

PROTOTIPO VIRTUAL DE SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE PASTURAS PARA MAQUINA SEGADORA

Carlos H. A. García ¹; Germán E. Camprubí ¹; José L. Basterra ¹; Marcelo F. Larrea ¹;
Carlos A. Derka ²

¹ Departamento de Mecánica – Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste
Las Heras 727, Resistencia, Argentina- adriangarcia_98@hotmail.com;
german.camprubi@comunidad.unne.edu.ar; jbasterra@ing.unne.edu.ar;
mlarrea@unitan.net

² INTA Las Breñas, Ruta Nacional N° 89, Km 227, Las Breñas, Argentina –
derka.carlos@inta.gob.ar

RESUMEN

El problema del bache forrajero entre los ganaderos de mediana-baja escala en la región del NEA consiste en una escasez estacional de forraje. Entre 2016 y 2020, INTA y UNNE diseñaron y fabricaron una rotoenfardadora con escalamiento comercial a cargo de una PyME metalmecánica que actualmente paga regalías al binomio institucional. Esa máquina resulta aún insuficiente para resolver el bache forrajero de invierno porque las pasturas necesitan ser cortadas y ordenadas antes del paso de la rotoenfardadora. Una segadora autopropulsada completará un kit de recolección de pasturas junto con la rotoenfardadora. El diseño de esta nueva máquina se subdividió en bloques: sistema de acondicionamiento (cilindros acondicionadores, estructura de soporte, sistema de transmisión de potencia y accesorios), mecanismo de corte (cuchillas superiores e inferiores, estructura de soporte, sistema de transmisión de potencia y accesorios), y chasis (sistema de dirección, sistema de propulsión, estructura y accesorios).

El objetivo de este trabajo es presentar el proceso de diseño y cálculo del prototipo virtual de un sistema para acondicionamiento de pasturas de una máquina segadora autopropulsada. Se aplicó una metodología de diseño y cálculo de máquinas adaptada de bibliografía especializada incorporando la vigilancia tecnológica (VT) en todas las etapas de diseño.

En la búsqueda de una mejor calidad del forraje cortado, los elementos centrales del sistema son los cilindros acondicionadores, que son dispositivos para quebrar y aplastar el forraje cortado con la consecuente disminución de los tiempos de oxidación. Se propusieron tres prototipos virtuales para el sistema, denominados v1.0, v2.0 y v3.0 que marcaron una evolución con mejoras y detalles funcionales adicionales. La versión final del sistema de acondicionamiento, v3.0 fue desarrollada básicamente con caños estructurales y chapas de acero de 8 mm de espesor con un peso estimado de 190 kg.

Queda pendiente integrar este sistema de acondicionamiento con el mecanismo de corte, el chasis y diversos elementos funcionales para alcanzar un producto virtual mínimo viable de la segadora. En el mediano plazo continuará la gestión de recursos para la construcción y validación de su prototipo físico.

La VT y los prototipos y simulaciones virtuales constituyeron puntos de palanca para proponer una tecnología situada territorialmente y asentada en relaciones interinstitucionales.

Palabras Clave: Bache Forrajero, Tecnología Apropriada, Segadora Acondicionadora

1. INTRODUCCIÓN

Las universidades han realizado durante siglos actividades tradicionales tanto de enseñanza/aprendizaje (primera misión) como de investigación académica para la generación de conocimiento tecnocientífico (segunda misión). Más recientemente se ha agregado explícitamente una nueva misión usualmente llamada "tercera misión" designando así la divulgación y compromiso para favorecer el desarrollo territorial a través de interacciones intencionales entre universidades y entornos no académicos (industriales y sociales), lo que refleja la participación cada vez mayor de la Universidad en la economía y la sociedad [1].

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.

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

El diseño conceptual del modelo virtual de una segadora autopropulsada se basó en tres bloques fundamentales con sus elementos constitutivos y otros elementos funcionales: sistema de acondicionamiento (cilindros acondicionadores, estructura de soporte, sistema de transmisión de potencia y accesorios), mecanismo de corte (cuchillas superiores e inferiores, estructura de soporte, sistema de transmisión de potencia y accesorios), chasis (sistema de dirección, sistema de propulsión, estructura y accesorios) y otros elementos funcionales (como neumáticos y elementos de propulsión entre otros). El desarrollo virtual de la segadora se realiza en el marco de un proyecto de investigación aplicada orientado a obtener el producto virtual mínimo viable como paso previo a la fabricación y validación del prototipo físico de la máquina.

