



V CAIM 2016

V Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica

XXXIII Reunión Científica Académica Nacional FoDAMI

5 al 7 de Octubre de 2016

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI



Universidad Nacional de
Santiago del Estero
Facultad de Ciencias
Exactas y Tecnologías
Santiago del Estero - República Argentina

APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE MAQUINA TRASPLANTADORA HORTÍCOLA PARA MÚLTIPLES ESPECIES

Alejandro Fabbro, Walter Soto, Héctor Martín, Iván Snaider, Federico Lorenzón Cian, Onofre Pereson, Nicolas Martin Gutbrod y Mauricio Cian.

GRUDIM - Facultad Regional Reconquista de la UTN. Calle 44 n° 1000, (3560) Reconquista, Santa Fe, Argentina.

correo-e: afabbro_487@hotmail.com, waltersoto2007@gmail.com

RESUMEN

El presente trabajo resulta ser una continuación de lo presentado en el CAIM 2014 [1], en el cual se había diseñado una máquina de ensayos para la pinza de trasplante. Se describe aquí el proceso de diseño del dispositivo mecánico completo destinado a realizar la tarea del trasplante en el contexto de la producción hortícola en mediana escala. La principal característica de diseño del dispositivo es su adaptabilidad a varios plantines de diferentes especies.

Como herramientas de asistencia al diseño se hace un fuerte hincapié en el uso del Software de CAD/CAE paramétrico "Autodesk Inventor" y software de cálculo como "Excel" y "Wólfram Mathematica".

Lo novedoso es la forma en que se han podido enlazar estos programas de manera que, a nivel informático, el diseño y cálculo resultan estar completamente vinculados.

Otra contribución interesante del trabajo es mostrar las simulaciones numéricas orientadas al estudio de la cinemática y la dinámica de las cadenas de cuerpo rígidos que conforman el mecanismo.

Como resultado de esta combinación de estudios analíticos, modelado 3D y simulaciones numéricas se logró el desarrollo de un prototipo virtual de la máquina trasplantadora, el que permite realizar múltiples verificaciones de la máquina antes de construirla.

Palabras Claves: *Diseño, Trasplantadora Hortícola, Modelado 3D, Simulación Dinámica, Software de CAD/CAE.*



1. INTRODUCCIÓN

En el presente Trabajo se describe el proceso de diseño y desarrollo de un modelo único e innovador de una máquina destinada a realizar la tarea del trasplante en la producción hortícola. Esta máquina presenta un alto grado de innovación en lo que respecta a la versatilidad o adaptabilidad de este tipo de implementos a varias especies de plantas hortícolas.

Se muestran aquí los resultados de tareas de investigación y desarrollo iniciado en el año 2012 como proyecto PID homologado por el rectorado de la Universidad Tecnológica Nacional y llevado adelante por el grupo de investigación GRUDIM de la Facultad Regional Reconquista.

Una característica muy particular de este proyecto es que las condiciones de contexto productivo, social y económico donde estará inmerso el implemento a diseñar, afectan y varían las condiciones mecánicas tanto constructivas como funcionales del sistema mecánico.

Además del diseño del dispositivo mecánico en sí, se pretende también mostrar la potencialidad y del uso de diferentes software informáticos para la asistencia en el diseño de dispositivos mecánicos. En este proyecto se utilizaron los programas Autodesk Inventor, Wolfram Mathematica y Microsoft Excel.

Se puede ver en la Figura 1, algunas vistas generales del diseño del dispositivo planteado.

