

NUEVAS TECNOLOGÍAS EN MANIPULADORES INGRÁVIDOS: MANIPULADOR INGRÁVIDO 4.0 (MINIon 4.0)

Antonio Enrique Corral Vicente, Fundación CARTIF, Parque Tecnológico de Boecillo, Parcela 205, 47151, Boecillo, Valladolid, España, antcor@cartif.es

Eduardo Julio Moya de la Torre, Instituto de las Tecnologías Avanzadas de la Producción, ITAP. Escuela de Ingenierías Industriales, Paseo del Cauce 59, Valladolid, 47011, España. edumoy@eii.uva.es

Resumen

En este trabajo se presenta el desarrollo de un sistema embebido que permite introducir en la industria 4.0 a equipos antiguos con una larga vida útil, como en este caso un manipulador ingrávigo.

Se ha dotado a un manipulador ingrávigo la posibilidad de que detecte automáticamente el peso de la carga acoplada al mismo, sin la necesidad de una configuración previa.

Para ello se ha desarrollado un prototipo dividido en dos partes: la primera se basa en un Arduino para el control y la toma de datos con el apoyo de una Raspberry Pi para dar la conectividad de las que Arduino carece y la segunda se trata de un servicio web para con un HMI para la interacción entre el operario y el manipulador y una dashboard de configuración, visualización y explotación de los datos recabados.

Palabras clave: manipulador ingrávigo, R, Shiny, Plot.ly, Industria 4.0, IoT, Análisis Estadístico.

1 OBJETIVO

Se pretende crear un prototipo para dar a los manipuladores ingrávigos mejores prestaciones en línea con los nuevos requisitos de conectividad impuestos por los conceptos de Industria 4.0 implantados en la actualidad.

El objetivo principal de este trabajo es el desarrollo de tecnologías 4.0 que permita a equipos semiautomáticos de manipulación en entornos industriales configurarse de forma rápida, integrándose completamente en el entorno digital de producción, incluyendo un entorno de asistencia HMI para el operario.

El desarrollo está orientado a dotar a un manipulador de piezas de las tecnologías de comunicación, en cuanto a hardware y software, necesarias para poder integrar a la máquina en el entorno digital de la industria en la que se instale. A su vez, se pretende aprovechar esta integración de la máquina en el entorno para conseguir que el manipulador se

configure de forma rápida en función de la orden de trabajo recibida, permitiendo tanto el control de si el útil que se va a colocar en el manipulador es el adecuado para el trabajo a realizar, como la configuración automática del peso y dimensiones de la pieza con la que se va a trabajar.

Objetivos específicos:

- Efectiva integración de un dispositivo manipulador de cargas en el entorno digital de la empresa, considerando como tal la conexión y el intercambio de información con el sistema ERP o, en su caso, sistema de gestión de producción, disponible.
- Integración con el sistema de órdenes de producción de la empresa. De esta forma, en todo momento el dispositivo manipulador conocerá la siguiente acción que tiene que realizar según la planificación del sistema de producción de la empresa. Se pretende que el propio dispositivo pueda informar al operario de cuál es el correcto útil que tiene que colocar en la máquina.
- Autoconfiguración del dispositivo manipulador, en lo que se refiere al peso y las dimensiones de la pieza a manipular y al método y las características del agarre que requiere la operación. Actualmente, la mayoría de estos dispositivos requiere de una configuración manual por parte del operario de todos estos parámetros, con la consiguiente necesidad de tiempo y posibilidad de errores que este tipo de operación manual requiere. Por tanto se pretende eliminar la necesidad de este tiempo de configuración por parte del operario y, de manera intrínseca, evitar cualquier error en la configuración.
- Interacción con el operario a través de la colocación en el dispositivo de una interface HMI. Esta interface servirá para guiar al operario en la operativa de su trabajo diario. Este objetivo persigue aprovechar el hardware a instalar en el dispositivo para la formación y el guiado del operario en sus tareas, intentando así evitar errores en el trabajo.
- Automatización del registro de operaciones y de trazabilidad. La intercomunicación con el ERP de la empresa, o sistema de gestión, permitirá también informar al mismo de las operaciones realizadas por el dispositivo junto con la

identificación de las piezas empleadas, registrando horas exactas de las operaciones y permitiendo el cálculo de los tiempos efectivos de trabajo del dispositivo.

