

## Hardware de código abierto para implementar Poka-yoke y Andón en la industria de packaging alimenticio

Daniel Díaz<sup>1,2</sup>, Sandra Oviedo<sup>1,2</sup>, Gonzalo Sanchez Zunino<sup>1,2</sup>, Francisco Ibañez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Informática Aplicada a la Innovación  
Instituto de Informática, <sup>2</sup>Departamento de Informática  
FCEF- UNSJ, San Juan, Argentina  
{ddiaz, soviedo, gsanchez, fibanez}@iinfo.unsj.edu.ar

**Resumen.** Las plataformas de código abierto y la cada vez mayor cantidad de sensores y actuadores que pueden manejar se transforman en poderosas herramientas para captura y manejo de datos de diversa naturaleza, teniendo en cuenta esto, se propone un marco de referencia, con la hipótesis de que es posible desarrollar dispositivos de Poka-yoke, Andón y de asistencia al mantenimiento predictivo con hardware de código abierto. El marco de referencia se valida con la implementación de un dispositivo de control de procesos (Poka-yoke) y una herramienta de comunicación visual (Andón) con Arduino y un sistema web asociado para un proceso de fabricación de film de PVC.

**Palabras Claves:** Hardware de código Abierto. Arduino. Poka-yoke. Andón.

### 1 Introducción

En los últimos años las plataformas de código abierto irrumpieron en el ámbito tecnológico como una gran solución para el prototipado de los más diversos dispositivos. Se trata de plaquetas electrónicas cuyo diseño es compartido y susceptible de cambios, dichas plaquetas son programables y son de muy bajo costo. Ofrecen una gran versatilidad ya que permiten manejar una amplia variedad de periféricos, ya sea para captura de datos: sensores u otros instrumentos, así como para activar respuestas en diversos actuadores, de manera fácil y económica. Las funciones de control de calidad, y gestión del mantenimiento del ámbito industrial también se pueden beneficiar con las tecnologías de código abierto.

Manufactura esbelta es un modelo de gestión de la producción enfocado a la creación de flujo para poder entregar el máximo valor para los clientes, utilizando para ello los mínimos recursos necesarios. La creación de flujo se focaliza en la reducción de los siete tipos de "desperdicios" en productos manufacturados: sobreproducción, tiempo de espera, transporte, exceso de procedimientos, inventario, movimientos, defectos. Eliminando el despilfarro, mejora la calidad y se reducen el tiempo de producción y costos. Poka-yoke y Andón son conceptos asociados a la filosofía de Manufactura Esbelta.

Poka-yoke, asegura procesos a prueba de fallos, mientras que Andón es la herramienta de control visual que permanentemente comunica el estado de funcionamiento del proceso que es controlado, de manera que la gerencia de planta puede conocer con una mirada el estado de la línea de producción. El mantenimiento predictivo también contribuye a eliminar despilfarros de tiempos muertos y scrap por mal funcionamiento de equipos, ya que procura actuar antes de que el problema acontezca.

El presente trabajo presenta un marco de referencia, donde se propone el uso de plataformas de hardware abierto para implementar herramientas de Poka-yoke, Andón y asistir con información a la función de mantenimiento predictivo. También describe los flujos que hay entre estas funciones.

El marco referencial se aplica en el desarrollo de un dispositivo para una empresa dedicada a la fabricación de packaging alimenticio. Rollos de film de PVC, papel de aluminio y papel manteca en diversas dimensiones son los productos de dicha compañía emplazada en la provincia de San Juan. En el caso de estudio que se presenta se atiende un problema de la línea de Film de PVC, aunque no es exclusivo de esta línea. Se hace referencia al problema que se plantea cuando se enrolla el producto, el cual debe conservar una determinada tensión. Por diferentes problemas, los motores que traccionan las bobinas que constituyen los rollos en cierto momento empiezan a tener un desfase unos respecto de otros, y en consecuencia, las bobinas siguen enrollando con diferente tensión en los diferentes extremos, hasta que el material se corta. Este problema genera paros en la línea de producción, con la inevitable pérdida de tiempo, energía, materiales, hasta que los motores son reemplazados y sincronizados. Como solución se plantea un monitoreo permanente de las velocidades de los motores, logrando un proceso a prueba de fallos, una herramienta de Poka-yoke, implementada con Arduino y un sistema web de tiempo real. También se asocia una herramienta de comunicación visual, Andón y una estrategia de captura de datos para mantenimiento predictivo.