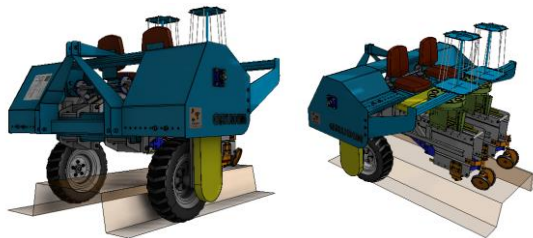


Figura 1: Vistas Generales del Dispositivo Diseñado

2. MARCO CONTEXTUAL

El contexto general en el que estará inmersa la máquina diseñada es la agricultura y dentro del cúmulo de producciones agropecuarias que existen, esta máquina estará inmersa en la producción hortícola. Este contexto posee muchas particularidades tanto en sus aspectos agronómicos como en su aspecto socio-económico.

2.1. Características generales de la horticultura

La producción hortícola es en sí un contexto productivo y socio-económico muy distinto a las otras producciones agropecuarias. La primera diferencia que se debe tener en cuenta es en las



extensiones o áreas de terreno que se manejan, en este sentido se clasifican a las producciones hortícolas de la siguiente manera: Pequeña escala o familiares: menos de $\frac{1}{2}$ hectárea, Mediana escala: entre $\frac{1}{2}$ hectárea y 5 hectáreas y Gran escala o extensivas.

Además, la producción hortícola no está mecanizada en el grado en el que lo está la agricultura. Es por esto que actualmente se requiere mucha mano de obra para realizar las labores necesarias. Se puede decir que actualmente para producir 3 a 4 hectáreas de horticultura se necesitan entre 5 y 8 personas para las labores.

2.2. Necesidad de mecanización de la tarea del trasplante

Se debe tener en cuenta que es muy variable el personal requerido en una huerta para poder realizar las actividades en el tiempo necesario para que no se afecte la productividad. Así, por ejemplo, al realizar la labor del trasplante el productor necesita mucha cantidad de mano de obra, pero en un corto lapso de tiempo, ya que se deben trasplantar los plantines lo antes posible para que no se afecte la productividad.

Estos picos de demanda de mano de obra de la horticultura (sobre todo para las actividades de trasplante y cosecha), hacen que sea imposible que un productor mantenga su rentabilidad empleando a todo el personal durante todo el año. Es por esto que este tipo de contextos productivos exigen una mecanización de sus tareas.

3. DESCRIPCION GENERAL DEL DISPOSITIVO DISEÑADO

Se describe, en forma conceptual, el sistema mecánico de trasplante diseñado. El dispositivo constará de pinzas de trasplante que interaccionan con el suelo imitando la técnica manual de plantado. Un conjunto de mecanismos es el encargado de darle movimiento a estas pinzas para permitir así que se realice el trasplante en forma cíclica, manteniendo el avance continuo de la máquina en la dirección de la línea de plantación.

3.1. Imitación de la técnica manual del trasplante mediante pinzas

La técnica manual del trasplante se compone de 5 pasos básicos.

- Paso1: el operario introduce su mano en el terreno labrado con una leve inclinación con respecto a la vertical.
- Paso 2: el operario inclina la mano introducida en el terreno hacia el otro lado con respecto a la vertical.



V CAIM 2016

V Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica

XXXIII Reunión Científica Académica Nacional FoDAMI

5 al 7 de Octubre de 2016

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI



Universidad Nacional de
Santiago del Estero
Facultad de Ciencias
Exactas y Tecnologías
Santiago del Estero - República Argentina

- Paso 3: Los dos movimientos anteriores dejan un hoyo en el suelo labrado donde se introduce el plantín.
- Paso 4: se procede a acercar la tierra con los dedos al lugar donde se encuentra el plantín.
- Paso 5: se compacta la tierra circundante al plantín.



Figura 2: Pasos del proceso de trasplante manual.

El dispositivo mecánico diseñado imita la técnica manual del trasplante mediante el uso de pinzas de trasplante como se ve en la Figura 3.

