintiva de este trabajo. Simplificadamente se cumplieron las siguientes fases:

- análisis de la problemática e identificación de las especificaciones cuantitativas y cualitativas para el diseño virtual de la segadora.
- diseño conceptual de la máquina en partes para facilitar su posterior ensamblaje virtual: mecanismo de corte (estructuras fija y móvil, cuchillas inferiores y superiores), cilindros acondicionadores (superior e inferior, sistema tensado de cadena y estructura de soporte) y chasis (estructura, sistema de tracción y de dirección).
- desarrollo de las partes de la segadora con cálculos asociados: diseños y cálculos a nivel de sistema y de ensamblajes y detalles ([17]; [18]; [19]; [20]) con selección de materiales [21].
- elaboración de los archivos de soporte (planos de fabricación) para la futura construcción de un prototipo físico.

Aspectos Particulares

Mecanismo de corte

Los pilares para el desarrollo del mecanismo de siega fueron la rotoenfardadora existente, la vigilancia tecnológica y el prototipado virtual.

La rotoenfardadora INTA-UNNE, Figura 1, fue diseñada teniendo en cuenta las necesidades de sus destinatarios finales. Sus dimensiones establecieron las condiciones cuantitativas de referencia para el diseño de la segadora y por ende de las partes en que fue subdividida.



Figura 1: Rotoenfardadora INTA-UNNE.
Fuente: INTA-UNNE

Partiendo de la información adquirida durante las etapas previas, el mecanismo de corte a través de

posteriores etapas de diseño y rediseño, las cuales fueron resumidas en cuatro versiones.

Materiales utilizados

Los materiales aplicados para el desarrollo de la propuesta metodológica fueron:

- Computadora, procesador AMD FX (tm)-6300 seis núcleos, memoria RAM 8GB, sistema operativo 64 bits.
- Photoshop CS6.
- SolidWorks Premium 2019 SP3.0
- MathCad 14.
- Bases de datos de propiedad industrial de acceso gratuito.
- Videos de segadoras en funcionamiento a campo

RESULTADOS

Vigilancia Tecnológica

El relevamiento de base de datos de patentes de libre acceso se realizó en los sitios:

<https://worldwide.espacenet.com/>

<https://www.inapi.cl/>

Dentro de este relevamiento se captaron 7 patentes, de las cuales para el mecanismo de siega en particular se seleccionó la patente ES0293617U presentada en la Figura 2.

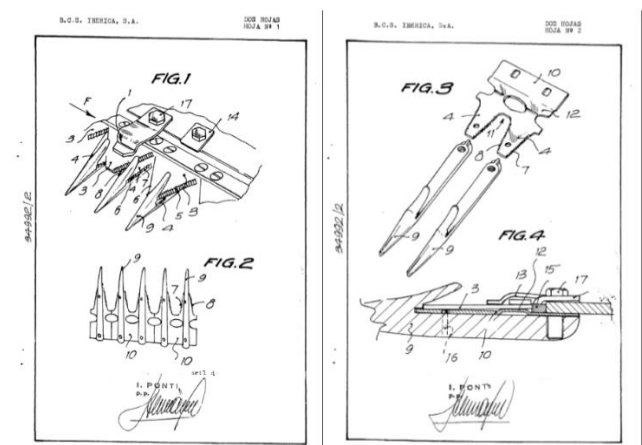


Figura 2: Mecanismo de siega de patente ES0293617U
Fuente: <https://www.inapi.cl/>

Prototipado Virtual

Tomando como base el diseño adoptado como resultado de la vigilancia tecnológica se propuso el primer prototipo virtual del mecanismo de siega (V1.0).

Posteriormente se ejecutaron etapas de diseño y rediseño hasta llegar a la versión final del prototipo virtual (V4.0).

Secuencia de versiones del prototipo virtual

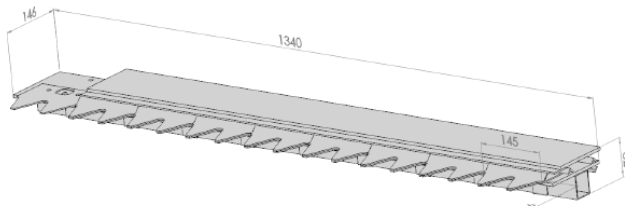


Figura 3: Mecanismo de siega V1.0

El prototipo virtual mecanismo de siega V1.0 mostrado en la Figura 3 es el primer prototipo de este mecanismo o prototipo de concepto, donde se encuentran las partes mas importantes, como las cuchillas y elementos estructurales. Las dimensiones de este prototipo virtual inicial se adaptaron a las condiciones de trabajo de la rotoenfardadora INTA-UNNE que sirvieron para definir el ancho de salida de la maquina segadora y como consecuencia también su ancho de corte o avance.

