

# Diseño y construcción de un prototipo de Sistema Automatizado de Almacenamiento/ Recuperación (AS/RS), para Sistemas Flexibles de Manufactura en el Laboratorio CNC de la ESPE extensión Latacunga, utilizando procesamiento digital de imágenes.

Acuña Fausto, Galarza Eddie, Capilla Carlos, Pulloquina José

Departamento de Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga  
Latacunga, Ecuador

fvacunia@espe.edu.ec

egalarzaz@gmail.com

carlos.capilla.falcon@hotmail.com

jlpz.mecatronica@gmail.com

**Resumen—** En sistemas flexibles de manufactura, tanto el almacenamiento de materia prima como el despacho del producto terminado, son componentes imprescindibles en el proceso, pero tienen inconvenientes como: altos costos de inversión y mantenimiento, mayores áreas para almacenamiento, mayor recurso humano, dificultad en su modificación del sistema, entre otras, razones suficientes para aplicar la automatización y revertir los inconvenientes a ventajas competitivas, por ello en este artículo se describe el diseño y la construcción de un prototipo de sistema automatizado de almacenamiento y recuperación AS/RS, requerido en la celda flexible de manufactura del laboratorio CNC de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPEL, mismo que permite almacenar y recuperar artículos relacionados a la manufactura mecánica de forma automática. El sistema está constituido por una estructura de aluminio dividida en estanterías donde se guardarán los artículos contenidos en pallets, la manipulación de los mismos se realizará mediante un robot cartesiano de 4 ejes X, Y, Z y B. Para controlar los movimientos del robot se emplea una placa electrónica basada en un microcontrolador Atmega328, la cual ejecuta comandos enviados desde una aplicación HMI desarrollada en Labview, la que también permite tomar el control manual o dar inicio a un proceso automático en la celda flexible de manufactura [1]. El procesamiento digital de imagen implementado en el sistema permite reconocer diversos tipos de perfiles en materia prima para su posterior ubicación en la categoría respectiva.

**Palabras claves—** Diseño, automatización, recuperación, almacenamiento, sistema flexible, procesamiento.

## I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas automatizados de almacenamiento reducen o eliminan la intervención humana en la manipulación de productos, al poseer cierto grado de automatismo tiene un gran campo de aplicación, desde la clasificación de alimentos hasta la clasificación en masa de elementos industriales [2].

Las capacidades y funcionalidades de estos sistemas, permitieron el desarrollo de distintos métodos de manipulación, modificando sus estructuras de almacenamiento, formas de organización y mejoras en los

sistemas de control, alcanzado una alta eficiencia durante la ejecución de dichas tareas.

## A. Definición de sistemas automatizados de almacenaje y recuperación

Un AS/RS, ver [3], consiste en un conjunto de estanterías y pasillos, un mecanismo de almacenamiento y recuperación que se mueve entre estanterías, y un único punto donde se deposita o se recoge el material llamado Pick and Deposit (P&D). Estos componentes se pueden apreciar en la Fig. 1.

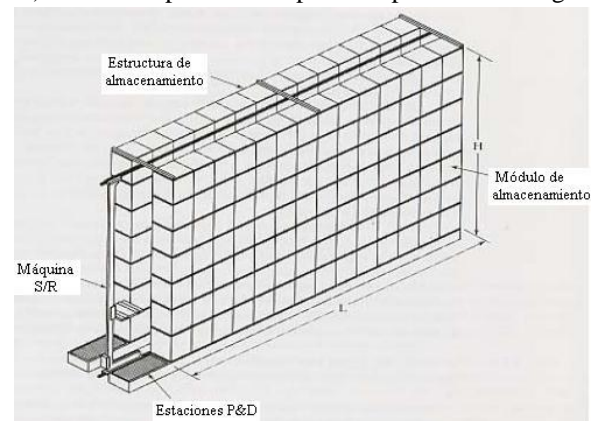


Fig. 1 Unit Load AS/RS con sus componentes.

## II. DISEÑO MECÁNICO

En base al análisis de los sistemas AS/RS existentes, y los requerimientos de la celda flexible de manufactura, los parámetros considerados para el diseño mecánico del prototipo se describen en la tabla 1.

TABLA I  
PARÁMETROS DE DISEÑO DEL PROTOTIPO.

Tipo:	AS/RS Unit Load
Tamaño estimado:	(1538x1519x638) mm <sup>3</sup>
Tamaño estanterías:	(160x716.2x188) mm <sup>3</sup>
Grados de libertad:	4
Velocidad lineal máxima:	200 mm/s
Tipo de carga:	Materiales blandos y livianos
Capacidad:	36 unidades

Medidas máximas de carga	(100x100x100) mm <sup>3</sup>
Estructura mecánica	Rígida y liviana

El robot cartesiano [4] tiene 4 grados de libertad, véase Fig. 2, el eje X está compuesto por cuatro guías cilíndricas, dos sobre las cuales se desplazan el robot y dos que sirven de apoyo durante el movimiento longitudinal.

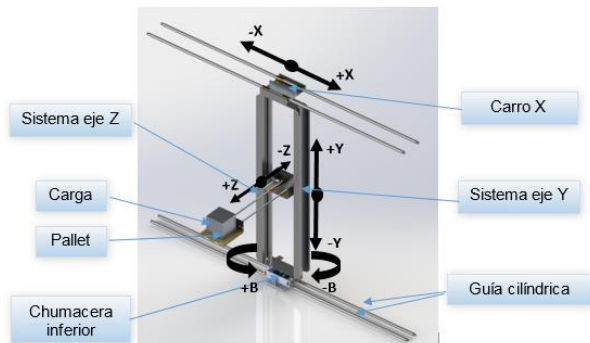


Fig. 2 Disposición de ejes de la máquina S/R.

La transmisión de movimiento en el eje X, Y y Z está dispuesta por el sistema Omega Linear comprendido por una banda sincrónica, dos rodillos tensores, y una polea motriz. El eje Y y Z están compuesto por dos guías cilíndricas, el primero se encuentra sobre un cuadro de soporte y el segundo se encuentra libre. El eje rotacional B está comprendido por un montaje indirecto de rodillos cónicos, su movimiento está dado por una banda sincrónica conectada desde el actuador eléctrico al eje. Para la estructura se empleó aluminio aleado 6061 T4 ( $S_y=145$  MPa.) [5], por su apariencia agradable, bajo peso, buena resistencia a la corrosión, facilidad relativa de formado y maquinado. La tabla 2 presenta un resumen de los elementos mecánicos con sus características y observaciones.

