



DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE COSECHADORA DE VID EN ESTRUCTURA DE PARRAL

HORACIO AGUILAR¹, HUGO GALDEANO¹, CARLOS RODRÍGUEZ¹, JOSÉ CARLOS BOCCA¹, OSVALDO PENISI¹, HEBER ARIEL CHAPARRO SARMIENTO¹, ÓSCAR DANIEL SANSÓ ROMEU¹, MAXIMILIANO BATTISTELLA²

¹Instituto de Mecánica Aplicada – Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de San Juan

Av. Libertador San Martín 1109 oeste San Juan – Argentina

²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

Estación Experimental Agropecuaria San Juan

Ing. Marcos Zalazar y Vidart, CP 5427, Villa Aberastain – San Juan – Argentina

(Recibido 11 de febrero de 2011, para publicación 10 de marzo de 2011)

Resumen – En este trabajo se pretende aportar una solución a la cosecha mecánica de la vid, dispuesta en estructura de conducción de parral. Las máquinas cosechadoras disponibles en el mercado actual, ofrecen equipos para la cosecha de la vid dispuesta en estructura de conducción vertical (espalderas) y para el caso de los parrales, existen equipos que exigen estructuras de conducción, adaptadas a los tipos de cosechadoras diseñadas específicamente. El trabajo contempla el análisis de un mecanismo de arranque por vibración de los granos o racimos de uva de la planta, este mecanismo integra luego un conjunto mecánico, que acopia lo cosechado en un contenedor y que luego es trasvasado al transporte que lo traslada a la bodega. La tracción es aportada por un tractor, del tipo usado en las explotaciones vitivinícolas. Esta mecanización introduce un efecto no deseado, como la rotura del grano, pero se logra con la cosechadora mecánica de uva para vinificar, una mayor celeridad en la carga del transporte para su envío a la bodega, reduciendo así el período de acción no deseado de microorganismos y oxidaciones enzimáticas, permitiendo además, la cosecha nocturna donde la temperatura al ser menor, hace más lentos estos procesos. Si bien en el trabajo se realiza una descripción de la máquina completa, se hace énfasis en el análisis del funcionamiento del sistema vibratorio y rotativo utilizado para el desprendimiento de los racimos de la planta. Actualmente se trabaja en la realización de un prototipo de laboratorio para estudiar el comportamiento del mismo.

Palabras clave – Prototipo, cosechadora, vid, estructura parral.

1. INTRODUCCIÓN

En general la vitivinicultura regional no posee en la actualidad herramientas que permitan reemplazar la cosecha manual, cuando la estructura de conducción utilizada es el parral tipo cuyano cultivado en Argentina. Por varias razones la cosecha mecanizada en el mundo es cada día mas utilizada e independientemente de las razones, el hecho en si, representa una modernización. Argentina, importante país elaborador de vinos y mostos y en vías de posicionarse a nivel mundial como país exportador de productos vitivinícolas, transita por un camino de modernización de su vitivinicultura [1], [2], desde el manejo del viñedo hasta la sofisticada tecnificación de sus bodegas.

La viticultura mundial y también la argentina, da mucha importancia al momento oportuno de la cosecha, atendiendo a la madurez enológica del fruto. La falta de disponibilidad de mano de obra de cosecha en el periodo considerado oportuno, hace más lenta esta tarea [3], con un fuerte impacto en la calidad y cantidad de uva cosechada. Es por esto que actualmente, las nuevas implantaciones se realizan en sistemas de conducción vertical, como la espaldera alta, ya que permite la mecanización de tareas como poda, despampanado y cosecha [4]. Si bien estos sistemas de conducción son mecanizables con equipos cabalgantes, el potencial productivo por unidad de superficie es inferior al de estructuras de conducción que permiten mayor expresión vegetativa como el parral en Argentina, el GDC italiano y el “T” californiano.

En Argentina la superficie implantada de vid con estructura de conducción de parral, tipo cuyano, asciende a más de 130.000 hectáreas, según datos dados a conocer por el Instituto Nacional de Vitivinicultura (INV 2005).