El objetivo de este trabajo es presentar el proceso de diseño y cálculo del prototipo virtual de un sistema modular para acondicionamiento de pasturas de una máquina segadora autopropulsada.

El marco conceptual está dado por las Tecnologías Apropriadas (TA) 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 ([3], [4]).

En 2014 se relevaron antecedentes [5] sobre ciertos indicadores de idoneidad de Tecnologías Apropriadas que enfatizaron la identificación de la necesidad, el problema y la solución; la transferencia de tecnología y los mecanismos de creación de capacidades en el contexto territorial específico con un gran énfasis en la sostenibilidad [6].

2. ASPECTOS METODOLÓGICOS

2.1. Aspectos generales

Se aplicó una metodología adaptada en base a bibliografía especializada en arquitectura de máquinas ([7], [8], [9]) y de prototipos en entornos virtuales ([10], [11]). La propuesta metodológica fue enriquecida con la vigilancia tecnológica (VT) [12] 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 bloques y sus elementos constitutivos: sistema de acondicionamiento (cilindros acondicionadores, estructura de soporte, sistema de transmisión de potencia y accesorios), mecanismo de corte (cuchillas superiores e inferiores, estructura de soporte, sistema de transmisión de potencia y accesorios), chasis (sistema de dirección, sistema de propulsión, estructura y accesorios) y otros elementos funcionales (como neumáticos y elementos de propulsión entre otros); desarrollo de las partes de la segadora con cálculos asociados: diseños y cálculos a nivel de sistema y de ensamblajes y detalles ([13]; [14]; [15]; [16]) con selección de materiales [17] y la elaboración de los archivos de soporte (planos de fabricación) para la futura construcción de un prototipo físico.

2.2. Aspectos particulares

Los pilares para el desarrollo del sistema de acondicionamiento de pasturas fueron la rotoenfardadora INTA-UNNE 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 virtual de la segadora y por ende de las partes en que fue subdividida. Los materiales aplicados para el desarrollo de este sistema fueron una computadora con procesador AMD FX (tm)-6300 seis núcleos, memoria RAM 8GB y sistema operativo 64 bits;

Photoshop CS6; software SolidWorks Premium 2019 SP3.0; MathCad 14; bases de datos de propiedad industrial de acceso gratuito; videos de segadoras en funcionamiento a campo.



Figura 1: Rotoenfardadora UNNE-INTA
Fuente: Metalúrgica Maipú

Tabla 1: Especificaciones Técnicas de Rotoenfardadora UNNE-INTA
Fuente: Metalúrgica Maipú

Especificaciones Técnicas			
Rotoenfardadora		Rodado	
Alto (mm)	1085	165/70 R13 79T	
Ancho (mm)	1260	Recolector	
Largo (mm)	1800	Ancho Útil (mm)	590
Peso (kg)	320	Ancho entre dientes (mm)	65
Tamaño del Rollo		Transmisión	Correa
Ancho (mm)	565	Elevador de recolector	Manual
Diámetro (mm)	640	Atado	
Cámara de Compactación		Topo de hilo	Plástico
Ancho (mm)	565	N° de bobinas	1
Rodillos	18	Sistema	Manual
Indicador de Presión Rollo	Si	Compuerta Salida	
Transmisión	Cadena	Sistema	Hidráulico

3. RESULTADOS

El sistema de acondicionamiento de pasturas es un dispositivo diseñado para acelerar el proceso de degradación de los tallos de las plantas en diversos entornos. Su finalidad es impedir que las plantas consuman sus propios nutrientes promoviendo una deshidratación más rápida para obtener forrajes de mejor calidad.

La variable fundamental de diseño está vinculada con la disminución del tiempo de oxidación de las pasturas inmediatamente después que pasan por el mecanismo corte. Después de cortado, el forraje continúa respirando hasta que alcanza rangos de entre 40% y 50% de la humedad previa al corte, nivel en el que la respiración disminuye. En esos procesos de oxidación se consumen los azúcares simples y nutrientes que luego no estarán disponibles para la alimentación del ganado. A su vez, cuando se propicia la rápida deshidratación del forraje después del corte se minimiza el riesgo de que las lluvias laven los nutrientes cuando queda dispuesto en andanas sobre el terreno.