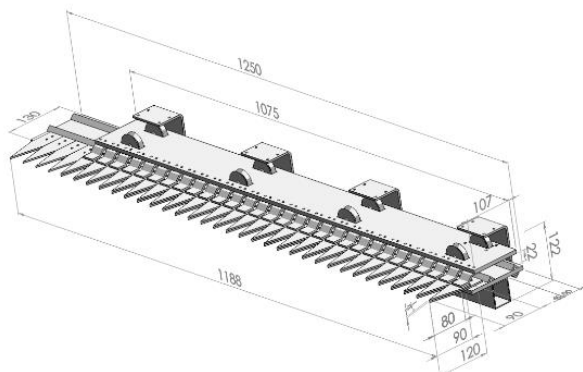


Figura 4: Mecanismo de siega V2.0

En la Figura 4 se presenta el mecanismo de siega V2.0, ya se tiene un prototipo más detallado porque incluye los elementos de rodadura que no se encontraban explicitados en el documento de patente seleccionado por vigilancia tecnológica.

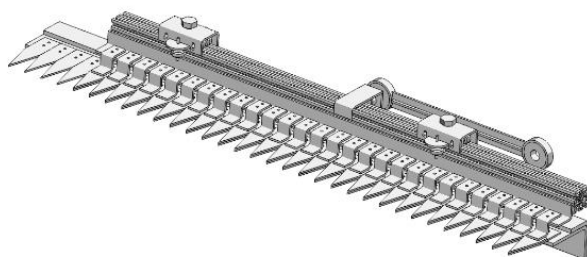


Figura 5: Mecanismo de siega V3.0

Con el mecanismo de siega V3.0 de la Figura 5 se mejoró el sistema de rodadura. La versión previa

(V2.0) estaba pensada con elementos de rodadura utilizados en portones deslizables, mientras que en la versión 3.0 se reemplazó por elementos comúnmente utilizados en las máquinas de tipo CNC. Además, se hizo una estimación para adoptar un perfil de aluminio tipo Bosch con V-Slot como estructura guía de los elementos de rodadura. Así también se diseñó en forma estimativa las cajas de rodamientos.

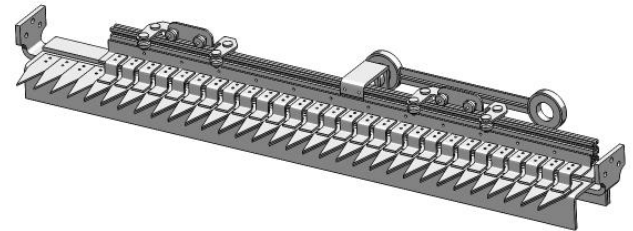


Figura 6: Mecanismo de siega V4.0

El mecanismo de siega V4.0 de la Figura 6 representó un mayor salto analítico y de cálculo respecto de su versión anterior.

La versión 4.0 incorporó las interacciones con las otras dos partes de la segadora (cilindros acondicionadores y chasis).

Mediante una secuencia de cálculos estructurales y de reemplazo de materiales, finalmente se llegó a definir el mecanismo de siega en 7 elementos y sus cajas de rodamientos, los cuales se dividieron en parte fija y parte móvil.

Correspondiente a la parte móvil se obtuvo:

Elemento 1: pieza de vinculación entre el elemento 3 y el elemento 2. Formado por tres de chapas de acero de 4 mm de espesor, una de ellas con dos pliegues y un cilindro de acero maquinado de 35mm de diámetro, unidas por soldadura.

Elemento 2: biela que transmite el movimiento del motor a la parte móvil del mecanismo de siega. Formado por dos cilindros huecos, maquinados, de 4 mm de espesor y 4 chapas de acero, unidas mediante soldadura.

Elemento 3: perfil de aluminio tipo Bosch 4020 con canales de rodadura tipo V. Cortado de barra.

Elemento 5: cuchillas superiores, conformada por una cuchilla de acero para cuchillos y una chapa plegada de 4mm de espesor. Ambos unidos por soldadura.

Elemento 7: barra de vinculación entre las cuchillas superiores (elemento 5) y el elemento 3.