La cosecha manual obliga a que esta actividad se realice en horario diurno con elevada temperatura ambiente, lo que constituye una situación desfavorable, ya que se incrementan los procesos de deterioro del producto. Además, y a pesar de que en muchas situaciones se pagan valores superiores a los acordados, no se cuenta con la mano de obra necesaria en el momento óptimo dado por la madurez enológica. El aumento de la superficie implantada y el incremento de los rindes por hectárea, profundizan la crisis. Lo anterior indica la necesidad de mecanizar la vendimia, lo que permitiría cosechar en el momento oportuno, acelerar los tiempos de cosecha, reducir el costo de la misma y compensar la notoria reducción de la disponibilidad de mano de obra. Si bien cualquier sistema de cosecha distinto del manual provocará una mayor rotura de granos, la reducción del tiempo de cosecha y la posibilidad de hacer una cosecha nocturna, compensará con creces esa situación adversa.

Si bien existen vendimiadoras comerciales para estructuras de parral, éstas exigen la adecuación del sistema de conducción para el funcionamiento de las mismas [5], [6].

Este trabajo está dirigido a mecanizar la cosecha de viñedos cuya estructura responda a sistemas de conducción de alta expresión vegetativa cuya canopia sea dividida en dos planos y donde la vibración es transmitida a brotes y racimos sin afectar las estructuras permanentes del sistema de conducción. Se adaptaría a estructuras tales como el parral conducido en H y el T californiano. En el caso de parrales ya establecidos, con sistema de conducción con poda mixta, sería necesaria una modificación en el ordenamiento de la canopia, a un sistema de conducción en H, en cordón de pitones. Si bien esta modificación no tiene impacto en la estructura de conducción, si requeriría un sacrificio por parte del viñatero, que vería afectada su producción en un periodo máximo estimado de transformación de dos años, sacrificando en dicho período el 30% de la producción, pérdida que a posteriori será ampliamente compensada, si se tratara de viñedos relativamente jóvenes. Se hace notar que el costo operativo de la poda manual cuando el sistema de conducción es el de cordón de pitones, es un 40% menor, que en poda mixta. También con el sistema en "H" se logra una mejor distribución de brotes y racimos, y un ahorro importante en productos fitosanitarios dirigidos a estos últimos.

Entre las razones que motiva esta iniciativa podemos mencionar, entre las más importantes, una reducción de los tiempos y costos de cosecha, contrarrestar el déficit creciente de mano de obra y el poder realizar la cosecha en función de la madurez enológica y en los horarios más convenientes.

El trabajo contempla el análisis de un mecanismo de arranque de los granos de uva de la planta, mediante la vibración de los mismos [4]. Este mecanismo, integra luego un conjunto mecánico, que acopia lo cosechado en un contenedor para que luego sea trasvasado al transporte que lo traslada a la bodega. La tracción es aportada por un tractor, del tipo usado en las explotaciones vitivinícolas, no descartando la posibilidad de diseñar un equipo autopropulsado.

En la Fig. 1, se observa un croquis simplificado del sistema propuesto.

2. METODOLOGÍA DEL DESARROLLO

El desarrollo del presente trabajo, surge de una idea de los técnicos de la Estación Experimental San Juan del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) [7], que sostienen la posibilidad de producir el desprendimiento de los granos de uva mediante el vibrado de los mismos, en particular en los viñedos cultivados con estructura de parral tipo cuyano, en H y cordón de pitones y comienza con el estudio básico de las características dinámicas que se impondrán al mecanismo vibratorio, según los fines perseguidos. Este mecanismo vibratorio, consiste en una rueda de bastones dispuestos en forma radial, los cuales además de vibrar, permiten el giro solidario de toda la rueda de bastones para permitir que el conjunto pueda girar sobre su eje, al encontrarse con algún obstáculo en su movimiento de avance.

De acuerdo con la bibliografía consultada, (Curso de Vitivinicultura, Cosecha mecánica, 2003), la masa de los granos y la fuerza de arrancado, para dos variedades distintas, se dan en la siguiente Tabla 1.