Atendiendo esa variable de diseño, los elementos centrales del sistema de acondicionamiento son sus los cilindros. Estos cilindros giran en direcciones opuestas, pero de manera coordinada

y están equipados con dientes diseñados para aplastar el forraje a continuación del corte. La potencia necesaria para el funcionamiento de los cilindros se transmite a través de una cadena.

Además, dentro del sistema se encuentra una función integrada que se encarga de capturar las pasturas, permitiendo que sean cortadas por el mecanismo de corte. A medida que avanza, va dejando las andanas de pasturas a su paso para facilitar su posterior enfardado con la rotoenfardadora.

Durante el proceso de diseño del sistema, se crearon tres versiones diferentes del prototipo virtual, cada una enfocada en abordar las complejidades específicas relacionadas con su etapa de diseño.

3.1. Resultados de la vigilancia tecnológica

Las actividades de vigilancia tecnológica permitieron detectar dos grandes grupos de tecnologías de corte de plantas forrajeras: hélices con rotores de cuchillas largas (desmalezadoras tipo hélice) y la de acondicionadores asociados con sistemas de cuchillas cortas. La publicación "Segadoras acondicionadoras, El secreto de la rentabilidad en el corte de alfalfa" (Tecno Forrajes. Manfredi, Córdoba – Argentina: especial corte de alfalfa, N°2, 1-20. ISSN 2545-6040) fue determinante para adoptar la segunda opción teniendo en cuenta la variable fundamental de diseño.

Este sistema tiene la función de acondicionar las plantas previamente cortadas por el mecanismo de corte cuando éstas entran por el frente de los cilindros, para luego ser expulsadas por el lado posterior como se ilustra en la figura 2. El sistema de acondicionamiento de pasturas cuenta con una tolva de salida a continuación de los cilindros cuya función es formar las andanas de forraje que posteriormente serán recolectadas por la rotoenfardadora UNNE-INTA. Entre las ventajas de una segadora con sistema acondicionador se destacan:

- Disminuye el tiempo en que la planta continúa respirando y consumiendo azúcares después de corte y así se alcanza una mayor calidad final del forraje.
- Logra un corte prolijo con el mínimo deshilachado de los tallos favoreciendo el rebrote después del corte. Así aumentará la producción anual de forraje en el predio productivo.
- Produce menores pérdidas de materiales por reducción de repicado de las pasturas. Reduce al mínimo los trozos de tallos y de hojas sueltas que quedan tirados en el lote y no son recolectados por la rotoenfardadora.

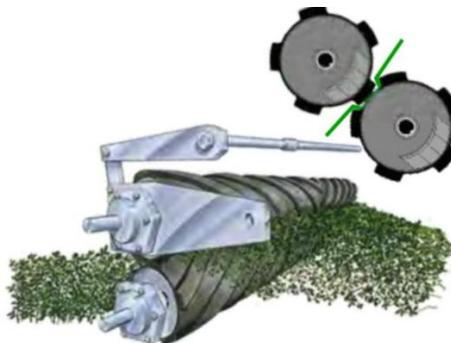


Figura 2: Esquema de sistema acondicionador de pasturas sin tolva de salida

Fuente: INTA Manfredi

3.2. Resultados De Prototipos Virtuales

Durante el proceso de diseño del sistema de acondicionamiento de pasturas, se consideraron múltiples variables. No obstante, en esta etapa se enfocó principalmente en la construcción de un prototipo virtual que permitiera llevar a cabo los cálculos necesarios para su redimensionamiento y posterior verificación. Durante esta fase de desarrollo virtual, se propusieron ideas relativas a la forma y el funcionamiento del sistema, lo cual condujo a la creación de diversos prototipos virtuales. Como resultado de este proceso, se lograron desarrollar tres versiones diferentes del sistema de acondicionamiento de pasturas, denominados Acondicionador V1.0, Acondicionador V2.0, Acondicionador V3.0.