La solución alternativa que hay disponible para abordar el problema planteado es a través del uso de un PLC (Controlador Lógico Programable), específicamente, disponible en el mercado hay un microcontrolador industrial de Siemens llamado LOGO!, con amplísimas prestaciones, pero cerca de cinco veces más costosos de lo que podría ser el valor de propuesta que se presenta en este trabajo<sup>1</sup>.

El trabajo se desarrolla en las siguientes secciones: Marco Teórico, donde se hace una reseña de los conceptos y tecnologías empleados. El Marco de Referencia propuesto. El caso de estudio, donde se describe el contexto donde se realizó la aplicación y se presenta el prototipo realizado. Finalmente conclusiones y trabajos futuros.

## 2 Marco teórico

Se hace una revisión de conceptos involucrados.

---

<sup>1</sup> [https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores\\_modulares/logo/pages/default.aspx#Descripci\\_c3\\_b3n](https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores_modulares/logo/pages/default.aspx#Descripci_c3_b3n)

## 2.1 Hardware de Código Abierto

El concepto de código abierto se ha extendido hacia el hardware generando un nuevo movimiento denominado “hardware de código abierto”. La OSHWA (Open Source Hardware Association), o asociación de hardware de código abierto en su declaración de principios establece que “el hardware de código abierto es el hardware cuyo diseño se hace disponible públicamente para que cualquiera pueda estudiarlo, modificarlo, distribuirlo, hacer y vender el diseño o hardware basado en ese diseño. El código fuente del hardware, el diseño a partir del cual está hecho, está disponible en el formato preferido para realizar modificaciones en él”. Téngase en cuenta que el hardware de código abierto se refiere específicamente a compartir los archivos de diseño digital de objetos físicos; si bien se apoyan otras formas de compartir, que es importante tener claro el significado de hardware de código abierto [1].

A pesar que el movimiento de código abierto es reciente hay una amplia comunidad de empresas, individuos y grupos que están diseñando y haciendo hardware de código abierto.

### Plataformas de Hardware Abiertas

Una Plataforma de Hardware Abierta es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñado para facilitar el uso de la electrónica en diversos proyectos [2]. Existen varias plataformas, entre ellas Arduino, Netduino, Seeedduino, Raspberry Pi, a continuación se hará referencia a las más conocidas.

#### *Arduino*

Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexible y fácil de usar, en Fig. 1, se muestra una placa Arduino del modelo Mega.



**Fig. 1** Arduino Mega

Arduino puede tomar información del entorno a través de sus pines de entrada de toda una gama de sensores y puede afectar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores [3]. El microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación y el entorno de desarrollo Arduino. Los proyectos realizados con Arduino pueden ejecutarse sin necesidad de conectar a un ordenador, si

bien tienen la posibilidad de hacerlo y comunicarse con diferentes tipos de software (p.ej. Flash, Processing, MaxMSP). Su hardware libre está basado en una sencilla placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de programación Processing/Wiring, Fig. 2. Al ser open-hardware, tanto su diseño como su distribución es libre: es decir, puede utilizarse libremente para el desarrollo de cualquier tipo de proyecto sin haber adquirido ninguna licencia.

El entorno de desarrollo integrado libre puede ser descargado de forma gratuita. Los ficheros de diseño de referencia (CAD) están disponibles bajo una licencia abierta, por lo que puede adaptarse a las necesidades libremente [4].

Entre las ventajas que se destacan en el uso de Arduino para el desarrollo de dispositivos están bajo costo, la portabilidad del software de Arduino, un entorno de trabajo sencillo y claro, la facilidad y flexibilidad que su uso ofrece para los usuarios nuevos y expertos, el lenguaje se puede expandir a través de librerías de C++ y los planos de las placas Arduino se publican bajo una licencia Creative Commons, por lo que los diseñadores de circuitos experimentados pueden hacer su propia versión del módulo, ampliarla y mejorarla.

En [5] se describe ampliamente una variedad de sensores, actuadores y periféricos que pueden conectarse con Arduino.



Fig. 2 Entorno de Desarrollo de Arduino

### Raspberry Pi

Raspberry Pi es un computador de placa simple (SBC) de bajo costo desarrollado en Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi, con el objetivo de estimular la enseñanza de ciencias de la computación en las escuelas.