- Herramienta para la configuración de las interfaces HMI, así como para la visualización y explotación de los datos recabados por la interface HMI. Se persigue la explotación de los datos y ser el punto de partida de una simulación de la línea productiva.

2 PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO

Para el desarrollo del prototipo propuesto, se emplea un dispositivo manipulador ya construido. Actualmente, el manipulador que se empleará para la construcción del prototipo es configurado manualmente para el uso de un útil, un peso determinado y unas conexiones y operaciones específicas en cada caso, exigiendo un proceso de configuración manual cada vez que cambia alguno de los parámetros.

Para conseguir que el manipulador descrito alcance los objetivos marcados, se pretende dotar al mismo de un sistema embarcado inteligente conectado a una pantalla integrada en el manipulador para la interface HMI [14]. El sistema a desarrollar deberá contener una parte hardware y otra parte software.

En cuanto al hardware, el sistema estará dotado de la capacidad de procesamiento necesaria para soportar toda la lógica involucrada en el proceso, en tres líneas: comunicación con el ERP, comunicación con el operario a través de la interface HMI y conexionado con el manipulador y sus sensores para el control y registro de operaciones y estados.

En cuanto al software, se deberán desarrollar todas las funcionalidades necesarias para dar soporte al desarrollo hardware del sistema. En primer lugar, se deberán incluir funcionalidades de comunicación con el sistema ERP [7]. Por otro lado, deberán desarrollarse las funcionalidades de comunicación tanto con el operario como con el manipulador para conseguir alcanzar los objetivos propuestos.

3 DISEÑO GLOBAL DEL SISTEMA

3.1 DISEÑO DEL CONTROL, CAPTURA DE DATOS Y COMUNICACIÓN CON LA BASE DE DATOS

Mediante el siguiente diagrama, Figura 1, se pretende dar una aproximación general del sistema de control y captura de dato. Se representan las distintas entradas de los sensores y la botonera del manipulador al

Arduino [8], así como de las salidas a la válvula que controla la calibración como la comunicación con la base de datos.

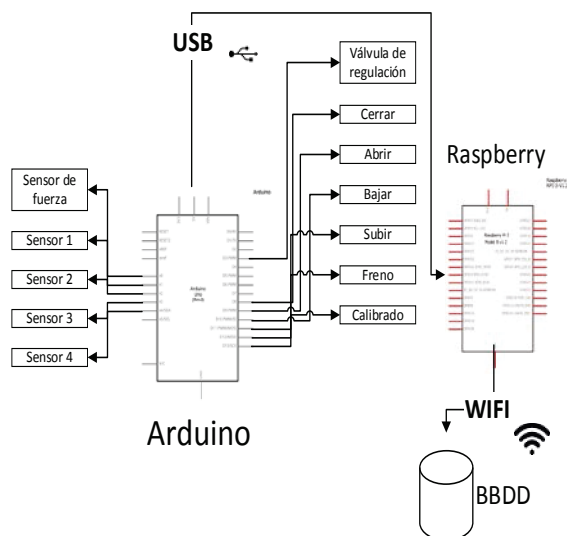


Figura 1: Aproximación del diseño de control, captura de datos y comunicación con la base de datos

3.2 TERMINAL

Mediante el siguiente diagrama, Figura 2, se pretende dar una aproximación general del sistema del terminal. Se pueden ver las distintas opciones que se le ofrecen al usuario para la operación del terminal, así como la preconfiguración del mismo desde el servidor.