TABLA II  
ELEMENTOS DEL SISTEMA MECÁNICO.

Elemento	Características	Observaciones
Eje X	Sistema de transmisión Omega Linear. Sistema de cuatro guías cilíndricas.	Diseño por flexión para una máquina de precisión moderada [7]. Carga soportada de 20,42N. Material principal: Acero AISI 1018 [5].
Eje Y	Sistema de transmisión Omega Linear. Sistema de dos guías cilíndricas sobre un cuadro de soporte.	Diseño por esfuerzo normal máximo, factor de seguridad de 2. Carga que soporta igual a 36N. Material principal: Acero AISI 1018.
Eje Z	Sistema de transmisión Omega Linear. Sistema de dos guías cilíndricas.	Diseño por esfuerzo normal máximo, factor de seguridad de 2. Carga que soporta igual a 14,01N. Material principal: Acero AISI 1018.
Eje B	Sistema de transmisión por bandas sincrónicas.	Montaje indirecto de rodillos cónicos.

		Velocidad angular máxima de 15 r.p.m. Fuerza de empuje externo igual a 74,85 N. Factor de confiabilidad del 95%.
Unidad de Almacenamiento	Pallet con mordazas planas de aluminio.	Diseño por esfuerzo normal máximo, factor de seguridad de 1,5. Carga máxima de 26,84. Material de construcción Pino ( $S_y = 96$ MPa.)[5].
Estructura de Almacenamiento	Rígida y liviana.	Único pasillo, con capacidad de 36 estanterías. Material de construcción Aluminio Aleado 6061 T6.

#### A. Módulo de almacenaje

La función del módulo de almacenaje (ver Fig. 3), es contener las cargas a transportar y permitir su manipulación mediante la máquina S/R.

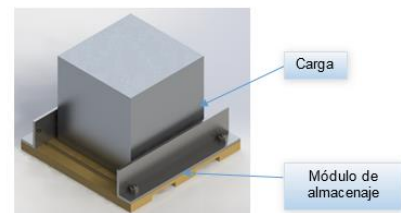


Fig. 3 Módulo de almacenaje con la carga a transportar.

Los datos iniciales para el diseño del módulo son la carga de 26,84 N y madera de pino ( $S_y=96$  MPa) como material de construcción. El módulo está sometido a esfuerzo normal por flexión; el momento crítico es de 397,20 N-mm (ver Fig. 4).

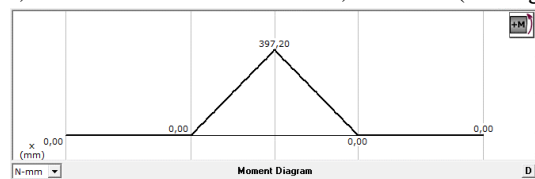


Fig. 4: Diagrama de momentos flectores en el módulo.

El cálculo del espesor se obtiene aplicando la Ec. 1.

$$h = \sqrt{\frac{6 * M_{max}}{b * \sigma_D}} \quad (1)$$

El resultado de altura es de 1,57 mm, para su construcción se eligió un espesor de 2 mm y el factor de seguridad obtenido es de 2,41 comprobando el diseño.

#### B. Horquillas de transporte

Las horquillas de transporte (ver Fig. 5), deben tomar y depositar la carga desde y hacia el sistema AS/RS.

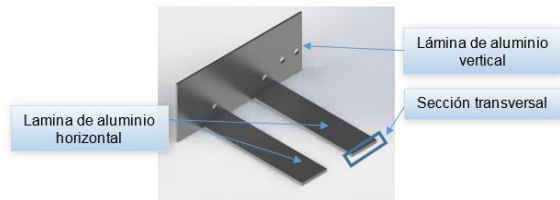


Fig. 5 Horquillas de transporte.

Los parámetros iniciales en su diseño son la carga de 27.18 N, aluminio 6061-T4 ( $S_y=145\text{MPa}$ ) como material y un factor de diseño de 1,5. Las horquillas están sometidas a esfuerzo normal por flexión y tensión directa, debido a la carga ubicada a 75mm de su apoyo. El momento máximo es de 1019.25 N-mm (ver Fig. 6).

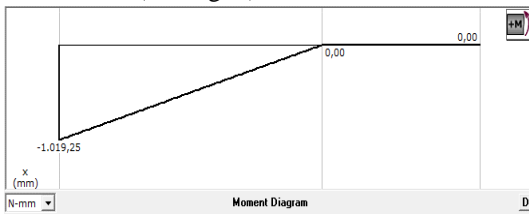


Fig. 6: Diagrama de momentos flectores en las horquillas.

El espesor para las horquillas se obtiene aplicando la Ec. 2.

$$\frac{S_y}{1,5} * b * h^2 - F * h - 6 * M = 0 \quad (2)$$

El espesor obtenido es 0.91 mm, se utilizó 1 mm, obteniendo un factor de seguridad de 1.77.

### C. Sistema eje Z

El eje Z (ver Fig. 7), está constituido por dos guías cilíndricas paralelas unidas por una placa de aluminio y las horquillas de transporte, su función es movilizar la carga de forma horizontal sobre el carro YZ.

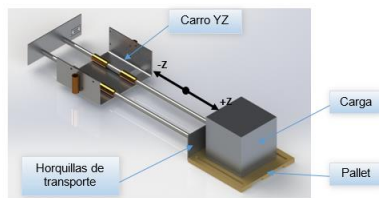


Fig. 7 Eje Z con carga a transportar.

Para el diseño de las guías cilíndricas, se utilizó como datos iniciales a la carga de 28,03 N ubicada a 75,54 mm, acero AISI 1018 ( $S_y=370\text{MPa}$ ) como material y un factor de seguridad de 2. Las guías están sometidas a esfuerzo normal por flexión; el momento resultante de trasladar mediante el principio de sistema fuerza-par [6] es 2117,95 N-mm. En la Fig. 8 se puede observar el momento crítico cuya magnitud corresponde a 6242,67 N-mm

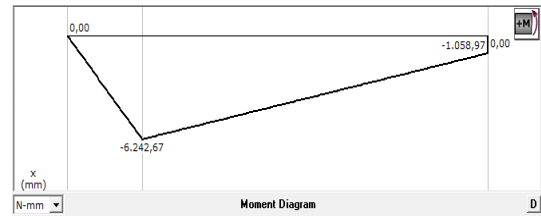


Fig. 8: Diagramas de momentos flectores en las guías del eje z.