3.2.1 Acondicionador V1.0

En este primer prototipo denominado Acondicionador v1.0 (figura 3) se utilizaron medidas aproximadas, teniendo en cuenta la información de la ficha técnica de la rotoenfardadora UNNE-INTA (Tabla 1). Así se llegó a un diseño de un par de cilindros que rotan de forma sincrónica en sentido opuesto para lograr el movimiento necesario para el ingreso de las plantas forrajeras; se propuso un par de engranajes que generan el movimiento rotatorio opuesto de los cilindros. El movimiento producido por los engranajes es transmitido a los cilindros mediante un par de cadenas y el soporte estructural del sistema forma parte del chasis de la máquina segadora.

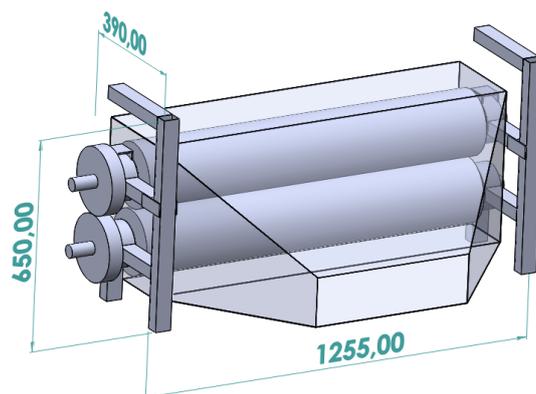


Figura 3: Acondicionador v1.0
Fuente: elaboración propia

3.2.2 Acondicionador V2.0

A partir del Acondicionador v1.0, se desarrolló un nuevo prototipo llamado Acondicionador v2.0 (Figura 4). En contraste con la versión v1.0, este segundo prototipo fue concebido como un mecanismo modular de la máquina segadora, lo que llevó a un diseño con su propia estructura de soporte fabricada con chapas de acero y caños cuadrados. Se incorporaron detalles adicionales que no estaban presentes en la versión v1.0, ya que se tomó un cambio de enfoque en el diseño en las etapas iniciales del proceso.

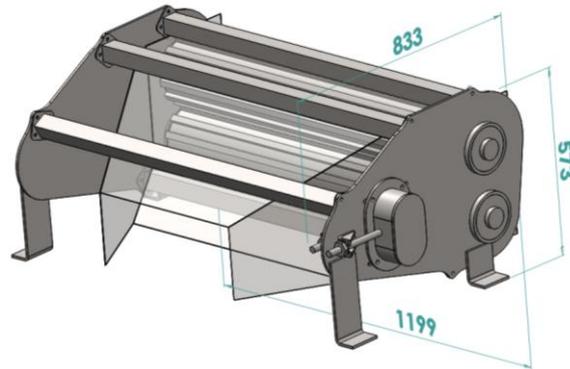


Figura 4: Acondicionadores v2.0
Fuente: elaboración propia

3.2.3 Acondicionador V3.0

Si bien la versión virtual Acondicionador v2.0 (Figura 4) incorporó conceptos de eficacia para cumplir con su funcionamiento, carecía aún de otros detalles sumamente importantes para su fabricación y utilización, como ensamblado, mantenimiento de partes y tensado de cadenas, entre otros. Por lo que el siguiente paso en el diseño, desembocó en una versión denominada Acondicionador v3.0. Por otra parte, el peso total estimado de Acondicionador v2.0 fue de 260 kg aportando otro fundamento para pasar a Acondicionador v3.0.

Finalmente se obtuvo un prototipo virtual Acondicionador v3.0 (Figura 5) del sistema de acondicionamiento de pasturas. Esta versión cuenta con todos los elementos funcionales y estructurales: los cilindros, la caja de transmisión de movimiento (mediante cadenas), las chapas laterales de soporte, los caños transversales de soporte, las patas de soporte y la chapa tolva salida de las pasturas acondicionadas. El peso total estimado del Acondicionador v3.0 fue de 190 kg marcando así una mejora respecto de su anterior versión.

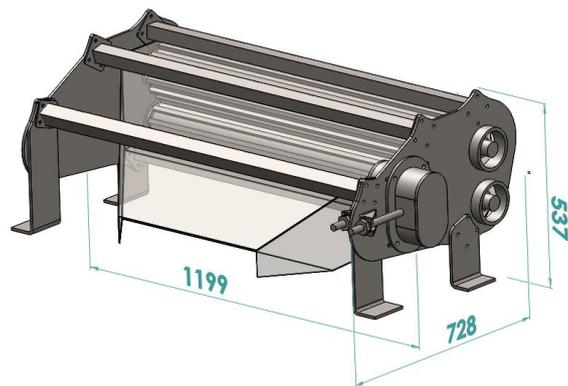


Figura 5: Acondicionadores v3.0
Fuente: elaboración propia.

