

Enriquez Jonathan/Ronald Cumbal
Carrera Ingeniería Mecatrónica
Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE
jonathan.enriquez.uio@gmail.com/ronald.cumbal@hotmail.com

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE
POSICIONAMIENTO LINEAL MULTIEJE CONTROLADO POR
VISIÓN ARTIFICIAL PARA CÁMARA DE ANÁLISIS
COMPUTARIZADO DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE
MOVIMIENTO (LAM).**

RESUMEN

El presente documento explica el desarrollo de un sistema de posicionamiento lineal para dar movilidad automática a una cámara. La movilidad del sistema dependerá de la detección de un patrón puesto sobre la persona en movimiento. El movimiento automático de la cámara se lo realiza en el Eje Y y X, mientras que en el Eje Z el movimiento es manual. Para realizar el reconocimiento de un patrón en movimiento se ha empleado el software Labview de National Instruments, el cual incluye varios drivers para la adquisición y procesamiento de imágenes. Por medio de la programación en Labview se diseñó el control difuso teniendo como salida el parámetro de la modulación por ancho de pulso (PWM) con la que se determina las velocidades de los motores. El sistema detectará al patrón mediante coordenadas haciendo que la imagen permanezca dentro de un enfoque establecido manteniendo al patrón en el centro de la imagen siempre. El movimiento del sistema contará con parámetros de seguridad para que el sistema se reinicie sin causar daños a los actuadores. Además la distancia que la cámara recorre es restringida mediante fines de carrera que aseguran el movimiento y envían la señal por medio de una tarjeta de adquisición de datos My daq Usb 6009 la misma que se encarga de generar y recibir señales del computador a la planta y viceversa.

Palabras claves: Vision Artificial – Labview – My Daq - PWM – Control Difuso.

ABSTRACT

This document describes the development of a linear positioning system for a camera automatically to make mobility. The mobility of the system depends on the position detection pattern of the person in motion. The automatic movement of the camera is done in the X and Y axis, while in the Z axis movement is manual. To perform the recognition of a pattern in movement has used the National Instruments Labview software, which includes several drivers for acquisition and image processing. Through programming in Labview fuzzy control was designed with the output parameter of the pulse width modulation (PWM) with the speeds of the motors is determined. The system will detect the pattern by making the image coordinates stay within a pattern maintaining focus set in the center of the picture forever. The motion of the system will have security settings so that the system is restarted without causing damage to the actuators. Besides the distance the camera pans is restricted by limiting devices that ensure the movement and send the signal through an acquisition card data My daq usb 6009 the same that is responsible for generating and receiving signals from the computer to the plant and vice versa.

Keywords: Artificial Vision - Labview - My Daq - PWM - Fuzzy Control.

1. Introducción

En la línea del tiempo el interés por estudiar el movimiento del cuerpo humano en el campo de la medicina ha tenido buenos resultados gracias al avance tecnológico. Con el análisis de la marcha se ha logrado que se estudie características clínicas del paciente en cuyo estudio se pueda generar patrones de movimiento que permita identificar el problema y se pueda desarrollar una buena rehabilitación que mejore el rendimiento físico y psicológico.

En la actualidad los laboratorios de análisis de marcha han implementado sistemas completos para el estudio de movimiento, instalando sistemas multi-cámara y equipos computarizados que brindan gran precisión para el diagnóstico y el entrenamiento de la marcha. [1]

En el análisis de marcha se puede seguir varios patrones de movimientos los mismos que son analizados en diferentes aplicaciones de acuerdo al estudio del análisis. Los laboratorios ocupan un sistema computacional de extracción de datos por medio de imágenes que están orientadas al diagnóstico de dolencias o enfermedades con la ayuda de videos analógicos grabados en un ordenador para su posterior estudio y desarrollo de un diagnóstico efectivo.

Gracias a la visión artificial se puede obtener información detallada del objeto a reconocer o estudiar, como su color, su forma, su borde, etc. En la medicina su aplicación consiste en el procesamiento de imágenes tanto en exámenes como tomografías o en la extracción de imágenes en donde se puede detectar el movimiento de la persona en una computadora. [6]

Con el desarrollo de la informática se ha creado software capaz de generar datos a medida que se realiza el estudio médico por medio de un sistema computacional a través de imágenes en tercera dimensión dando a conocer datos para un estudio objetivo de la marcha normal y patológica del paciente.