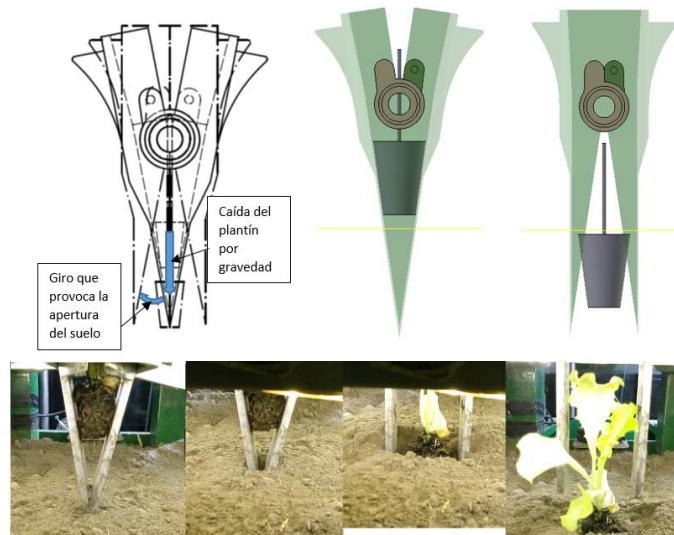


Figura 3: Proceso de trasplante mecánico

El diseño de estas pinzas de trasplante es el resultado de un proceso de ensayos experimentales que permitieron determinar su geometría, véase [1].

3.2. El cuerpo de trasplante

El cuerpo de trasplante es la parte del sistema que se encarga de darle el movimiento necesario a la pinza para que ésta trasplante en forma adecuada y la máquina avance continuamente.



V CAIM 2016

V Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica

XXXIII Reunión Científica Académica Nacional FoDAMI

5 al 7 de Octubre de 2016

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI



Universidad Nacional de
Santiago del Estero
Facultad de Ciencias
Exactas y Tecnologías
Santiago del Estero - República Argentina

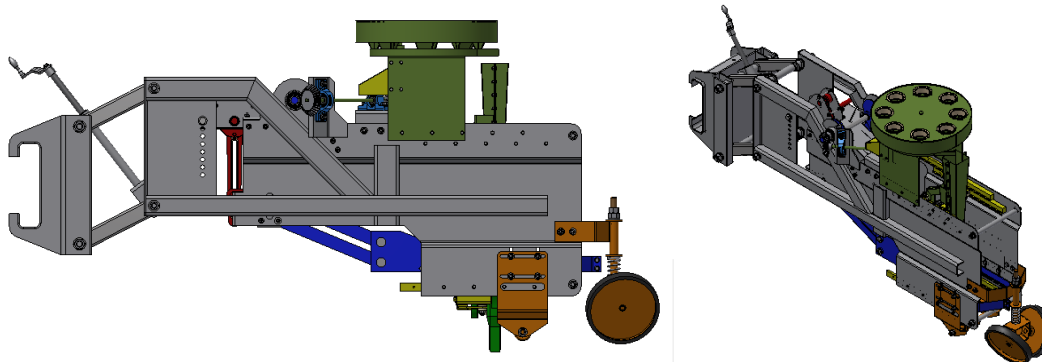


Figura 4: Vista general del cuerpo de trasplante

Este cuerpo de trasplante (Figura 4) es la parte central de la maquina trasplantadora. Se compone de 3 mecanismos básicos. Por un lado, el mecanismo de traslación horizontal de pinza (Figura 5), por otra parte, el mecanismo de traslación vertical de pinza (Figura 6) y por último el mecanismo de apertura de pinza una vez que la pinza ha ingresado en el suelo (Figura 7).