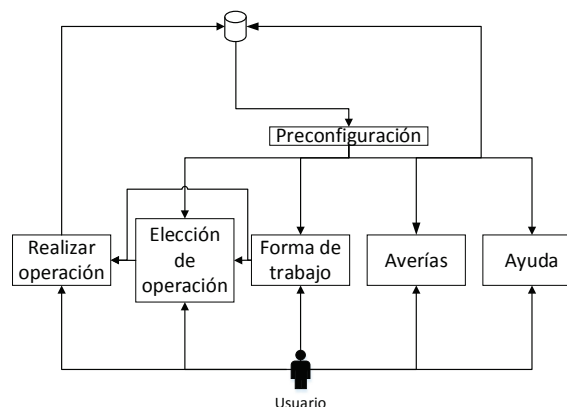


Figura 2: Aproximación del diseño del terminal

3.3 DASHBOARD DE EXPLOTACIÓN

Mediante el siguiente diagrama, Figura 3, se pretende dar una aproximación general el dashboard [5] [9] de explotación. Se pueden diferenciar, mediante distintos módulos, como el usuario puede interactuar con el sistema:

- Módulo de configuración
- Módulo de visualización de datos
- Módulo de análisis de datos

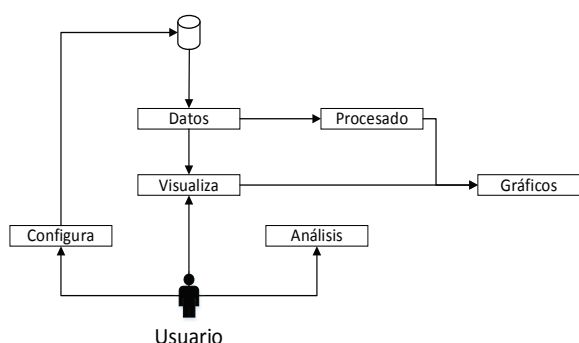


Figura 3: Aproximación del diseño

3.4 MODELO DE DATOS

También es necesario definir las necesidades de almacenamiento de los datos [15]. El uso de modelado de datos permite organizar los datos de una manera rápida y sencilla en una base de datos.

La representación de los datos, que estarán en el sistema, se realiza mediante un diagrama Entidad-Relación, Figura 4, que permite mostrar la definición de entidad y las relaciones entre los datos.

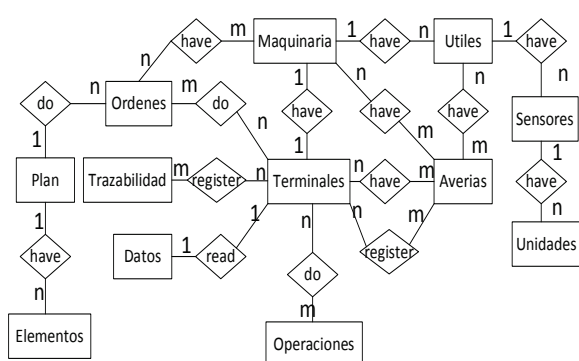


Figura 4: Diagrama Entidad-Relación

3.5 BASE DE DATOS: INTERCAMBIO

La integración entre las dos bases de datos se realizará a través de tablas intermedias en SQL, donde ambos programas intercambiarán datos [8]. Dichas tablas se localizarán en la base de datos de uno de los sistemas y el otro. Las entidades de intercambio de información vienen definidas por el gráfico, Figura 5. Y para facilitar la integración los atributos de las entidades serán los mismos que los de la base de datos de la que provienen.

4 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA SOLUCIÓN

4.1 Descripción funcional del sistema

Este sistema tendrá que ser capaz de:

- Controlar y operar un manipulador ingravido

- Guiar al operario en sus labores diarias de producción
- Comunicarse con el sistema de gestión o ERP de la empresa
- Debe poder ser configurado
- Debe presentar la información recogida por el sistema de una forma sencilla
- Debe realizar un análisis sobre los datos recogidos, dando como resultado una distribución de probabilidad.

