

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Diseño de un sistema de monitoreo remoto para la supervisión de
producción en plantas industriales

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero en Electricidad especialización Electrónica y
Automatización Industrial**

Presentado por:

Erick Javier Mejía Torres

Walther Enrique Durán Oscuez

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

DEDICATORIA

A mis padres, Javier Mejía y Mónica Torres, quienes con la guía de Dios nos llevó a terminar esta etapa de la vida.

Erick Mejía Torres

El presente proyecto lo dedico a mis padres y hermanos.

Walther Durán Oscuez

AGRADECIMIENTOS

Las grandes cosas se las hace en equipo. Nuestros sinceros agradecimientos al PhD. Douglas Plaza y al Ing. Livingston Miranda por la confianza depositada en nosotros con los equipos del Laboratorio de Control de Procesos, y nuevamente a Livingston por el aporte diario a este proyecto.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Erick Mejía Torres y Walther Durán Oscuez damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Erick Mejía Torres

Walther Durán Oscuez

EVALUADORES

MSc. Janeth Godoy Ortega

PROFESOR DE LA MATERIA

MSc. Franklin Kuonqui Gainza

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

En las estaciones de trabajo de una planta industrial encontramos toda una gama de sensores y actuadores, que representan entradas y salidas para un controlador. Estas señales pueden ser utilizadas para generar información útil al personal encargado de supervisar el rendimiento de cada una de las estaciones.

La falta de información a nivel de planta tanto para administradores como supervisores y gerentes de la empresa puede llevar a tomar malas decisiones económicas. Por esta razón, este proyecto tiene como objetivo diseñar una plataforma web que permita la visualización de índices de producción en tiempo real utilizando tecnología del Internet de las cosas.

Con el fin de calcular *Key Performance Indicators* para el área de producción en base a las señales de campo de una planta industrial, se utilizó la pasarela de comunicación inteligente de Siemens IoT2040. Dentro de la misma se realizó la programación en Node-RED y se estableció comunicación con los demás dispositivos, permitiendo el procesamiento y transferencia de datos. Para mostrar la información requerida se diseñaron dos plataformas web, una alojada en el IoT2040 destinada a la administración local y otra en la nube para la supervisión de producción.

El presente proyecto ofrece una herramienta que permite la supervisión de producción desde el punto de vista administrativo, presentando *Key Performance Indicators*, costos de producción, planificación de producción y alarmas para indicar falta de materia prima.

Palabras Clave: Internet de las cosas, *Key Performance Indicators*, Producción, Plataformas web.

ABSTRACT

In the work stations of an industrial plant, the machinery has many sensors and actuators, representing inputs and outputs of the controller. These characteristics can be useful to generate useful information for the supervisor of the performance of each of the production stations.

The lack of information at the plant level for managers, supervisors and directors of the company can lead to bad economic decisions. For this reason, the objective of the project is to design a web platform that allows the visualization of production indicators in real time using the technology of the Internet of things.

To calculate Key Performance Indicators for the production area based on the field signals from an industrial plant, the Siemens IoT2040 intelligent communication gateway was used. Within the gateway it was programmed using Node-RED and communication is established with the other devices, allowing the processing and transfer of data. In order to show the required information, two web platforms were designed, one hosted on IoT2040 for local administration and another in the cloud for production supervision.

The present project offers a tool that allows the supervision of the production from the administrative perspective, showing Key Indicators of Performance, production costs, production planning and alarms to indicate lack of raw material.

Key Words: *Internet of Things, Key Performance Indicators, Production, Web Platforms.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ABREVIATURAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	viii
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Justificación del problema	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.2 Objetivos Específicos	2
1.4 Marco teórico.....	3
CAPÍTULO 2.....	8
2. Metodología	8
2.1 Servidor web sobre el controlador de la planta.....	8
2.2 SCADA	9
2.3 Software especializado para administración de producción	9
2.4 Node-RED	10
2.4.1 ¿Qué es Node-RED?	10
2.4.2 Node-RED en IoT2040.....	10
2.5 Indicadores de producción KPIs	11
2.5.1 OEE.....	11

2.5.2	Velocidad de producción	11
2.5.3	Costo por unidad	11
2.5.4	Cumplimiento de la producción programada.....	12
2.5.5	Tiempo medio entre fallos	12
2.5.6	Tiempo medio efectivo entre fallos.....	13
2.5.7	Tiempo muerto	14
2.5.8	Tiempo medio de reparación.....	14
2.6	Diseño del producto.....	14
2.6.1	Planta industrial.....	14
2.6.2	IoT2040	15
2.6.3	Seguridad.....	16
2.6.4	Base de datos	16
2.6.5	KPIs.....	17
2.7	Especificaciones técnicas del producto	21
2.7.1	Especificaciones técnicas el IoT2040.....	21
2.7.2	Especificaciones de software	23
CAPÍTULO 3.....		24
3.	Resultados Y ANÁLISIS.....	24
3.1	Topología.....	24
3.2	Tratamiento de variables	25
3.3	Plataformas web	25
3.3.1	Interfaz en red local en Node-RED Dashboard UI.....	25
3.3.2	Lectura de KPIs.....	26
3.3.3	Planificación de producción.....	28
3.3.4	Resumen de KPIs	29
3.3.5	Costo de producción	30

3.3.6	Pre-Producción.....	30
3.3.7	Interfaz en la nube.....	32
3.4	Resultados de la planta industrial.....	32
3.5	Viabilidad económica.....	34
CAPÍTULO 4.....		36
4.	Conclusiones Y RECOMENDACIONES.....	36
	Conclusiones.....	36
	Recomendaciones.....	39
BIBLIOGRAFÍA.....		42

ABREVIATURAS

IoT	Internet of Things
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
KPI	Key Performance Indicator
PC	Personal computer
DC	Corriente directa
AC	Corriente alterna
RAM	Random Access Memory
PLC	Programmable Logic Controller
OEE	Overall Equipment Effectiveness

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Modelo de control de una planta industrial usando KPIs [2].	3
Figura 1.2 Curvas de los indicadores de producción en la simulación [2].	4
Figura 1.3 Componentes de un proyecto de IoT [3].	5
Figura 1.4 Interfaces del IoT2040 [5].	6
Figura 1.5 Modelo IoT utilizado por D. Ganga y V. Ramachanda [4].	7
Figura 1.6 Conexiones de la Raspberry Pi 3 modelo B con el sensor de temperatura y humedad DHT11 [6].	7
Figura 2.1 Topología de la solución de servidor web en el controlador.	8
Figura 2.2 Línea de tiempo para el cálculo del tiempo medio efectivo entre fallos	13
Figura 2.3 Línea de tiempo para el cálculo del tiempo medio efectivo entre fallos	13
Figura 2.4 Arquitectura de comunicación de la planta IPA-26	15
Figura 3.1 Topología implementada	24
Figura 3.2 Flujo de datos	25
Figura 3.3 Ventana de “Lectura de KPIs”	26
Figura 3.4 Ventana de registro de la planificación de la producción	28
Figura 3.5 Ventana de modificación de la planificación de producción	29
Figura 3.6 Ventana de resúmenes de KPIs	30
Figura 3.7 Ventana de costo de producción	31
Figura 3.8 Ventana de costo de producción	31
Figura 3.9 Interfaz en la nube	32

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Especificaciones generales.....	21
Tabla 2.2 Descripción de interfaces.....	22
Tabla 2.3 Especificaciones de la tarjeta madre	22
Tabla 2.4 Especificaciones de software.....	23
Tabla 3.1 Resumen de KPIs	33
Tabla 3.2 Resumen de datos recolectados.....	33
Tabla 3.3 Costo del proyecto	34
Tabla 3.4 Flujo de caja del proyecto	34

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto busca ofrecer una alternativa accesible ante la problemática de no contar con información sobre el rendimiento de los procesos en las líneas de producción de plantas industriales. Se plantea el uso de tecnología IoT para lograr la digitalización en tiempo real de parámetros que permitan evaluar el rendimiento de la producción.

