

Mecanización del transporte en la cosecha de uvas finas

Horacio A. Aguilar, Osvaldo H. Penisi, José C. Bocca, Hugo Galdeano, Carlos A. Rodriguez

*Instituto de Mecánica Aplicada, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan
Av. Libertador General San Martín 1109. (5400) San Juan, Argentina
e-mail: haguilar@unsj.edu.ar, openisi@unsj.edu.ar, jbocca@unsj.edu.ar,
galdeano@unsj.edu.ar, crodri@unsj.edu.ar*

RESUMEN

Generalmente, el proceso de cosecha y acarreo de uvas finas, se realiza en forma manual, debiendo el cosechador caminar distancias considerables para transportar las cajas con el producto de la cosecha. Esta metodología, representa un gran esfuerzo físico por parte del cosechador, ocasiona pérdidas de tiempo en la cosecha y no asegura la integridad del producto antes de la molienda.

La metodología del presente trabajo, que es realizado por docentes-investigadores del Instituto de Mecánica Aplicada (IMA) y alumnos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan, Argentina, consiste en desarrollar en el laboratorio, un sistema mecánico controlado, para mejorar las condiciones de trabajo, disminuyendo el esfuerzo físico del cosechador y asegurando la integridad del producto. Se utiliza para ello un manipulador mecánico controlado por un PLC (Control Lógico Programable), con el objeto de recoger en forma automática las cajas de la cosecha y depositarlas sobre un pallet, en el acoplado de un tractor.

Los resultados alcanzados hasta el presente, se traducen en experiencias de laboratorio, para validar los sistemas operativos y de mando, mediante un test de repetibilidad de las posiciones alcanzadas por el manipulador.

Este desarrollo, permitiría disponer de un equipo de bajo costo, operado por personal sin alta calificación, siendo rápidamente amortizable y confiable en su uso agrícola.

Las conclusiones de estos ensayos, permiten establecer que el sistema de control a lazo abierto implementado para el posicionamiento de las cajas, produce en las mediciones de laboratorio, valores en un entorno aceptable para la operación de paletizado en la cosecha de la vid, siendo aconsejable que el sistema posea precisión mecánica en sus articulaciones, mecanismos de freno y aconsejándose para el futuro, la implementación de un control de velocidad para los motores.

Palabras Claves: Mecanización, transporte, cosecha, uvas finas, control de lazo abierto.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo, está dirigido al desarrollo de un sistema de bajo costo que facilite la recolección de cajas en la cosecha de uvas finas, aliviando el esfuerzo físico del cosechador y acortando los tiempos de cosecha, entre otras ventajas.

Desde los inicios de la vinificación de uvas, la cosecha de éstas ha sido realizada en forma manual, siendo el propio cosechador quien transporta una caja de dimensiones normalizadas, con una capacidad de 20 kilogramos, recorriendo generalmente distancias considerables.

A fin de mejorar las condiciones de la cosecha, en particular de variedades finas, se ha trabajado en la automatización de la recolección de las cajas dejadas al pie de la planta por el cosechador, apilándose éstas en un pallet sobre un acoplado remolcado por un tractor. Para el desarrollo en laboratorio de este sistema se empleó, en la parte operativa, un manipulador de tipo serial, que posee una pinza de dos dedos para la toma de las cajas y para la parte de mando, un controlador lógico programable (PLC), de tipo secuencial en lazo abierto y con finales de carrera como limitadores de recorrido, a fin de determinar que las posiciones alcanzadas estén dentro de un cierto margen de error, aceptable para la tarea a realizar.

Un planteo inicial de este sistema, se desarrolló en trabajos anteriores de los mismos autores: "Mecanización del transporte en la cosecha de uvas finas" [1-3] y "Automatización de la recolección de cajas de uvas finas en la vendimia" [4], donde se consideraron además, otros efectos en el tratamiento del producto cosechado que afectan su calidad.

Se plantea la recolección de cajas, que el operario va dejando al pie de la planta, una vez que ha completado su capacidad con los racimos de uva. Luego, estas cajas deben ser apiladas sobre un pallet, para lo cual debe asegurarse una repetibilidad en el posicionamiento de las mismas, que asegure una aproximación del orden de ± 5 milímetros, a fin de lograr que una caja encaje sobre la otra.