No se indica expresamente si es hardware libre o con derechos de marca, en su web oficial explican que disponen de contratos de distribución y venta con dos empresas, pero al mismo tiempo cualquiera puede convertirse en revendedor o redistribuidor de las tarjetas Raspberry Pi, por lo que se entiende que es un producto con propiedad registrada, manteniendo el control de la plataforma, pero permitiendo su uso libre tanto a nivel educativo como particular.

En cambio, el software sí es open source, siendo su sistema operativo oficial una versión adaptada de Debian, denominada Raspbian, aunque permite usar otros sistemas operativos, incluido una versión de Windows 10. En todas sus versiones incluye un procesador Broadcom, una memoria RAM, una GPU, puertos USB, HDMI, Ethernet 40 pines GPIO y un conector para cámara. Ninguna de sus ediciones incluye memoria, siendo esta en su primera versión una tarjeta SD y en ediciones posteriores una tarjeta MicroSD [6].

Algunos de los proyectos más importantes realizados con Raspberry Pi van desde un escáner 3D, para replicarlos posteriormente en Impresoras 3D, teléfonos celulares basados en Raspberry hasta una mini estación meteorológica, que mediante el control de sensores de humedad, rayos UV, temperatura posteriormente compartía los datos recabados vía internet.

## 2.2 Poka-yoke

Poka-yoke es una técnica de calidad desarrollada por el ingeniero japonés Shigeo Shingo en los años 1960's, que significa "a prueba de errores". La idea principal es la de crear un proceso donde la probabilidad de ocurrencia de un error sea nula, asegurando la calidad de los productos en una manufactura [7].

Poka-yoke, es un concepto, más que un sistema o dispositivo. Un dispositivo Poka-yoke es un mecanismo que ayuda a prevenir los errores antes de que sucedan, o los hace que sean muy obvios para que el trabajador se de cuenta y lo corrija a tiempo.

Un sistema Poka-yoke implica dos acciones: el cien por ciento de inspección con retroalimentación y acción inmediata cuando los defectos o errores ocurren [8].

Este enfoque resuelve los problemas de la vieja creencia que el cien por ciento de la inspección toma mucho tiempo y trabajo, por lo que tiene un costo muy alto. La práctica del sistema Poka-yoke se realiza más frecuentemente en la comunidad manufacturera para enriquecer la calidad de sus productos previniendo errores en la línea de producción.

Clasificación de los métodos poka-yoke

1. Métodos de contacto. Son métodos donde un dispositivo sensitivo detecta las anomalías en el acabado o las dimensiones de la pieza, donde puede o no haber contacto entre el dispositivo y el producto.

2. Método de valor fijo. Con este método, las anomalías son detectadas por medio de la inspección de un número específico de movimientos, en casos donde las operaciones deben de repetirse un número predeterminado de veces.

3. Método del paso-movimiento. Estos son métodos en el cual las anomalías son detectadas inspeccionando los errores en movimientos estándares donde las operaciones son realizadas con movimientos predeterminados. Este extremadamente efectivo método tiene un amplio rango de aplicación, y la posibilidad de su uso debe de considerarse siempre que se este planeando la implementación de un dispositivo Poka-yoke.

Entre los mecanismos más usados en las líneas de producción a prueba de errores se encuentran [9]: interruptores de límite, sensores de proximidad, sensores laser de desplazamiento, sensores de ultrasonido, sistemas de visión, sensores fotoeléctricos, mecanismos electromecánicos o electrónicos de tiempo –timers- y contadores. La mayoría

de estos mecanismos no requieren contacto con las piezas y facilitan el auto-chequeo y funcionan previniendo el error o en el peor de los casos, mientras este se produce.

Los instrumentos de medición más usados para evaluar características de procesos son los que se emplean para medir temperatura, carga eléctrica, acidez, masa/peso, velocidad, flujo/caudal [9].

La ingeniería se vale de una variedad de sensores especializados para detectar, prevenir y/o evitar el error en los procesos. Entre ellos se pueden mencionar: sensor de impacto, detector de humedad/ vapor y vapores de diversas sustancias, sensores de movimiento, de temperatura, de velocidad, etc.