1.1 Descripción del problema

En la actualidad las plantas industriales cuentan con sistemas SCADA que permiten realizar supervisión y control. Para emplear estos sistemas una empresa debe invertir en hardware, software y desarrollo de ingeniería, lo que hace que la inversión sea significativa. Debido a esto, pequeñas y medianas empresas no tienen la posibilidad de destinar sus recursos a estas tecnologías.

A nivel de gerencia de producción no se cuenta con herramientas para determinar el rendimiento en tiempo real de los procesos. Sin esta información no se puede estimar si las metas se cumplirán, simplemente se analizan los resultados obtenidos en los períodos de fabricación.

Las medidas como tiempo de fabricación, cantidad de artículos fabricados y cantidad de materia prima utilizada, no son suficientes para realizar un análisis de producción debido a que omiten información sobre el desarrollo. En consecuencia, se origina la necesidad de obtener parámetros que permitan evaluar la producción en tiempo real.

Sin estos indicadores no se puede tener una mejora continua de los procesos o justificar una inversión en la línea de producción. Esto causa una falta de innovación, que se ve reflejada en la pérdida de competitividad en el sector industrial.

1.2 Justificación del problema

El desarrollo de una aplicación basada en un servidor web que permita el monitoreo de índices de producción en tiempo real, facilitaría la toma de decisiones inmediatas

a los administradores de producción ya que de manera remota accederán a información crítica de la planta industrial.

Mediante datos históricos y líneas de producción bajo constante evaluación, se tendrá la información necesaria para identificar las deficiencias en los procesos y con esto justificar futuras inversiones, facilitando así el desarrollo de mejora continua.

El uso de tecnología IoT hace que los costos de inversión se reduzcan de manera significativa, debido a que no se necesita de un software en específico para poder desarrollar la aplicación requerida. Además, se cuenta con herramientas que permiten la interacción entre diferentes equipos sin la necesidad de tener que adquirir algún tipo de licencia.

La digitalización de un proceso industrial se va haciendo cada vez más requerida debido a la fácil accesibilidad de la información que provee a sus usuarios. Gracias a esto ya no existe la necesidad de tener que encontrarse físicamente en la línea de producción para tomar datos y procesarlos o para realizar un monitoreo de rutina. Mediante el uso de cualquier dispositivo que se pueda conectar a la red se puede estar al tanto de lo que ocurre en los procesos y tomar acciones inmediatas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar una plataforma web que permita la visualización de los índices de producción en tiempo real utilizando tecnología IoT.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Emplear una base de datos para el almacenamiento de información utilizando un servidor de base de datos.
- Realizar la interacción entre una base de datos y un proceso para el tratamiento de variables usando librerías y códigos en JavaScript en una herramienta de programación.
- Diseñar una interfaz para la planificación de producción y abastecimiento de materia prima mediante una herramienta de programación.

1.4 Marco teórico

Los indicadores de rendimiento o más conocidos por su nombre inglés, *Key Performance Indicators (KPI)*, son ampliamente utilizados en todos los sectores y áreas que buscan optimizar el tiempo y los recursos en sus actividades, siendo una herramienta de mejora continua en cualquier área. Los indicadores de rendimiento se definen como la medición de una parte importante y útil del rendimiento de un programa. Se expresan como un porcentaje, índice, tasa u otra comparación que se supervisa a intervalos regulares y se compara con uno o más criterios [1]. Esta metodología está probando ser una solución para resolver problemas a nivel administrativos en el área de producción [2].

En un caso de estudio de un modelo matemático que muestra el dinamismo de los KPIs en una planta industrial presentado por Vladimir Jovan y Sebastjan Zorzut del departamento de sistemas y control del *Jožef Stefan Institute*, dejan a la vista el control que se ejerce desde la gerencia planteando cuáles deberán ser los valores de los KPIs que se debería tener en planta, así mismo cómo la toma de decisiones (en este caso aumentar o disminuir la velocidad de la línea de producción) afecta a los indicadores de producción. El documento plantea un control de lazo cerrado de una planta industrial, haciendo un modelo matemático del mismo en Matlab, donde se pretende controlar los KPIs que se obtiene del modelo que hace de planta industrial considerando perturbaciones, cambios de la referencia, y toma de decisiones como se muestra en la Figura 1.1 [2].

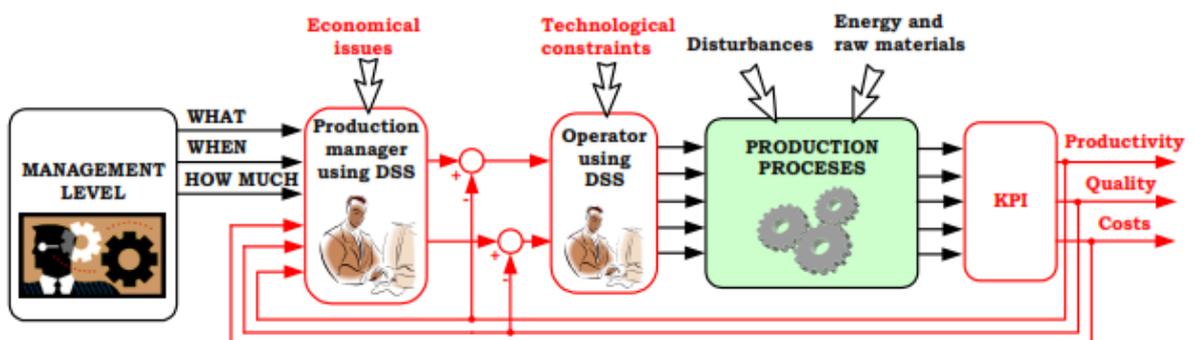


Figura 1.1 Modelo de control de una planta industrial usando KPIs [2].

Con el modelo de la planta industrial en Matlab funcionando, se midieron tres índices críticos: productividad, media de la calidad del producto y media del costo

de producción. La prueba se realizó cambiando la velocidad de producción en intervalos de tiempos, velocidad lenta de 0 a 450 horas en la simulación, velocidad normal de 450 a 870 horas y alta velocidad de 870 horas hasta el final de la simulación, realizando la lectura de los indicadores cada 12 horas. Se obtuvieron las curvas descritas en la Figura 1.2. Este documento resuelve el método para extraer índices de producción, así mismo, demuestra el dinamismo de estos índices a través del tiempo y lo importante que es tenerlos al momento de tomar decisiones.