Para el cálculo del diámetro de la guía cilíndrica se emplea la Ec. 3.

$$d = \sqrt[3]{\frac{64 * M_{m\acute{a}x}}{\pi * S_y}} \quad (3)$$

El diámetro obtenido es 7 mm, alcanzado un factor de seguridad de 1.99, sin embargo debido a la disponibilidad comercial se utiliza un eje de 8 mm para su construcción.

### D. Sistema eje Y

El sistema permite el movimiento vertical de la máquina S/R, está constituido por dos guías cilíndricas de acero paralelas unidas mediante dos láminas de aluminio horizontales y dos perfiles de aluminio verticales (ver Fig. 6).

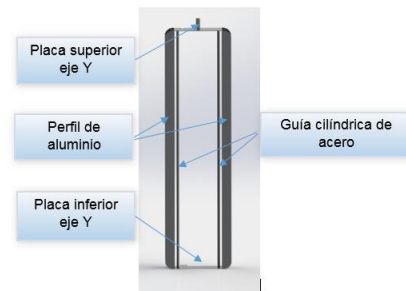


Fig. 9 Eje Y y sus elementos.

En el diseño de las guías cilíndricas, se tomó como parámetros iniciales a la carga de 18 N, el momento producido por la misma de 6756,62 N-mm, acero AISI 1018 ( $S_y=370\text{MPa}$ ) como material y un factor de seguridad de 2. Aplicando el principio de superposición [7], se determina el esfuerzo a compresión necesario para calcular el diámetro de las guías aplicando la Ec. 4.

$$\pi * d^3 * \frac{S_y}{N} - 4 * d * F - 32 * M = 0 \quad (4)$$

El diámetro obtenido es 7,19 mm, se estableció un diámetro de 7,5 mm para comprobar su diseño obteniendo un factor de seguridad de 2,26.

### E. Sistema eje Rotacional B

Para trasladar el material desde su recepción hacia su almacenamiento y viceversa; se requiere un movimiento rotacional sobre el eje Y, conseguido por un sistema de dos rodamientos de rodillos cónicos [8] con sus respectivas bases, como se aprecia en la Fig. 10.

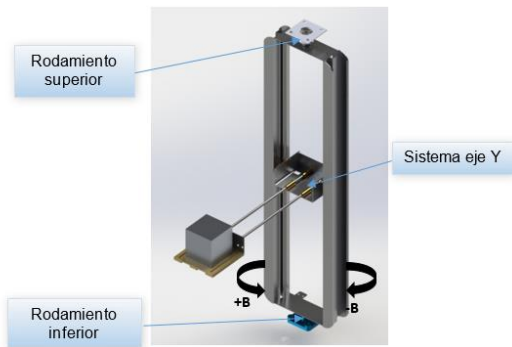


Fig. 10 Eje rotacional B de la máquina S/R.

Para la selección de este tipo de rodamientos se necesita como datos el tipo de montaje, la fuerza de empuje, la velocidad angular, la vida deseada, el factor de confiabilidad y el diámetro esperado.

En este caso se dispone de un montaje indirecto de rodamientos con una fuerza de empuje cuya magnitud es el peso del eje Y con sus componentes, esto se puede apreciar en la Fig. 11.

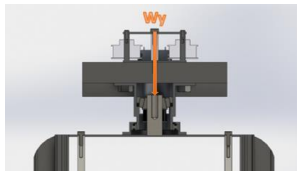


Fig. 11 Carga sobre el rodamiento de rodillos superior.

#### F. Sistema eje X

El carro X es el encargado de transportar a la máquina S/R sobre las guías cilíndricas X. El carro X está compuesto por una base de aluminio sujeta por medio de 4 bocines de bronce a las guías cilíndricas, esto se puede apreciar en la Fig. 12.

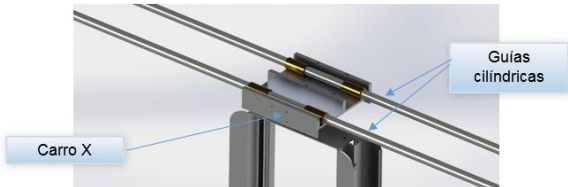


Fig. 12 Carro X sobre guías cilíndricas.

El eje X permitir el recorrido longitudinal (ver Fig. 12). Para el diseño el eje X se considerará como cuatro guías cilíndricas de acero paralelos en su parte superior e inferior, anclados a la estructura de almacenamiento (ver Fig. 13).

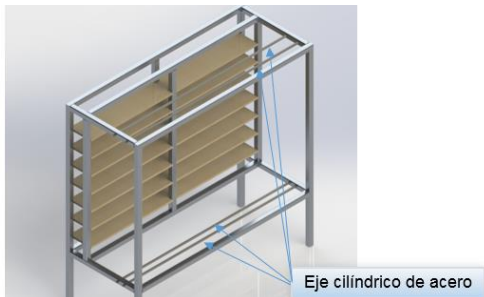


Fig. 13 Estructura de almacenamiento del sistema AS/RS.

Los parámetros de diseño son la carga de 81.71 N y el momento producido por el sistema del eje Z de 13528.29 N-

mm. Al tratarse de varias guías, se divide la carga y el momento para cuatro. El diseño en este eje se realizó por la teoría de flexión máxima.

En base al cálculo de flexión máxima en vigas biempotradas se estableció la Ec. 5, para determinar el diámetro del eje.

$$d = \sqrt[4]{\frac{64 * P * L^3}{192 * \pi * E * y_{max}}} \quad (5)$$

Para determinar la flexión máxima en máquinas de precisión moderada se aplica la Ec. 6

$$y_d = 0,0005 * L \quad (6)$$

La longitud del eje es 1.5 m, obteniendo un flexión de 0.6 mm. Con el módulo de elasticidad de 207 GPa para el acero AISI 1018, se aplica la Ec. 5 para determinar el diámetro del eje, obteniendo como resultado el valor de 15,5 mm.

#### G. Selección de motores

Para determinar la potencia [9] de los motores se analiza el eje Y por manejar una carga suspendida. La Fig. 14 muestra las fuerzas implicadas en el movimiento.

