

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
PRODUCCIÓN MODULAR DIDÁCTICO PARA EL LABORATORIO
DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL MECATRÓNICA DE LA
ESPE”**

Zapata Jijón Luis Alberto, Rivera Naranjo Daniel Andrés

Ing. Hernán Lara, Ing. Melton Tapia.

Departamento de Energía y Mecánica – Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Universidad de La Fuerzas Armadas – ESPE

Diciembre 2013

I. RESUMEN

El desarrollo del presente proyecto de grado corresponde al diseño e implementación de un sistema de producción modular Mecatrónico para el laboratorio de AIM que permitirá manipular y clasificar piezas cilíndricas de diferentes características a través de sensores y actuadores.

El diseño del equipo se basa en el desarrollo de los tres sistemas fundamentales presentes en una máquina mecatrónica: sistema mecánico, sistema eléctrico/electrónico y sistema de control, cada uno detallado y analizado a profundidad, con su respectiva sustentación técnica o justificación.

El equipo está constituido por cuatro estaciones fundamentales: estación cargador, estación de pesado, estación pick & place, estación banda transportadora, los cuales se entrelazan para dar lugar al SPM-V1ZR (Sistema de Producción Modular- Versión 1 Zapata Rivera).

La particularidad del equipo es la flexibilidad que brinda a los usuarios para cambiar la ubicación de las estaciones según la necesidad gracias al diseño modular de la bancada para fijación. Además, permite controlar todos los sensores y actuadores presentes de dos maneras diferentes: mediante el uso de un Controlador lógico programable PLC o un microcontrolador (PIC, AVR, ARDUINO)

que se adapte a los requerimientos de funcionamiento de todas las partes que conforman al equipo, teniendo en cuenta que el funcionamiento de cada uno de ellos es totalmente independiente.

Adicionalmente al desarrollo técnico del presente proyecto se elabora un manual de usuario y las respectivas guías de laboratorio con la finalidad de salvaguardar la seguridad de quien hará uso del equipo, y poder obtener el mayor beneficio del mismo.

PALABRAS CLAVE: SPM-V1ZR, flexibilidad, manipular y cargar piezas cilíndricas, PLC, AVR, PIC, ARDUINO, bancada.

II. INTRODUCCIÓN

Un proceso productivo consiste en tomar elementos de entrada denominados factores o recursos y transformarlos en elementos de salida que pueden ser productos o servicios de valor agregado. Es importante tener control sobre cada uno de los componentes de entrada para que el resultado final sea el deseado, evitando derroche de energía, mano de obra e insatisfacción del cliente.

La manipulación y clasificación forma parte fundamental en un proceso productivo y generalmente se encuentra al principio y final del mismo, convirtiéndose en un limitante de la capacidad productiva. Actualmente se intenta reemplazar la manipulación manual por la automatización en un proceso industrial.

Analizar este problema y mejorar la precisión en la tarea de manipulación, clasificación y control de calidad con la ayuda del SPM-V1ZR permitirá mejor la producción y reducir los costos en el producto final.

Todo lo antes descrito es el principal objetivo del SPM-V1ZR donde el alumno con conocimientos de controladores lógico programable y microcontroladores podrá establecer una lógica de funcionamiento del módulo según las necesidades del mismo y tendrá una visión real de las posibles aplicaciones en la industria.

1. SISTEMA MECÁNICO

Componentes del equipo:

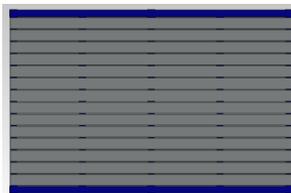
Bancada.

Es el elemento del SPM-V1ZR que servirá de soporte para la estructura de

las diferentes estaciones, fijación de sistemas mecánicos, eléctrico/electrónicos, red de distribución neumática y eléctrica, panel de control . Debe ser capaz de resistir el peso de todos los componentes del módulo, movimientos, posibles vibraciones y su diseño tiene que brindar facilidad al montar y desmontar las diferentes estaciones.