El seguimiento visual junto con la robótica se ha convertido en áreas de investigación para hacer proyectos en el campo de la medicina desarrollando sistemas acoplables y adaptables en sistemas automáticos de visión en entornos diferentes. Con el seguimiento de patrones junto con visión artificial permiten dar una mejor orientación y posición a la cámara que sigue el movimiento. Los primeros sistemas hechos con reconocimiento de patrones fueron hechos para dar

módulos de detección que activan la grabación de secuencias. [9]

2. Descripción del Proyecto

2.1. Justificación e importancia

El laboratorio de análisis de movimiento tiene como responsabilidad la de proveer a los pacientes un buen estudio clínico a través de un sistema de estudio de movimiento de alta tecnología que captura el movimiento del paciente para la recolección y estudio de datos.

La toma de datos es la fase más importante que requiere el laboratorio para asegurar que los gráficos y datos obtenidos sean satisfactorios y útiles para un posterior estudio clínico.

Para un estudio completo se necesita enfocar al paciente desde un punto frontal, posterior y lateral, siendo este último el que presenta inconvenientes.

El plano que se requiere filmar con la cámara lateral se denomina Plano Sagital. La Figura 1 describe la ubicación de las cámaras en el laboratorio.



Figura 1 Fotografía del LAM con la descripción de ubicación de las cámaras.

El problema radica en que la filmación de la marcha desde un punto de vista perpendicular al sentido de la caminata y al plano del piso (plano Sagital) no se realiza con la precisión necesaria porque la distancia hasta el paciente es muy corta, generando en consecuencia un rango limitado de visualización. Ver Figura 2.

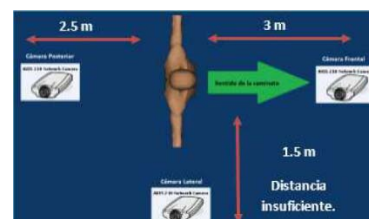


Figura 2 Esquema del laboratorio.

Para solucionar este problema, actualmente, el encargado/a del laboratorio debe mover la cámara de manera manual en sentido paralelo a la marcha. Cuando la marcha del paciente es ligeramente rápida, es casi imposible captar videos. El pulso

del asistente pierde el ángulo completo de filmación y se tiene que mover a la cámara bruscamente. En el caso más crítico de movimiento, para el examen a un deportista, la cámara deberá moverse a la velocidad de marcha del sujeto.

Adicionalmente el laboratorio estudia la marcha a pacientes con parálisis cerebral o con problemas de desplazamiento propio. En el examen a estos pacientes la cámara debe tener el enfoque correcto y seguir al sujeto mientras camina. En estos casos el encargado/a de laboratorio no puede obtener una buena filmación. Incluso ocurren situaciones en que el asistente debe ayudar al paciente a realizar la caminata, sin poder realizar la filmación del paciente.

Además los pacientes con problemas serios se cansan muy rápido y si el examen no resulta bueno, se tiene que esperar un cierto tiempo hasta que el paciente descanse y pueda realizar el examen nuevamente.

Es importante que el control dé al sistema una fácil manipulación respecto la parte mecánica, capaz de poder disminuir al máximo los problemas existentes actualmente.

3. Diseño mecánico

El diseño mecánico se basa en el diseño, simulación y construcción de cada componente para realizar el sistema lineal. Para escoger el material de cada componente se utilizó método Ashby y de igual manera para elegir el sistema de tracción, sistema de deslizamiento y sistema de tracción se usó el método ordinal corregido de criterios ponderados.

3.1.1. Soporte Principal

El soporte principal se encarga de soportar el peso de todo el sistema. El material con el que se fabrica es el Acero A36.

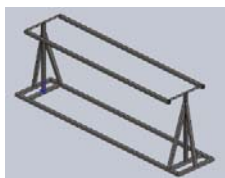


Fig. 3 Soporte Principal Estructura – Solidworks

3.1.2. Perfil Guía X

El perfil guía en X es la parte que servirá de guía para que la cámara se mueva a lo largo del él. El material con el que se fabrica es el Acero A36.

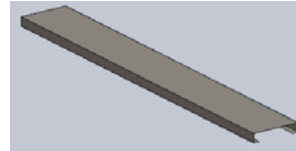


Fig. 4 Perfil Guía X – Solidworks

3.1.3. Soporte Cámara

El soporte de la cámara podrá soportar un peso de hasta 2kg y está fabricado de Nailon.