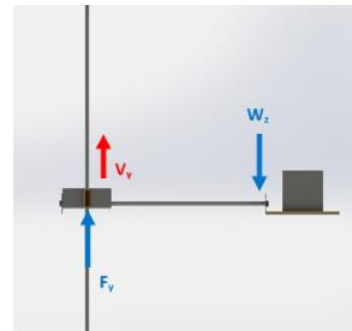


Fig. 14 Movimiento del eje Y.

Aplicando la Ec. 7 con los datos mostrados en la tabla 3, se obtiene una potencia de salida de 7,57W.

$$P = \frac{F_y * V_y}{\epsilon} \quad (7)$$

TABLA III  
PARÁMETROS PARA SELECCIÓN DE MOTORES.

Carga (F <sub>y</sub> )	36N
Velocidad (V <sub>y</sub> )	200mm/s
Eficiencia de la transmisión (ε)	0,95
Factor de servicio (F.S)	1,25

Aplicando la Ec. 8 se obtiene una potencia de diseño de 9,47W, con lo que se selecciona al motor 131:1 Metal Gearmotor ofrecido por Pololu [10].

$$P_D = F.S.*P \quad (8)$$

#### H. Transmisión mecánica

Para este sistema se ha seleccionado una transmisión por correas dentadas [12] ancladas a los ejes, accionadas

mediante una polea motriz y dos rodillos tensores fijos en los carros de movimiento de la máquina S/R (ver Fig. 15).



Fig. 15 Omega Linear Motion Belt.

Para este tipo de transmisión se debe seleccionar el perfil de la correa dentada[11] y el diámetro de la polea en base a la potencia y velocidad del actuador.

En este caso con una velocidad angular máxima de 15 r.p.m. (ver tabla 2) y una potencia de 9,47 W, se selecciona el perfil T5. El diámetro de paso estándar se selecciona en base a la Ec. 9.

$$dp \geq 23,87 \text{ mm.} \quad (9)$$

El diámetro seleccionado es 23,87 mm, para determinar el ancho de correa se requiere la fuerza periférica generada por la polea conductora en base al torque del motor y el diámetro de paso. El torque máximo del motor es igual a 1,765387 N\*m.

$$F_u = \frac{2000 * T_q}{d_p} \quad (10)$$

Aplicando la Ec. 10 se obtiene la fuerza requerida cuya magnitud es 147,90 N.

$$b = \frac{F_u * C_s * 10}{F_{spec} * Z_m} \quad (11)$$

Para determinar el ancho de la correa se aplica la Ec. 11, donde se requiere la fuerza obtenida, con un factor de seguridad de 1 debido al material, el número de dientes engranados  $Z_m$  igual a 7,5, y la fuerza especificada  $F_{spec}$  en la hoja de datos de la correa igual a 22 N/cm. El ancho de correa obtenido es 8,96 mm, una aproximación disponible es 10 mm. Las dimensiones de las correas se detallan en la tabla 4.

TABLA IV  
DIMENSIONES DE LAS CORREAS PARA LOS EJES.

Eje	Longitud (metros)	Tipo
x	1,50 m	10 T5-1500-FT-ML
y	1,50 m	10 T5-1500-FT-ML
z	0,50 m	10 T5-500-FT-ML

### III. DISEÑO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

#### A. Sistema de control

El sistema de control debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- Control de posición y velocidad de cada eje.
- Registro de materia prima y producto terminado.
- Reconocimiento y categorización de perfiles mediante procesamiento digital de imagen.
- Señales de entrada para la solicitud de materia prima, indicador de producto terminado de calidad y defectuoso, e ingreso de producto terminado.

- Señales de salida para indicar materia prima lista.
- Limitación de recorrido de cada uno de los ejes.
- Paro de emergencia.

Fundamentado a los parámetros anteriores, el sistema de control se realizará en base a un ordenador, donde por medio de una aplicación HMI se realizará comunicación mediante protocolo RS-232 con una tarjeta principal encargada de realizar cambios en la posición de los motores, control de entradas/salidas digitales y finales de carrea. Por otra parte el control de posición se realizará por medio de controladores de servomotores, el diagrama de bloques del sistema de control a diseñar se puede observar en la Fig. 16.

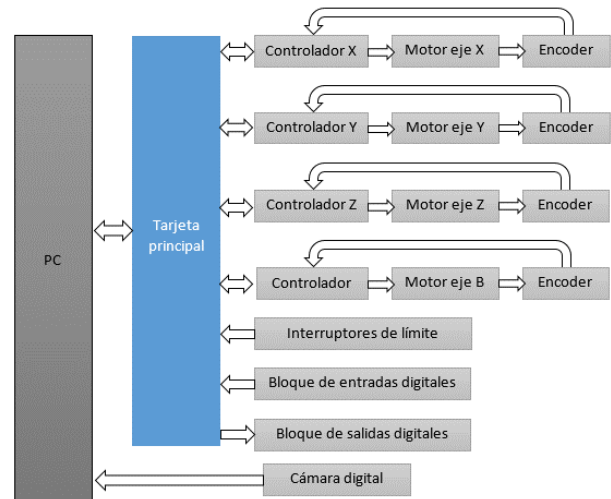


Fig. 16 Diagrama de bloques del Sistema de control.

#### B. Selección de controladores y tarjeta principal.

Luego de analizar las diferentes opciones de tarjetas de control en el mercado se selecciona Roboclaw 2x15A [13] por el control simultaneo de 2 motores mediante algoritmos PID para carga variable, mientras que la tarjeta principal será Arduino Uno por su fácil comunicación tanto con los controladores de los motores, así como con el PC, además cuenta con 20 pines digitales que pueden actuar como entradas o salidas digitales.

#### C. Aplicación HMI.

La aplicación debe tener 3 modos de trabajo:

- **Modo Manual:** El usuario controlada el posicionamiento en los ejes X, Y, Z y B de la máquina SR dentro del espacio de trabajo.
- **Modo Automático:** Atiende las solicitudes de materia prima y almacena los productos terminados relacionadas a un proceso de manufactura flexible (FMS). Si no existe materia prima detiene el proceso para que el usuario la ingrese, además, supervisa que estanterías están vacías y cuales llenas; si todas las estanterías están llenas no permite iniciar el procedimiento de manufactura.
- **Modo de ingreso/salida:** Se puede ingresar materia prima para que el sistema analice y categorice su forma y lo almacene en la sección donde le corresponda, también el usuario puede hacer el ingreso de materia

prima o el despacho de producto terminado de forma manual.