Las dimensiones de la bancada son 1200 mm * 700mm. El material escogido para las rieles de la bancada fue el aluminio por ser anticorrosivo, no es buen conductor de la electricidad, ligero y para la estructura fue el acero, ya que se requiere que todos los esfuerzos generados en las rieles se distribuyan uniformemente sobre una estructura robusta.

Fig 1. Bancada



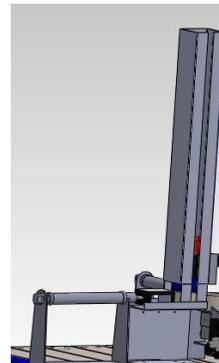
Fuente: propia.

Estación Cargador

La estación cargador es el encargado de apilar verticalmente las

piezas en un Feeder y mediante un cilindro neumático de simple efecto alimentar las piezas cilíndricas de diferentes características hacia la siguiente estación de pesado.

Fig 2. Estación cargador



Fuente: propia.

Estación Pesado

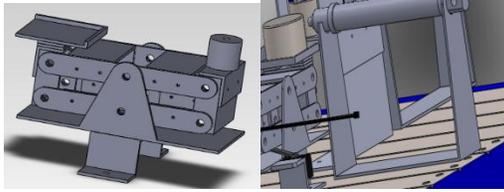
Denominada así, debido a que es la encargada de determinar si el peso de la pieza alimentada desde la estación cargador es la adecuada para continuar en el proceso.

Esta estación comprende:

Una **balanza mecánica** para determinar el peso de las distintas piezas.

Un **cilindro neumático de simple efecto** para expulsar a un contenedor las piezas que no cumplen con el peso adecuado.

Fig 3. Estación pesado



Fuente: propia

Estación Pick & Place

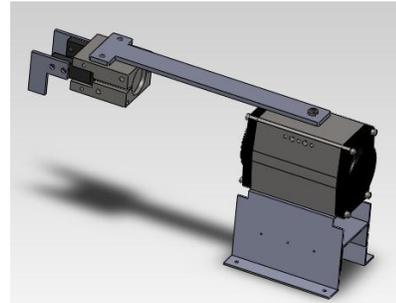
Utilizada para transportar las piezas que tienen el peso adecuado desde la estación de pesado hasta la estación banda transportadora.

Esta estación comprende:

Gripper neumático angular de doble efecto para sujetar las piezas cilíndricas y soltarlas en la banda transportadora. No requiere demasiado fuerza debido a que la pieza de mayor peso es la metálica de 0.18 kg.

Actuador neumático giratorio de doble efecto cuyo ángulo de acción es de 0-90. Utilizado para trasladar el gripper junto con la pieza, desde la estación de pesado a la banda transportadora.

Fig 4. Estación pick & place



Fuente: propia.

Estación Banda Transportadora

Es la encargada de recibir las piezas que fueron transportadas por la estación pick & place. A través de los sensores y actuadores que conforman esta estación las piezas son clasificadas en contenedores tipo rampa.

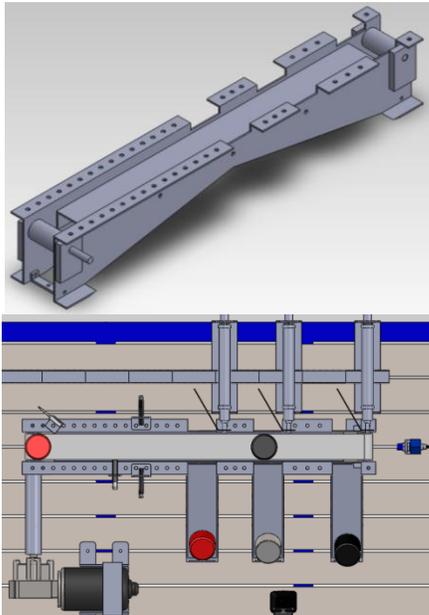
Esta estación comprende:

Banda transportadora de dimensiones 550 mm *46 mm y cinta de espesor 0.07 mm.

Tres cilindros neumáticos de simple efecto para clasificar las piezas entre los distintos contenedores.