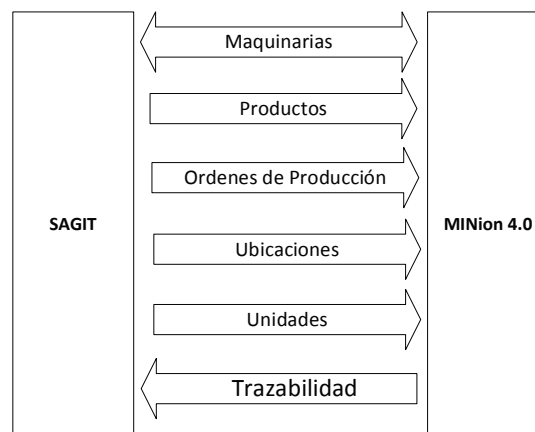


Figura 5: Diagrama de entidades de intercambio

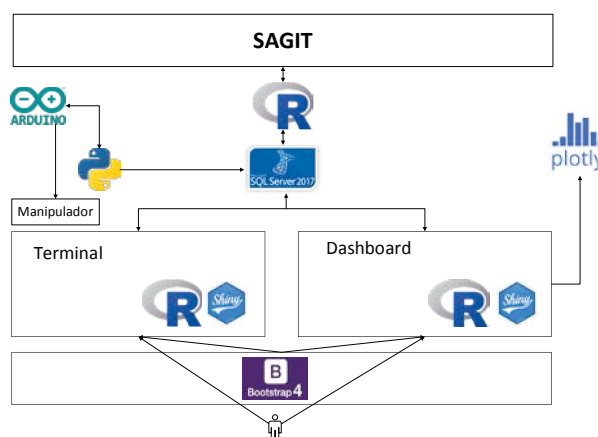


Figura 6: Diagrama general del sistema con las tecnologías aplicadas

El sistema puede ser dividido y estudiado desde cada una de las partes que lo componen. Sobre el diagrama general planteado en la fase de diseño se indican las tecnologías para la implementación de la aplicación, Figura 6:

4.2 CONTROL, TOMA DE DATOS Y COMUNICACIÓN CON LA BASE DE DATOS

Este subsistema está formado por un Arduino, que es el cerebro de este subsistema, una Raspberry, la botonera de operación del manipulador y la base de datos.

El Arduino debe ejecutar varios modos de operación del manipulador ingrávido y sus diferentes lógicas de control asociadas, necesarias para lograr que un manipulador ingrávido sencillo pueda auto calibrar la carga conectada a su pinza o agarre.

El diagrama de bloques de control, Figura 7, que se propone es el siguiente:

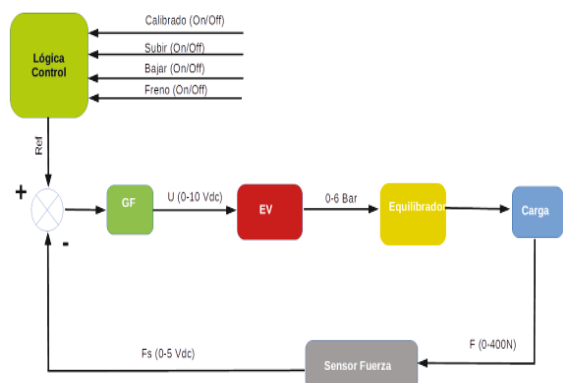


Figura 7: Diagrama de bloques de control

El bloque de lógica de control será el encargado de seleccionar el modo de operación del manipulador en función de las señales de la botonera y los diferentes sensores instalados en el manipulador. Se han definido 5 modos de operación del manipulador ingrávido:

- **Modo Arranque:** en este modo se acaba de alimentar al manipulador y este hará un arranque seguro de todo el sistema.
- **Modo Calibrado:** Se procede a auto calibración de la carga conectada a la pinza del manipulador por orden del operario.
- **Modo subir:** El manipulador eleva la carga por orden del operario.
- **Modo bajar:** El manipulador baja la carga por orden del operario.
- **Modo freno:** El manipulador queda estático en una posición y no realizará ninguna acción hasta que no se desbloqueen los frenos.

Para poder enviar la información del modo en el que se encuentra el manipulador como de la carga como de los valores de los sensores que pudiera tener el útil acoplado al manipulador, en cada ciclo del programa se hace un envío de esta información.

4.3 TERMINAL

El terminal debe permitir el registro de los datos de trazabilidad, así como el guiado de las tareas que debe realizar el operario. Además, este debe poder ser preconfigurado para facilitar la operación del terminal.

El terminal muestra en todo momento el estado del manipulador, el modo de funcionamiento en el que se encuentra, recuperando esta información de la base de

datos. Esta información se encuentra siempre disponible en la parte izquierda del terminal. En la parte izquierda se muestran los botones que aportan la funcionalidad al mismo.

4.4 DASHBOARD DE EXPLOTACIÓN

La dashboard de explotación permite la configuración de todos los elementos del sistema, como la visualización de los históricos de productividad y de averías de los manipuladores.