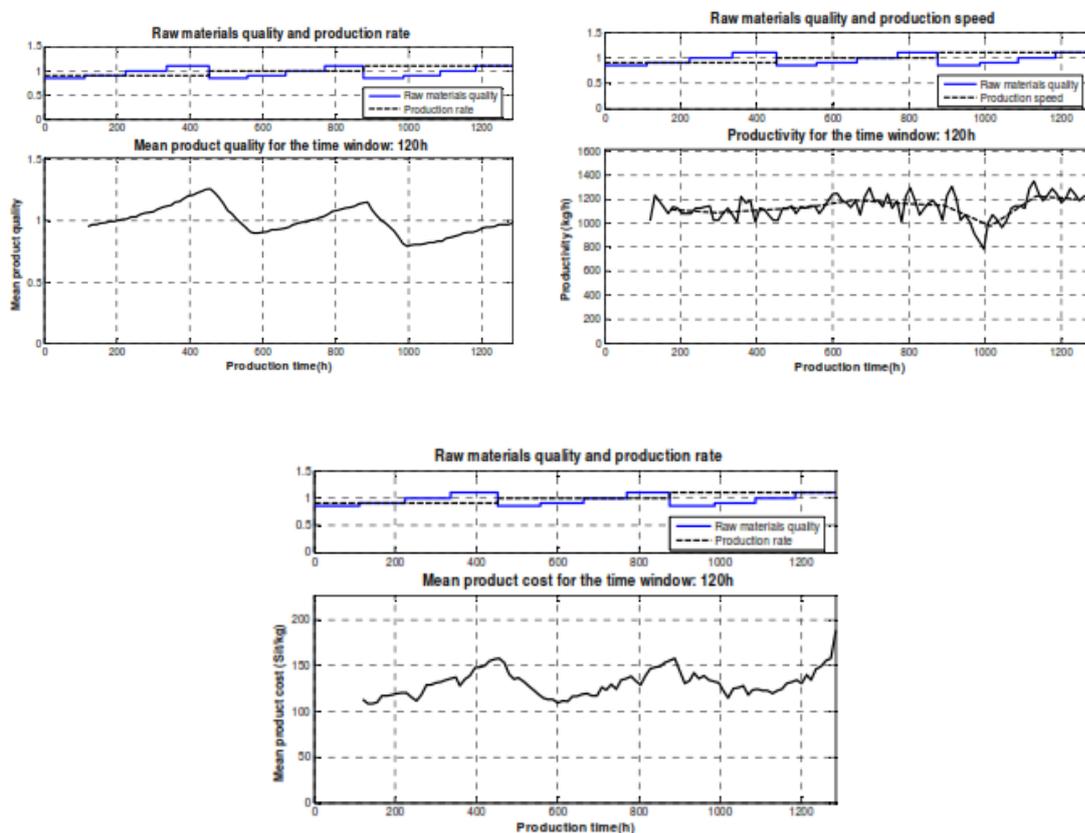


Figura 1.2 Curvas de los indicadores de producción en la simulación [2].

Un caso de monitoreo de una planta industrial fue realizado por la *International Islamic University Malaysia*, donde utilizando tecnología IoT lograron automatizar, controlar y monitorizar un sistema de riego y fertilización para una granja [3]. Se empleó SQLite para el levantamiento de la base de datos y Lighttpd, una plataforma libre para la creación servidores web con la arquitectura mostrada en la Figura 1.3. La parte de automatización fue llevada a cabo con un microprocesador ARP7 conectando por medio de una interfaz ZigBee a los sensores del sistema. La

conexión de la planta industrial con el mundo la realizaron por dos métodos. El primero con un servidor web local en una PC, donde por medio de Wi-Fi los administradores pueden acceder al estado de la planta.

En el segundo, para salir a Internet usaron un pcDuino que por medio de su entrada RJ-45 y una correcta configuración en la red, dan acceso al dispositivo a Internet. Esta aplicación muestra la viabilidad del uso de tecnologías IoT en la industria, dado que con una arquitectura básica y dispositivos sencillos se puede desarrollar un sistema de supervisión y control para una planta.

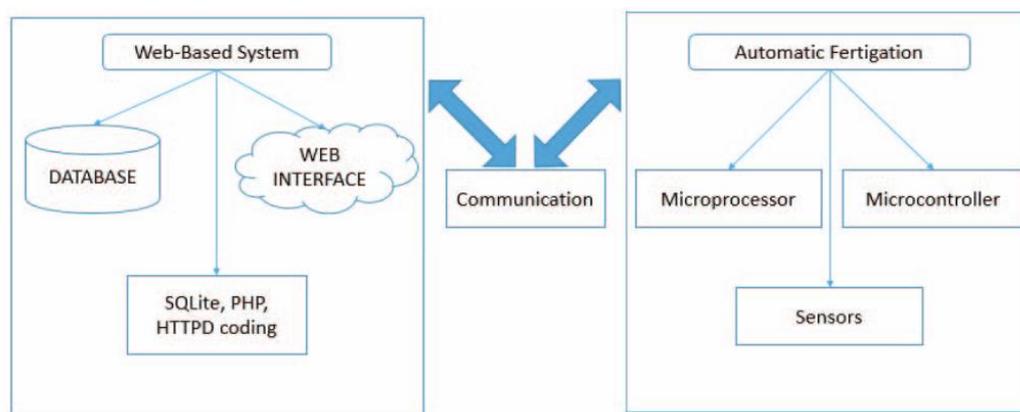


Figura 1.3 Componentes de un proyecto de IoT [3].

Con el uso de menos equipos, y en esencia la misma utilidad, D. Ganga y V. Ramachanda realizaron el estudio de vibraciones de un motor DC acoplado mecánicamente a un generador AC para demostrar el uso de tecnologías IoT en la adquisición de datos y la escalabilidad que se puede lograr [4]. Para este proyecto utilizaron la pasarela IoT2040 de Siemens, un dispositivo de campo diseñado para aplicaciones IoT en la industria, Figura 1.4.

D. Ganga y V. Ramachanda utilizaron el sistema operativo Yocto Linux e instalaron las librerías de Python para la adquisición de datos vía el interfaz RS-232, el procesamiento del algoritmo de control, y envío de los mismos a la nube por medio de *HTTP Request*. De esta manera lograron un sistema basado en IoT perfectamente escalable a cualquier otra maquinaria parecida a la utilizada en este caso de estudio. Para la comprobación de los resultados obtenidos bajo este método, hicieron la comparación con un sistema de adquisición de datos, procesamiento y presentación de National Instruments. Este consiste en el uso de

myRIO como ente de adquisición de datos y LabVIEW como software para el procesamiento de los mismos y aplicación de los algoritmos de control [4]. Esta aplicación demuestra la utilidad del dispositivo IoT2040 para sistemas de adquisición, procesamiento y presentación de datos, además de la conectividad remota vía internet, haciendo de este dispositivo ideal para aplicaciones IoT.