Dado que se propone el sistema de control a lazo abierto, los factores que pueden incidir para no obtener una buena repetibilidad, son diversos. Por ejemplo la variación de la velocidad de los motores de accionamiento, la precisión del sistema mecánico, la fluctuación de potencia en las fuentes de alimentación, los obstáculos interpuestos en el movimiento, etc.

Es por este motivo, que se realizan mediciones de las coordenadas alcanzadas en varios ciclos consecutivos para validar la repetibilidad de los movimientos, porque solo con resultados satisfactorios dentro de los límites impuestos, se puede asegurar la factibilidad del sistema.

Además del esfuerzo físico realizado por el cosechador, los métodos actuales de la cosecha introducen cargas y efectos adicionales, que afectan la calidad en los granos de uva.

A fin de dar solución a estos problemas, es que se propone realizar el transporte de las cajas en un acoplado remolcado por un tractor, recolectándose las cajas del propio lugar donde el cosechador la deja cuando completa la misma, utilizando un manipulador de tipo serial colocado en la parte frontal del acoplado, de manera que el mismo pueda ser operado por la misma persona que conduce el tractor, tal como puede observarse en la Figura 1.

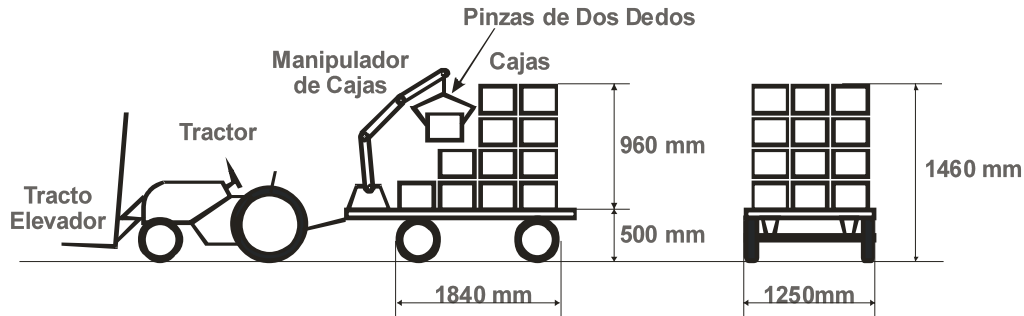


Figura 1 Disposición esquemática del sistema de transporte de cajas

Las dimensiones del paletizado se han determinado teniendo en cuenta que el sistema debe poder ser utilizado en los distintos tipos de guiado de las vides, lo cual pone limitaciones en el ancho y alto del transporte.

2. MARCO TEÓRICO

Con el objeto de investigar y desarrollar la manipulación de cajas en el laboratorio, se emplea como sistema operativo un manipulador de tipo industrial desarrollado en el IMA (Instituto de Mecánica Aplicada), compuesto por un mecanismo poliarticulado de cinco grados de libertad, actuado por motores de corriente continua, de baja inercia, con freno y dínamo taquimétrica, en cada una de las articulaciones y una electroválvula neumática, para el accionamiento de la pinza de agarre de las cajas. Una descripción esquemática puede ser observada en la Figura 2, donde se indican cada uno de los sistemas coordinados que permiten calcular la posición de su punto extremo que, en este caso, será la posición de la pinza que tomará las cajas para realizar la paletización de éstas [5,6].