Tres contenedores tipo rampa para almacenar las piezas

Fig 5. Estación Banda Transportadora

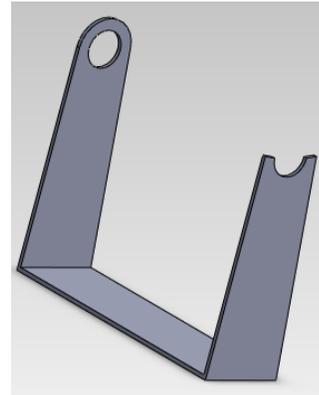


Fuente: propia.

Sujeciones y soporte

Corresponde a todas aquellas piezas diseñadas y elaboradas para acoplar los elementos del sistema tales como actuadores neumáticos y brindar soporte a uno de ellos de acuerdo a su funcionalidad y finalidad.

Fig 6. Sujeción y soporte

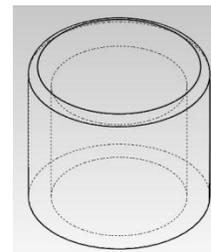


Fuente: propia.

Consideraciones de diseño

Peso de las piezas: El diseño de varios componentes del módulo se basa en el peso de las piezas, de tal manera tenemos que las piezas de polipropileno correspondientes a las de color y de altura tienen un peso aproximado de 0.08 Kg y las metálicas 0.18 kg.

Fig 7. Pieza Cilíndrica.



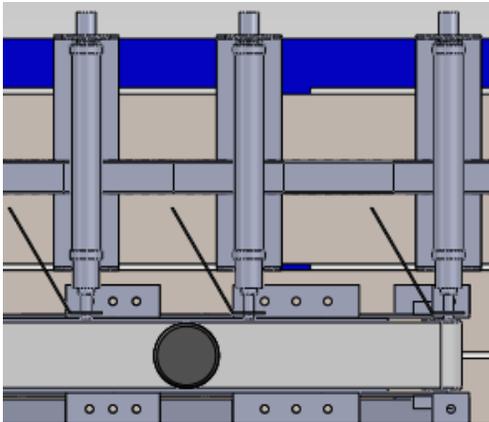
Fuente: propia.

Carrera de cilindros neumáticos:

Se ha diseñado la carrera horizontal de los cilindros de simple efecto en base al

diámetro de las piezas cilíndricas, es decir, 50 mm. Los cilindros son utilizados para alimentar y clasificar piezas en cada estación.

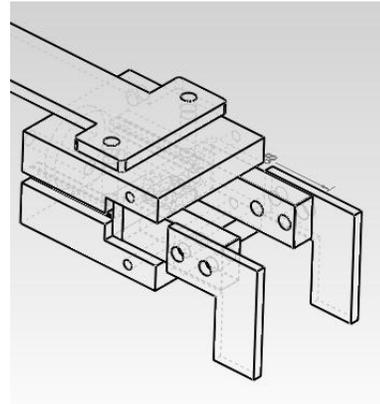
Fig 8. Cilindros movimiento horizontal.



Fuente: propia.

Acople para gripper: Es necesario diseñar acoples en las pinzas del gripper para poder sujetar las piezas. Como las piezas son cilíndricas se ha determinado una sujeción simple mediante acoples lisos provistos de una superficie rugosa para evitar que las piezas resbalen.

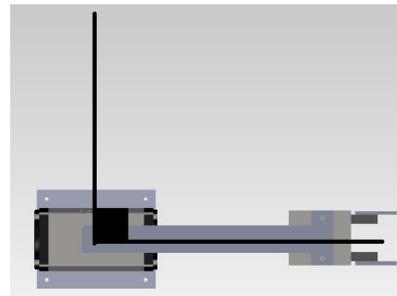
Fig 9. Acople para gripper.



Fuente: propia.

Angulo de giro del actuador giratorio neumático: Importante para determinar la ubicación de la estación pesado y banda transportadora. Se seleccionó un actuador giratorio con un ángulo de 0-90° por la disposición de los elementos en el módulo.