En [9] hay una extensa descripción de instrumental empleado en entornos industriales, así como sistemas de Poka-yoke completamente descriptos.

### 2.3 Andón

Andón, es una herramienta de la Fabrica Visual, descrita por Gregory Thomerson [8]. Un sistema “Andón” es utilizado para alertar de problemas en un proceso de producción. Da al operario o a la máquina automatizada la capacidad de detener la producción al encontrarse un defecto y de continuarla cuando se soluciona.

En [8] se describe la aplicación de un dispositivo “Andón” para la oportuna toma de acciones en el proceso, parte de identificación de una anomalía en el proceso, luego el dispositivo “Andón” genera una alerta visual y posiblemente sonora, para la reacción y acción del operario a cargo del proceso.

Los dispositivos Andón tienen una complejidad variable, los más comunes consisten en un semáforo que indica las condiciones en que está ejecutándose el proceso. El semáforo es una herramienta de comunicación visual, donde el color verde indica que el proceso se está llevando a cabo en condiciones óptimas, el amarillo, invoca la intervención a modo preventivo y el rojo, llama a la intervención urgente para la detención de la línea de producción, en el común de los casos. Se trata de una estrategia de Management Visual.

Los sistemas Andón más complejos incluirán sistemas informáticos de apoyo, algoritmos de análisis para la toma de decisiones, así como el registro de datos sobre el funcionamiento de cada puesto de trabajo [8].

En cuanto al uso de señales de alerta, las más comunes son del tipo visual, luminosas, las señales auditivas en muchos casos no son recomendadas porque resultan imperceptibles entre los ruidos de una planta de producción, y contribuyen, en ocasiones, a la contaminación sonora del lugar.

### 2.4 Mantenimiento Predictivo

Según Wikipedia, el mantenimiento predictivo es una serie de acciones que se toman y técnicas que se aplican con el objetivo de detectar posibles fallas y defectos de maquinaria en las etapas incipientes para evitar que estos fallos se manifiesten en uno más grande durante su funcionamiento, evitando que ocasionen paros de emergencia y tiempos muertos, causando impacto financiero negativo. Su misión es conservar un nivel de servicio determinado en los equipos programando las revisiones en el momento más

oportuno. Suele tener un carácter sistemático, es decir, se interviene aunque el equipo no haya dado ningún síntoma de tener problemas.

Las fallas se detectan en sus etapas iniciales por lo que se cuenta con suficiente tiempo para hacer la planificación y la programación de las acciones correctivas (mantenimiento correctivo o curativo) en paros programados y bajo condiciones controladas que minimicen los tiempos muertos y el efecto negativo sobre la producción y que, además, garanticen una mejor calidad en las reparaciones.

El requisito para que se pueda aplicar una técnica predictiva es que el fallo incipiente genere señales o síntomas de su existencia, tales como alta temperatura, ruido, ultrasonido, vibración, partículas de desgaste y alto amperaje, entre otras.

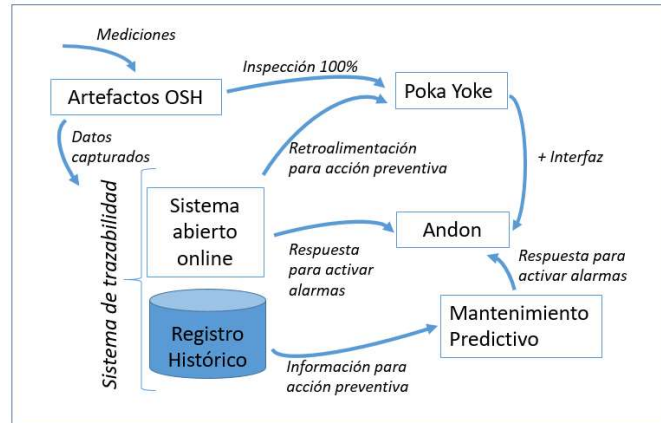
Las técnicas para detección de fallos y defectos en maquinaria varían, desde la utilización de los sentidos humanos (oído, vista, tacto y olfato), hasta la utilización de datos de control de proceso y de control de calidad, el uso de herramientas estadísticas y técnicas de moda como el análisis de vibración, la termografía, la tribología, el análisis de circuitos de motores y el ultrasonido [10]

El mantenimiento predictivo es una variante del mantenimiento preventivo.