La Ecuación (1), de orientación y posición de la pinza con respecto al bastidor, está definida por los cosenos directores de los ángulos entre los sistemas de los distintos ejes, siendo cada elemento de la matriz el coseno director de los ángulos comprendidos entre los ejes respectivos que fijan la orientación y PX_0 , PY_0 , PZ_0 las componentes del vector posición entre los orígenes de dichos sistemas, ver Figura 3. La solución de la cinemática inversa, utilizando las matrices de transformación en coordenadas homogéneas establecidas por Denavit y Hartenberg, permiten encontrar los valores de rotación de cada una de las articulaciones (φ_1 , φ_2 , φ_3 , φ_4 y φ_5) a partir de la Ecuación (1) [7,8].

$$[A] = \begin{bmatrix} c(X_5, X_0) & c(Y_5, X_0) & c(Z_5, X_0) & PX_0 \\ c(X_5, Y_0) & c(Y_5, Y_0) & c(Z_5, Y_0) & PY_0 \\ c(X_5, Z_0) & c(Y_5, Z_0) & c(Z_5, Z_0) & PZ_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

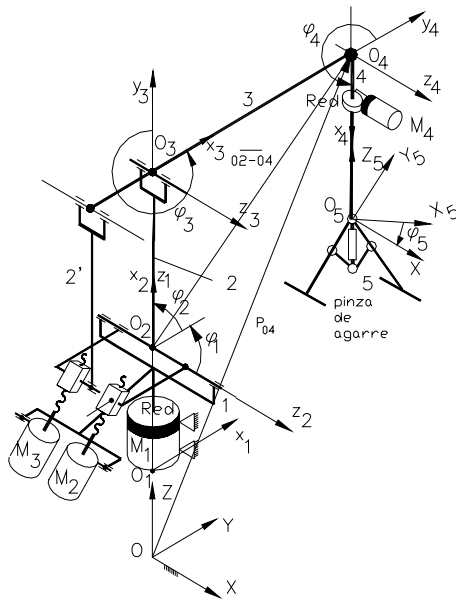


Figura 2 Cadena cinemática del manipulador

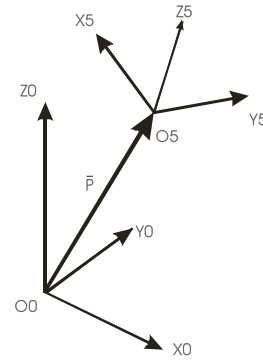


Figura 3 Posición y orientación relativa de pinza-base

Estos valores para el manipulador de la Figura 2, están dados por las Ecuaciones (2):

$$\begin{aligned}
 \varphi_1 &= f_1(PX0, PY0) \\
 \varphi_2 &= f_2(\varphi_1, \varphi_3, PX0, PY0, PZ0, a_2, a_3) \\
 \varphi_3 &= f_3(\varphi_1, PX0, PY0, a_2, a_3) \\
 \varphi_4 &= f_4(\varphi_2, \varphi_3) \\
 \varphi_5 &= f_5(-\varphi_1)
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Una vez determinados los ángulos, se pueden encontrar los valores de rotación de los motores de accionamiento mediante las Ecuaciones (3):

$$\theta_{\text{motor1}} = i_1 \varphi_1 ; \theta_{\text{motor4}} = i_4 \varphi_5 ;
 \tag{3}$$

Donde i_1, i_4 , son las relaciones de transmisión de los reductores de cada una de estas articulaciones.

Los desplazamientos de las tuercas sobre los tornillos de bolillas recirculantes accionados por los motores 2 y 3 están dados por las Ecuaciones (4):

$$\begin{aligned}
 LT2 &= f_{i2}(r_1, \varphi_2) \\
 LT3 &= f_{i3}(r_1, r_2, \varphi_2, \varphi_3)
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Conocidos r_1, r_2 (longitudes de las manivelas de accionamiento) y el paso de los tornillos resultan las Ecuaciones (5):

$$\theta_{\text{motor2}} = \frac{2\pi LT2}{\text{Paso}_{\text{tor2}}} ; \theta_{\text{motor3}} = \frac{2\pi LT3}{\text{Paso}_{\text{tor3}}}
 \tag{5}$$

El sistema de mando, está constituido por un Control Lógico Programable (PLC). Se ha optado por este sistema dado su bajo costo, facilidad de programación y de implementación en un sistema móvil que requiere robustez, en virtud de las condiciones de operación en el campo. El conexionado de éste y los motores se ha realizado de acuerdo al esquema que se observa en la Figura 4.