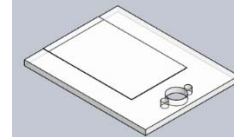


Fig. 5 Soporte cámara – Solidworks

3.1.4. Carro eje X

El carro es el encargado de deslizarse por el eje X. El material con el que se fabrica es el Acero A36.

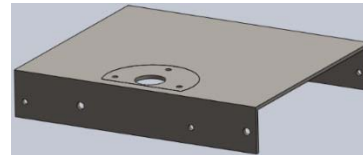


Fig. 6 Carro en eje x – Solidworks

3.1.5. Eje z

Para este eje se optó por recurrir por un sistema de deslizamiento con ajuste manual. En el segundo capítulo se había especificado que el sistema de desplazamiento del eje Z podría ser de accionamiento manual pues no es un parámetro que varíe significativamente en cada prueba de movilidad.

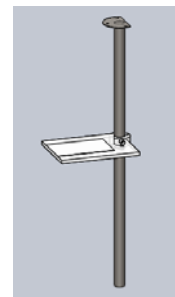


Fig. 7 Eje en Z – Solidworks

3.2. Sistema de Deslizamiento

Teniendo en cuenta la forma que tendrá la estructura de desplazamiento se debe considerar el tipo de rodamiento a utilizar para montar la cámara. La mejor opción es utilizar llantas acaneladas y en función de esta decisión se encontró en el mercado local los sistemas de deslizamiento que se acoplan a un perfil circular.

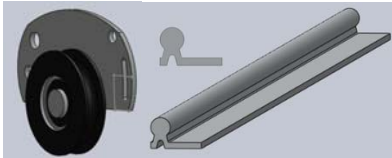


Fig. 8 Rueda y Perfil Circular de Aluminio.

Para asegurar la estabilidad de la cámara al desplazarse, se plantea ubicar ruedas en la mitad de las rieles de aluminio.

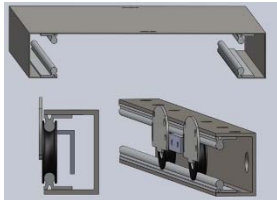


Fig. 9 Perfil con sección en C y Perfil circular

3.3. Sistema de tracción

El sistema de tracción consiste en un sistema de correa dentada en los dos ejes en movimiento, esto va a permitir trabajar en carreras largas con gran capacidad de carga y no va depender de lubricación por lo que tendrá cero mantenimientos.



Fig. 10 Sistema de tracción en el eje X y Y.

3.4. Calculo de potencia

El cálculo de potencia es necesario para saber la potencia que se va a tener en el movimiento en cada eje. La fórmula para sacar el torque del sistema matemático es la siguiente. [3]

$$J_{sist} = \left(\frac{M_1 D_1^2}{8} + \frac{M_2 D_2^2}{8} \cdot \frac{D_1^2}{D_2^2} + \frac{M_3 D_3^2}{4} + \frac{M_4 D_4^2}{4} \right) \cdot 10^{-6} Kg \cdot m^2 \quad [10]$$

$$T = J_{sist} \cdot \alpha$$

• Eje X

Datos de carga en el eje X:

$$M_1 = M_2 = 0.1 \text{ Kg} / M_3 = 3 \text{ Kg} / M_4 = 0.05 \text{ Kg}$$

$$D_1 = D_2 = 100 \text{ mm} \quad J_{sist} = 7.875 \times 10^{-3}$$

$$\alpha = \frac{\omega}{\Delta t} = \frac{55.55 \text{ rad/s}}{0.20 \text{ s}} = 277.778 \text{ rad/s}^2$$

$$T = 22.29 \text{ Kg} \cdot \text{cm} / P=T \cdot \omega / P=0.16 \text{ HP}$$

• Eje Y

Datos de carga en el eje Y:

$$M_1 = M_2 = 0.035 \text{ Kg} / M_3 = 13 \text{ Kg} / M_4 = 0.01 \text{ Kg}$$

$$D_1 = D_2 = 33 \text{ mm} \quad J_{sist} = 3.5 \cdot 10^{-3} \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$$

$$\alpha = \frac{\omega}{\Delta t} = \frac{60.60 \text{ rad/s}}{1 \text{ s}} = 60.60 \text{ rad/s}^2$$

$$T = 2.16 \text{ Kg} \cdot \text{cm} / P=T \cdot \omega / P=0.17 \text{ HP}$$

3.5. Selección de la correa

La selección de la correa se la realizo en base a los datos obtenidos y especificación dados por lo proveedores. [5]