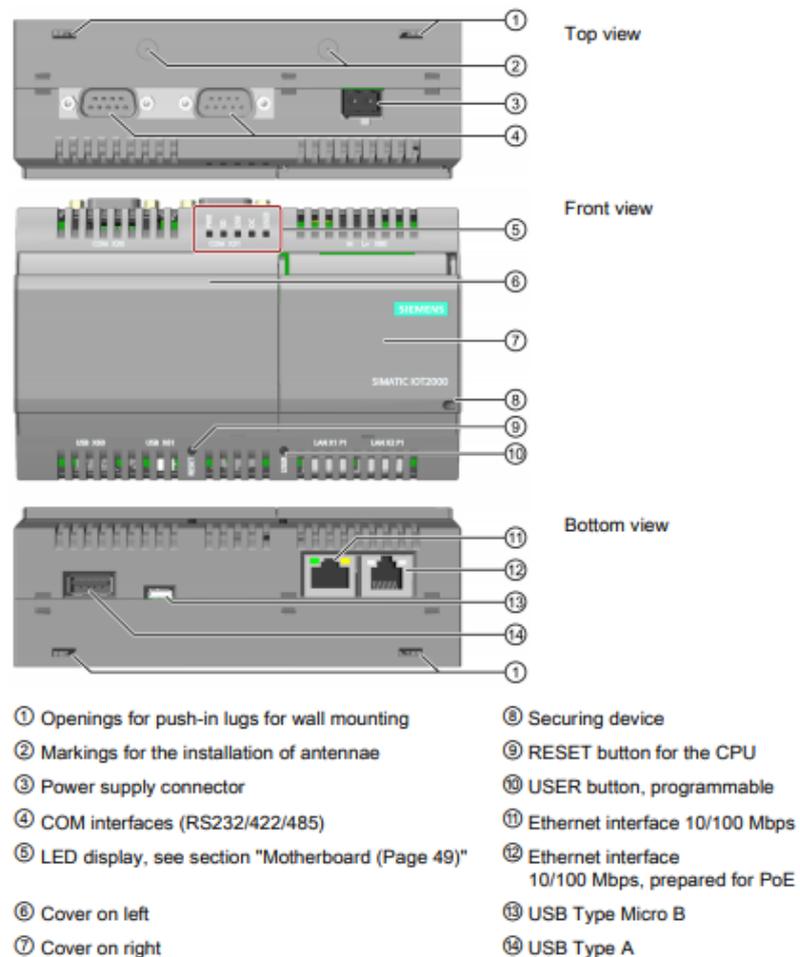


Figura 1.4 Interfaces del IoT2040 [5].

Esta permite la integración de tecnologías IoT en una interfaz gráfica por medio de bloques o nodos donde se realiza un flujo que representará la programación interna [6]. Milica Lekić y Gordana Gardašević con el objetivo de presentar una aplicación IoT, utilizaron una Raspberry Pi 3 modelo B. Esta tarjeta de desarrollo que tiene idénticas características que una computadora de escritorio posee un procesador de 1.2GHz Broadcom BCM2837 de 64 bits con 1 GB de memoria RAM, posee 4 puertos USB, wireless integrado, entre otras interfaces.

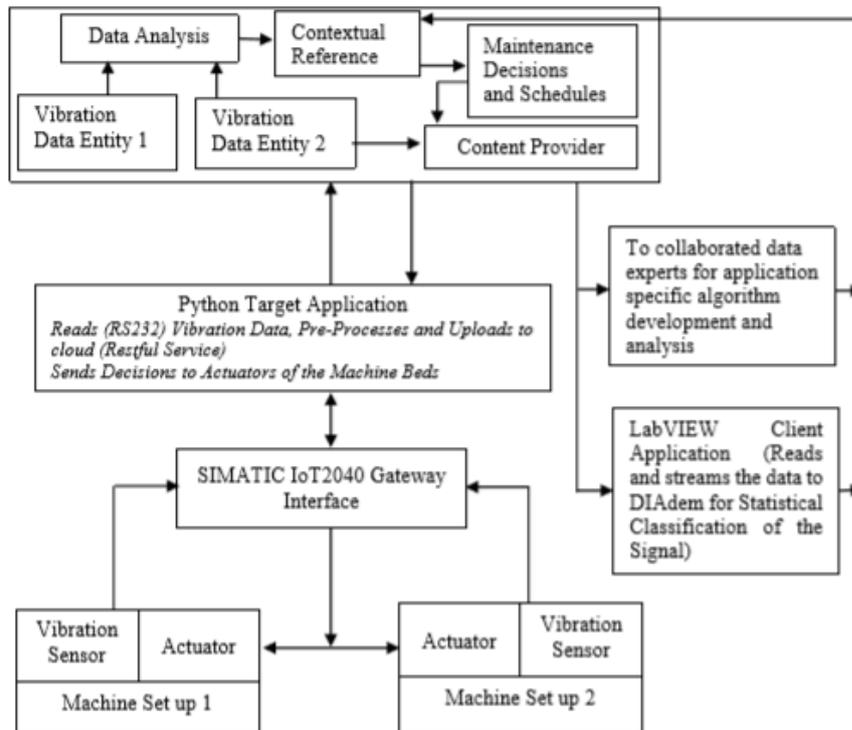


Figura 1.5 Modelo IoT utilizado por D. Ganga y V. Ramachanda [4].

Usando el sistema operativo recomendado por Raspberry, Raspbian, instalaron Node-RED para administrar las entradas GPIO de la Raspberry y enviar los datos adquiridos de temperatura y humedad de un sensor DHT11 a la nube especializada de IBM para servicios IoT, IBM Blumix Mix.

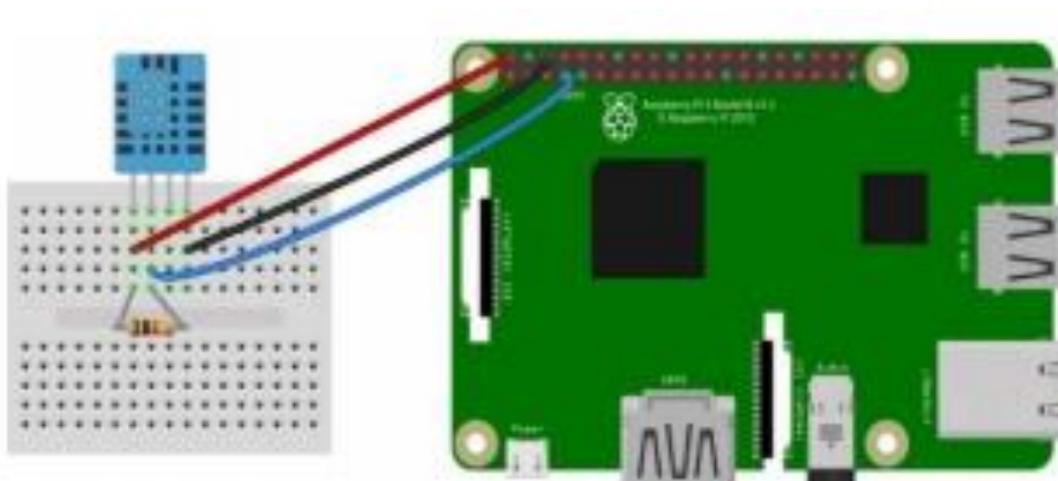


Figura 1.6 Conexiones de la Raspberry Pi 3 modelo B con el sensor de temperatura y humedad DHT11 [6].

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

El problema planteado tiene varias soluciones con diferentes tecnologías, presupuestos y opciones de escalabilidad de la planta industrial a la que se le pretenda aplicar el sistema, aquí se plantea algunas de las posibles soluciones.

2.1 Servidor web sobre el controlador de la planta

Una de las opciones más económicas para utilizar la información que proviene del proceso es utilizar el servidor web que viene embebido en el controlador de la planta, si este posee esta característica dentro de sus especificaciones. Esto facilita el acceso a las señales de campo y no requiere de dispositivos externos para la puesta en marcha de una plataforma basada en HTML y JavaScript. La figura 2.1 muestra la arquitectura que puede seguir esta solución.