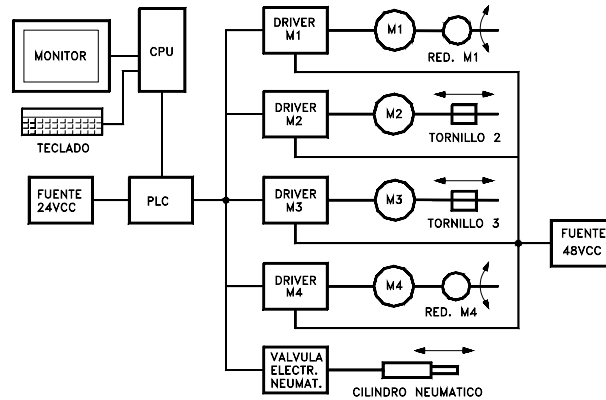


Figura 4 Esquema simplificado del circuito de control

Se utiliza un PLC FESTO FEC 20 [9], disponible en el IMA, comandando en la salida los drivers de los motores, ya sea para el sentido de rotación, como para la aplicación del freno correspondiente de cada motor.

El PLC se programa en lazo abierto y en forma secuencial, sobre la base de los tiempos de accionamiento de cada uno de los actuadores. Para esto, es necesario conocer las coordenadas del extremo del manipulador, PX0, PY0 y PZ0. Con estos datos, aplicando las Ecuaciones (2) a (6) y conociendo la velocidad angular de los motores, se pueden determinar los tiempos de accionamiento por medio de la Ecuación (6):

$$t_{\text{accionamiento}} = \frac{\theta_{\text{motor}}}{\omega_{\text{motor}}} \quad (6)$$

Estos tiempos, se deben calcular para cada uno de los movimientos secuenciales del manipulador y luego se ingresan al programa del PLC, a través de la computadora, con la secuencia correspondiente. En este análisis de la repetibilidad, el manipulador se programa para realizar una sola secuencia, que se repite en varios ciclos.

Dicha secuencia, está compuesta de las siguientes fases: Fases 1 y 2, tiempos T0 y T1, desde la posición de reposo hasta la posición de tomar una caja; Fase 3, tiempo T2, tiempo de apertura de la pinza de agarre por medio del actuador electro neumático; Fase 4, tiempo T3, tiempo de retorno del brazo y antebrazo a la posición inicial y Fases 5 y 6, tiempos T4, T5 y T6, tiempos de accionamiento de la cintura, giro de la pinza de agarre, brazo y antebrazo, para pasar de la posición de reposo hasta la posición de dejar la primera caja.

3. EXPERIENCIAS DE LABORATORIO

Las experiencias de laboratorio, se realizaron con el objeto de validar el sistema de control propuesto mediante un test de repetibilidad de las posiciones alcanzadas por el manipulador, dándose como válido si la misma se encuentra dentro de un margen aceptable para asegurar el posicionamiento de las cajas.

Para esto se utilizaron tres transductores de distancia por cable [10], diseñados y construidos en el IMA, dispuestos como se indica en la Figura 5.

Estos transductores, cuyo esquema se muestra en la Figura 6, permiten mediante la medición de las longitudes L_1 , L_2 y L_3 , determinar la posición del extremo del manipulador, a través de la

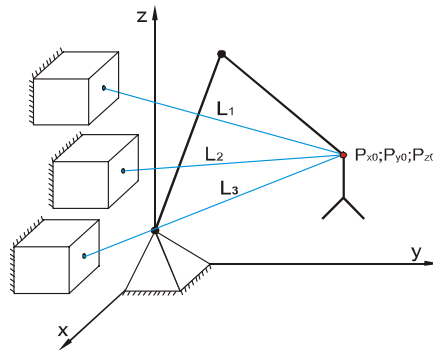


Figura 5 Disposición del sistema de medición de la posición

geometría correspondiente, dada por las Ecuaciones (7):

$$\begin{aligned} P_{x0} &= \frac{C^2 + L_1^2 - L_3^2}{2C} \\ P_{y0} &= \frac{B^2 + L_2^2 - L_3^2}{2B} \\ P_{z0} &= \frac{A^2 + L_2^2 - L_1^2}{2A} \end{aligned} \quad (7)$$

Donde A, B y C, son las longitudes de dos lados de la base del tetraedro formado por los tres cables de longitudes L_1 , L_2 y L_3 . La disposición en el laboratorio, puede verse en la Figura 7.