• Eje X

Longitud total: 4.16 m (170 in)

Paso: 1.27 mm (1/2 in)

Ancho: 13 mm (La mitad de la correa)



Fig.11 Correa dentada seleccionada 1700H – 100.[2]

• Longitud de la correa

$$L_p = 2(125) + \frac{\pi}{2}(9 + 9) + \frac{(9 - 9)^2}{4(125)} = 278.27 \text{ cm}$$

• Eje Y

Longitud total: 114 cm (45 in)

Paso: 9.5 mm (3/8in)

Ancho: 13 mm (1/2 in)



Fig 12. Correa dentada seleccionada 450L-100. [2]

• Longitud de la correa

$$L_p = 2(13.8) + \frac{\pi}{2}(3.3 + 3.3) + \frac{(3.3 - 3.3)^2}{4(13.8)} = 37.9 \text{ cm}$$

3.6. Polea Dentada

• Eje X

Paso: 1/2 in

Ancho de cara: 1/2 in

Diámetro de paso: 90 mm

$$N = \frac{\pi \cdot d_p}{p_c} = \frac{\pi \cdot 90 \text{ mm}}{12.7 \text{ mm}} = 22 \text{ dientes}$$

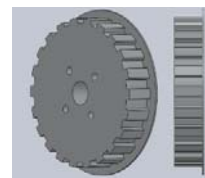


Fig 13. Polea dentada eje X – Solidworks.

• Eje Y

Paso: 1/2 in

Ancho de cara: 1/2 in

Diámetro de paso: 35 mm

$$N = \frac{\pi \cdot d_p}{p_c} = \frac{\pi \cdot 33 \text{ mm}}{9,5 \text{ mm}} = 11 \text{ dientes}$$

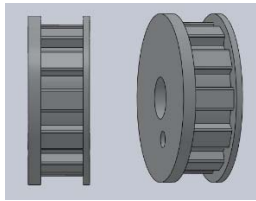


Fig 14. Polea dentada eje Y – Solidworks.

4. Diseño Electrónico

El diseño electrónico se centra en el cálculo de la potencia del motor con el método de prueba de datos por verificación.

4.1. Determinación de la potencia del motor

Datos obtenidos experimentalmente.

Tiempo	Intervalo	Velocidad	Velocidad	Velocidad
S	S	m/s	Rad/s ($\omega=v/r$)	RPMS
0.00	0.00	0.0	0.0	0.0
0.20	0.20	2.5	55.55	530.5
0.40	0.20	2.5	55.55	530.5
0.60	0.20	0.0	0.0	0.0

Tabla 1. Tabla de velocidades

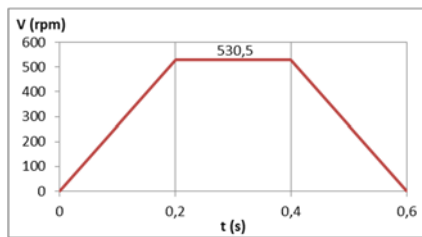


Fig 15. Velocidad vs Tiempo - Motor eje X

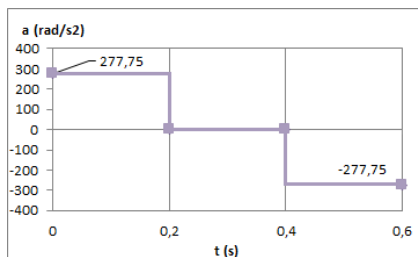


Fig. 16 Aceleración del sistema

Torque necesario:

$$T = 277.75 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \cdot 7.875 \cdot 10^{-3} \text{ Kg} \cdot \text{m}^2 = 2.18 \text{ Nm}$$

$$T=22.29 \text{ Kg cm}$$

- Características del motor utilizado:

Torque: 19.80kg @ 4.8v, 25kg @ 7v
 Peso: 175g
 Velocidad: 0.23 / 60deg @ 4.8v, 0.20 / 60 deg 6v
 Voltaje: 4.8v~7v



Fig. 17 Servomotor HK15338. [5]

4.2. Circuito - Control de giro.

El circuito de control de giro del motor se realizó con un puente H el mismo que tiene esta configuración.