Por último, la parte de análisis de datos [6] [7], debe permitir hacer un ajuste de las series temporales para ajustarlas a las distintas distribuciones y poder utilizar esa información en un software de simulación para la obtención de un gemelo digital. El análisis se realiza sobre el tiempo de producción el tiempo de preparación del manipulador, tiempo en el que se cambia el útil de trabajo, y sobre las distintas averías [13] [16].

Para el intercambio de información es necesario a llegar a un preacuerdo de que información es la que se va a quedar en que sistema, en este caso, la información permanecerá en los dos sistemas, pero la información que proviene del terminal, toda la información recogida en la tabla de trazabilidad es trasladada a SAGIT.

4.5 COMUNICACIÓN CON SAGIT

La comunicación con SAGIT, o con cualquier ERP o el sistema de gestión que tenga la empresa, se hace a través de una base de datos. Esta base de datos está compuesta por tablas intermedias donde se escribe y se lee toda la información compartida. Previamente se han de decidir la información que es necesaria para el intercambio de datos.

5 DESCRIPCIÓN TÉCNICA

5.1 IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL, CAPTURA DATOS Y COMUNICACIÓN

La implementación del control del manipulador consiste en un en la programación de un programa en Arduino. Este programa permite la implementación de la lógica de los estados del sistema además de la medición del sensor de fuerza, la autocalibración y la comunicación.

No se ha encontrado ningún módulo comercial que adapte las señales de entrada de 24Vdc a 5Vdc, que es la tensión soportada por Arduino [1]. Así que se diseñará una pequeña tarjeta con el siguiente esquema en las entradas. Figura 8.

Arduino no proporciona por sí mismo una señal analógica, sino una señal digital de ancho de pulso modulable PWM, que además es de 5 Vdc. La electroválvula necesita una señal analógica de entre 0-10Vdc de consigna. Tampoco se ha encontrado ningún módulo comercial, así que se ha optado por diseñar la adaptación de esta señal, Figura 9.

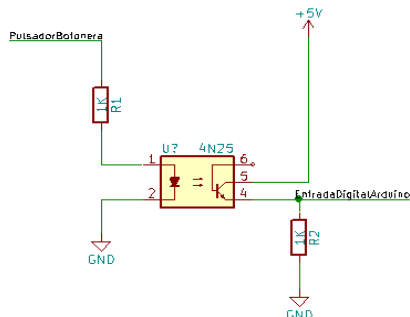


Figura 8: Esquema entrada optoacopladora

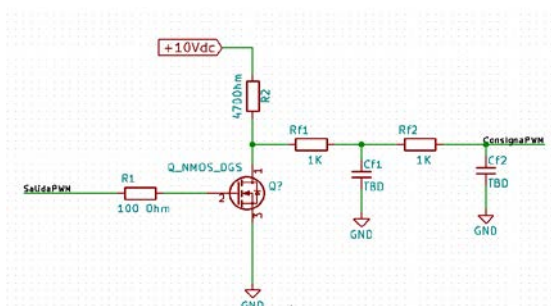


Figura 9: Esquema salida analógica

La captura de datos se hace a través de Python [5] [10] que se ejecuta al iniciarse el terminal. Este script está configurado habilitar la conexión con Arduino y permita su funcionamiento. Este script es también el encargado de la comunicación con la base de datos insertando los datos del estado del manipulador y los datos capturados por los sensores.

A modo de esquema, se presenta a continuación un diagrama de conexionado, Figura 10.

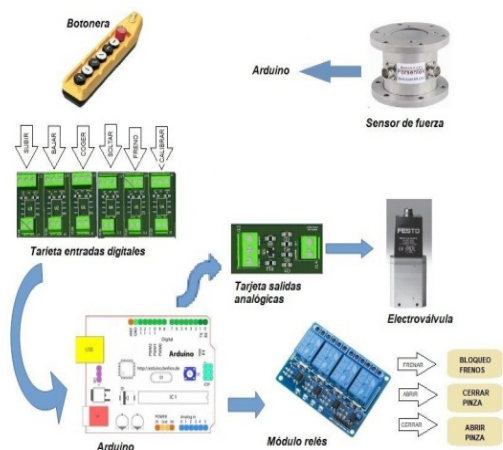


Figura 10: Diagrama de conexionado

5.2 TERMINAL

A continuación, se presentan las pantallas del terminal y su funcionalidad, Figura 10. De forma resumida, las pantallas son:

- Bienvenida
- Inicio
- Operaciones
- Ordenes
- Averías
- Ayuda

Cada botón da acceso a una pantalla del HMI [15] del terminal. El botón inicio que da acceso, en la parte central del terminal, a la información de la tarea u operación que se está llevando a cabo.