### 3 Marco de referencia

Las plataformas de código abierto y la cada vez mayor cantidad de sensores y actuadores que pueden manejar se transforman en poderosas herramientas para captura y manejo de datos de diversa naturaleza, teniendo en cuenta esto, se propone un marco de referencia, con la hipótesis de que es posible desarrollar dispositivos de Poka-yoke, Andón y de asistencia al mantenimiento predictivo con hardware de código abierto.

En Fig. 3 se muestra el marco de referencia propuesto donde pueden destacarse las funciones de: artefactos OSH (Open Source Hardware), que tienen por función la captura de datos realizando mediciones sobre los procesos, dichos datos son registrados en un Sistema de Trazabilidad donde se hará registro de parámetros, análisis y almacenamiento de datos. La función Poka-Yoke se lleva a cabo en las dos instancias, a través de la inspección permanente del proceso y retroalimentándose de información para acción preventiva. La función Poka-Yoke hace un seguimiento permanente del proceso, si a ese seguimiento se agrega inteligencia a través de análisis de datos del Sistema de Trazabilidad y una interfaz lumínica, se obtiene la función Andon. La función Mantenimiento Predictivo se nutre de datos históricos y lecturas online provistos por el Sistema de Trazabilidad y además, provee información para el dispositivo visual de Andon.



**Fig. 3** Marco de referencia para implementar Poka-yoke, Andón y Mantenimiento predictivo con hardware de código abierto.

## 4. Caso de estudio: Aplicación en la industria de packaging alimenticio

### 4.1. La Empresa

El contexto en el cual se desarrolla la aplicación es la empresa Packall S.A. (nombre fantasía). Esta empresa se dedica a la fabricación de film de PVC. Los diferentes productos que produce la empresa son bobinas de film de PVC que se caracterizan por el tamaño y el espesor, así por ejemplo, bobinas de diferente tamaño dan lugar a productos diferentes. Otros productos que produce la empresa son bobinas de papel aluminio, y papel manteca. La empresa es líder nacional y cuenta con elevados niveles de exportación de sus productos en comparación a la competencia. La empresa cuenta con 5 líneas de producción.

### 4.2. El proceso

El proceso de producción de un producto normalmente consiste en preparar una mezcla de resinas de PVC y plastificantes, los mismos son calentados hasta lograr un estado líquido. Posteriormente dicha mezcla es absorbida mediante sopladores los cuales generan una burbuja que en el otro extremo se aplasta y se cortan los bordes para poder así separarla. Por último, la película de film es depositada en los rodillos de tiro de la línea, aquí a la película, aun en caliente, se le aplica un esfuerzo mecánico para tensarla. Este esfuerzo mecánico permite obtener la textura, espesor y elasticidad del producto final. El proceso de producción de film de PVC incluye la unidad de tiro, esto es un conjunto de rodillos colocados en distintos puntos de la línea de producción que permiten tensar y afinar las películas de film se presenta en Fig. 4.