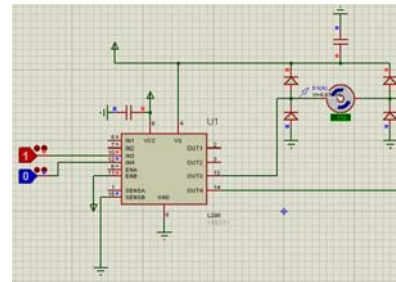


Fig. 18 Puente H

4.3. Fuente de alimentación.

La fuente de alimentación necesaria para satisfacer con el sistema se escogió una de 13v y 3A.

4.4. Diseño de la placa

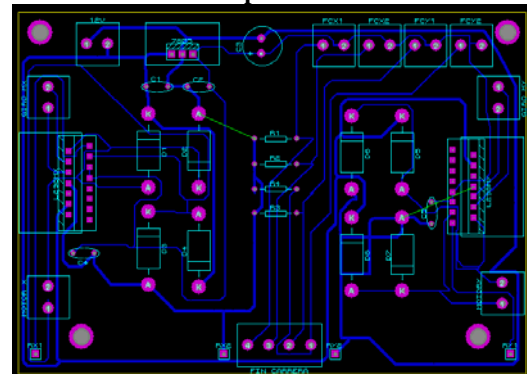


Fig. 19 Placa diseñada en Ares.

Se puede notar que los integrados L298 se ubican en los extremos opuestos con disipadores. Las borneras de salida y entrada de señales se asignan por grupos y se ubican en los bordes de la tarjeta. La conexión a la fuente de alimentación se realiza de igual manera sobre un extremo de la placa electrónica.

5. Diseño del Sistema de Control

5.1. Sistema de Adquisición de datos.

La tarjeta NI DAQ 6009 es parte fundamental del sistema de adquisición de datos. Los canales de la tarjeta se configuran para cada fin de carrera (cuatro), para enviar señales a la placa electrónica, producir el cambio de giro del motor y mandar el

la señal de control de la computadora a la planta. [8]

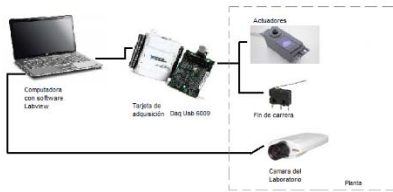


Fig. 20 Componentes físicos del sistema

El software que se encarga de realizar el control cinemático, el controlador Fuzzy, procesamiento y adquisición de señales es labview.

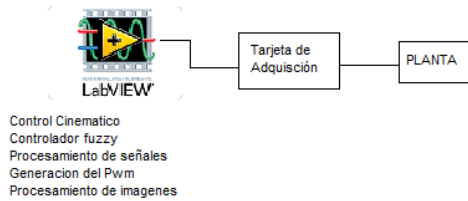


Fig 21. Funciones de Labview.

5.2. Lógica Fuzzy en labview

La lógica difusa se realizó configurando el controlador Fuzzy en el programa con las siguientes variables.

• Variable de Entrada

Variable de Entrada	Puntos-Membresia Triangular		
Filo derecha	0	60	120
Derecha	100	175	225
Mitad	200	300	375
Izquierda	350	425	500
Filo Izquierda	475	550	640

Tabla 2. Variables de Entrada - Controlador

• Variable de Salida

Variable de Salida	Puntos-Membresia Triangular		
Muy Lento	0	10	20
Lento	15	20	30
Mitad	25	45	65
Rápido	60	70	80
Muy Rápido	75	90	100

Tabla 2. Variables de Salida - Controlador

5.2.1. Reglas Lógica Difusa

Las reglas de la lógica difusa se utilizó el método de defuzificación por medio del centroide de área Ver en la siguiente figura.

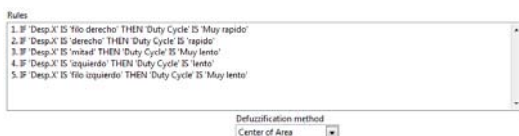


Fig 22. Reglas de controlador.

5.3. Lazo de control

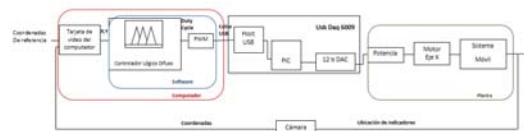


Fig 23. Lazo De control

5.4. Pwm

Para realizar el control se utiliza una señal de ancho de pulso que se controla por software y por la variable del duty cycle se da velocidad automática según la variable de salida del controlador.