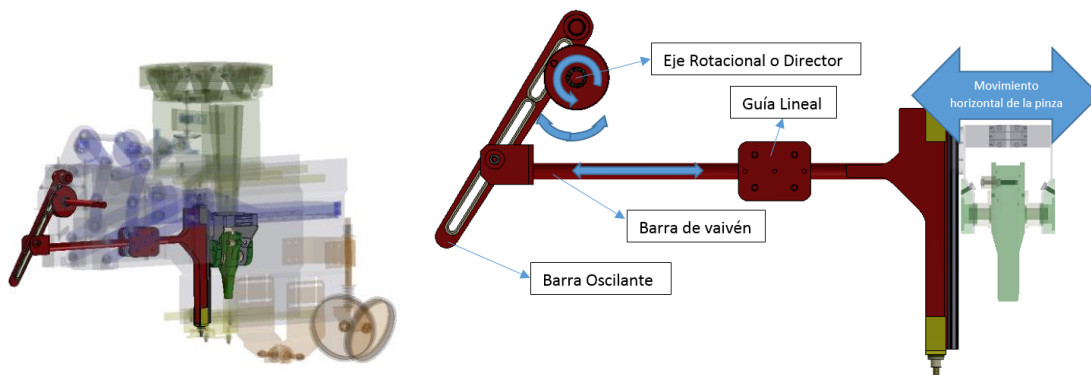


Figura 5: Mecanismo de traslación horizontal de pinza.

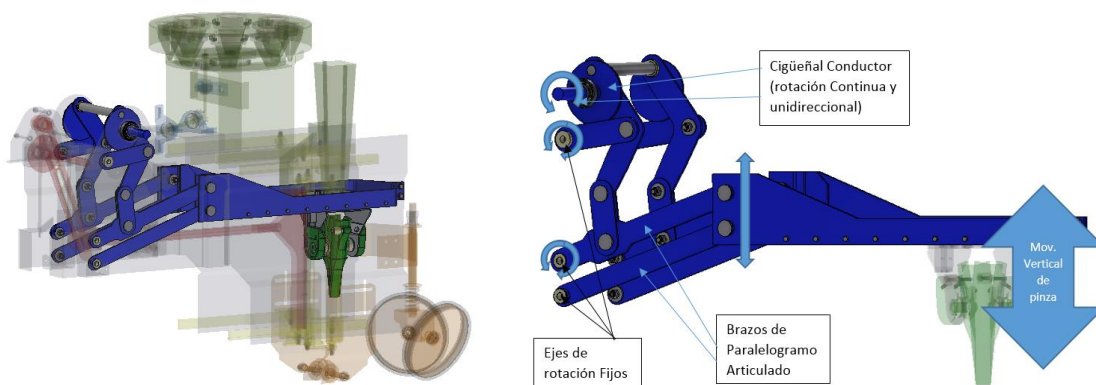


Figura 6: Mecanismo de traslación vertical de pinza



V CAIM 2016

V Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica

XXXIII Reunión Científica Académica Nacional FoDAMI

5 al 7 de Octubre de 2016

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI



Universidad Nacional de
Santiago del Estero
Facultad de Ciencias
Exactas y Tecnologías
Santiago del Estero - República Argentina

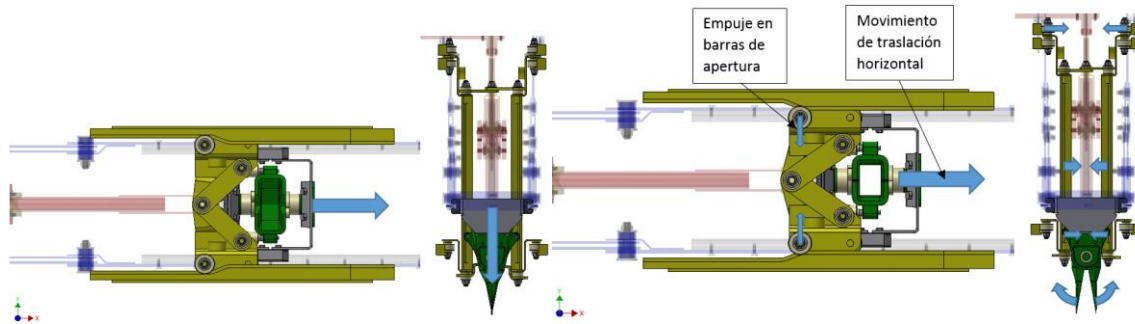


Figura 7: Mecanismo de apertura de pinza

4. ANALISIS DE LOS MECANISMOS

En el diseño de esta máquina se usaron los software mencionados para el análisis cinemático y dinámico de los mecanismos. Debido a la limitada extensión del trabajo se presenta aquí en detalle la simulación de la cinemática del mecanismo de traslación horizontal, comentando en forma sintética las demás simulaciones y análisis realizados.