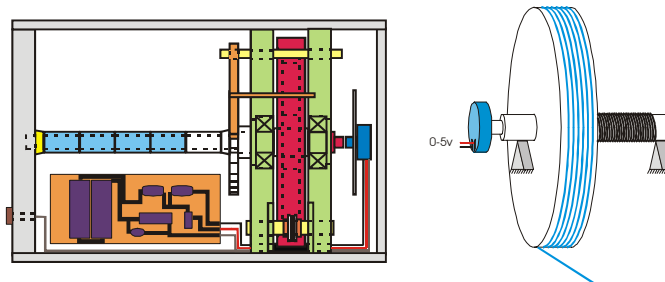


Figura 6 Transductores de distancia por cable



Figura 7 Mediciones en el laboratorio

Los transductores de distancia por cable traducen las longitudes L_1 , L_2 y L_3 , en tensiones eléctricas variables de 0 a 5 volt, las que se ingresan en una placa National Instruments de LabView, permitiendo almacenar y graficar los valores leídos durante el movimiento.

4. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA VALIDACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LAZO ABIERTO

Los resultados de las mediciones de repetibilidad, para un ejemplo de cinco ciclos y para los ejes X, Y, Z, se muestran en la Figura 8, tal como aparecen en la pantalla de la computadora utilizada en las mediciones, en la que se indican en ordenadas, las coordenadas X, Y, Z, en milímetros y en abscisas el tiempo en segundos.

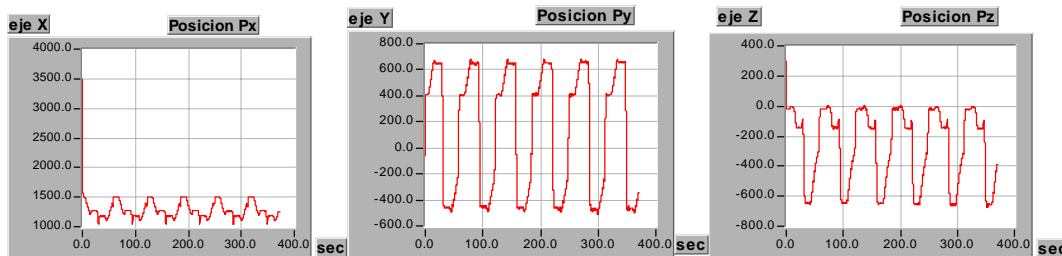


Figura 8 Resultados obtenidos en pantalla de las mediciones de laboratorio

En estas gráficas, se pueden apreciar tres zonas o “mesetas” en cada ciclo, que representan los períodos de reposo del manipulador, en los cuales el tiempo transcurre sin que se produzca movimiento alguno y que corresponden a la posición de reposo, a la posición de tomar una caja y finalmente a la posición de dejar una caja.

En la Figura 9 se observa esto con mayor detalle. En ella se grafican los valores de las coordenadas del eje X para cinco ciclos consecutivos, indicados en milímetros sobre las

ordenadas y obtenidas a partir de los valores numéricos almacenados en la computadora, correspondientes al número de muestras indicado en abscisas.

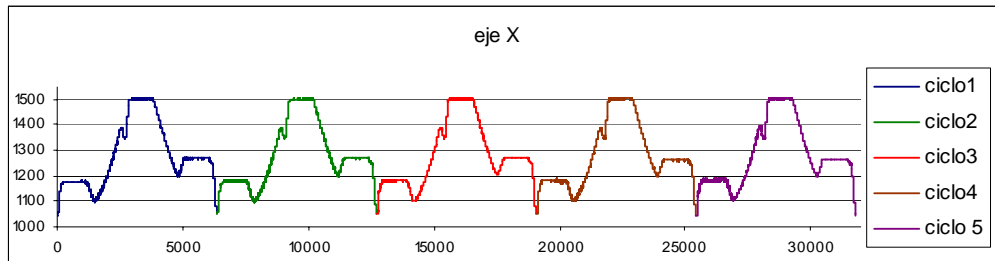


Figura 9 Detalle de cinco ciclos consecutivos para el eje X

En la Figura 10, se muestra para un ciclo, uno de los períodos de reposo o "meseta", utilizado en este trabajo como ejemplo para las mediciones del error de posicionamiento e indicado en rojo como zona A.