5.5. Adquisición y Procesamiento de imágenes

La adquisición y procesamiento de imágenes se realiza por medio de los asistentes de labview. Para ello se configura la cámara en una resolución de 640 x 480. [4]

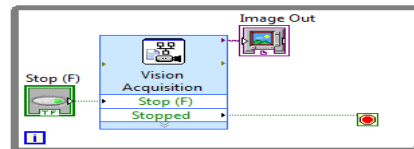


Fig 24. Código de adquisición de imágenes.

El patrón a ser detectado es el destello de luz que proporciona una cinta ajustable para ubicar en cualquier parte del cuerpo.



Fig 25. Patrón a reconocer.

Para el procesamiento de imágenes se utilizó las siguientes funciones en Labview y se ubicó la cinta en la pierna de la persona. [7]

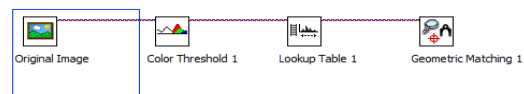


Fig 26. Funciones Procesamiento de imágenes.

Los resultados de las funciones son los siguientes:



Fig 27. Resultado Procesamiento de imágenes.

El código de la unión para la adquisición y procesamiento de imágenes es el siguiente:

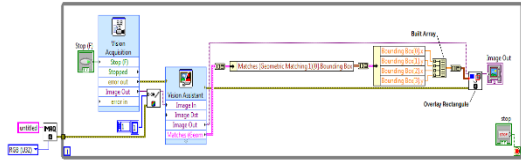


Fig 28. Funciones Procesamiento de imagenes.

6. Pruebas de desempeño

Las pruebas del sistema mecánico consisten en determinar si existe vibración en el sistema a velocidad media 1.5m/s y máxima 3 m/s del sistema. A continuación se detallan las velocidades a las que se forzó trabajar el sistema y se indica si existe vibración en el mismo Ver Tabla 3.

Velocidad	Vibración
1.5 m/s	Nula
2m/s	Nula
2.5 m/s	Nula

Tabla 3. Prueba del sistema mecánico.

6.1. Sistemas Correa dentada

El sistema de correa dentada resulta satisfactorio su uso ya que a varias velocidades el enganche del sistema no produce vibración, y en caso que se dañe o se rompa la correa dentada es de fácil instalación al sistema. En la Figura 24 se puede ver el sistema de correa dentada cuando el sistema va hacia atrás



Fig. 29 Prueba del sistema electrónico

El componente principal del sistema electrónico es el puente H (circuito L-298) encargado de dar el sentido de movimiento a los motores. Por eso motivo se verificará si existe calentamiento en la placa electrónica y si el disipador de calor usado es el correcto.

Velocidad	Calentamiento
1m/s	Nulo
1.5 m/s	Leve
2.5 m/s	Leve

Tabla 4. Calentamiento de la placa electrónica.

El puente H se calienta más cuando las velocidades a generar son elevadas, esto se lo controla regulando la potencia de salida del circuito hacia los motores, para esto se usó una resistencia de potencia para el eje x de 1ohmio a 1w. Con esto se logra estabilizar la potencia que consume el motor y de esta manera evitar en lo posible el calentamiento de los componentes.

6.2. Prueba del sistema de control y adquisición de datos

La adquisición de datos se evalúa a través del Daq Assistant lo que permite saber si las señales están ingresando y generándose. Lo cual es un paso muy importante si todo funciona correctamente. En el proyecto antes de iniciar con el funcionamiento del sistema se verifica que la Daq sea reconocida por el computador y pase el auto test de verificación del funcionamiento. Además el control mediante la tarjeta Daq Usb 6009 se limitará el movimiento mediante la lectura de los fines de carrera instalados en el sistema.

6.2.1. Fin de carrera Posterior y Frontal

Se puede verificar que el sistema se detiene cuando los fines de carrera son activados, independientemente del lugar que se encuentre el sistema.

El movimiento del sistema en Y, dependerá del acercamiento del patrón dentro del rango de filmación para que se aleje la cámara, motivo por el cual concluimos que los fines de carrera si cumplen con su objetivo y detiene el sistema a medida que se requiere. Ver Figura 25.



Fig 30. Fines de Carrera eje Y.