Correspondiente a la parte fija se obtuvo:

Elemento 4: cuchilla inferior, cortada y maquinada de barra de acero para cuchillos.

Elemento 6: chapa estructural, formada por tres chapas plegadas de 6,35 mm de espesor.

Cajas de rodamientos: armadas con chapas de acero de 4 mm de espesor y rodamientos 625zz con ruedas V-Slot.

Simulaciones Virtuales

Las simulaciones se iniciaron marcando las condiciones de borde que estuvieron dadas por el accionamiento del sistema de corte mediante un motor hidráulico de 5kW entregando su máxima potencia.

Aplicando el software de diseño SolidWorks se simularon los elementos estructurales (3, 6, 7) y los elementos funcionales del mecanismo de siega (1, 2, 4, 5) vistos en la Figura 7.

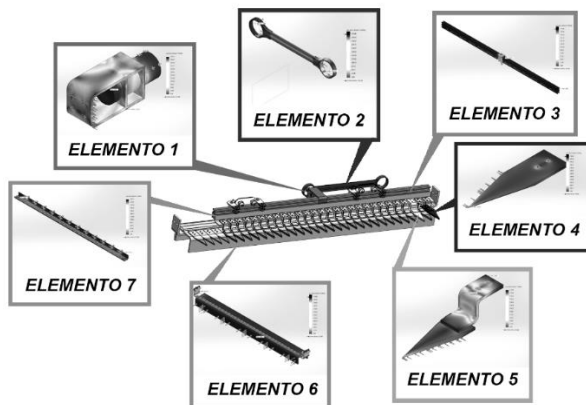


Figura 7: Elementos simulados del mecanismo de siega V4.0

Tras haber realizado las simulaciones se identificaron problemas en los elementos 1 y 6 con lo cual se hicieron modificaciones en su geometría y dimensiones.

Se procedió al rediseño de los elementos, en el caso del elemento 1 se cambió la chapa de acero utilizada en su fabricación, de un valor de 4 mm a 6,35 mm, y su pieza cilíndrica de un valor de diámetro de 35 mm a 38 mm.

En cuanto al elemento 6 se modificó la geometría de sus sujeciones, ubicadas inicialmente en sus extremos, para agregar un agujero de vinculación adicional; además se pasó de un espesor de la chapa utilizada de 6,35 mm a 9,5 mm.

Planos

Los resultados de las actividades de VT, prototipado y simulaciones virtuales, cálculos, selección de materiales y verificaciones quedaron expresados en planos de fabricación. A modo de ejemplo, se presentan 3 planos correspondientes a la caja de rodamientos (Figura 8), al elemento estructural de soporte de la parte

fija, con las medidas generales del mecanismo de corte (Figura 9) y un ensamblaje completo del sistema de siega V4.0 (Figura 10).