4.1. Análisis cinemático del mecanismo de traslación horizontal de pinza

Si se observa la Figura 8, se puede ver que el movimiento de vaivén de la pinza en la dirección del eje x del sistema de referencia debe lograr que, mientras que la pinza entra y sale del suelo, no exista deslizamiento relativo entre la pinza y el suelo.

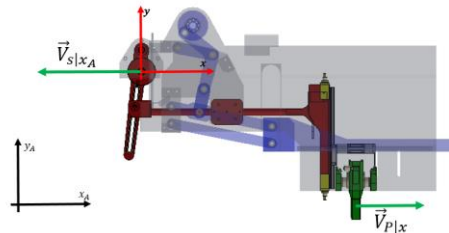


Figura 8: Movimientos relativos en cuerpo de trasplante

Si se analiza la cinemática del proceso de trasplante desde esta perspectiva (centrando la atención en el movimiento horizontal). Para que no exista un deslizamiento relativo entre la pinza y el suelo cuando ésta está entrando y saliendo de él, se debe cumplir que lo siguiente:

$$|\vec{V}_{s|x_A}| = |\vec{V}_{p|x}| = V_s \text{ (con las direcciones mostradas en el grafico)} \quad (1)$$

Para analizar este mecanismo y diseñarlo de tal manera que se cumpla la restricción anterior, primero se hizo una abstracción dimensional del mismo considerando sus dimensiones geométricas principales. Esto puede verse en la Figura 9.

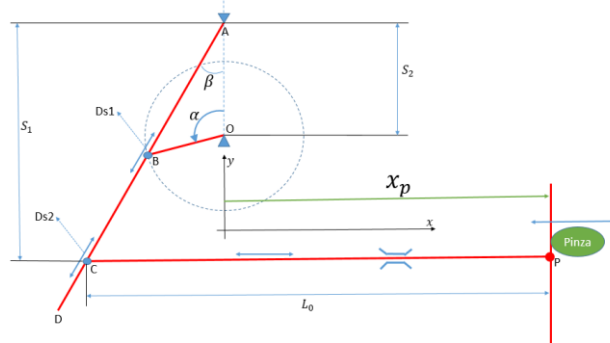


Figura 9: Abstracción dimensional del mecanismo de traslación horizontal

En base a estas dimensiones se puede deducir que la ecuación de posición de la pinza (Punto P) en función al tiempo será:

$$x_p(t) = L_0 - \frac{S_1 * R * \text{Sen}\left(\frac{2\pi * V_s}{D_p} * t\right)}{S_2 - R * \text{Cos}\left(\frac{2\pi * V_s}{D_p} * t\right)} \quad (2)$$

Luego, si derivamos esta ecuación con respecto del tiempo obtenemos la velocidad de la pinza en función al tiempo.

$$V_{p|x}(t) = -\frac{S_1 * R * \frac{2\pi * V_s}{D_p} * \text{Cos}\left(\frac{2\pi * V_s}{D_p} * t\right)}{S_2 - R * \text{Cos}\left(\frac{2\pi * V_s}{D_p} * t\right)} + \frac{S_1 * R^2 * \frac{2\pi * V_s}{D_p} * \left(\text{Sin}\left(\frac{2\pi * V_s}{D_p} * t\right)\right)^2}{\left(S_2 - R * \text{Cos}\left(\frac{2\pi * V_s}{D_p} * t\right)\right)^2} \quad (3)$$

Para obtener esta velocidad y sus gráficos se usó el software Wólfram Mathemática. Luego de obtenida esta ecuación se graficó la misma para valores arbitrarios de los parámetros geométricos. Obteniendo lo que se ve en la Figura 10.