6.2.2. Fines de carrera laterales

Los fines de carrera laterales cuidan al sistema impidiendo que los motores se recalienten y se quemen, además dentro de la programación se limita el movimiento para que luego del estudio de movimiento que se realice se pueda mandar a una posición inicial. Ver Figura 26



Fig 31. Fines de Carrera Eje X.

6.3. Ubicación del gabinete de control

Las pruebas de funcionamiento han determinado la correcta ubicación del gabinete del control ya que el movimiento que genera el sistema no perjudica en nada a la ubicación de la tarjeta electrónica y la tarjeta de adquisición de datos y como beneficio principal en caso de cambio o daño el sistema de desmantela abriendo el gabinete hacia abajo quedándonos con todo el sistema electrónico y de control para futuras inspecciones.

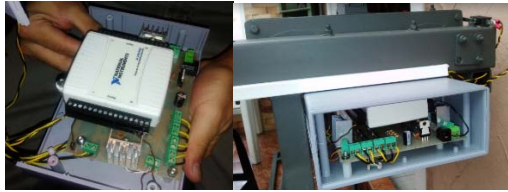


Fig. 32 Gabinete del control.

6.4. Reconocimiento del patrón

Se ha realizado esta captura de imagen para poder poner como ejemplo que el caso de que en el que el patrón en movimiento se detecte y se encuentre en el filo izquierdo la velocidad de la cámara es lenta lo que permite verificar el funcionamiento del controlador y configuración de sus reglas.

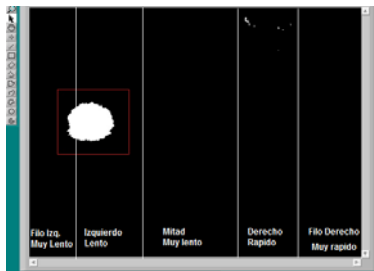


Fig. 33. Patrón detectado.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El diseño y construcción del sistema se centró en encontrar en el mercado componentes que permitan dar características propias como linealidad, rigidez y resistencia, y en su fabricación se pudo mejorar el diseño en base a pruebas técnicas que ayudaron a ser el proyecto más rentable y eficiente.

El costo es un factor importante en el diseño del sistema. Tomando en cuenta que en el mercado no se pueden encontrar sistemas que cumplan con dar movilidad lineal automática el costo del proyecto de 1800 dólares aproximadamente es menor a los precios que se encuentran en el mercado de sistemas que realizan la misma función y deben de ser importados (3500 dólares).

El sistema abarca un control lógico difuso que cumple con las condiciones de funcionamiento para detectar un patrón en movimiento. La respuesta de comunicar el computador a la planta y generar el movimiento automático necesario es casi inmediato. El control se desarrolló con un computador cuyo procesador es el inter core i-5 a 2.5 ghz lo que se recomienda tener en cuenta estos datos para no perder información en tiempo real en el procesamiento de la máquina.

La rapidez máxima de 2.5 m/s resultó satisfactoria realizando pruebas de funcionamiento al final. No se pierde enfoque alguno y se concluye que es una velocidad moderada que permite dar a los

actuadores un correcto funcionamiento mediante el control del sistema.

Las especificaciones de torque de 25kg.cm que proporciona el motor fue un parámetro positivo pese a que se necesitaba 12 v para hacer funcionar al motor y no 6v como indicaba el proveedor. En este caso se consideró regular el voltaje para no dañar los demás componentes de la tarjeta electrónica y a una corriente de 3A es resultado fue satisfactorio 100%.

El peso final de la estructura es de 41.5 kg lo que determina que el sistema no es pesado cumpliendo con los requerimientos planteados de realizar un sistema ligero. Los desechos que se generaron al realizar el proyecto fueron casi nulos, la mayoría del material se reutilizó para realizar pruebas de linealidad y poder fabricar los componentes de acuerdo a los planos realizados.

El principal problema para que el sistema no detecte el patrón es el cambio de iluminación en el ambiente, el sistema puede detectar sin problemas el movimiento del patrón a varias velocidades siempre que la iluminación del entorno se controle. En el proyecto se usó como patrón a ser detectado una fuente de luz para que lo detecte el sistema de visión artificial. En base a pruebas para identificar ciertas características de patrones como forma, borde y volumen, se concluye que la fuente de luz produce menos distorsión y siempre refleja a la cámara un patrón en forma circular lo que permite reconocerlo y procesar la imagen para que el sistema siempre lo pueda reconocer.