3.3. Resultados de los cálculos realizados para el dimensionamiento

Para la transmisión de potencia hasta los cilindros acondicionadores, se diseñó una cadena cinemática que recibe la potencia de un motor hidráulico, este lo transmite por cadena a un árbol 1, este se encuentra vinculado con un árbol 2 por una relación 1:1 con engranajes (figura

6 siendo el árbol 1 de color azul y el 2 de color rojo); a su vez estos dos árboles de forma individual mueven los cilindros en sentido de rotación contrario. Se supuso un motor de 5 kW, 860 RPM y 566 kgf*cm. En situación de atasco, las solicitaciones máximas desarrolladas en los cilindros acondicionadores hacen necesario un diámetro de 40mm del árbol para una seguridad de 3. Dicha parte se encuentra ubicado en la corona que recibe el torque, cerca de uno de los apoyos por rodamientos. Para el resto del cuerpo del sistema de acondicionamiento de pasturas se utilizó un caño hueco de 139.10mm de diámetro exterior y 4.75mm de espesor, la verificación de este dio valores sobradamente aceptables.

Para los arboles 1 y 2, los encargados de crear el movimiento en sentido contrario de los cilindros acondicionadores resultaron con un diámetro de 25mm para una seguridad de 3.

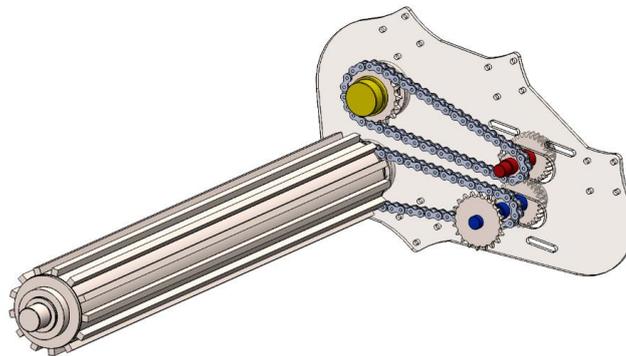


Figura 6: Vista del mecanismo de transmisión de movimiento del sistema de acondicionamiento de pasturas
Fuente: elaboración propia.

3.4. Resultados de las simulaciones virtuales

Los elementos simulados fueron el Árbol 1, Árbol 2, Cilindro acondicionador y Estructura de soporte. El Árbol 1 es el elemento que toma la potencia del motor hidráulico, recibiendo un torque de 566 kgf*cm, este torque se transmite a uno de los cilindros acondicionadores y a un engranaje montado en el Árbol 2, para que a su vez sea transmitido al otro cilindro acondicionador. En toda esta situación la Estructura de soporte se encarga de sopoprtar las solicitaciones de los elementos de la cadena cinemática del sistema de acondicionamiento de pasturas.

En las simulaciones se supuso un acero AISI 1045 para el Árbol 1, el Árbol 2, y los cilindros acondicionadores, mientras que para la estructura de soporte se supuso una chapa de acero AISI 1015, ambos de la biblioteca de SolidWorks.

Como estrategia de simulación se simuló el Árbol 1, cargas externas representadas por el torque de entrada y los torques de salida hacia un cilindro acondicionador y el Árbol 2 mediante un par de engranajes; sus sujeciones representantes de sus apoyos en rodamientos. El Árbol 2 se simuló con sus cargas externas representando el torque de entrada en el engranaje y el torque de salida hacia el otro cilindro acondicionador; sus sujeciones representando a sus apoyos en rodamientos. Se simuló uno de los cilindros acondicionadores con sus cargas externas representantes del torque de entrada y su consumo total de forma localizada en el centro longitudinal del cilindro acondicionador, tomándolo como una situación desfavorable; sus sujeciones representan sus apoyos en rodamientos. La estructura de soporte fue simulada con sus cargas externas representadas por las solicitaciones producto de las reacciones en los

elementos contenidos en esta estructura; con sus sujeciones en su base, donde esta se vincula con el chasis de la máquina segadora.