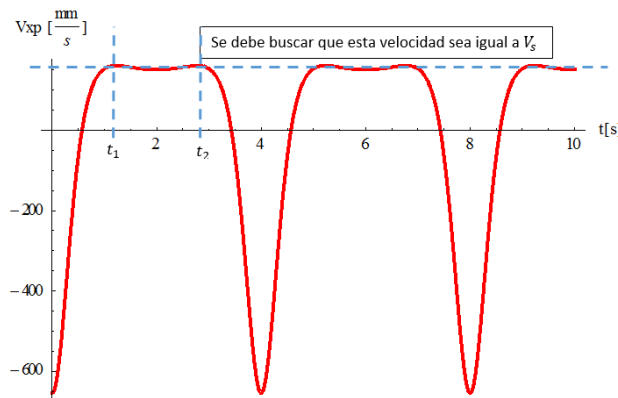


Figura 10: Velocidad horizontal de la pinza en función al tiempo

En base a la grafica se puede ver que hay un lapso de tiempo en el que la velocidad de la pinza es practicamente constante. Lo que se realizo con el software wolfram matehematica, al ver esto, es



restringir a las ecuaciones de velocidad-tiempo para que la velocidad de la pinza sea igual a la del piso en este lapso. De esta manera se determinó, con estas ecuaciones de restricción, las dimensiones de las barras del mecanismo. Luego las dimensiones se exportaron como parámetros numéricos a un archivo de Excel y desde allí se utilizaron para modelar el mecanismo en forma paramétrica en Autodesk Inventor. Luego se realizó una simulación numérica de la cinemática del mecanismo. Logrando los mismos resultados que se habían obtenido analíticamente para las velocidades. Se puede ver en la Figura 11 la simulación numérica de la cinemática del mecanismo.

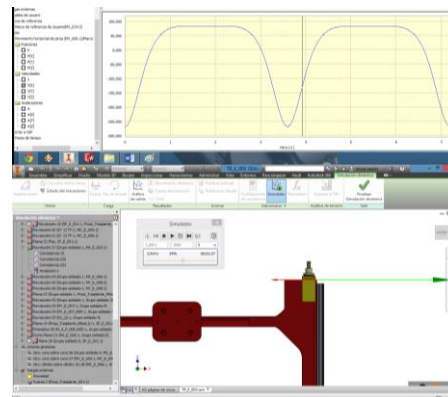


Figura 11: Simulación Cinemática del mecanismo de traslación horizontal

4.2. Análisis de mecanismo de Traslación Vertical

Para analizar este mecanismo, se lo modeló en Autodesk Inventor y se obtuvo, mediante una simulación numérica de su cinemática, la función de la altura y_p de la pinza en función al tiempo (ver Figura 12).

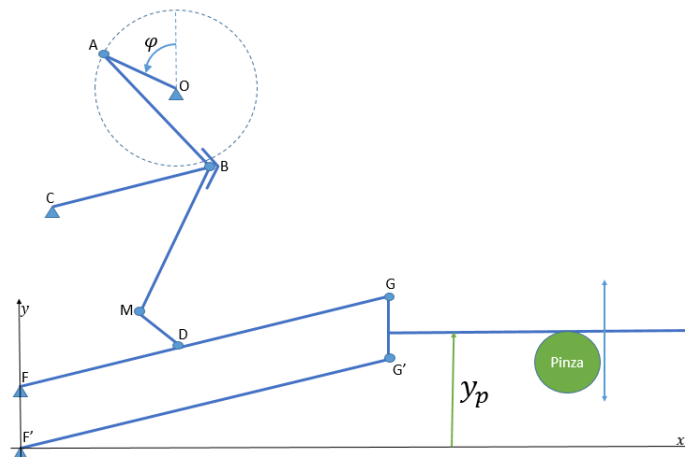


Figura 12: Abstracción dimensional del mecanismo de traslación vertical de pinza
Esta simulación arrojó como resultado la siguiente gráfica de movimiento.