En base a lo expuesto, se evidenció que la construcción de las guías sobre las cuales se desplaza la cámara cumple eficientemente con el objetivo planteado. Con estas guías se evita la vibración de la cámara cuando hay variaciones de velocidad, pues las llantas están apegadas a la superficie interna de las guías. Tal resultado era difícil de obtener con guías prefabricadas.

El ajuste de la altura de la cámara se puede considerar el elemento más fácil del proyecto entero. Esta solución refleja la utilización de recursos según la inversión con el cual se llevó el proyecto.

El uso de un mecanismo correa – engrane satisface totalmente a la movilidad del proyecto y se recomienda su uso totalmente para futuros proyectos de automatización. El problema consiste en encontrar correas dentadas con la distancia que se calculó (400 cm) en el diseño lo que se recomienda tomar en cuenta que tipos de correas venden en el país y cuanto es el valor del diámetro de paso para poder realizar estos mecanismos en espacios reducidos.

Se recomienda también poder utilizar software libre para realizar el procesamiento de imágenes. Existen algunas opciones recientes de libre descarga en el internet que cumplen con los requisitos de visión artificial. De todas maneras National Instruments presenta una forma de trabajo descomplicada que permiten utilizar asistentes para el procesamiento y adquisición de imágenes.

Utilizar la tarjeta de adquisición de datos Daq usb 6009 en el sistema de adquisición dio excelente resultados. La simplicidad con la que la computadora se comunica con la planta a través de la tarjeta fue útil para realizar pruebas de funcionamiento y poder instalar y reemplazar componentes para que el funcionamiento sea eficiente.

8. Referencias

- [1]. Izquierdo Redín, M. (2008). Biomecánica y bases neuromusculares de la actividad física y el deporte. Buenos Aires;Madrid: Medica Panamericana.
- [2]. Jason Industrial Inc. (2013). Jasonindustrial.com. Obtenido de <http://rubberproducts.jasonindustrial.com/item/neoprene-synchronous-belts/standard-timing-belts/1700h-100?&plpver=10&origin=keyword&by=prod&filter=0>
- [3]. Hermenegildo, G. R. (s.f.). Ingeniero Industrial. Obtenido de <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn121.html>
- [4]. College, T. U. (s.f.). Control and Simulation in LabVIEW . Obtenido de <http://home.hit.no/~hansha/documents/labview/training/Control%20and%20Simulation%20in%20LabVIEW/Control%20and%20Simulation%20in%20LabVIEW.pdf>
- [5]. HobbyKing. (s.f.). HobbyKing. Obtenido de https://www.google.com.ec/search?q=SERVO+MOTOR+Hk15338&rlz=1C1CHJL_esEC475EC475&espv=210&es_sm=93&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=EF3dUrXWJq-_sQTz54CAAQ&ved=0CAkQ_AUoAQ&biw=629&bih=419#facrc=_&imgdii=_&imgrc=cxWmx-HhEMcl9M%253A%3B4Ucb5GRAM6cERM%3Bhttp%253A%2
- [6]. Bustio, J. M. (1994). *Sistemas de identificación y control automáticos* . Barcelona , España: MARCOMBO S.A
- [7]. Hans-Petter. (11 de 02 de 2013). Data Acquisition in LabVIEW. Recuperado el 14 de 06 de 2013, de <http://home.hit.no/~hansha/documents/labview/training/Data%20Acquisition%20in%20LabVIEW/Data%20Acquisition%20in%20LabVIEW.pdf>
- [8]. interempresas. (2013). SOFTWARE DE VISIÓN ARTIFICIAL NATIONAL INSTRUMENTS VISION 8. Recuperado el 23 de 05 de 2013, de http://www.interempresas.net/Informatica_Industrial/FeriaVirtual/Productos-Software-de-vision-artificial-National-Instruments-Vision-8-20017.html
- [9]. ARTAL, C. (22 de 12 de 2003). ARTICULOS. Obtenido de BELEYMA, S.L: http://www.fulp.ulpgc.es/articulos/vector_22_02.pdf
- [10]. Corporation, O. (2013). Omron Industrial Automation. Recuperado el 15 de Octubre de 2013, de Technical Guide for Inverter Selection: http://www.ia.omron.com/data_pdf/guide/9/inverte_selection_tg_e_2_1.pdf