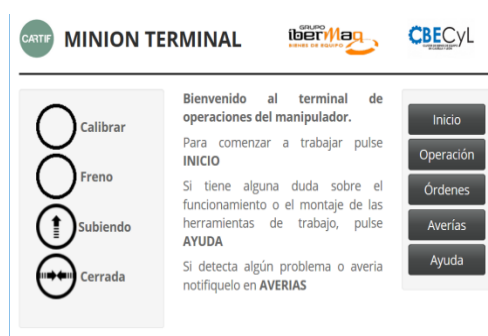


Figura 10: Pantalla de bienvenida

El botón de operaciones, que hace desplegar en la parte central del terminal la elección de las dos operaciones que puede realizar el manipulador. Si se está trabajando con órdenes de producción no es necesario elegir la operación ya que viene implícita en la orden. Si se está trabajando sin orden se debe elegir una de las dos operaciones. Si se elige la operación de mover contenedor, hay que indicarle al sistema el útil que se va a utilizar y la ubicación donde irán los contenedores, si se elige la operación de volcado en línea se deberá indicar el útil que se va a utilizar y el proceso donde se va a realizar la operación.

El botón órdenes, que permite elegir entre trabajar con órdenes de producción o sin ellas.

El botón averías, que permite notificar al sistema detecte un fallo en el manipulador, el útil o el propio terminal y el botón de Ayuda, donde aparecen los manuales del terminal, los manuales del útil y del manipulador.

5.3 DASHBOARD DE EXPLOTACIÓN

A continuación, se presentan las pantallas, Figura 11, de la dashboard de explotación y la funcionalidad de cada una de las partes que la componen.

De forma resumida, las pantallas son:

- Inicio
- Configuración
- Visualización de datos
- Análisis de datos
- Léeme
- Acerca de

La parte de configuración permite configurar todos los elementos del sistema, así como asociar los elementos entre sí. Mediante los distintos submenús se pueden configurar las maquinarias, los útiles, y los terminales.

La parte de visualización de datos [9] comprende la visualización de los estados de los manipuladores en el sistema, la visualización de los históricos de productividad y de averías de los manipuladores.

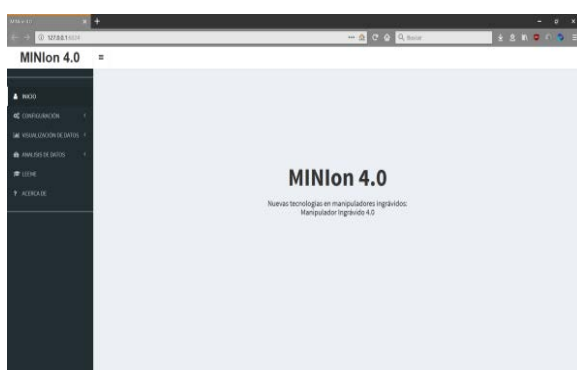


Figura 11: Pantalla inicio

Por último, la parte de análisis de datos [16], que permite hacer un ajuste de las series temporales para ajustarlas a las distintas distribuciones y poder utilizar esa información en un software de simulación para la obtención de un gemelo digital.

5.4 IMPLEMENTACIÓN DE LA INTEGRACIÓN CON UN ERP ENVÍO DE DATOS SAGIT → MINION 4.0

En SAGIT [3] existirán determinadas entidades que poseerán integración con SAGIT. Cada vez que se registre un tanto una nueva orden de producción o un nuevo plan de producción, se procederá a activar la sincronización. Para ello, se rellenarán las tablas de integración de la cabecera y las líneas relacionadas con cada una de órdenes generadas.