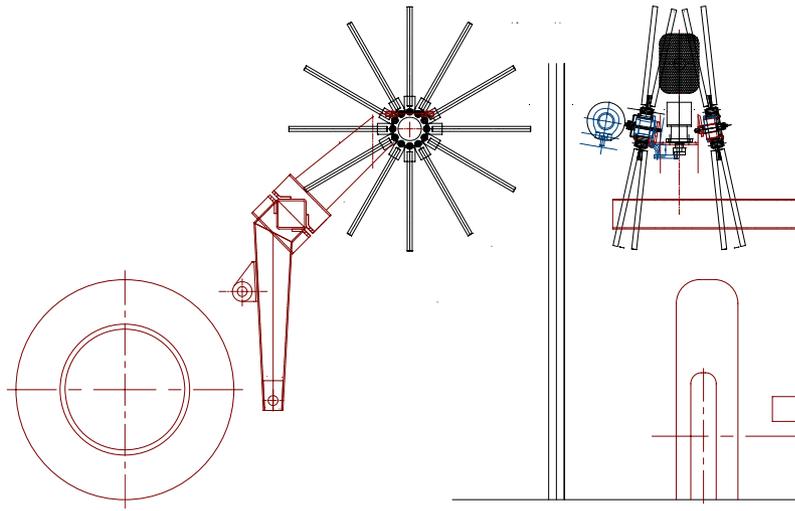


Fig. 1. Croquis simplificado del sistema propuesto.

Tabla 1. Masas de los granos y fuerza de arrancado para dos variedades distintas

Variedades	Grenache	Carignan
Peso de los Granos	2,2 gramos	3,2 gramos
Fuerza de Arrancado	0,25 Newton	0,44 Newton

Si se pretende arrancar los granos mediante la vibración de los racimos, estos deberán estar sometidos a una aceleración tal que provoque una fuerza igual o mayor que la fuerza de arrancado, la que para los casos tabulados valdrá:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{0,25 \text{ N}}{0,0022 \text{ Kg}} = 113,64 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (1)$$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{0,44 \text{ N}}{0,0032 \text{ Kg}} = 137,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (2)$$

Por lo tanto para producir el arrancado de los granos, se debe someter a estos, a una aceleración de aproximadamente 150m/s^2 . Partiendo de esta condición se debe lograr que el bastón transmita dicha aceleración al racimo.

La rueda consta de 24 bastones, dispuestos en dos planos adyacentes y están construidas con un material sintético flexible montado sobre un cubo central, al que se le comunica el movimiento vibratorio por un mecanismo con movimiento rectilíneo y alternativo. El cubo contiene además, un mecanismo que permite liberar la rueda para permitir el giro alrededor de su eje.

En la Fig. 2, se puede apreciar una vista general de la disposición de la rueda de bastones.

Para producir la vibración, se emplea un oscilador armónico simple, cuyo mecanismo se muestra en la Fig. 3:

Para este mecanismo, se cumple que:

$$\begin{aligned} \text{desplazamiento} &= X = R \cdot \cos \theta \\ \text{velocidad} &= V = -\omega R \cdot \text{sen} \theta \\ \text{aceleración} &= a = -\omega^2 R \cdot \cos \theta \end{aligned} \quad (3)$$

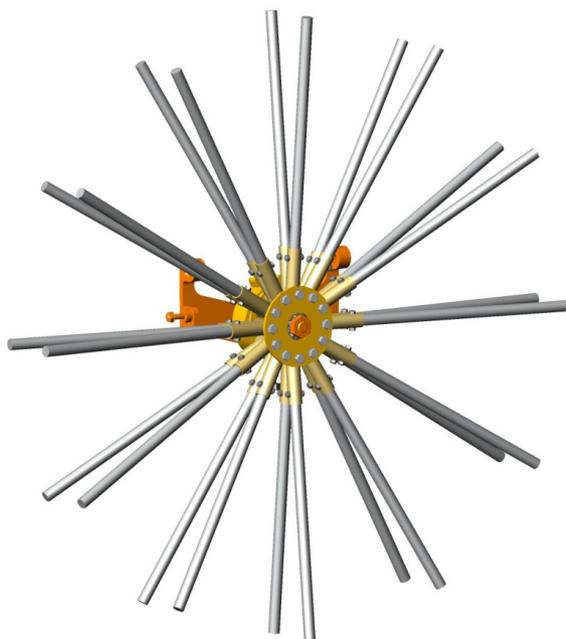


Fig. 2. Vista general del conjunto de la rueda de bastones vibratorios.