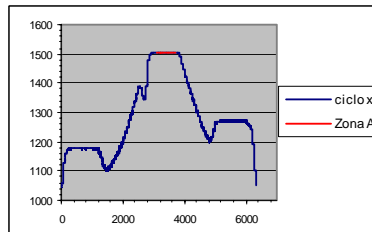


Figura 10 Detalle de un ciclo sobre el eje X

Para este ejemplo, se muestran en la Figura 11, las gráficas de los resultados obtenidos en las mediciones en el eje X, en milímetros sobre la ordenada, de tres ciclos consecutivos, en el momento de alcanzar la posición de dejar la caja, zona roja en la Figura 10, medida durante un lapso de tiempo de seis segundos en cada ciclo, con cien muestras por segundo.

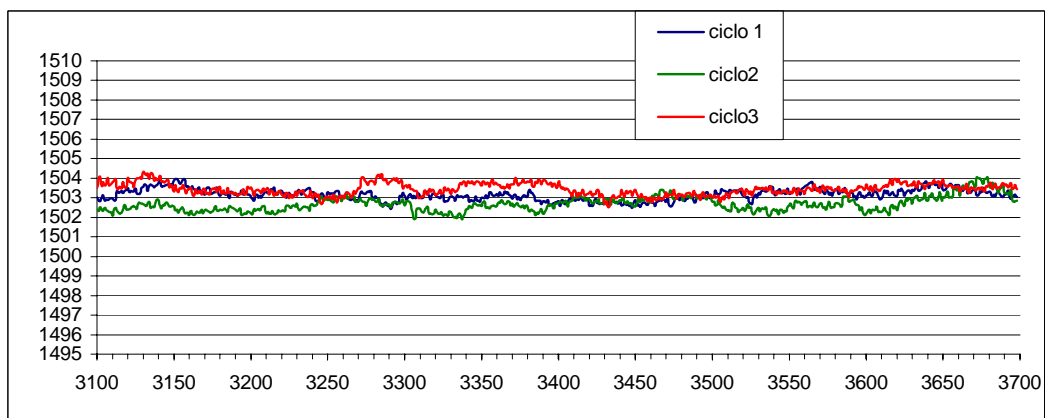


Figura 11 Representación gráfica de las mediciones de tres ciclos durante un intervalo de seis segundos

Los valores numéricos de estas mediciones, se indican en la Tabla 1.

Tabla 1 Valores numéricos para tres ciclos consecutivos

	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
Promedio (mm)	1.502,71	1.502,17	1.502,87
Máximo (mm)	1.503	1.504	1.504
Mínimo (mm)	1.502	1.501	1.502
Moda (mm)	1.503	1.502	1.503
Frec. de moda	426	490	543
Error (mm)	0,537	0,265	0,802

Los histogramas correspondientes a estas mediciones, se indican en la Figura 12.

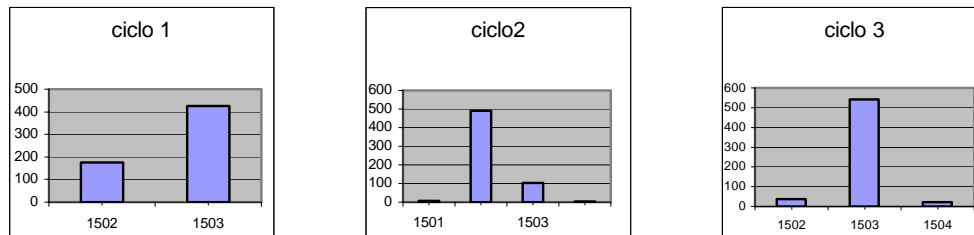


Figura 12 Histograma de las mediciones para tres ciclos consecutivos

Estas mediciones, que se repiten para un gran número de ciclos y para los tres ejes X, Y y Z, permiten estimar que el error máximo cometido en el posicionamiento, está en el orden del 0,2%, es decir alrededor de ± 2 mm en un metro, por lo que la factibilidad del sistema propuesto, tanto de control como mecánico, está asegurada en relación al tipo de tarea a realizar.