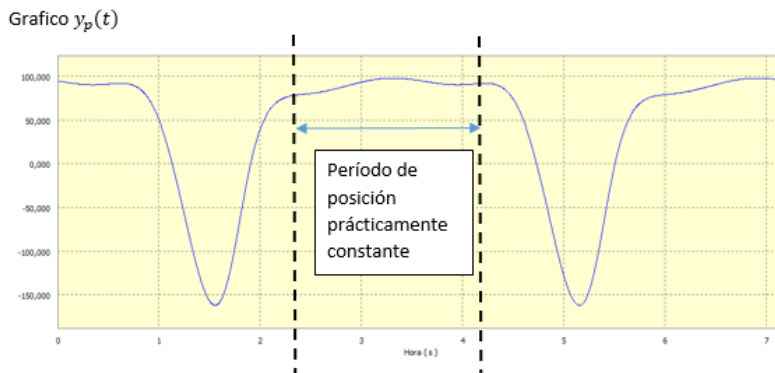


Figura 13: Movimiento vertical de la pinza.

Lo que nos dice que este es un movimiento intermitente, donde la pinza baja y sube y luego permanece quieta en su posición en el eje y . Por cuestiones de extensión admitida en el informe no se detalla en mayor grado el análisis de este mecanismo.

4.3. Sincronización de los mecanismos

Luego mediante el uso de simulaciones simultáneas de los dos mecanismos, se sincronizó el giro de los mismos de tal manera que la pinza suba y baje (entrando y saliendo del suelo), cuando su movimiento en la horizontal está en el periodo de velocidad constante. Se pueden ver los gráficos en la Figura 14. Donde el ángulo de desfase está medido en el giro de los ejes directores los mecanismos.

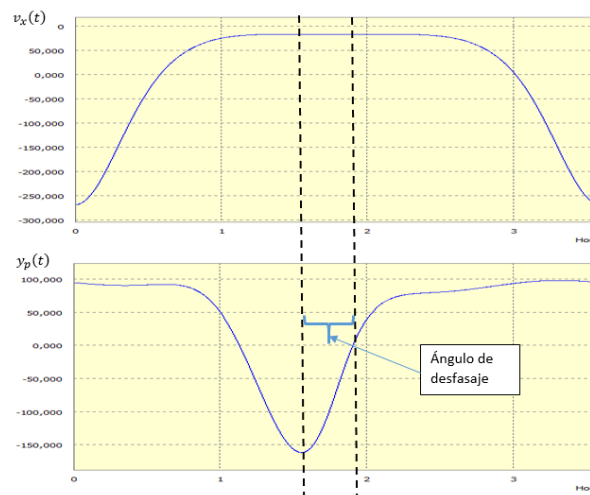


Figura 14: Sincronización de movimiento horizontal con movimiento vertical.

Una vez sincronizados los movimientos, mediante simulaciones cinemáticas simultáneas de los dos mecanismos, se pudo determinar la trayectoria del movimiento de traslación de la pinza.

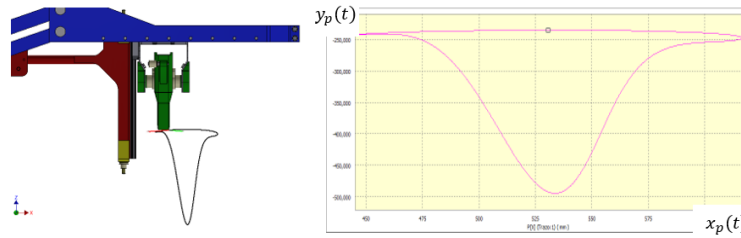


Figura 15: Trayectoria de movimiento de traslación de pinza.