El criterio de falla adoptado para este análisis fue Tensión de von Mises para materiales dúctiles. Esto resultó en elementos con seguridades y desplazamientos aceptables, como se puede ver en la figura 7.

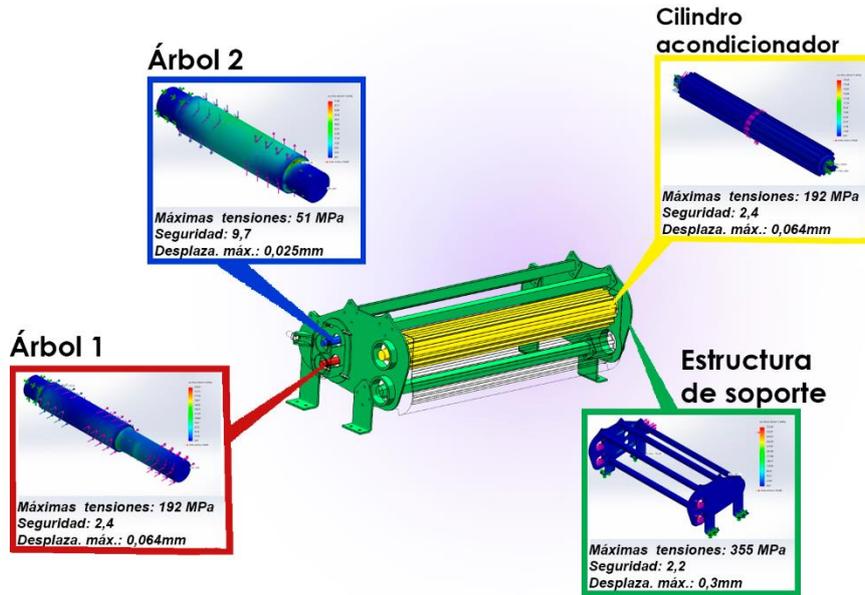


Figura 6: Resultados de simulaciones virtuales
Fuente: elaboración propia.

3.5. Resultados de la etapa en entorno virtual

Uno de los resultados más tangibles producidos por este trabajo fueron los planos de fabricación, generales y de detalle. Esta bitácora de fabricación está compuesta por 25 planos en los cuales se especifican los materiales, dimensiones finales de las piezas que lo componen y sus instrucciones de vinculaciones. A continuación de muestran imágenes de referencia de los mismos en las figuras 8 y 9.



Figura 7: Plano de vista explosionada de bulonería
Fuente: elaboración propia



Figura 8: Plano de sistema de acondicionamiento de pasturas totalmente ensamblado
Fuente: elaboración propia

4. 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 que adquirieron pertinencia y sentido en el marco de la resolución del bache forrajero en el norte argentino.

La vigilancia tecnológica y softwares de diseño abren grandes ventanas de oportunidad para disminuir la inversión de recursos en los diseños de productos de las ingenierías manufactureras. En nuestro caso, el prototipo de concepto de la segadora fue concebido en subproyectos de menor complejidad (sistema de acondicionamiento de pasturas, mecanismo de corte, estructura de soporte y otros elementos funcionales) que en parte se fueron desarrollando en paralelo. 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. También el sistema de acondicionamiento fue dividido elementos constitutivos en el marco de una estructura modular. Así, pudo obtenerse una segadora virtual mínima viable en el período de un año con una dedicación parcial de tiempo.

El sistema de acondicionamiento de pasturas obtenido en este trabajo fue el resultado de una secuencia no lineal con retroalimentación desde una versión V1.0 hasta la versión V3.0. La selección de materiales se realizó priorizando su disponibilidad comercial entre los proveedores locales y regionales. También los aspectos de fabricación fueron pensados atendiendo la funcionalidad acoplada a la rotoenfardadora UNNE-INTA y las características de las PyMES metalmeccánicas regionales. Finalmente, el sistema de acondicionamiento de pasturas quedó expresado en 25 planos generados mediante el software de diseño (18 planos de fabricación y 7 de ensamblaje).