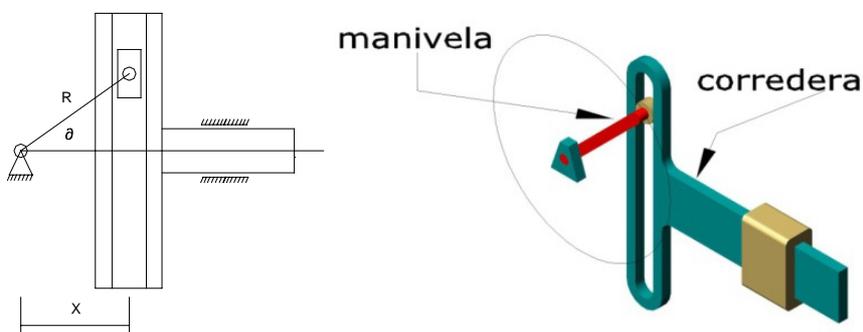


Fig. 3. Mecanismo oscilador armónico simple.

La frecuencia de oscilación se calcula con la aceleración máxima absoluta y adoptando un radio de la manivela del oscilador de 75 mm, resulta una amplitud de oscilación de 150 mm:

$$a_{m\acute{a}x.} = \omega^2 R \therefore \omega = \sqrt{\frac{a_{m\acute{a}x.}}{R}} = \sqrt{\frac{150 \left[\frac{m}{seg^2} \right]}{0,075 [m]}} = 44,72 \left[\frac{1}{seg} \right] \quad (4)$$

La frecuencia de oscilación será:

$$\omega = 2\pi f \therefore f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{44,72 \left[\frac{1}{seg} \right]}{2\pi} = 7,12 \left[\frac{1}{seg} \right] \cong 7 \text{ Hertz} \quad (5)$$

El número de revoluciones por minuto a la que debe girar el eje de accionamiento, será:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \therefore n = \frac{\omega \cdot 60}{2\pi} = \frac{44,72 \cdot 60}{2\pi} = 427 \text{ rpm} \quad (6)$$

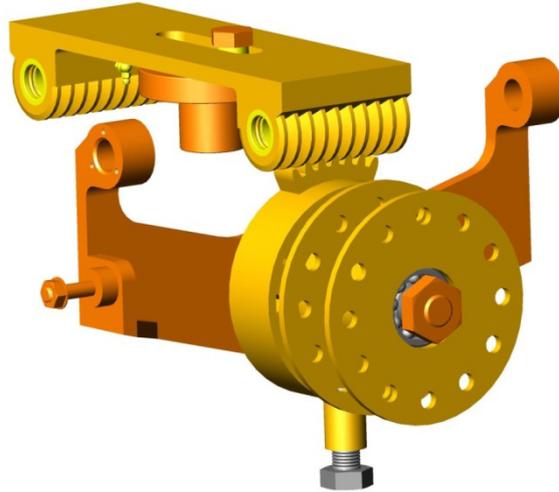


Fig. 4. Mecanismo de accionamiento de la rueda de bastones.

O sea, aproximadamente 430 rpm.

Este movimiento de rotación, se obtiene de un motor hidráulico que acciona una corredera con movimiento lineal, transformando el movimiento en rectilíneo y alternativo que se transmite a la rueda de bastones por medio del dispositivo que se muestra en la Fig. 4.

Dado que la rueda de bastones debe vibrar y simultáneamente avanzar sobre el cultivo, es necesario proveer además, un mecanismo que permita el giro de la rueda para evitar que esta se trabe contra los obstáculos que se puedan presentar durante el avance de la máquina. Esto se logra con un mecanismo adicional, que permite que la rueda se libere ante un obstáculo y pueda continuar girando. Este mecanismo está constituido por un dispositivo de retención, que mediante una bolilla presionada por un resorte, se libera cuando la fuerza sobre los bastones excede la fuerza de vibración.

Esto se logra con un mecanismo de retención, que funciona en base a resortes de compresión y cuyo tamaño debe dimensionarse. Las dimensiones de los bastones, el detalle del mecanismo de retención y las fuerzas puestas en juego, se muestran en la Fig. 5.