#### IV. IMPLEMENTACIÓN

##### A. Sistema eléctrico y electrónico.

Una vez seleccionada la tarjeta principal y los controladores se procede a la implementación del diagrama de la Fig. 17.

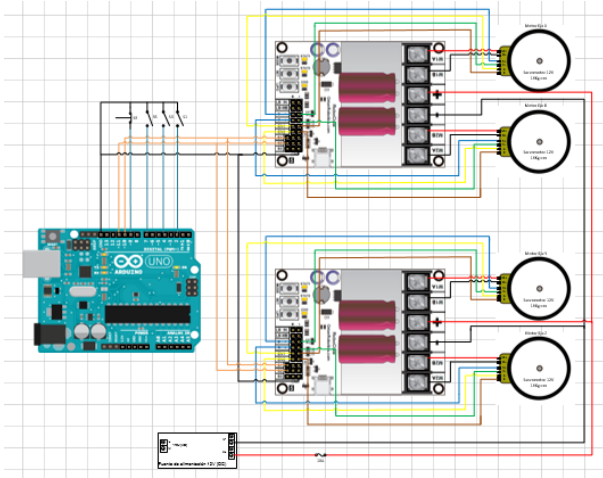


Fig. 17 Extracto de diagrama eléctrico.

El resultado de la implementación se puede ver en la Fig. 18, los principales componentes son 1.-Luz piloto verde, 2.-Luz piloto roja, 3.-Selector principal, 4.-Paro de emergencia, 5.-Controladores, 6.-Tarjeta principal, 7.-Módulo de salidas digitales, 8.-Fuente 12V, 9.-Fuente 5V, 10.-Portafusible.

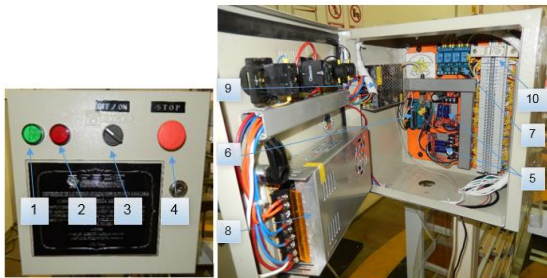


Fig. 18 Tablero de control, parte externa e interna.

##### B. Algoritmo de reconocimiento de materia prima.

El reconocimiento de patrones mediante clasificación estadística [14] expresa que: Sea  $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$  un patrón donde cada  $x_i$  es una característica. Para cada clase  $w$  de patrones, hay que encontrar una función de decisión  $d_w$  (clasificador) con la propiedad de que si  $x$  pertenece a la clase  $w$  y no a la clase  $v$ , entonces:

$$d_w(x) > d_v(x) \quad (12)$$

Para cumplir con la relación anterior se desarrolla mediante la herramienta IMAQ de LabVIEW, patrones para identificar las clases rectángulo, cuadrado y cilindro, las mismas que permite reconocer ante diversos factores (ej. rotación, escalamiento, oclusión, número de ejemplares, etc.), los perfiles de materia prima. En la Fig. 19 se muestra el algoritmo empleado.

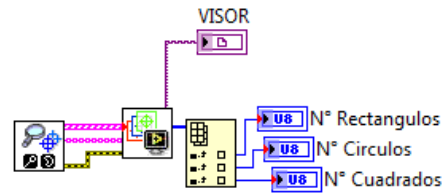


Fig. 19 Algoritmo de reconocimiento de patrones.

Debido a las condiciones necesarias en las plantillas de patrones para un procesamiento satisfactorio, se requiere un material con propiedades de luminosidad y reflectividad idóneas, en este caso se seleccionó madera. En la Fig. 20 se muestra el patrón para elementos circulares.

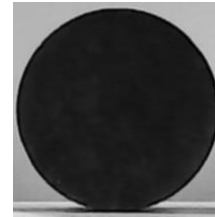


Fig. 20 Patrón circular.

##### C. Aplicación HMI en LabVIEW.

La interfaz HMI, permite al usuario supervisar y administrar los recursos a través de un diseño estructurado e intuitivo, La Fig. 21 muestra sus componentes generales.



Fig. 21 Aplicación HMI.

A continuación se relata la función de cada componente: 1.- Asigna un puerto de comunicación con Arduino UNO, 2.- Exhibe error en la configuración del puerto, 3.- Indica fallo en la conexión con la base de datos, 4.- Señala la posición en pulsos de cada motor, 5.- Muestra la velocidad de los motor en RPM, 6.- Lleva a la máquina S/R a su posición de inicio y encera las posiciones de los motores, 7.-Módulo de salidas digitales, 8.- Detiene el HMI luego de cerrar el puerto de comunicación y finalizar la escritura/lectura de la base de datos.

Los principales elementos del modo manual se indican en la Fig. 22.

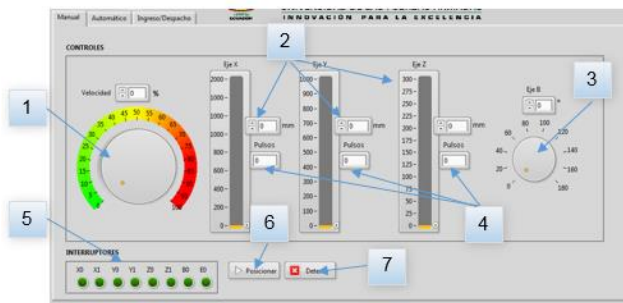


Fig. 22 Modo Manual.

Ahora, se detalla la función de cada elemento del modo manual: 1.-Varia la velocidad de los motores de 30% a 100%, 2.- Controla la posición de los ejes X, Y y Z, 3.- Selecciona el ángulo del eje B, 4.- Muestra la posición actual en pulsos, 5.- Indica el estado de finales de carrera y el paro de emergencia, 6.- Desplaza la máquina S/R a la posición asignada, 7.-Detiene solo el movimiento de la máquina S/R.

Los principales partes del modo automático se exhiben en la Fig. 26.

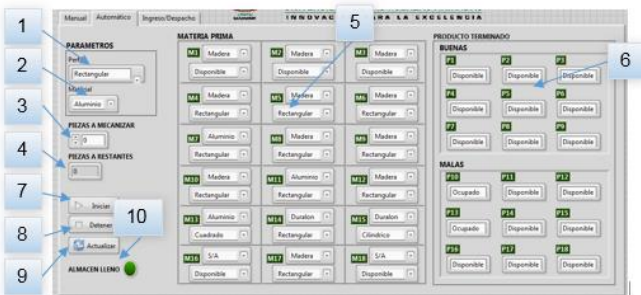


Fig. 23 Modo Automático.