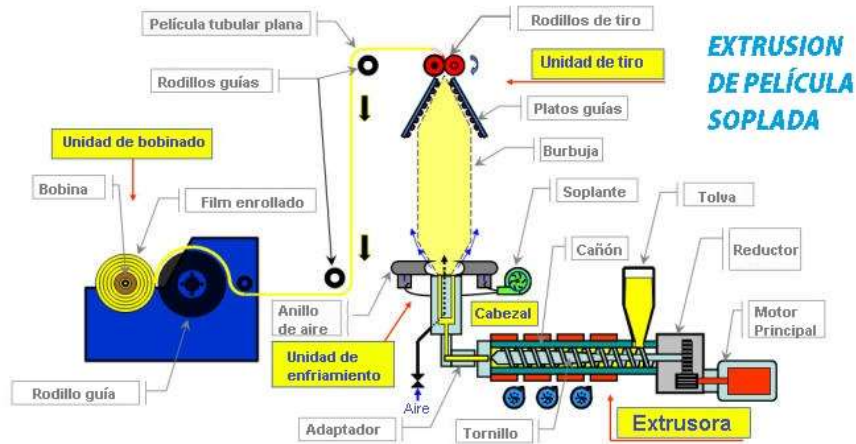


Fig. 4 Proceso de fabricación de film de PVC

#### 4.3. El Problema

El problema que se aborda en este trabajo es el que se presenta en el proceso de producción cuando la bobina de semielaborado al pasar por la unidad de tiro se corta. La principal causa que ocasiona este corte indeseado es el desfasaje en las velocidades de los motores que componen la unidad de tiro. Este desfasaje produce que las películas de film se tensen por arriba de los límites mecánicos del material (punto de corte) y se produzca el corte de material. Como consecuencia de este fallo se debe reiniciar todo el sistema para poder continuar con la producción. Esta tarea implica, limpieza de los distintos componentes, reemplazo de filtros y setup de todos los componentes de la línea de producción. Todas estas tareas producen pérdidas para la empresa tales como horas hombres necesarias para el retrabajo, scrap (material de descarte) y materia prima. La motivación de este trabajo es contribuir a la reducción de este tipo de fallos con el objetivo de mejorar la eficiencia del proceso de producción.

#### 4.4. La solución propuesta

Se propone el desarrollo de un dispositivo Poka-Yoke, provisto de un artefacto de hardware y software de código abierto. Dicho artefacto permite sensor la velocidad de los motores permanentemente y enviar los datos capturados al sistema de trazabilidad de velocidad, con el fin de ir generando un registro histórico y de aplicar funciones de análisis y transferencia de datos.

La solución involucra un dispositivo de hardware abierto junto a un sistema de registro y trazabilidad de velocidades para la producción de film de PVC denominado "RTV Film". Este sistema está basado en la recolección y tratamiento de datos provenientes de sensores ubicados en diferentes motores. La información de los diferentes

sensores es tratada con diferentes funciones matemáticas para ayudar a la determinación a priori de fallos en las máquinas y solicitar el necesario mantenimiento, lo cual permite el desempeño de la función Poka-yoke de inspección del proceso y posterior acción preventiva.

A través de un sistema online, se puede ingresar parámetros de velocidades óptimas, y a través de algoritmos el sistema puede ir alimentando un dispositivo Andón, el cual con el color verde indica que hay un funcionamiento óptimo y con el color rojo indica la necesidad de una intervención inmediata para resolver un mal funcionamiento, en este caso es el mal funcionamiento de algún motor si se detecta una velocidad fuera de los rangos de “óptima”.

El mismo sistema de trazabilidad de velocidades a través del registro histórico puede ir anticipando fallos en los motores a fin de informarlos para invocar la función de Mantenimiento Preventivo, esta función informa cuando es necesario el mantenimiento preventivo a la función Andón para que se active la señal lumínica amarilla.

#### 4.5. Prototipo – Arquitectura inicial

La solución propuesta utiliza Arduino como elemento principal, este componente se utiliza para obtener las diferentes señales provenientes de sensores de velocidad de los motores que mueven la unidad de tiro. Luego, estos datos se transforman en información que se almacena en una base de datos, estos luego de ser almacenados en una base de datos local, son mostrados a través de un tablero de comandos que se visualiza en la pantalla de quien hace el control de mantenimiento preventivo. Es decir, se puede visualizar la velocidad en tiempo real de los sensores, y también gráficos estadísticos asociados que permiten determinar potenciales fallos. A continuación en Fig. 5 se presenta la arquitectura inicial del prototipo de RTV Film.

Componentes de la arquitectura:

- Motor: Realiza la rotación de los rodillos de tiro en la línea de producción.
- Sensor Magnético: Permite tomar las revoluciones por minuto de cada rodillo acoplado a un motor mediante el censado de un imán.
- Base de Datos: Permite el almacenamiento de datos recaudados por el Arduino y enviados al servidor.
- Servidor: Realiza la recepción de datos que provienen de la placa Arduino, y algunos parámetros que son ingresados por teclado y los almacena en la base de datos, también aloja el sistema web que servirá para mostrar y procesar dichos datos.
- Arduino: recibe datos enviados de los módulos y sensores, utilizando las herramientas que el Arduino IDE trae en su diseño y al recibir estos datos, determinada la instrucción correspondiente y enciende la luz del semáforo correspondiente.
- Módulo de Interfaz Representa la conexión funcional entre Arduino y el Servidor permite el envío y recepción mediante Ethernet.
- PC: Permite visualizar el sistema web que contiene la información mediante la cual se presentan los datos de diferente manera.