Para producir el arrancado de los granos de uva se necesita una aceleración lineal máxima de 150 m/seg². Si se considera esta aceleración en el extremo del bastón, que tiene un radio de 500 mm, la aceleración angular máxima de la rueda de bastones será de:

$$\alpha = \frac{a \left[\frac{\text{m}}{\text{seg}^2} \right]}{r [\text{m}]} = \frac{150}{0,50} = 300 \frac{\text{rad}}{\text{seg}^2}$$

El momento de inercia de la rueda 24 bastones, que por simplicidad se consideran de 1000 mm de largo total y 16 mm de diámetro, con un peso específico de $\delta = 1.200 \text{ kg/m}^3$ será:

$$I_{xx} = \frac{m(3r^2 + L^2)}{12}$$

Donde la masa es igual a:

$$m = \delta \cdot \text{volúmen} = \frac{\pi \cdot \delta \cdot d^2 \cdot L}{4}$$

De donde:

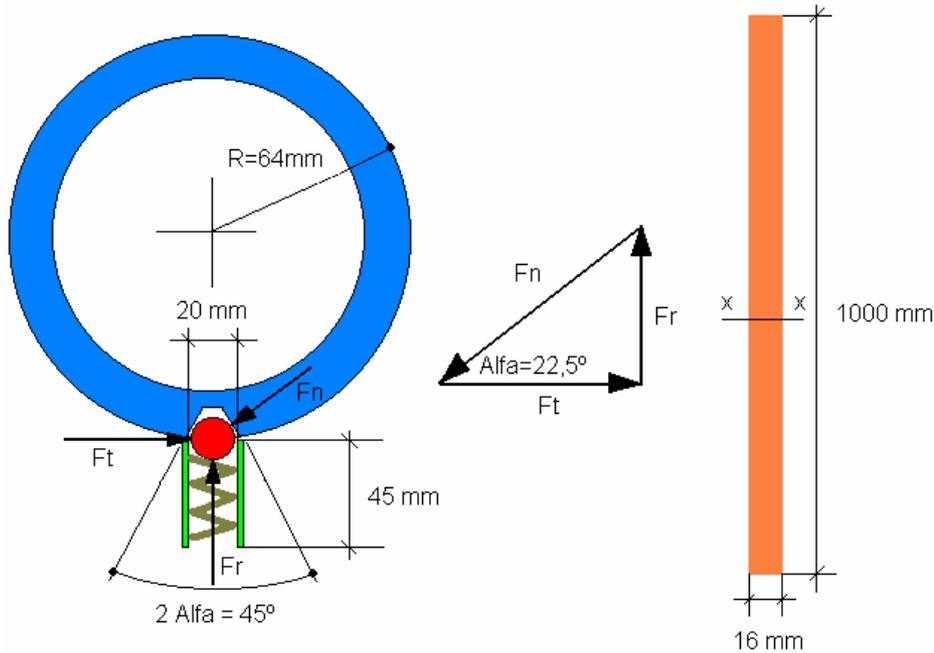


Fig. 5. Detalle del mecanismo de retención.

$$m = \frac{\pi \cdot 1.200 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \cdot 0,016^2 \left[\text{m}^2 \right] \cdot 1 \left[\text{m} \right]}{4} = 0,241 \left[\text{kg} \right]$$

$$I_{xx} = \frac{0,241 \left[\text{kg} \right] \cdot (3 \cdot 0,008^2 \left[\text{m}^2 \right] + 1^2 \left[\text{m}^2 \right])}{12} = 0,020 \left[\text{kg} \cdot \text{m}^2 \right]$$

El momento de inercia total, será el momento de inercia de un bastón multiplicado por 12 y no por 24, porque por simplicidad se tomó cada par de bastones como una barra única:

$$I_{xx \text{ Total}} = 12 \cdot I_{xx} = 0,24 \left[\text{kg} \cdot \text{m}^2 \right]$$

El momento torsor, será:

$$M_{\text{Torsor}} = I_{xx \text{ Total}} \cdot \alpha = 0,24 \left[\text{kg} \cdot \text{m}^2 \right] \cdot 300 \left[\frac{\text{rad}}{\text{seg}^2} \right] = 72 \left[\text{Nt} \cdot \text{m} \right]$$

La fuerza en el resorte, será:

$$F_r = F_t \cdot \text{tg} \alpha = \frac{M_{\text{Torsor}}}{R} \cdot \text{tg} \alpha = \frac{72 \left[\text{Nt} \cdot \text{m} \right]}{0,064 \left[\text{m} \right]} \cdot \text{tg} 22,5^\circ = 466 \left[\text{Nt} \right]$$

O sea aproximadamente, $F_r = 47,5 \text{ kg}$.