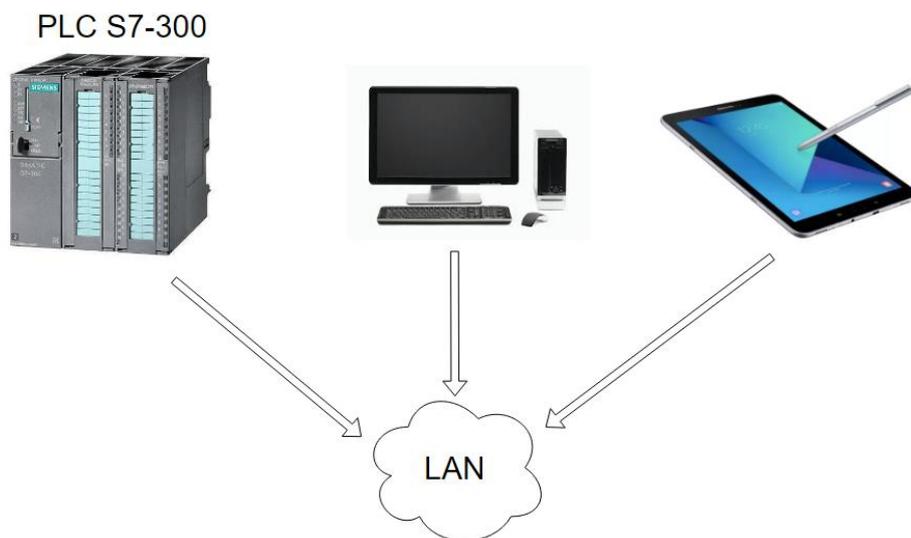


Figura 2.1 Topología de la solución de servidor web en el controlador.

El problema de este método es que se ve afectada la escalabilidad del sistema, puesto que a pesar de que con la correcta programación se puede tener comunicación con otros dispositivos vía Ethernet [7], se estaría utilizando el controlador para otras operaciones fuera de su función principal.

2.2 SCADA

Sobre una plataforma para SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) comercial, se puede levantar casi cualquier sistema. Dispone de los controladores para comunicarse con la mayor parte de los dispositivos industriales (no necesariamente se cuenta con la interfaz física).

Wonderware con Intouch Access Anywhere ofrece una alternativa para acceder al sistema SCADA mediante un navegador web desde cualquier dispositivo [8]. El problema de estas plataformas, a pesar de ser robustas en cuanto a seguridad y disponibilidad, es el costo que representa para una empresa levantar un sistema con numerosas señales que se deben adquirir de planta y a las que se suman las señales internas necesarias para procesar la información de campo. En este caso se relaciona el precio de licencia con el número de tags.

2.3 Software especializado para administración de producción

Los problemas que parten de la administración de la producción no son nuevos, para esto existe una gama de programas que desarrollan una plataforma en la cual los administradores pueden apoyarse en la toma de decisiones en el área mencionada. Un ejemplo de esto es FactoryTalk Metrics [9], un programa especializado en extraer datos de producción establecidos por el programa de manera previa, con la opción de que el usuario puede crear sus propios indicadores de producción (*KPIs*).

Este software crea una interfaz gráfica con un cuadro de mando (*Dashboard*), donde expone toda la gama de indicadores que el usuario haya elegido sobre la línea de producción o procesos en específico, con diagramas de barras, curvas, y gráficos para la fácil visualización de los datos. FactoryTalk Metrics se conecta vía OPC para adquirir los datos de planta que provienen de los controladores, así mediante contadores de tiempo y fallas internas del programa puede calcular parámetros de producción como:

- **Mean Time Between Failure**, tiempo transcurrido del proceso dividido para el número de fallas.

- **Mean Time To Repair**, tiempo que duran las fallas dividido para el número de fallas que ha sucedido.

El programa también puede calcular el OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), que es un indicador que integra la disponibilidad, el rendimiento y el control de calidad que se ejerce en la línea de producción [9].

Se trata de un programa completo para la administración de producción, que permite la conexión con la mayoría de los controladores al usar un protocolo de cliente abierto como OPC, además de generar informes acordes al usuario. El aspecto negativo de esta solución es el elevado costo tanto de licencia como en su requerida ingeniería para implementación, al necesitar de técnicos especializados.

2.4 Node-RED

2.4.1 ¿Qué es Node-RED?

Es una plataforma sobre un servidor web que permite una programación gráfica por cableado de flujos. Su función es la integración de dispositivos IoT. [6]

2.4.2 Node-RED en IoT2040

Combinar dos tecnologías, Node-RED como administrador de las comunicaciones y el IoT2040 como hardware para adquirir dichas comunicaciones, permitirían conectarse a la mayoría de las redes industriales, además de ser un puente directo para la utilización de tecnologías de IoT, como son, el uso de base de datos en la nube y *Cloud Computing*.

Al usar el procesamiento del dispositivo y la facilidad de implementar un servidor web con una interfaz gráfica tipo *Dashboard*, permite adquirir las señales de planta desde alguna red industrial, para luego procesarlas y convertirlas en un indicador clave de rendimiento (*KPI*). La flexibilidad en cuanto a protocolos de comunicación que brinda esta combinación de tecnologías hace que se tenga un costo mínimo en hardware, ingeniería y software, ya que al trabajar sobre plataformas libres se evitan los rubros de licenciamiento por el uso de estos programas.

2.5 Indicadores de producción KPIs

Entre los indicadores que se usa para el área de producción, están:

2.5.1 OEE

Overall equipment effectiveness, es un indicador que considera para su cálculo otros indicadores como disponibilidad, eficiencia y calidad. Este *KPI* muestra un funcionamiento general de la línea de producción, además de poner en evidencia pérdidas en costos [11].

Este indicador se calcula mediante la ecuación 2.1:

$$OEE = Disponibilidad * Eficiencia * Calidad \quad (2.1)$$

Donde disponibilidad, eficiencia y calidad se definen como:

$$Disponibilidad = \frac{Tiempo - Tiempo de inactividad}{Tiempo}$$

$$Eficiencia = \frac{Ciclo ideal * Salida}{Tiempo de operación}$$

$$Calidad = \frac{Producción - Producción defectuosa}{Producción}$$

2.5.2 Velocidad de producción

La velocidad de producción de un proceso industrial se define como el número de unidades producidas en el intervalo tiempo que dura la producción. Es calculado con la ecuación 2.2 [11]:

$$Velocidad de producción = \frac{Unidades producidas}{Tiempo de producción} \left[\frac{unidades}{minutos} \right] \quad (2.2)$$

2.5.3 Costo por unidad

El costo por unidad o costo de producción es el valor numérico que indica cuanto le cuesta a la empresa producir la unidad de producto. Este índice se calcula bajo la ecuación 2.3 [13]:

$$Costo de producción = Materia prima + Mano de obra + Costos indirectos [\$] \quad (2.3)$$

La materia prima es la base de la producción, los materiales que son parte del proceso del producto final. La mano de obra contabiliza las personas que trabajan directamente para esa línea de producción y los costos indirectos hace referencia a los gastos administrativos, de renta del lugar, consumo de energía, servicios varios, etc.