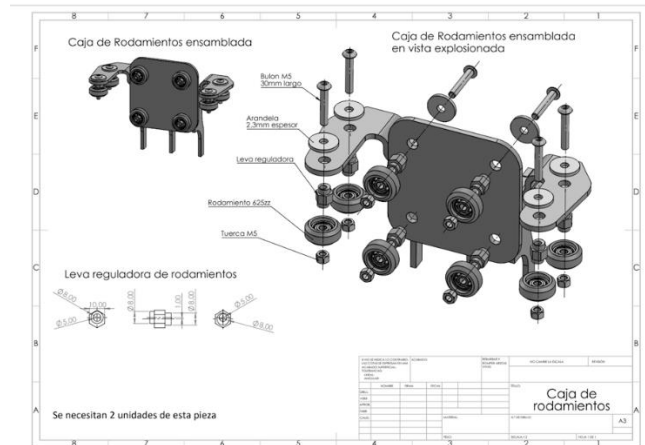


Figura 8: Vista explosionada caja de rodamientos

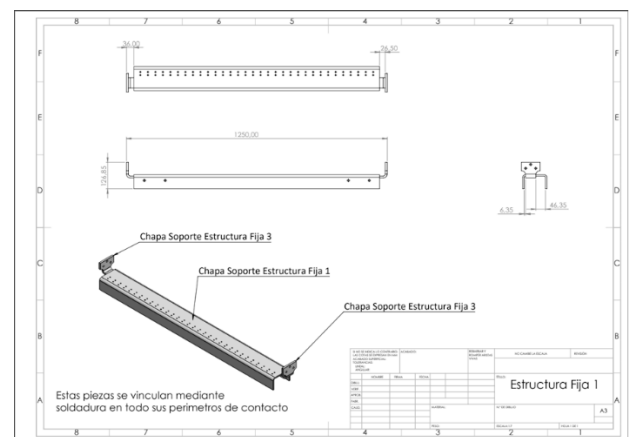


Figura 9: Estructura de soporte fija

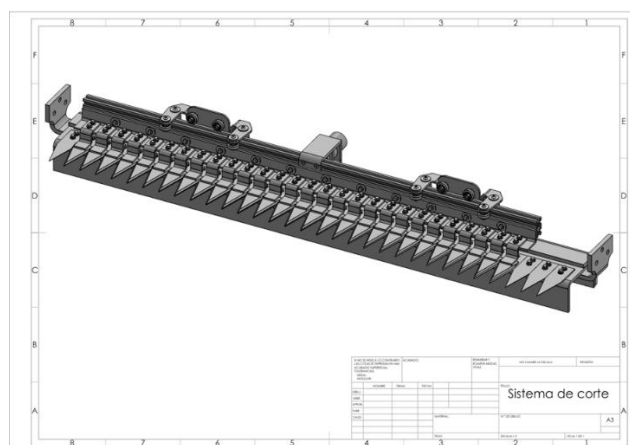


Figura 10: Mecanismo de Siega V4.0 ensamblaje completo

CONCLUSIONES

Las Tecnologías Apropriadas están inexorablemente vinculadas con los desarrollos de productos situados territorialmente. Con este enfoque asumimos que los

conocimientos científicos de las ingenierías constituyen elementos necesarios, aunque no suficientes para mecanizar las necesidades productivas del entorno regional. La relación UNNE-INTA que fuimos construyendo desde 2016 fue una de las claves para la definición del binomio problema-solución, el análisis de las escalas de producción y la atención a las características de los usuarios finales en el caso de la recolección de pasturas.

La propuesta de esta segadora se encuadró en un Plan de Beca contextualizado en un problema productivo regional que fue caracterizado mediante un trabajo cooperativo entre UNNE y el INTA. Así, un estudiante que se encuentra en el final de su carrera de Ingeniería Electromecánica pudo ejercitar sus competencias adquiridas en el ciclo universitario en la solución de un problema específico.

El proceso de desarrollo de máquinas con la tríada Universidad-Estado-Empresa es de naturaleza multivariante, pero parte de su complejidad puede asociarse con la inversión en recursos de tiempos, materiales, insumos y mano de obra, entre otros. La vigilancia tecnológica y softwares de diseño abren grandes ventanas de oportunidad para disminuir esas inversiones en el área de las ingenierías manufactureras. En nuestro caso, el prototipo de concepto de una segadora fue concebido en partes (mecanismo de corte, cilindros acondicionadores, estructura de soporte y otros elementos funcionales). Así, las búsquedas pudieron ordenarse y las actividades de VT admitieron seleccionar no sólo modelos integrales (segadoras completas) sino también partes y mecanismos de diversas máquinas de corte de pasturas. El conocimiento experto constituyó la clave para procesar, recrear y crear diferentes prototipos virtuales que fueron simulados en procura de la mejor TA. El mecanismo de corte de la segadora obtenido en este trabajo fue el resultado de una secuencia no lineal con retroalimentación desde una versión V1.0 hasta la V4.0 que quedó expresada en 22 planos generados mediante el software de diseño. La selección de materiales se realizó priorizando su disponibilidad comercial entre los proveedores locales y regionales.

Todo el despliegue de las búsquedas por VT, los prototipos y sus simulaciones, el dimensionamiento, la selección de materiales, las verificaciones de cálculos y los planos obtenidos tuvieron un mayor sentido y adquirieron pertinencia en el marco de la resolución del bache forrajero.

Modalidades semejantes también posibilitarán completar la máquina, en el plazo anual de la beca, con la definición de los cilindros acondicionadores, la estructura de soporte y demás elementos funcionales que serán ensamblados para su simulación virtual. Una

vez que se logre el ensamblado final del modelo virtual de la segadora autopropulsada se realizará el presupuesto de sus materiales e insumos para alcanzar un producto virtual mínimo viable de la máquina asociado con su soporte documental de planos generales y de detalle.