Del libro diseño de Maquinaria de Robert L. Norton, página 714, Tabla de resortes de compresión, se obtienen los siguientes datos:

Resorte de Compresión:

Longitud libre: $1 \frac{1}{2} \text{ " } = 38 \text{ mm}$

Diámetro exterior: $\frac{3}{4} \text{ " } = 20 \text{ mm}$

Diámetro del alambre: $0,125 \text{ " } = 3,2 \text{ mm}$

Constante: $260 \text{ lb./pulg. } = 4,64 \text{ Kg/mm}$

Deflexión máxima: $0,48'' = 12,2 \text{ mm}$

Carga máxima: $4,64 \text{ Kg/mm} \times 12,2 \text{ mm} = 56,6 \text{ Kg}$.

Longitud sólida: $38 \text{ mm} - 12,2 \text{ mm} = 25,8 \text{ mm}$

Por seguridad, se adoptan tres resortes de las características indicadas.

La fuerza F_B para liberar la rueda, aplicada en el extremo de un bastón, será:

$$F_T = \frac{F_r}{\text{tg} \alpha} = \frac{2 \cdot 56,6 [\text{Kg}]}{\text{tg} 22,5^\circ} = 273,3 [\text{Kg}]$$

$$F_B = \frac{F_T \cdot R}{R_B} = \frac{273,3 [\text{Kg}] \cdot 64 [\text{mm}]}{500 [\text{mm}]} = 35 [\text{Kg}]$$

Esta es la fuerza que aplicada en el extremo del bastón, provocaría la liberación del mismo, a través de mecanismo de retención.

La potencia de accionamiento de una rueda de bastones será:

$$N = 72 [\text{Nt} \times \text{m}] \cdot 430 [\text{rpm}] \cdot \frac{1}{60 \text{ seg}} = 516 \text{ Watt}$$

Dado que un mismo motor hidráulico debe accionar cuatro ruedas simultáneamente y que existen otras masas con movimiento alternativo, como así también múltiples rozamientos en el mecanismo, se adopta un motor hidráulico normalizado con una velocidad nominal de 430 rpm y una potencia nominal de 7 Hp.

El dispositivo tiene la disposición que se muestra en la Fig. 6.

Es necesario agregar otro mecanismo adicional que permita la inclinación de las ruedas de bastones, para permitir que las mismas se posicionen de manera correcta en función de la disposición de la canopia de las plantas y también en el momento de iniciar la cosecha en una nueva hilera. Este dispositivo, accionado por medio de un cilindro hidráulico, se muestra en la Fig. 7.

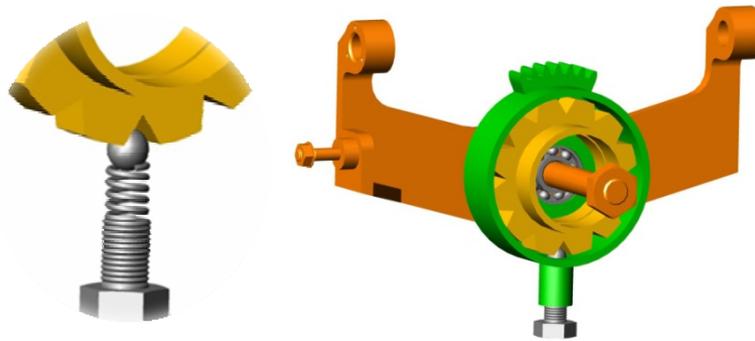


Fig. 6. Mecanismo de liberación de la rueda de bastones.



Fig. 7. Mecanismo de orientación de la rueda de bastones.