Se hace notar que en estas mediciones, no se utilizó el control de velocidad taquimétrico que poseen los motores de accionamiento, como tampoco fuentes de alimentación de potencia estabilizadas, que podrían mejorar los resultados.

5. CONCLUSIONES

El sistema de control a lazo abierto, implementado en el posicionamiento de las cajas, mediante la utilización de la función tiempo en la programación de un PLC comercial, produce en mediciones de laboratorio, valores en un entorno aceptable para la operación de paletizado de las cajas en un ambiente agrario como es el de la cosecha de la vid, sin embargo es aconsejable que el sistema posea precisión mecánica en sus articulaciones y que los motores cuenten con un sistema de frenado.

Se puede aumentar la confiabilidad del sistema de posicionamiento, si se emplea un lazo cerrado de realimentación para controlar la velocidad de los motores de accionamiento, como así también con el empleo de fuentes de potencia estabilizadas.

6. REFERENCIAS

- [1] Aguilar H., Bocca J., Penisi O., Rodriguez C., Galdeano H., Mecanización del Transporte en la Cosecha de Uvas Finas, X Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, CONIME 2006, Buenos Aires, agosto 2006.
- [2] Aguilar H., Bocca J., Penisi O., Rodriguez C., Galdeano H., Mecanización del Transporte en la Cosecha de Uvas Finas, XXI Congreso Panamericano de Ingeniería Mecánica, Eléctrica, Industrial y Ramas Afines, COPIMERA 2007, Lima, Perú, 10 – 12 de Octubre de 2007.
- [3] Aguilar H., Bocca J., Penisi O., Rodriguez C., Galdeano H., Validación de la Repetibilidad de un Manipulador Controlado a Lazo Abierto, 8º Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, CIBIM8, Cusco, Perú, 23 - 25 de Octubre de 2007.
- [4] Penisi O.H., Aguilar H., Bocca J., Rojas E., Galdeano H., Campos D., Rodriguez C., Automatización de la recolección de cajas de uvas finas en la vendimia, VII Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, México 2005, ISBN 970-36-0294-0, en soporte magnético.
- [5] Paun Antonescu, Ovidiu Antonescu, Daniela Mihalache, Contributions to Synthesis of the Orientation Mechanisms Used on the Industrial Robots, Proceedings of the 11th World Congress in Mechanism and Machine Science, Tianjin, april 1-4, 2004
- [6] Penisi O., Rojas E., Bocca J., Aguilar H., Galdeano H., Estudio y Experimentación de la Mecánica del Agarre con Tres Puntos de Contacto, VI Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica , CIBEM 6, Coimbra, pp. 1841-1846, octubre 2003
- [7] Antonio Barrientos, Luis Felipe Peñín, Carlos Balaguer, Rafael Aracil, Fundamentos de Robótica. Universidad Politécnica de Madrid. Editorial Mc Graw Hill, 1997.
- [8] Aguilar H., Rodríguez C., Guevara C., y otros, Modelación Dinámica de un Prototipo de Manipulador Robótico Industrial., I Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, Madrid, Vol 4, pp.193-200 septiembre 1993.
- [9] Manual Festo KBS FEC FC20-0206NH; 2001.
- [10] Otaviano E., Ceccarelli M., Totic C., Avila C., Catrasys (Cassino tracking system): a wire system for experimental evaluation of robot workspace, Fuji International Journal of Robotics and Mechatronics, vol 14, nº 1, pp. 78 - 87, 2002.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer la participación de los Alumnos: Juan Carlos Calvo, Matías Samat, Martín Alberto Aguilar y Oscar Daniel Sansó, por su valiosa contribución a la realización del mismo.