Este indicador es útil para comparar líneas de producción o fabricas diferentes que producen el mismo producto, ya que independiente del rendimiento máximo de cada planta, se puede lograr competir con el costo por unidad final.

2.5.4 Cumplimiento de la producción programada

El cumplimiento de la producción programada es un porcentaje entre lo planificado en el turno y lo que actualmente está produciendo la planta. Es útil para el supervisor o administradores de la producción para estar informados de los avances respecto al cumplimiento de los objetivos de la empresa. Este índice se calcula con la ecuación 2.4.

$$CPP = \frac{\textit{Producción actual}}{\textit{Producción programada}} * 100\% [\%] \quad (2.4)$$

2.5.5 Tiempo medio entre fallos

El tiempo medio entre fallos no es más que el promedio del tiempo que se tiene entre falla y falla en una planta industrial. Este indicador es útil para predecir los paros de producción, así como el estado de mantenimiento de las máquinas que conforman el proceso, entre otros. La figura 2.2 ilustra cómo se calcula este índice de producción, donde la línea gris representa el tiempo de producción y las zonas rojas el tiempo donde existieron fallos que detuvieron de alguna manera el proceso. Por tanto, se utiliza la ecuación 2.5 para el cálculo de este parámetro.

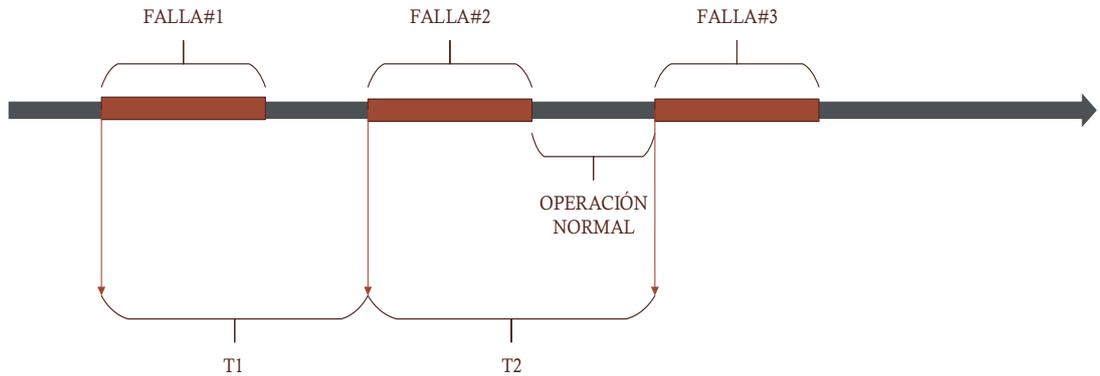


Figura 2.2 Línea de tiempo para el cálculo del tiempo medio efectivo entre fallos

$$\text{Tiempo medio entre fallos} = \frac{\text{Tiempo de Producción}}{\text{número de fallas}} \text{ [segundos]} \quad (2.5)$$

2.5.6 Tiempo medio efectivo entre fallos

Este índice es útil para describir el tiempo que trabaja la línea de producción o el proceso sin sufrir algún fallo, es un complemento del índice de tiempo medio entre fallos. Con la Figura 2.3 describe el cálculo de este índice, donde las zonas grises representan el tiempo que se está operando sin problemas, y las zonas rojas el tiempo que una falla se mantiene y para el proceso. Finalmente se encuentra la ecuación 2.6 para el cálculo de este índice.

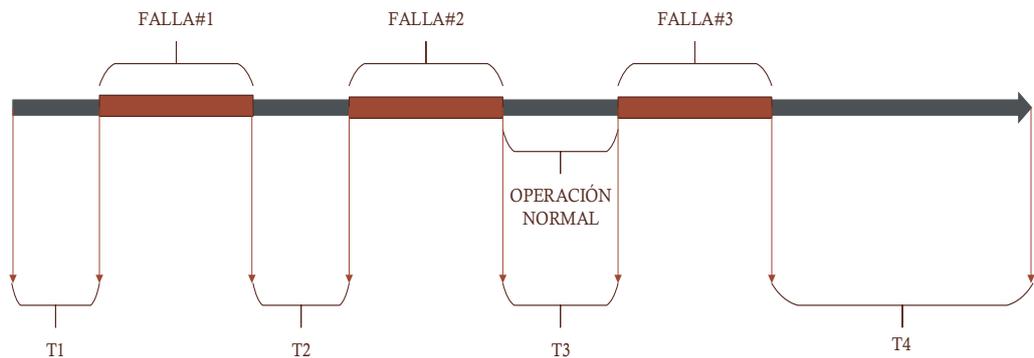


Figura 2.3 Línea de tiempo para el cálculo del tiempo medio efectivo entre fallos

$$TMEEF = \frac{\text{Tiempo de Producción} - \text{Tiempo de fallas}}{\text{número de fallas}} \text{ [segundos]} \quad (2.6)$$

2.5.7 Tiempo muerto

El tiempo muerto se define como el tiempo necesario para preparar la línea de producción, ya sea por mantenimiento preventivo, limpieza, carga de materias primas, etc. Es el tiempo que se usa para tener la línea de producción preparada para la actividad continua.

2.5.8 Tiempo medio de reparación

Se define como el promedio de los tiempos que dura un fallo sin ser reparado, esto bajo la figura 2.3 es la suma de las zonas rojas dividido para el número de fallas que provocado estas fallas como lo indica la ecuación 2.7.

$$\text{Tiempo medio de reparación} = \frac{\text{Tiempo de fallas}}{\text{número de fallas}} \text{ [segundos]} \quad (2.7)$$

2.6 Diseño del producto

2.6.1 Planta industrial

Para la obtención de parámetros de producción se utilizó la planta de entrenamiento moderno IPA-26 (*Industrial Process Automation*) del Laboratorio de Control de Procesos Industriales de la Escuela Superior Politécnica del Litoral. Esta es una planta embotelladora académica, que cuenta con cinco estaciones unidas por diferentes bandas transportadoras.

- IMS 1.2: Sistema de transporte que consiste en una banda transportadora controlada por una placa con comunicación Profibus DP.
- IPA 2: Estación de mezclado de la materia prima.
- IPA 3: Estación de llenado de botellas.
- IPA 4: Estación de sellado de botellas.
- IMS 8: Sistema de almacenamiento.

La planta de entrenamiento moderno mencionada cuenta con una gama de sensores y actuadores industriales para la automatización del proceso (especificados en Anexos A, B, C, D). La misma cuenta con una arquitectura de comunicación como muestra la figura 2.4, teniendo el control por medio

de un PLC S7-314C-2 PN/DP que por comunicación Profibus DP logra comunicarse con las tarjetas de entradas y salidas remotas instaladas en cada estación del proceso, además de establecer conexión Profinet con el terminal HMI.