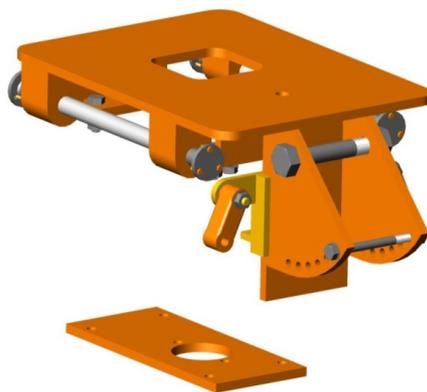


Fig. 8. Bastidor del cabezal de la máquina.

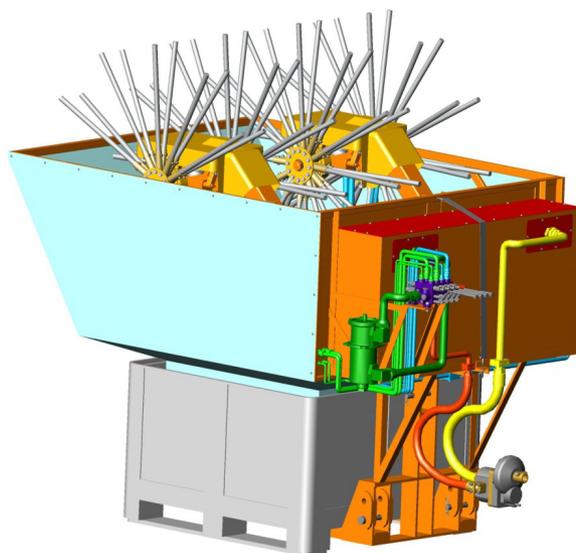


Fig. 9. Vista de la máquina completa.

Todos estos componentes, se encuentran integrados en el cabezal de la máquina y soportados por un bastidor como el indicado en la Fig. 8.

Finalmente, en la Fig. 9, se observa la disposición general de la máquina, donde se pueden apreciar, en la parte superior, los dos cabezales de cosecha, la tolva donde se recoge el producto cosechado, el recipiente desmontable en la parte inferior para retirar el producto cosechado y los sistemas hidráulicos de accionamiento.

3. DISCUSIÓN

La máquina propuesta, se encuentra en la fase de construcción de un prototipo para su ensayo en laboratorio, según se muestra en la Fig. 10, fundamentalmente para analizar el modo de vibración de los bastones y en base a esto, ajustar la frecuencia de oscilación a un valor óptimo para asegurar el desprendimiento de los granos, como así también, asegurar que el mecanismo de liberación de las ruedas de bastones no interfiera con el vibrado de los mismos, permitiendo asegurar una fuerza de retención adecuada para este propósito.



Fig. 10. Ensayos preliminares.

Otro aspecto importante a considerar en estos ensayos, es la determinación de la magnitud de las fuerzas vibratorias de todo el conjunto mecánico y su transmisibilidad al bastidor de la máquina.

Estas fuerzas se podrán evaluar en los ensayos en forma práctica y también se podrá realizar un análisis teórico de las mismas, ya que se conocerán con bastante precisión las piezas componentes del sistema mecánico y de esta forma intentar el equilibrado del sistema en caso de ser necesario.

4. CONCLUSIONES

La cosechadora por sus prestaciones, pretende ser una herramienta económica y de fácil aplicación para la vitivinicultura actual, ya que sería rentable su adquisición para vitivinicultores que posean una producción de 15 hectáreas o más, además permitiría la creación de empresas prestadoras de servicio de cosecha para los productores con menor producción.

Entre las ventajas más importantes en el empleo de la cosechadora de uva se tiene, la reducción de los tiempos y costos de cosecha y la contribución a la solución del déficit creciente de mano de obra, mediante el uso de tecnología aplicada a la vitivinicultura.