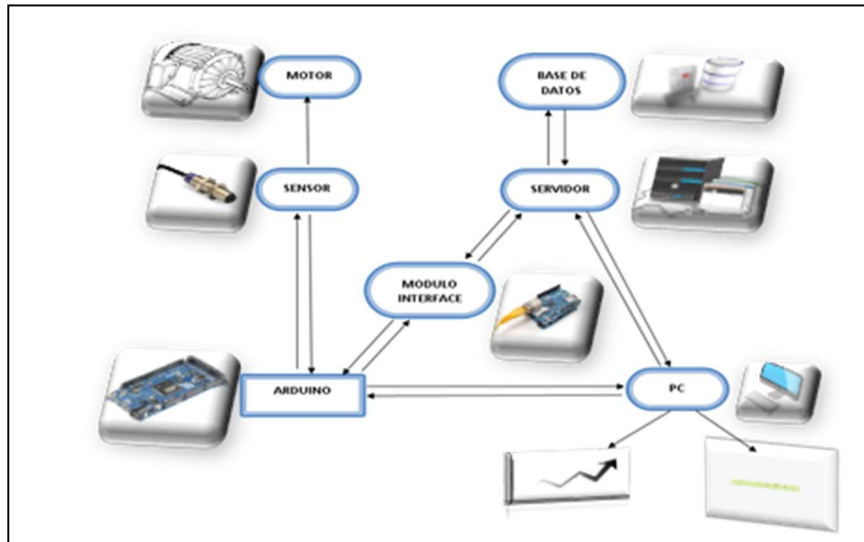


Fig. 5 Arquitectura Inicial

## 5 Resultados

Se presenta a continuación el primer prototipo realizado. En Fig. 6 se muestra el montaje de la placa Arduino con el motor de prueba, el sensor magnético y las salidas que emite a través de LED. En Fig. 8 se muestra una porción de código asociado al dispositivo, en esta parte se muestra la manera en que se hace la transferencia de datos al servidor.

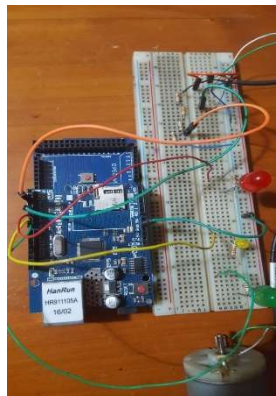


Fig. 6 Primer prototipo

```

void subirdatos(){
//mostramos el valor por serial para visualizarlo
Serial.print(valor2); //mostrar el valor en Monitor
Serial.println(" oC");
// Proceso de envio de muestras al servidor
Serial.println("Connecting...");
if (client.connect(server, 80) // Conexion con el servidor especificamos el puerto 80
{
  client.print("GET /arduino/enviar.php?valor="); // Enviamos los datos por GET
  client.print(valor2);
  client.println(" HTTP/1.0");
  client.println("User-Agent: Arduino 1.0");
  client.println();
  Serial.println("Conectado");
  Serial.println("el dato se guardo!!!");
  valor2="";
  Serial.println("el buffer se vacio");
}
else
{
  Serial.println("Fallo en la conexion");
}
if (!client.connected())
{
  Serial.println("Disconnected!");
}
client.stop();
client.flush();
//delay(5000); // Espero un minuto antes de tomar otra muestra
    
```

Fig. 7 Fragmento de código de Arduino

A continuación se presentan algunas pantallas de la aplicación web asociada, en Fig. 8 se pueden ver la salida en tiempo real de los datos capturados por el dispositivo en un esquema donde se representan los motores que son monitoreados en un esquema de layout. En Fig. 9 se muestra las velocidades de los diferentes motores en una línea de tiempo.

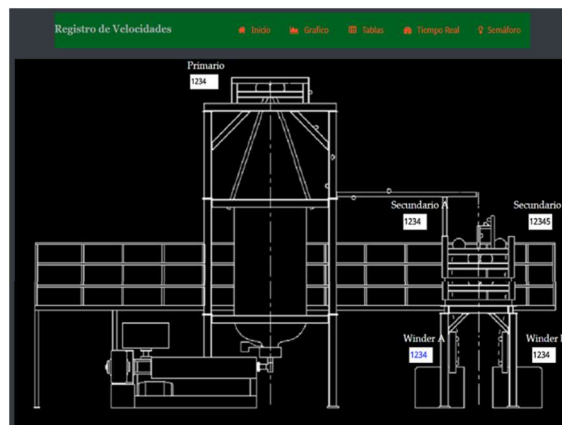


Fig. 8 Interfaz del sistema. Layout.