En esta sección, se explica la función de cada parte del modo automático: 1.-Selecciona entre perfiles rectangulares, circulares y cuadrados, 2.- Elige entre aluminio, drilon, duralon y madera como material de mecanizado, 3.- Fija en número de materia prima a mecanizar, 4.- Indica el número de piezas que aún no son despachadas, 5.- Muestra y modifica la materia prima, con su tipo de perfil y material, 6.- Exhibe el estado de las estanterías de producto terminado, puede ser ocupado o disponible, 7.- Inicia el proceso de despacho de materia prima, 8.- Detiene el proceso de modo automatico, 9.- Actualiza el estado de materia prima en la estructura de almacenamiento luego de un ingreso manual, 10.- Señala que la sección de producto terminado no posee posiciones disponibles.

En la Fig. 27 se muestran los componentes del modo ingreso/despacho.

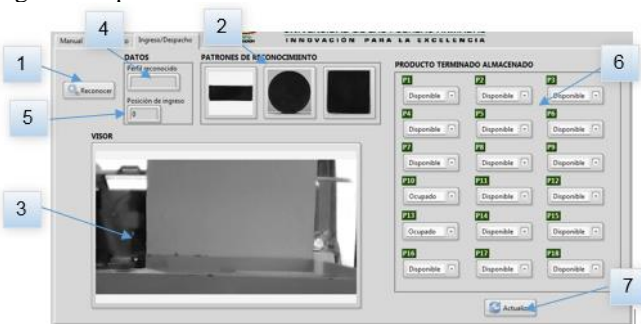


Fig. 24 Modo Ingreso/Despacho.

Posteriormente, se señala la función de cada parte del modo ingreso/despacho: 1.- Inicia el procesamiento digital de imagen para determinar el tipo de materia prima colocado, 2.- Presenta los patrones de búsqueda con los que se realiza el reconocimiento de materia prima, 3.- Indica la materia prima colocada, 4.- Indica si el tipo de perfil reconocido, 5.- Exhibe la posición donde se almacenará el perfil de materia prima, 6.- Muestra/ modifica el estado de las estanterías para el producto terminado, 7.- Actualiza el estado de producto terminado en la estructura de almacenamiento.

## V. PRUEBAS

### A. Precisión y repetibilidad de la máquina S/R

En base a la norma ISO 9283 [15], se realizó pruebas de precisión y repetibilidad, las condiciones para este ensayo se muestran en la tabla 3.

TABLA III  
CONDICIONES DE ENSAYO.

<b>Carga:</b>	26 N
<b>Velocidad:</b>	200 mm/s
<b>Numero de ciclos:</b>	30
<b>Dimensiones cubo:</b>	(1285x820x310) mm

En la Fig. 25 se muestran los puntos de ensayo, determinados de acuerdo a las dimensiones del espacio de trabajo.

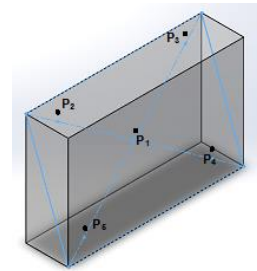


Fig. 25 Plano y puntos para el ensayo.

El análisis utiliza la dispersión [16] como herramienta para mostrar en forma gráfica los valores representados, en este caso el error en posicionamiento en cada uno de sus ejes coordenados. En la Fig. 26 se puede observar el comportamiento del error en el eje x, los límites del cual están entre -1,40 mm. y 1,50 mm.

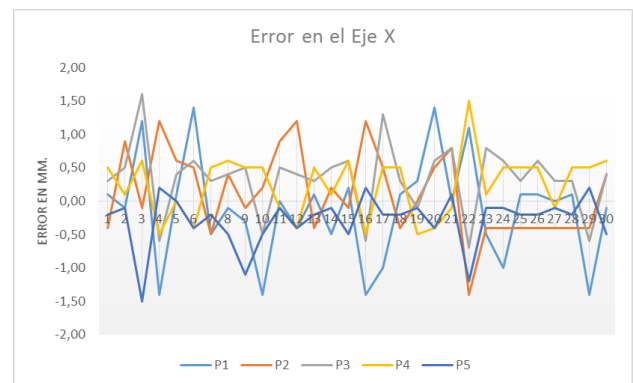


Fig. 26 Error de precisión en el eje X.

En la Fig. 27 se indica el error en el eje y, este error está comprendido entre -1,60 mm. y 1,10 mm.

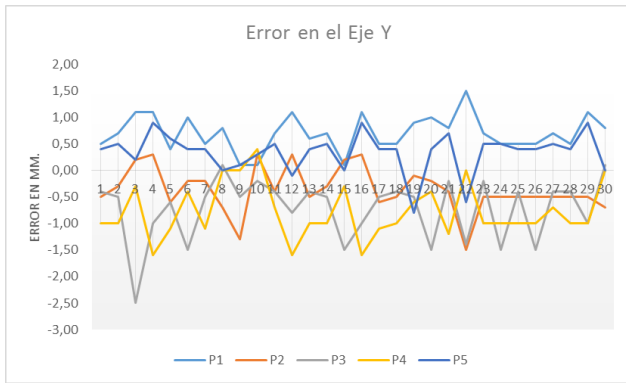


Fig. 27 Error de precisión en el eje Y.

La Fig. 28 muestra el error en el eje z, el mismo que está limitado entre -1,60 mm. y 1,00 mm..

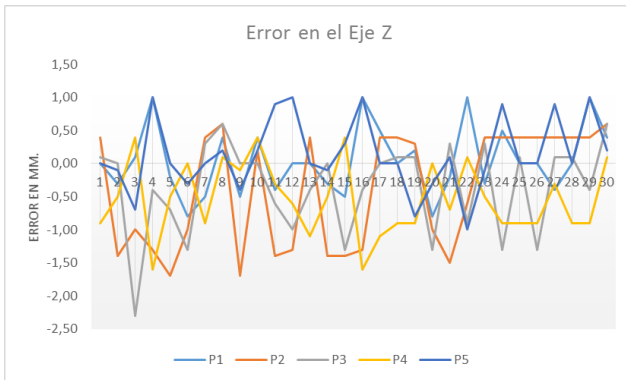


Fig. 28 Error de precisión en el eje Z.