El producto virtual mínimo viable habilitará, en el mediano plazo, la gestión de un subsidio estatal para la construcción de su prototipo físico. En este sentido, la rotoenfardadora será un antecedente valioso en la captación de los recursos para la segadora ya que integran un kit de recolección de pasturas.

Finalmente, reafirmamos el rol de la VT y los prototipos y simulaciones virtuales como puntos de palanca para las TA construidas mediante relaciones interinstitucionales. Así, las TA pueden pensarse como una opción válida para el desarrollo de los distritos subnacionales aún de aquellos más alejados de la frontera tecnológica.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría General de Ciencia y Técnica de la Universidad del Nordeste que financió la beca de pregrado.

REFERENCIAS

- [1] Alonso, M.; Cuschnir, M. & Nápoli, M. (2021). La tercera misión de la universidad y sus múltiples sentidos en debate. *Revista del IIICE*, (50), 91-130.
- [2] Schumacher, E. F. (1973). *Lo pequeño es hermoso: Economía como si la gente importara*. Harping, Londres.
- [3] Sorlini, S.; Rondi, L.; Gomez, A. P. & Collivignarelli, C. (2015). Appropriate technologies for drinking water treatment in Mediterranean countries. *Environmental Engineering and Management Journal*, 14(7), 1721-1733.
- [4] Muñoz, R. (2018). Las tecnologías apropiadas ¿un cambio de paradigma o una utopía?. *Tekhné*, 21 (1), 78-87.
- [5] Akubue, A. (2000). Appropriate technology for socioeconomic development in Third-World countries. *The Journal of Technology Studies: An E-Journal*, 26(1), 33-43.
- [6] Bauer, A. M. & Brown, A. (2014). Quantitative Assessment of Appropriate Technology. *Procedia Engineering*, 78, 345-358.
- [7] Murphy, H. M.; McBean, E. A. & Farahbakhsh, K. (2009). Appropriate technology – A comprehensive approach for water and sanitation in the developing world. *Technology in Society*, 31(2), 158-167.

- [8] Bonsiepe, G. (1985). *El diseño de la periferia*. Gustavo Gili. Barcelona.
- [9] Vega Encabo, J. (2004). Traslación y adaptación de técnicas. Tecnologías apropiadas y procesos de transferencia. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 1 (3), 51-71.
- [10] Morrise, J., Lewis, P. K., Mattson, C. A. & Magleby, S. P. (2011). A method for designing collaborative products with application to poverty alleviation. In *ASME International Design Engineering Technical Conferences*. ASME. Washington.
- [11] Gorrostieta, E.; Soto, E.V.; Zuñiga, A. L.; Rodríguez, R. J. & Tovar, A. S. (2015). A mechatronics methodology: 15 years in experience. *Ingeniería e Investigación*, 35 (3), 107-114.
- [12] Tomiyama, T.; Gu, P., Jin, Y.; Lutters, D., Kind, C. & Kimura, F. (2009). Design methodologies: Industrial and educational applications. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 58(2), 543–565.
- [13] Ulrich, K., & Eppinger, S. D. (2013). *Diseño y desarrollo de productos*. McGraw-Hill. Boston.
- [14] Blanco Ortega, A.; Magadán Salazar, A.; Gómez Becerra, F. A.; Guzmán Valdivia, C. H. & Antúnez Leyva, E. (2019). Diseño de sistemas mecatrónicos: prototipos virtuales. *Pistas Educativas*, 40, 1421–1439.
- [15] Kim, D. Y. (2019). A design methodology using prototyping based on the digitalphysical models in the architectural design process. *Sustainability*, 11(16), 1-23.
- [16] Pavlicevic, J. S. (2021). *Diseño de un Modelo de Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Estratégica (VTeIE)* [Tesis doctoral Universidad Nacional de Lomas de Zamora]. <https://digital.cic.gba.gob.ar/items/75bba6d9-5824-4d46-a2f7-5ddac97a77f3>
- [17] Hibbeler, R. C. (2011). *Mecánica de materiales*. Pearson. México.
- [18] Pezzano, P. A. (1991). *Tecnología mecánica-metrología*. Librerías y Editorial Alsina. Buenos Aires.
- [19] Cosme, Héctor N. (1977). *Elementos de máquinas*. Marymar ediciones S.A. Buenos Aires.
- [20] Faires, V.M. (1975). *Diseño de elementos de máquinas*. Montaner y Simón. Barcelona.
- [21] Ashby, M.F. (2011). *Materials Selection in Mechanical Design*. Elsevier. Gran Bretaña.