4.4. Análisis dinámico de los mecanismos para obtención de sollicitaciones en sus elementos

También se realizaron simulaciones dinámicas de los mecanismos. Estas simulaciones permitieron obtener, entre otras cosas, las curvas de par (M_1 y M_2) en función al tiempo en los ejes directores de los mecanismos. Las masas y las matrices de inercia de cada una de las partes móviles del mecanismo se determinaron directamente por software cargando los materiales de cada una de sus piezas.

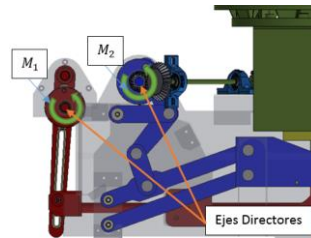


Figura 16: Par en los ejes directores de los mecanismos.

Los resultados del par en función al tiempo se utilizaron como base para el dimensionamiento de los ejes directores de los mecanismos teniendo en cuenta efectos de fatiga en dichos componentes.

Debido a la extensión máxima admitida para el informe no se puede detallar en mayor grado el dimensionamiento de los ejes directores de los mecanismos.

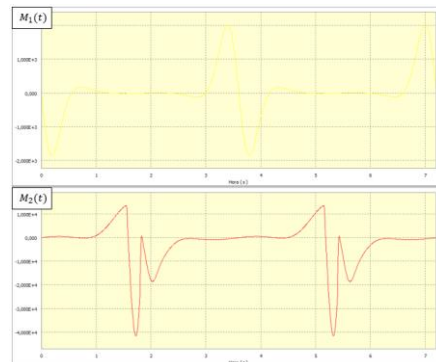


Figura 17: Resultados obtenidos para el par en función al tiempo.



5. CONCLUSIONES

En este proceso de investigación se logró el diseño de un dispositivo mecánico que tendrá un alto impacto en el contexto socio-económico donde cumplirá su función. Esta máquina permitirá solucionar una necesidad concreta y real que hasta ahora no fue abordada por fabricantes nacionales de maquinarias agrícolas. Este hecho hace que los productores de la región tengan que recurrir a maquinas importadas de alto costo y que no se adaptan concretamente a las necesidades locales.

También se demuestra que las herramientas computacionales de diseño mecánico ya no son más simples herramientas de dibujo, sino que pasaron a ser verdaderas herramientas de prototipado virtual. Éstas pueden ser puestas al servicio de los diseñadores de maquinaria para solucionar problemas reales de la sociedad. Con estas herramientas se pueden simular condiciones de funcionamiento y validar mecanismos antes de construirlos, disminuyendo así los costos de desarrollo de sistemas mecánicos.

Este proyecto de investigación y desarrollo fue llevado adelante por un grupo de estudiantes de la carrera ingeniería electromecánica de la Facultad Regional Reconquista, todos ellos nucleados en el grupo de investigación GRUDIM y motivados por la intención de mejorar la calidad de vida de los productores hortícolas y de las personas que realizan esta actividad. Además de los aspectos técnicos, en el marco de este proyecto se desarrolló un verdadero trabajo en equipo donde hubo una mutua colaboración de todos sus integrantes.

6. REFERENCIAS

- [1] Fabbro A. et al, DISEÑO DE MÁQUINA DE ENSAYO PARA PINZA DE UNA TRASPLANTADORA HORTICOLA PARA MÚLTIPLES ESPECIES, IV CAIM 2014, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste, Resistencia, Chaco, 2014.
- [2] S. N. Kozhevnikov, Mecanismos, Editorial Gustavo Gili SA, Barcelona, 1975.
- [3] Wolfram Mathematica, Wolfram Resarch Inc., Version 9.
- [4] Autodesk Inventor 2015, Autodesk.

Agradecimientos

Se agradece a la Facultad Regional Reconquista por el espacio de trabajo y por la oportunidad de trabajar en nombre de esta institución. También, a todas aquellas personas que colaboraron de alguna u otra manera con este proyecto.