Los resultados de las etapas de definición y desarrollo virtual del sistema de acondicionamiento de forraje presentados en este trabajo podrían optimizarse con un mayor tiempo disponible para profundizar su análisis. Además, otra de sus grandes limitantes es que todavía quedan

pendientes las etapas de evaluación y validación a campo derivadas de un prototipo físico. Tanto la velocidad de giro de los cilindros acondicionadores como la regulación de la separación entre los mismos están vinculadas con la variable fundamental del diseño del sistema y probablemente será necesario algún tipo de ajustes (podría ser el cilindro inferior fijo y el superior móvil en sentido vertical; y una variación de velocidad en el motor hidráulico supuesto de 860 RPM). De esta manera nuevos prototipos virtuales dejarían atrás al V3.0 con la consecuente modificación de los planos de fabricación y ensamblaje tanto del sistema de acondicionamiento en particular como el de la segadora en general.

En el mediano plazo, el prototipo físico de la segadora habilitará la definición de un prototipo precompetitivo previo al lanzamiento comercial en una PyME metalmecánica. Se espera alcanzar un proceso semejante al de la rotoenfardadora UNNE-INTA para que los productores de mediana y baja escala tengan la opción de seguir resolviendo sus necesidades con máquinas que actualmente no están disponibles en el mercado.

A modo de cierre, 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.

5. REFERENCIAS

- [1] Compagnucci, L. & Spigarelli, F. *The Third Mission of the university: A systematic literature review on potentials and constraints*. Technological. Forecastsating and Social Change, 161, 120-284, 2020.
- [2] Schumacher, E. F. *Lo pequeño es hermoso: Economía como si la gente importara*. Harping, Londres, 1973.
- [3] Patnaik, J. & Tarei, K. P. *Analysing appropriateness in appropriate technology for achieving sustainability: A multi-sectorial examination in a developing economy*. Journal of Cleaner Production, 349, 131-204, 2022.
- [4] Muñoz, R. *Las tecnologías apropiadas ¿un cambio de paradigma o una utopía?*. Tekhné, 21 (1), 78-87, 2018.
- [5] Bauer, A. M. & Brown, A. *Quantitative Assessment of Appropriate Technology*. Procedia Engineering, 78, 345–358, 2014.
- [6] Thomas, H. *Tecnologías para incluir: ocho análisis socio-técnicos orientados al diseño estratégico de artefactos y normativas*. Lenguaje claro Editora, 2020.
- [7] Gorrostieta, E.; Soto, E.V.; Zuñiga, A. L.; Rodríguez, R. J. & Tovar, A. S. *A mechatronics methodology: 15 years in experience*. Ingeniería e Investigación, 35 (3), 107-114, 2015.

- [8] Tomiyama, T.; Gu, P., Jin, Y.; Lutters, D., Kind, C. & Kimura, F. *Design methodologies: Industrial and educational applications*. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 58(2), 543–565, 2009.
- [9] Ulrich, K., & Eppinger, S. D. *Diseño y desarrollo de productos*. McGraw-Hill, Boston, 2013.
- [10] Blanco Ortega, A.; Magadán Salazar, A.; Gómez Becerra, F. A.; Guzmán Valdivia, C. H. & Antúnez Leyva, E. *Diseño de sistemas mecatrónicos: prototipos virtuales*. Pistas Educativas, 40, 1421–1439, 2019.
- [11] Kim, D. Y. *A design methodology using prototyping based on the digitalphysical models in the architectural design process*. Sustainability, 11(16), 1-23, 2019.
- [12] Pavlicevic, J. S. *Diseño de un Modelo de Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Estratégica (VTelE)* [Tesis doctoral Universidad Nacional de Lomas de Zamora], 2021. <https://digital.cic.gba.gob.ar/items/75bba6d9-5824-4d46-a2f7-5ddac97a77f3>
- [13] Hibbeler, R. C. *Mecánica de materiales*. Pearson, México, 2011.
- [14] Pezzano, P. A. *Tecnología mecánica-metrología*. Librerías y Editorial Alsina, Buenos Aires, 1991.
- [15] Cosme, Héctor N. *Elementos de máquinas*. Marymar ediciones S.A, Buenos Aires, 1977.
- [16] Faires, V.M. *Diseño de elementos de máquinas*. Montaner y Simón, Barcelona, 1975.
- [17] Ashby, M.F. *Materials Selection in Mechanical Design*. Elsevier, Gran Bretaña, 2011.