Fig 10. Angulo de giro del actuador neumático

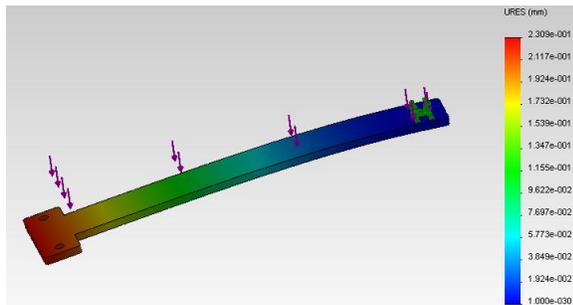


Fuente: propia.

Análisis estático del brazo de unión actuador-gripper: Es necesario

realizar un análisis estático de elementos finitos para determinar la máxima deformación que tendrá el brazo de acero que soporta una fuerza en el extremo donde se ubica el gripper de 2.5 N. El brazo permite la integración del actuador giratorio neumático con el gripper.

Fig 11. Análisis estático de cargas brazo pick & place



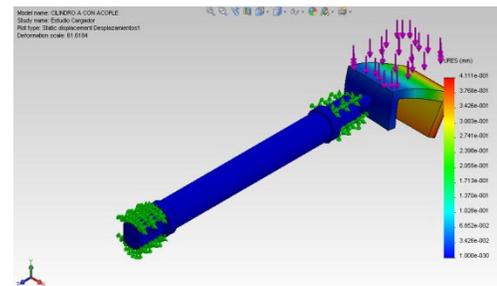
Fuente: propia.

En el análisis se muestra una máxima deformación en el extremo de 0.2mm, lo cual es aceptable.

Análisis del fenómeno de pandeo en el cilindro de la estación cargador: Importante para determinar cuál será la máxima deformación del embolo del cilindro de la estación cargador, ya que una de sus funciones es soportar el peso de las piezas acumuladas en el Feeder cuando realiza la alimentación de una pieza a la estación de pesado.

Para el análisis estático por elementos finitos se ha calculado el peso total de las piezas y la fuerza que ejercerán con un factor de seguridad de 1.3, obteniendo un valor de 24,5 N.

Fig 12. Análisis de pandeo cilindro-estación cargador.



Fuente: propia.

En el análisis se muestra una máxima deformación en el extremo de 0.4mm, lo cual es aceptable.

Presión de operación: Otro elemento que debe ser considerado para el diseño, es la presión a la cual el equipo va a funcionar, la cual varía entre 4 y 6 bar (compresor).

2. SISTEMA ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO

Un equipo automatizado requiere de la instalación de elementos eléctrico/electrónicos a través de los cuales pueda adquirir el estado de

ciertos elementos del módulo. El trabajo manual es reducido gracias a la automatización ofreciendo una producción más eficiente y disminución de riesgos para el operador.

Sensor de presencia SHARP (0-30cm): Indicara la existencia de piezas con el peso correcto en la estación de pesado. El sensor está ubicado en una de las paredes del Feeder de la estación cargador.

Fig 13. Sensor de distancia/ presencia.



Fuente: propia.

El sensor está compuesto por una combinación integrada de un fotodiodo y un diodo emisor de infrarrojos. Se ha realizado el condicionamiento de señal mediante un potenciómetro y un operacional que trabaja como comparador del set point. La tensión de salida se mantiene en alto en caso de

no detectar ninguna pieza y en bajo cuando detecta.

Sensor final de carrera/microswitch: Utilizado para detectar el estado de la balanza encargada de reconocer si las piezas tiene el peso adecuado para continuar en el proceso.

Fig 14. Sensor final de carrera/microswitch



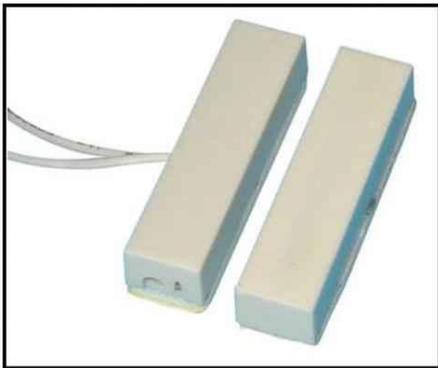
Fuente: propia.