La sincronización de los productos manejados por ambos sistemas se hará de forma distinta, debido a las características particulares de estos datos. Una sincronización automática de esta entidad de datos no resultaría efectiva, debido principalmente a que los datos de productos comunes a ambos sistemas son escasos, es decir, para un funcionamiento correcto, ambos sistemas no requieren de la misma información.

Por este motivo, se establece como opción de sincronización para los productos el diseño de una herramienta de importado de productos en SAGIT. De esta forma, SAGIT proveerá a MINion 4.0 todos los productos que hayan sido creados o modificados desde la última sincronización de productos para su incorporación o actualización en MINion 4.0.

Es necesario hacer notar en este punto que, inevitablemente, este proceso de integración requerirá, en ambos sistemas, la eliminación de ciertas posibilidades de modificación de los datos existentes en ellos, para asegurar la correcta y continua integridad de los datos sincronizados entre ambas.

5.5 RECOGIDA DE DATOS MINION 4.0 → SAGIT

La sincronización de los datos traspadados desde MINion 4.0 a SAGIT se realizará en diferentes momentos según la entidad a traspasar. Los productos se sincronizarán de forma manual por parte del personal de SAGIT. En el apartado de Configuración General, sección Productos se dispone de la opción de “Actualizar Productos”. De forma similar se hará con las entidades maquinaria, unidades, ubicaciones y operaciones.

La recepción de los datos está a cargo de R [11] [2], monitorizando los flags en la base de datos. Dependiendo del estado del flags actuara de una manera u otra. Se traspasará información desde MINion 4.0 a SAGIT en dos casos distintos:

- Al modificar alguno de los atributos comunes en la tabla de Maquinaria. En este caso se hará la misma modificación en el mismo registro de la base de datos de intercambio.
- Cuando se registren nuevas operaciones realizadas en la tabla de trazabilidad. Esta tabla se actualizará conforme se produzcan las operaciones, simplemente duplicando el registro en ambas tablas. Sera SAGIT el encargado de como incorporarla información recogida en la tabla y trasladarlo a su sistema. En este caso, SAGIT dispone de toda la información para realizar la misma operación que se realiza en el manipulador de forma automática, pudiendo emular los trabajos en la realidad.

6 CONCLUSIONES

La integración con un sistema de real, manipulador ingrávido, ha sido un requisito clave en este desarrollo. La posibilidad de trabajar con un sistema real, ha sido clave para recopilar los requisitos y determinar los límites a los que es posible llegar.

Además de intentar utilizar cualquier equipo de bajo

coste y de distribución libre para mejorar su atractivo al mercado y mejorar la mantenibilidad. Para ello se incorporó un elemento de tiempo real, Arduino, como el cerebro para el control de la máquina. Debido a sus limitaciones de comunicación, se añadió una Raspberry que cumple una doble función, tanto ser el portavoz del Arduino como ser el terminal del manipulador.

Como en todo sistema, el control en la entrada de datos es fundamental, por ello se tuvo muy presente que era necesario poder capturar la información durante el mismo proceso de trabajo e introducirla en el sistema con la mayor brevedad posible. Esto conlleva a reducir los errores por parte de los operarios.

El diseñar una interfaz agradable y práctica que permita su utilización tanto en equipos de escritorio como desde dispositivo móviles ha sido también uno de los objetivos más importantes, ya que una aplicación no solo tiene que ser funcional, sino también visualmente agradable y usable.

Para ello se optó por usar Bootstrap, uno de los frameworks css más usados hoy en día, y gracias su fácil integración con Shiny [14] [15]. Han permitido implementar dos interfaces distintas que se pueden visualizar en distintos dispositivos. La creación de un sistema de comunicación con SAGIT fue tenido muy en cuenta durante la fase de diseño y en modelado de la base de datos (Modelo de datos), así como durante la fase de implementación y validación.

En la implementación del terminal, siempre se tuvo la posibilidad de la autoconfiguración. Esto es un efecto de la implantación real del sistema, cada implantación del mismo sistema es distinta y cada caso tiene muchas particularidades. Al implementar este aspecto el terminal hace que sea más robusto y adaptable a cualquier situación.