Debido a que la potencia de accionamiento de la cosechadora es aportada por un tractor, consumiendo de este unos 35HP, se manifiesta una ventaja, ya que los equipos autopropulsados que existen en la actualidad necesitan una potencia de alrededor de 100 a 120HP, con el consiguiente aumento de consumo de combustible. Por lo tanto la cosechadora sigue con la tendencia de minimizar el consumo energético y reduciendo además el capital ocioso que generan los equipos autopropulsados, fuera de los periodos de cosecha. Es necesario tener en cuenta que las cosechadoras cabalgantes solo cosechan un cordón a la vez

y que la máquina propuesta, cosecha dos cordones en simultáneo, por lo tanto la energía empleada por unidad de peso de uva es menor.

Como se mencionó al principio, esta máquina se encuentra en la fase de construcción de un prototipo para su ensayo en laboratorio, para luego efectuar las pruebas de campo. De resultar satisfactorias estas experiencias, se pretende en el futuro, ampliar el diseño de la cosechadora en un equipo autoportante sobre ruedas y accionada por medio un tractor de arrastre, con el agregado también de un soplador para eliminar las hojas desprendidas de la planta, un dispositivo que elimine el escobajo, una tolva de mayor volumen, con un sistema que permita el sulfitado para obtener una cosecha de mayor calidad, con menor materia orgánica, mejorando así la calidad de los productos obtenidos en los procesos posteriores, reduciendo la energía necesaria y el costo operativo de la cadena productiva en su conjunto.

REFERENCIAS

- [1] Penisi, O., Aguilar, H., Bocca, J., Rojos, E., Galdeano, H., Campos, D., Rodríguez, C., “Automatización de la recolección de cajas de uvas finas en la vendimia”, *VII Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica*, México (2005)
- [2] Aguilar, H., Bocca, J., Penisi, O., Rodríguez, C., Galdeano, H., “Mecanización del Transporte en la Cosecha de Uvas Finas”, *XXI Congreso Panamericano de Ingeniería Mecánica, Eléctrica, Industrial y Ramas Afines*, Lima, Perú, octubre del 2007
- [3] Troncoso, C.J., Riquelme, J., Laurie, F., Abarca, J., “Evaluación de las Ventajas Relativas de la Vendimia Mecanizada en Chile Central”, *52° Congreso Agronómico*, Quillota Chile, octubre 2001
- [4] Intriери, C., Sivestroni, O., Poni, S., Filippetti, I., Colucci, E., Lia, G., “Meccanizzazione integrale in viticoltura: Principi ed evoluzione tecnica dei sistemi di allevamento e delle macchine”, Centro Ricerche Viticole ed Enologiche, Sezione Viticola, Università di Bologna Italia. En: *Publicazione*, (222) Estratto da: *Supplemento a Terra e Vita*, **11**, 1-62 (1998)
- [5] Bellomo, F., D’Andonio, P., “Vendemmiatrice pero tendone: caratteristiche e prestazioni”, *M&MA*, **4**, 16-23 (1996)
- [6] Flores, M., “Cosecha Mecánica: Tecnología vs Tradición”, *B&T Gerencia Vitivinícola*, **6**, 42-46 (2000)
- [7] Miranda, O., Battistella, M., Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental San Juan (2003)

DEVELOPMENT OF A GRAPEVINE HARVESTER PROTOTYPE IN A VINE ARBOR STRUCTURE

Abstract – The aim of this paper is to present a solution for the mechanical harvesting of grapevines, growing in a conductive vine-arbor structure. The harvesters available in the market now, offer equipment for grapevines growing in vertical structures called “espaldiers” but in the case of vine-arbors the equipment must be specifically designed for this kind of conductive growing. The paper analyses a cutting mechanism (by vibration) of the grape grains or cluster of grapes. This mechanism is part of a group of mechanical equipment which stores the harvested grapevines in a container and loads them on the vehicles which transport them to the winery. Traction is performed by a tractor of the viticulture type. This mechanization introduces an undesired effect, such as the crushing of the grain but the mechanical harvester accelerates the loading of the vehicles which transport the vine grapes to the winery, thus reducing the undesired action of microorganisms and enzyme oxidation and allowing night harvest which makes these processes slower due to the lower temperatures. Although this paper contains a description of the machine as a whole, the emphasis is on the analysis of the vibrating and rotating system used for the separation of the clusters from the plant. At present a prototype is being developed to study the behavior of this mechanism.

Keywords – Prototype, Harvester, Vine, Vine-arbor structure.