En la Fig. 28 se puede observar el error en el eje z, el mismo que está comprendido entre -1,60 mm. y 1,00 mm., considerando que se encuentra conectado directamente con el medio de sujeción de la carga, y al tratarse de un prototipo desarrollado y construido con componentes nacionales, se establece un error de precisión aceptable en comparación con el rango  $\pm 0,50$  mm para el AS/RS-36u.

La tabla 4 presenta los resultados, en formato especificado por noma ISO 9283, de exactitud en posicionamiento para cada punto de ensayo.

TABLA IV  
RESULTADOS DE EXACTITUD Y REPETIBILIDAD DE POSICIONAMIENTO.

Posicionamiento (mm)					
Posición	Precisión				Repetibilidad
	APx	APy	APz	APp	
P1	-0,12	0,70	0,04	0,71	2,45
P2	0,11	-0,36	-0,38	0,53	2,00
P3	0,33	-0,73	-0,36	0,88	2,41
P4	0,24	-0,77	-0,53	0,97	1,98
P5	-0,28	0,33	0,13	0,46	1,98
Promedio				0,71	2,17

Los datos de precisión de cada punto en los tres ejes

coordinados, establecieron un valor promedio de 0,7147, tomando en cuenta que se trata de un prototipo desarrollado y construido con componentes nacionales, se determina una precisión aceptable frente al valor de 0,5 mm del AS-RS-36u desarrollado por la empresa Intelitek, Los resultados de repetibilidad establecieron un valor de 2,1704 mm, debido al gran recorrido del eje X y por la carga suspendida que debe mantener el eje Y generan que se distancia del valor 0,5 mm en repetibilidad del AS-RS-36u de Intelitek.

La tabla 5 detalla los valores de precisión y repetibilidad en orientación para el eje B, cuyos límites están entre  $-0,3133^\circ$  y  $0,2033^\circ$ .

TABLA V  
RESULTADOS DE ORIENTACIÓN.

Posición	Orientación ( $^\circ$ )	
	Precisión	Repetibilidad
	Apb	RPb
P1	0,0833	1,2258
P2	-0,0133	1,6983
P3	-0,3133	1,4131
P4	-0,1033	0,6277
P5	0,2033	0,8502

En orientación el eje B se desempeña con una repetibilidad promedio de  $1,0336^\circ$ , basado el desplazamiento de la banda sincrónica del eje B al estar conectado directamente al motor, se justifica el valor lejano a  $0,5^\circ$  del AS/RS-36u de Intelitek.

En la tabla 6 se resumen las características técnicas obtenidas del prototipo de sistema AS/RS.

TABLA VI  
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PROTOTIPO.

Posicionamiento	
Precisión	0,7147
Repetibilidad	2,1704
Orientación	
Precisión	$-0,3133^\circ + 0,2033^\circ$
Repetibilidad	$1,0336^\circ$

### B. Eficiencia del sistema AS/RS

La eficiencia permite determinar el grado de confiabilidad en el manejo de cargas durante el despacho y la recepción hacia o desde la celda de manufactura flexible, de acuerdo a la producción mensual de dicha celda, la muestra es de 50 operaciones.

La Fig. 29 indican una eficiencia del 78% en la entrega del material, sin embargo existen ciertos factores como pérdidas mecánicas producidas por fricción y las perdidas por carga



inductiva procedente de los motores, afectan al posicionamiento correcto de la máquina S/R provocando una entrega fallida del módulo de almacenamiento.

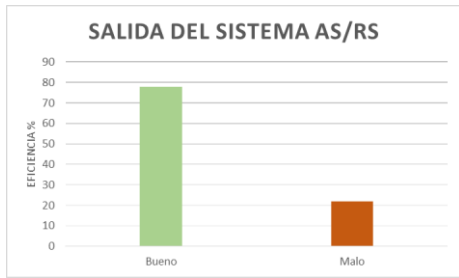


Fig. 29 Eficiencia a la salida del sistema AS/RS.

Los datos de la Fig. 30 muestran un 72% de eficiencia en la recepción, por otro lado, factores como pérdida de precisión en la posición durante la circulación de la unidad de almacenamiento a través de las cintas transportadoras instaladas en la celda provocan un error del 28%.

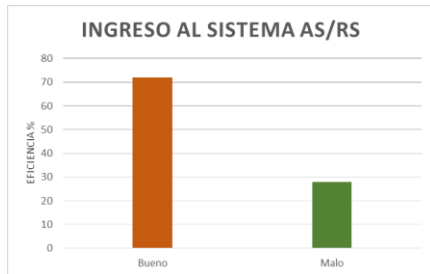


Fig. 30 Eficiencia al ingreso del sistema AS/RS.

### C. Reconocimiento de materia prima.

Debido a la capacidad de almacenamiento del sistema se selecciona una muestra de 20 piezas de materia prima.

La Fig. 31 muestra una eficiencia del 84% reconociendo perfiles rectangulares, sin embargo la luz ambiental, la calidad del perfil, la orientación de la cámara y la posición del módulo de reconocimiento, producen error del 16%.



Fig. 31 Reconocimiento de perfiles rectangulares.

La Fig. 32 indica una eficiencia del 78% en el reconocimiento de perfiles circulares, el fallo del 22% se debe a los factores como la calidad del patrón de reconocimiento, complejidad de la forma, iluminación y resolución de la cámara.

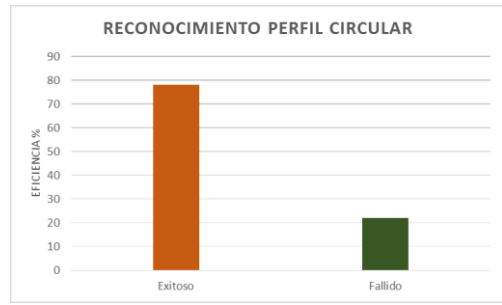


Fig. 32 Reconocimiento de perfiles circulares.

La Fig. 33 presenta el resultado del reconocimiento de perfiles cuadrados, con una eficiencia del 86% y un error del 14%.

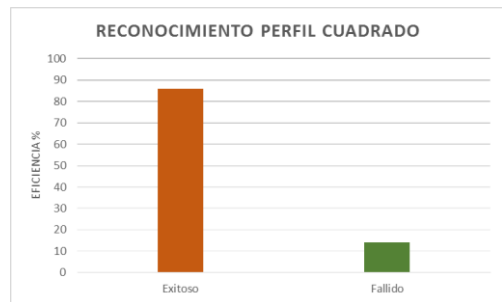


Fig. 33 Reconocimiento de perfiles cuadrados.