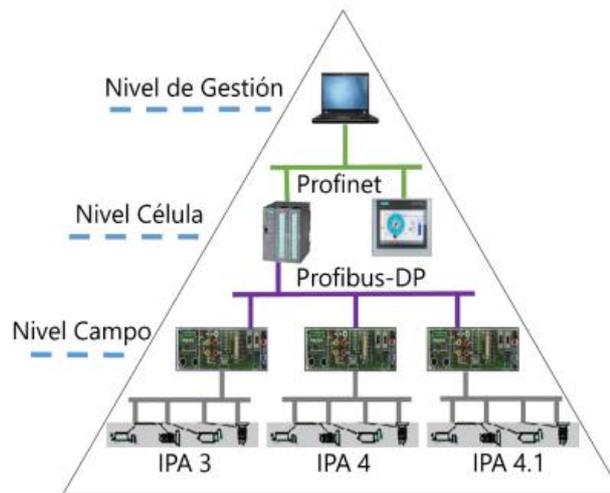


Figura 2.4 Arquitectura de comunicación de la planta IPA-26

2.6.2 IoT2040

Para la puesta en marcha del IoT2040 de Siemens se debe cargar a una memoria microSD el sistema operativo Yocto-Linux [5]. Dentro de esta versión de Linux ya viene instalado Node-RED, pero para utilizarlo se debe habilitar la opción de autoarranque. Node-RED posee dos interfaces, la primera se llama Node-RED Editor UI, la cual permite la programación de la página web, y la segunda se llama Dashboard UI, que es donde se muestra la página web.

La configuración de sus dos puertos Ethernet se realiza por medio de Putty [10], un cliente SSH que se comunica al IoT2040 por medio de Ethernet o I2C. Esta herramienta permite el acceso a los archivos que definen la configuración del sistema operativo, lo cual permite modificar configuraciones de red, instalar librerías o programas, entre otros. Respecto a los dos puertos del IoT, al primero se le colocaría una IP privada que este

dentro de la red industrial y al segundo una IP pública para que se pueda acceder a la interfaz web desde cualquier dispositivo con Internet.

En Node-RED existen librerías que permiten realizar funciones en particular. Dentro de las librerías utilizadas para esta aplicación están:

- Node-red-dashboard: Utilizada para crear fácilmente una interfaz gráfica usando *dashboards*, los cuales permiten tanto la visualización como el ingreso de datos.
- Node-red-contrib-s7: Permite el acceso a las variables de un bloque de datos que maneja un PLC de Siemens de la serie S7, que para este caso de estudio es el CPU S7-314C-2 PN/DP. Mediante esta librería se puede leer o escribir variables.
- Node-red-node-mysql: Facilita la comunicación con un servidor de datos de MySQL. Empleando comandos SQL se puede leer o escribir los datos en diferentes tablas de la base de datos.

Existen librerías que se adaptan a diferentes aplicaciones, por ejemplo, si se trabaja con PLCs de la marca Rockwell Automation, se puede trabajar con la librería “Node-red-contrib-ab” y reemplazar “Node-red-contrib-s7”. Lo mismo aplica si se trabaja con otra base de datos diferente a MySQL.

2.6.3 Seguridad

Un asunto clave es restringir el acceso al IoT, ya sea vía SSH, al EDITOR UI o al Dashboard UI. Cada uno de estos tres puntos de acceso requieren de una cuenta de usuario independientes entre sí. Realizando las tres configuraciones mediante Putty, existe la garantía de que al intentar ingresar al dispositivo se solicite el nombre de usuario y la contraseña que se establecieron.

2.6.4 Base de datos

La base de datos es implementada en XAMPP, un servidor basado en software libre que contiene un servidor web Apache como administrador de la base de datos y un servidor de base de datos MySQL.

El IoT lee y escribe en la base de datos, por lo que se debe añadir un usuario con todos los privilegios dentro de la base de datos que corresponda al IoT. De esta manera se logra la correcta comunicación entre Node-RED y la base de datos.

La justificación de la base de datos está dada por la planificación de producción y el resumen de indicadores. El usuario de la aplicación podrá registrar con anterioridad las metas de producción de las semanas siguientes. A su vez al término de una semana de producción, podrá visualizar en la interfaz una tabla con el resumen de los valores promedios alcanzados por los índices de producción.

En la figura 2.5 se muestra un esquema con la topología de la solución presentada.

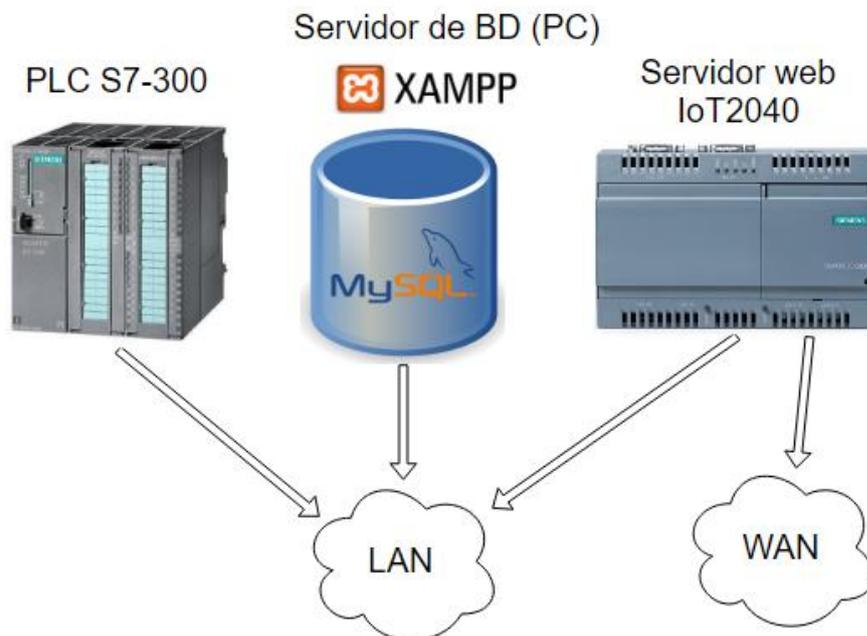


Figura 2.5 Arquitectura de comunicación de la planta IPA-26

2.6.5 KPIs

Los indicadores claves de producción utilizados para caracterizar el proceso, fueron elegidos en base a la planta industrial a la que se va a aplicar el sistema.

Velocidad de producción

Para la obtención de este indicador se necesita el tiempo de producción y el número de botellas que se tienen al final de la línea de producción. Sus unidades serán número de unidades sobre minutos y se calcula bajo la ecuación 2.2.

Para el tiempo de producción se necesitan dos señales, una iniciará un contador y la otra lo detendrá. La señal inicial estará dada por el sensor magnético –B1 de la banda transportadora de la estación IPA3 y la señal final es generada cuando el operador presione por HMI el final del turno.

Para el número de botellas se necesita una señal, la cual proviene del sensor magnético –B2 de la banda transportadora de la estación IPA4. Cada vez que esta señal digital toma el valor de uno se debe considerar que un grupo de seis unidades ha llegado al final de la producción, es decir que se requiere de un contador múltiplo de seis.

Costo por unidad

Este indicador es determinado mediante la ecuación 2.3. El primer componente de este índice es el costo por materia prima. Al inicio de la línea de producción se cuenta con un reservorio que contiene tres líquidos: el líquido A, el líquido B y agua. Cada líquido ocupa un volumen en el reservorio que se ve reflejado en un costo. Adicional a esto se debe considerar el costo de las botellas y sus tapas.

El segundo componente es la mano de obra, donde se considera a un operador con un sueldo mensual. El último factor que se considera en este indicador son los costos indirectos, es decir, alquiler, costos administrativos, costos de energía, etc. Tanto el costo de mano de obra como los costos indirectos son datos ingresados por el usuario de la interfaz.