Un final de carrera puede ser alimentado por diferentes voltajes. En este caso todos los sensores del módulo SPM-V1ZR son alimentados con 24VDC. El microswitch cierra un contacto interno cuando su pin de accionamiento mecánico detecta un cambio de estado, enviando una tensión en alto a la salida.

Sensor magnético: Instalado en la banda transportadora para reconocer el imán que ha sido instalado en una de las pinzas del gripper. El sensor

magnético es un final de carrera que mantiene la salida en alto cuando detecta un campo magnético generado en este caso por el imán instalado en el gripper.

Fig 15. Sensor de distancia/ presencia.



Fuente: propia.

Sensor infrarrojo: Compuesto por un diodo led y un fototransistor, los cuales funcionan como emisor y receptor de rayos infrarrojos. El estado de este sensor es alterado cuando se interrumpe la recepción de rayos. El acondicionamiento de señal de este sensor requiere de la programación de un microprocesador para detectar los cambios mínimos en la salida de corriente del mismo y manejar voltajes de salida entre 0 y 5VDC.

La función del sensor infrarrojo es detectar las piezas que poseen una

altura superior a las demás y que permitirán que sean clasificadas en su respectivo contenedor en la banda transportadora.

Fig 16. Sensor infrarrojo



Fuente: propia.

Sensor Inductivo: Reconoce la presencia de una pieza con características metálicas en la banda transportadora. Tiene configuración PNP y no requiere acondicionamiento de señal por ser un sensor de estado sólido. El rango de detección máxima es de 4mm.

Fig 17. Sensor de proximidad inductivo IBEST



Fuente: propia.

Sensor óptico reflectivo: Al igual que el inductivo es de estado sólido, no requiere acondicionamiento de señal. Es utilizado para detectar la presencia de una pieza en la banda transportadora y enviar a encender el motor DC. Tiene un espejo que trabaja como reflector de los infrarrojos que emite.

Fig 18. Sensor óptico reflectivo
OPEX



Fuente: propia.

Electroválvulas: Los actuadores neumáticos son controlados a través de electroválvulas mono o biestables según sea el caso, que a su vez son comandadas por el panel de control.

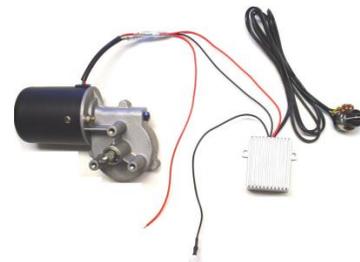
Fig 19. Sensor óptico reflectivo
OPEX



Fuente: propia.

Motor DC: Es el encargado de generar el movimiento rotatorio para la banda transportadora y permitir que las piezas sean clasificadas dependiendo de su característica física. Se seleccionó un motor de la marca Wondermotor con caja reductora 11.5 N.m de torque, 12VDC, control de velocidad PWM, 60 W, 5A

Fig 20. Motor DC Wondermotor



Fuente: propia.

Alimentación eléctrica: El módulo va a conectarse directamente a la red eléctrica, pero los elementos no trabajarán a 110VAC, por lo que se utilizará una fuente que permite rectificar el voltaje de 110VAC a voltajes de corriente continua de 5, 12, y 24 VDC.

Fig 21 Fuente rectificadora DC



Fuente: propia.

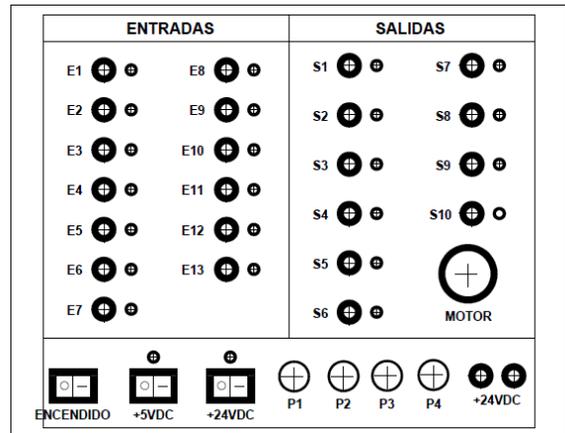
Circuitos Electrónicos: Permiten acoplar voltajes o corrientes dependiendo de los requerimientos del proceso. Son necesarios debido a la variedad de alimentación de voltajes de los elementos eléctrico/electrónicos del módulo.