Una vez analizados los resultados anteriores se determina que el prototipo tiene una eficiencia del 78% en reconocimiento de perfiles, ya que es el correspondiente a los perfiles circulares donde mayor error se produce. Por otro lado, debido a que el ingreso de materia prima por este método requiere más tiempo que ingresarlo de forma manual y este último es más eficiente que el reconocimiento de perfiles se establece una baja utilidad de esta forma de ingreso para esta aplicación en concreto.

## VI. CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó de manera exitosa un prototipo de sistema automatizado de almacenamiento/recuperación (AS/RS), cuya máquina S/R es un robot cartesiano de 4 ejes para el manejo de materia prima y producto terminado, la misma es controlada por un microcontrolador Atmega328 desde una aplicación HMI en Labview, que finalmente esta implementado en el laboratorio CNC de la ESPE Extensión Latacunga para intervenir en sistemas flexibles de manufactura. Por otra parte se implementó la capacidad e reconocer perfiles de materia prima mediante procesamiento digital de imagen con una eficiencia del 78%.
- Las pruebas de funcionamiento del prototipo se realizaron de manera adecuada mediante la aplicación de normas ISO 9283, dedicada al análisis de robos de varios tipos. Por otro, lado las pruebas sobre el software se realizó con una muestra de la capacidad mensual de producción de la celda de manufactura centralizada en

brazo robótico implementada en el Laboratorio de robótica.

- El prototipo de sistema AS/RS fue implementado exitosamente en el laboratorio CNC de la Universidad de las Fuerzas Armadas Extensión Latacunga, permitiendo a los docentes y alumnos realizar aplicaciones de manufactura flexible a pequeña escala y consecuentemente mejorar el compendio de esta disciplina tecnológica.

## VII. RECOMENDACIONES

- En la etapa de diseño se sugiere realizarlo con cargas dinámicas con el objetivo de obtener un prototipo más robusto y con baja presencia de vibraciones.
- Para el presente proyecto se recomienda cambiar la unidad efectora final por un griper, para obtener mayor precisión en relación a la manipulación de objetos por medio de las horquillas de transporte implementadas.
- Después de haber analizado la baja utilidad de la unidad de reconocimiento para el presente proyecto, se recomienda establecer mejoras para aprovechar su máxima capacidad, debido a que presenta buenos resultados con respecto al reconocimiento de perfiles, y además como futura mejora sería la implementación del reconocimiento de dimensiones y materiales.
- Debido al deslizamiento visto sobre las bandas transportadoras planas, se aconseja reemplazar dichas bandas por transportadores de tablillas, y así aseguran un transporte eficaz reduciendo errores en el almacenamiento de producto terminado.

### BIBLIOGRAFÍA Y ENLACES

- [1] Mikell. P. (2006). Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas. En tecnología de grupos y sistemas flexibles. Mexico: Pearson Education, p. 958.
- [2] Itescam. (2010). Sistemas de almacenamiento. Recuperado el 10 de Diciembre de 2013, desde <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r58418.DOC>.
- [3] Rodríguez, R., & Martín, J. (2010). Simulación de un sistema AS/RS. Recuperado el 14 de Septiembre de 2014, desde <http://edicions.uib.cat/ojs/index.php/enginy/article/download/59/41>.
- [4] Barrientos, A., & Peñin, L. (1997). Fundamentos de Robótica. En robots industriales. España: McGraw-Hill.
- [5] Mott. R. (2006). Diseño de Elementos de Máquinas. En materiales en el diseño mecanico. Mexico: Pearson Education
- [6] MERIAM J., Estática, Reverte, Tercera Edición, p.37
- [7] Mott. R. (2006). Diseño de Elementos de Máquinas. En diseño para distintos tipos de carga. Mexico: Pearson Education.
- [8] Shigley, J., & Mitchell, L. (1999). Diseño en Ingeniería Mecánica. En Selección de cojinetes de rodillos cónicos. Mexico: McGraw-Hill.
- [9] Hibbeler, R. (1999). Ingeniería Mecánica Dinámica. En cinética plana de un cuerpo. Mexico: Prentice Hall.
- [10] Pololu. (2014). Servomotor 12V. Recuperado el 17 de Septiembre de 2014, desde <http://www.pololu.com/product/1447>.
- [11] Megalinear. Recuperado el 3 de Septiembre de 2014, desde [http://www.megabelt.sk/files/katalog\\_megalinear\\_2010.pdf](http://www.megabelt.sk/files/katalog_megalinear_2010.pdf)
- [12] Mitsubishi B. (2013). Mitsubishi Belting. Recuperado el 14 de Septiembre de 2014, desde <https://www.mitsuboshi.co.jp/english/catalog/pdf/freespan-belt.pdf>.

[13] (2013). User Manual. Recuperado el 17 de Septiembre de 2014, desde [http://downloads.orionrobotics.com/downloads/datasheets/roboclaw\\_user\\_manual.pdf](http://downloads.orionrobotics.com/downloads/datasheets/roboclaw_user_manual.pdf).

[14] (2013). Tema 7. Introducción al reconocimiento de objetos. Recuperado el 17 de Septiembre de 2014, desde <http://alojamientos.us.es/gtocom/pid/tema7.pdf>.

[15] Pardo, H. (2010). Ensayo y Análisis de las prestaciones de un robot industrial de seis ejes según la norma UNE-EN ISO 9283.

[16] Vargas. A. (1996). Estadística descriptiva e inferencial. España: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha, p. 90.



**Carlos Capilla.** Nació el 6 de mayo de 1991 en Latacunga provincia de Cotopaxi, Ecuador. Es graduado de Ingeniero en Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE en el año 2014.

Áreas de Interés: Diseño de elementos de máquinas, Automatización y control de procesos, Redes industriales, Visión Artificial.

Email: carlos.capilla.falcon@hotmail.com



**José Pulloquina.** Nació el 2 de septiembre de 1991 en Latacunga provincia de Cotopaxi, Ecuador. Es graduado de Ingeniero en Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE en el año 2014.

Áreas de Interés: Diseño de elementos de máquinas, Automatización y control de procesos, Redes industriales, Visión Artificial.

Email: jlpz\_mecatronica@hotmail.com