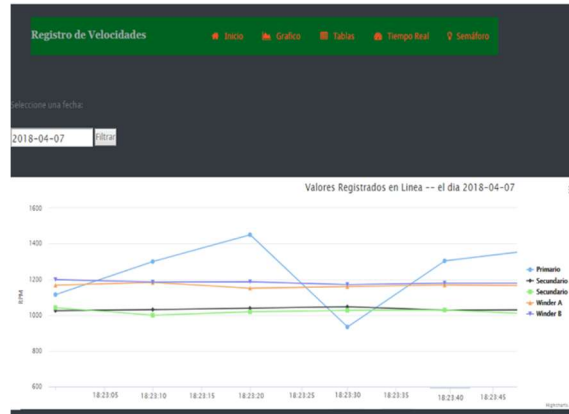


Fig. 9 Representación gráfica de un histórico de datos.

## 6. Conclusiones y Trabajos futuros

En este trabajo se ha propuesto un marco de referencia, para el desarrollo de dispositivos de Poka-yoke, Andón y de asistencia al mantenimiento predictivo con hardware de código abierto.

El marco de referencia propuesto se validó con el desarrollo de un dispositivo con Arduino y un sistema web asociado para un proceso de fabricación de film de PVC que se describió en el apartado caso de estudio.

El dispositivo prototipado, pretende aportar una solución al difícil problema de desfase de velocidades, mediante un monitoreo permanente de las variaciones de velocidad de los motores. Con esta información se realiza un análisis con el objeto de anticiparse a un determinado problema que pueda surgir en la línea de producción y así de este modo actuar en consecuencia con el objeto de atenuar o eliminar los costosos daños que produce en el proceso de producción dicho problema.

Al presente, se realizaron pruebas en laboratorio con buenos resultados y se está gestionando la implementación en la planta de producción donde podrá evaluarse en un contexto real.

Como trabajos futuros se propone:

- Perfeccionar el prototipo y llevarlo a producto terminado que pueda configurarse para dominios de aplicación similares, se sabe que hay situaciones similares en líneas de papel de aluminio, papel manteca, producción textil, por ejemplo.
- Desarrollar nuevas aplicaciones del marco de referencia en diferentes dominios con el objeto de mejorar el mismo y dotarlo de algoritmos e inteligencia para capturar otro tipo de datos y hacer mejor uso de los mismos.

## Referencias

1. Oviedo, S, Diaz, D., Otazu, A. and Ibañez, F. Tecnologías de Código Abierto para Creatividad e Innovación en Informática.. LACLO 2014- IX Conferencia Latinoamericana de Objetos y Tecnologías de Aprendizaje. Colombia. Manizales., 2014.
2. Davidson, S. Open-source hardware. IEEE design & test of computers, pp. 456-456, 2014.
3. Goldberg, L. Arduino Open Source Platform. Unleash es Creativity, 2011.
4. I. Electrónica. Acerca de Arduino, 2009.
5. Crespo, J. Sensores, actuadores y periféricos. 2018.
6. Wikipedia, Raspberry-Pi, [https://es.wikipedia.org/wiki/Raspberry\\_Pi](https://es.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi). Accedido 30-abril-2018, 2018.
7. Shingeo, S. Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-Yoke System: Volume 3. Routledge, 1086
8. Perez Ortiz, H. El impacto de Lean Six Sigma en organizaciones latinoamericanas y sus factores críticos de éxito. Tesis doctoral. Universidad Antropológica de Guadalajara, 2016
9. Cabrera Calva, R. C. Manual de Lean Manufacturing/TPS Americanizado [https://www.academia.edu/5205722/Manual\\_de\\_Lean\\_Manufacturing\\_TPS\\_Americanizado](https://www.academia.edu/5205722/Manual_de_Lean_Manufacturing_TPS_Americanizado). 2014.
10. Wikipedia, Mantenimiento Predictivo. [https://es.wikipedia.org/wiki/Mantenimiento\\_predictivo](https://es.wikipedia.org/wiki/Mantenimiento_predictivo), vol. Visto 30-abril-2018, 2018.