Dentro de posibles ampliaciones o líneas futuras, existe la posibilidad de ampliar el alcance del uso de la herramienta es posible ya que los usuarios que la utilizan no tienen la necesidad de adquirir licencias ni de instalar ningún software adicional. Además, los elementos que componen el sistema se han seleccionado para dar como resultado un sistema de bajo coste.

Con esta versión del manipulador, el operario tiene que mover manualmente la carga a través de los agarres de la misma. Una mejora importante de un sistema de este tipo sería dotar al manipulador de un joystick que pudiera manejar el operario. Con el joystick se detecta la intención del movimiento que quiere que el operario realice la carga sujeta en el manipulador ingrávulo. A través de esta señal y mediante una implementación de control háptico se podrían mandar las consignas necesarias a la electroválvula para que

se ejecuten los movimientos deseados por el operario con un esfuerzo mínimo, Figura 12

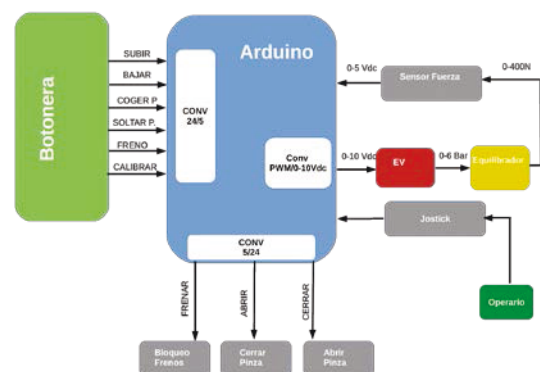


Figura 12: Descripción del nuevo sistema

NEW TECHNOLOGIES IN PNEUMATIC MANIPULATOR: PNEUMATIC MANIPULATOR 4.0 (MINION 4.0)

Abstract

In this work is presented the development of an embedded system that allows to introduce in Industry 4.0 to old equipment with a long useful life, as in this case a pneumatic manipulator. A pneumatic manipulator has been given the ability to automatically detect the load weight attached to it, without the need for a previous configuration. For this purpose, a prototype has been developed divided into two parts. The first is based on an Arduino for control and data collection, with support of a Raspberry Pi to give the connectivity Arduino lacks. The second one is a web service for an HMI for the interaction between the operator and the manipulator and a dashboard for configuration, visualization and exploitation of the data collected.

Keywords: pneumatic manipulator, R, Shiny, Plot.ly, Industry 4.0, IoT, Statistical Analysis.

Referencias

- [1] Arduino. (30-06-2019). [En línea]. Available: www.arduino.cc.
- [2] Bande, M. F., (2006) Practicas de Estadística en R.
- [3] Cartif. (30-06-2019). [En línea]. Available: <https://www.cartif.com/>.
- [4] Desarrollo Web. (30-06-2019). [En línea]. Available: <https://desarrolloweb.com/articulos/1325.php>.

- [5] Github. (30-06-2019). [En línea]. Available: <https://github.com/>.
- [6] Kabacoff, R. I., (2009) R in Action Data analysis and graphics with R, Manning Publications Co, 2009.
- [7] Kabacoff, R. I., (2016) R in Action. Second Edition.
- [8] Moraleda, A. U., y C. M. Villalba, (2010). Introducción al análisis de datos con R, 2010.
- [9] Plotly. (30-06-2019). [En línea]. Available: <https://plot.ly/r/>.
- [10] Python. (30-06-2019). [En línea]. Available: www.python.org.
- [11] R Project. (30-06-2019). [En línea]. Available: <https://www.r-project.org/>.
- [12] Roger P., y S. Pressman, (2006). Ingeniería del software, Mc Graw Hill.
- [13] Rstudio. (30-06-2019). [En línea]. Available: <https://shiny.rstudio.com/>.
- [14] Shiny Server. (30-6-2019). [En línea]. Available: <https://www.rstudio.com/products/shiny/shiny-server/>.
- [15] Shiny Server v1.5.7 (2018). Configuration Reference.
- [16] Teetor, P. (2011). R Cookbook, O'Relly.



© 2019 by the authors.
Submitted for possible
open access publication
under the terms and conditions of the Creative
Commons Attribution CC BY-NC-SA 4.0 license
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>).