3. SISTEMA DE CONTROL

Panel de control: Diseñado para centralizar las señales de todas las entradas y salidas del módulo y brindar la flexibilidad al usuario de poder elegir

entre dos tipos de controladores ya sea PLC o microcontrolador.

Fig 22. Panel de control



Fuente: propia.

Visión Artificial: Sistema de control de calidad en tiempo real diseñado en LabVIEW 2011 para determinar el número de piezas existentes en cada contenedor al final del proceso a través de un HMI, en el cual a través de una cámara se adquieren de forma continua las imágenes de los contenedores y mediante templates creados como patrones de reconocimiento se identifican las piezas cilíndricas. Utilizado como sistema de control en varias industrias.

Fig 22 Aplicación de visión artificial



Fuente: propia.

III. RESULTADOS

Una vez establecidos todos los sistemas del SPM-V1ZR se ha procedido a realizar varias pruebas de funcionamiento en vacío y con carga para determinar el estado del equipo. También, análisis estadístico de pruebas de confianza del equipo donde se ha determinado que el modulo brinda una confiabilidad del 90% al trabajar solo con piezas de color y 90% con 4 piezas (1 de características distintas) con un error del 29% a diferencia de un error del 49,35% cuando trabaja con las 14 piezas.

IV. DISCUSIÓN.

Se analizó la confiabilidad del equipo a través de tablas de control y calidad a través de atributos “cumple o no cumple”.

El análisis está realizado dependiendo del tipo de falla. Durante las pruebas realizadas se identificaron varios errores principalmente en el sistema de alimentación de piezas y clasificación de las mismas, donde se tomó los respectivos correctivos. Además se solucionaron fugas de aire en elementos neumáticos y calibración de sensores.

Durante la implementación del sistema de visión artificial se detectó que el reflejo de la luz del aluminio sobre la cámara afectada la identificación de las piezas, por lo que fue necesario adaptar recuadros de colores en la superficie cilíndrica superior de las piezas para crear los templates en base a estas nuevas características.

El dispositivo utilizado como alimentador en la estación cargador fue modificado varias veces hasta obtener una alimentación eficiente hacia la siguiente estación de pesado.

Así, también los dispositivos clasificadores de la banda transportadora fueron modificados para que la tarea sea eficiente en el sentido de que al actuar los cilindros no se

genere ningún tipo de colisión ni obstrucción con la banda transportadora.

V. CONCLUSIONES.

La presión de alimentación al SPM-V1ZR debe ser regulada en 1,5 bar al ingreso del módulo. Este valor se ha definido en base a las pruebas de funcionamiento y para asegurar que la alimentación sea constante durante el tiempo de funcionamiento del equipo y otros módulos se requiere un compresor con potencia mínima de 1.4 HP y capacidad de 30[cfm].

El diseño del equipo se basa en la masa de las piezas, pues de este y otros factores dependen la correcta selección de actuadores lineales neumáticos lineales y giratorios, torque necesario para el motor de la banda transportadora, análisis estático de deformación en varios elementos, pandeo, etc. Además, para todos los diseños se ha utilizado un factor de seguridad de 1.3 y la selección de los elementos en algunos casos está sobredimensionada para evitar todo tipo de inconvenientes.

Tras realizar varias practicas se observaron todos los inconvenientes que presentaba el modulo, permitiendo mejorar el diseño de muchos elementos para contribuir con el perfecto funcionamiento del SPM-V1ZR.

Uno de los inconvenientes fue sincronizar a la perfección el recorrido de las piezas por todo el modulo, donde se fue muy minucioso en cuanto a relación de distancias y posicionamiento de las estaciones en la bancada.

El equipo brinda un 90% de confiabilidad al trabajar con piezas de color, y cuando se requiere trabajar con todas las piezas es 90% confiable hacerlo con 4 piezas (1 por característica).