Para resumir la obtención de este indicador se plantea la siguiente ecuación:

$$\text{Costo por unidad} = \text{CMP} + \text{CMO} + \text{CI}$$

Donde CMP representa el costo de materia prima, CMO los costos por mano de obra y CI los costos indirectos.

El costo de la materia prima por unidad (CMP) se calculará de la siguiente manera:

$$CMP = \text{Costo total de líquidos (CTL)} + \text{Costo de botella} + \text{Costo de tapa}$$

El costo individual de un líquido se obtiene mediante el producto de su valor por mililitro y el volumen en mililitros que hay en la mezcla. Sumando los tres costos individuales se obtiene el costo total de líquidos. Multiplicando este valor por el volumen de líquido de cada botella, y dividiéndolo para el volumen total de la mezcla, se obtiene el costo total de líquidos por unidad como lo muestra la siguiente ecuación:

$$CTL[\$] = \left(CA \left[\frac{\$}{mL} \right] * VA [mL] + CB * VB + Cbase * Vbase \right) * \frac{V \text{ de unidad } [mL]}{V \text{ de mezcla } [mL]}$$

El costo de cada botella y tapa es definido por el cliente.

Para la mano de obra y los costos indirectos se consideran los valores referenciales de \$1,000 y \$10,000 respectivamente. A estos valores mensuales se les debe obtener su relación en segundos. Luego, se los debe multiplicar por el tiempo de funcionamiento de la planta y dividir para el número de cantidad de botellas producidas.

$$CMO = \text{Mano de obra} \left[\frac{\$}{seg} \right] * \frac{\text{Tiempo } [seg]}{\text{Cantidad de botellas}}$$

$$CI [\$] = \text{Costos indirectos} \left[\frac{\$}{seg} \right] * \frac{\text{Tiempo } [seg]}{\text{Cantidad de botellas}}$$

Cumplimiento de la producción programada

De manera diaria se tiene el dato de la meta de producción que se espera alcanzar en el turno. Este dato, que fue ingresado por el usuario con anticipación y que es extraído de la base de datos, se comparará con la misma variable contadora de botellas producidas utilizada para obtener el rendimiento. La división de la producción actual y la meta de producción dará como resultado el porcentaje de cumplimiento de los objetivos de producción del turno. Este índice se lo calcula bajo la ecuación 2.4.

Tiempo medio entre fallos

Para la obtención de este indicador es necesario que ocurra una primera falla en la producción que habilite a una variable contadora de tiempo. Cuando la segunda falla ocurra hará que este contador se detenga, se acumule en otra variable y se reinicie. Esto se repite cada vez que se origine otra falla.

Este KPI es generado por la división entre la variable acumuladora mencionada y el número de veces en los que el contador se reinició. A partir de la primera, cada vez que se origine una nueva falla el indicador se actualizará y tomará un nuevo valor.

Para este propósito es necesario adquirir todos estados de falla del controlador que son:

- Falla por botellas en el pallet al entrar a la estación de llenado
- Falla por bajo nivel del tanque en la estación de llenado
- Falla por bajo nivel del tanque en la estación de mezclado
- Falla al tapar botellas
- Falla por falta de tapas

Tiempo medio efectivo entre fallos

Este índice es útil para describir el tiempo de operación que se ha conseguido sin sufrir algún fallo en la línea de producción o el proceso, es un complemento del índice de tiempo medio entre fallos. Se calcula bajo la ecuación 2.6.

Este indicador se lo calcula con un contador de tiempo en segundos de la producción, restando al mismo el tiempo que la línea para por algún fallo. Con el resultado de esta resta se procede a dividir este valor para el número de fallas que tiene acumulado la producción.

Tiempo muerto

Este índice se lo calcula con un contador de tiempo que empieza cuando el operador anuncia por la pantalla el inicio del turno, donde los primeros pasos para la puesta en marcha de la línea de producción son la limpieza de los tanques, el llenado del almacenamiento temporal de los pallets y la mezcla de la materia prima. Este contador termina cuando el primer pallet cruce por el sensor –B2 de la banda transportadora de la estación de llenado IP3, dando inicio de la producción.

Tiempo medio de reparación

Este indicador se lo calcula con un contador de tiempo en segundos de las fallas que han sucedido en la planta, este resultado se lo divide para el número de fallas acumulado en el turno. Este índice se lo calcula bajo la ecuación 2.7.

2.7 Especificaciones técnicas del producto

La solución implementada tiene las siguientes especificaciones técnicas.

2.7.1 Especificaciones técnicas el IoT2040

Especificaciones Generales

Tabla 2.1 Especificaciones generales

Propiedad	Descripción
Voltaje de alimentación	9...36 VDC
Consumo de corriente	Máximo 1.4 A
Emisión de ruido	< 40dB(A) acorde a DIN 4565-1
Grado de protección	IP20 acuerdo a IEC60529
Seguro de calidad	Acuerdo con ISO9001

Breve interrupción de voltaje en acuerdo con Namur	Hasta 5 ms alimentado con 24 VDC y carga completa. Máximo 10 eventos por hora con un tiempo de recuperación de al menos 10 s.
--	--

Interfaces

Tabla 2.2 Descripción de interfaces

Interfaz	Descripción
USB Tipo A	USB 2.0, 2.5 W / 500 mA
USB Micro B	
Interfase LAN, RJ45	
Interfase LAN, RJ45	
Puertos COM	<ul style="list-style-type: none"> • RS-232, hasta 115 Kbps, DB9 • RS-422, hasta 115 Kbps, DB9 • RS-485, hasta 115 Kbps, DB9

Tarjeta Madre

Tabla 2.3 Especificaciones de la tarjeta madre

Interfaz	Descripción
Procesador	Intel Quark X1020, 400 MHz
RAM	1 GB
BIOS SPI Flash	8 MB
Micro SD	1 slot
Expansiones	<ul style="list-style-type: none"> • 1 x Arduino Shield • 1 x mini PCIe 30 x 50.59 mm

2.7.2 Especificaciones de software

Tabla 2.4 Especificaciones de software

Propiedad	Descripción
Comunicaciones	<ul style="list-style-type: none">• Ethernet• Modbus TCP/IP• Modbus RTU
KPIs	<ul style="list-style-type: none">• Rendimiento• Tiempo muerto• Tiempo medio entre fallos• Tiempo medio efectivo entre fallos• Cumplimiento de la producción programada• Costo de producción* <p>*Este índice tiene varias formas de calcularse, revisar cap. 2.6.4.4</p>
Turnos	La configuración de turnos, que será utilizada para la planificación de la producción, se realizará acorde a los requerimientos del cliente.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presentarán los resultados del proyecto desarrollado. Se mostrarán las plataformas web implementadas junto con los parámetros de producción obtenidos. Adicionalmente, se realizará un análisis de la viabilidad económica del proyecto.

3.1 Topología

Se diseñaron dos plataformas web, una local y otra en la nube. El IoT2040 es el vínculo de la planta industrial con la base de datos local y la base de datos en la nube. Esto es posible gracias a que cuenta con dos puertos Ethernet. En su primer puerto se configuró una IP privada y en el segundo puerto Ethernet una IP pública. En la figura 3.1 se ilustra la configuración de comunicación implementada, donde se divide los elementos principales de la solución, que son, la planta industrial IPA26, el IoT2040 y las bases de datos.

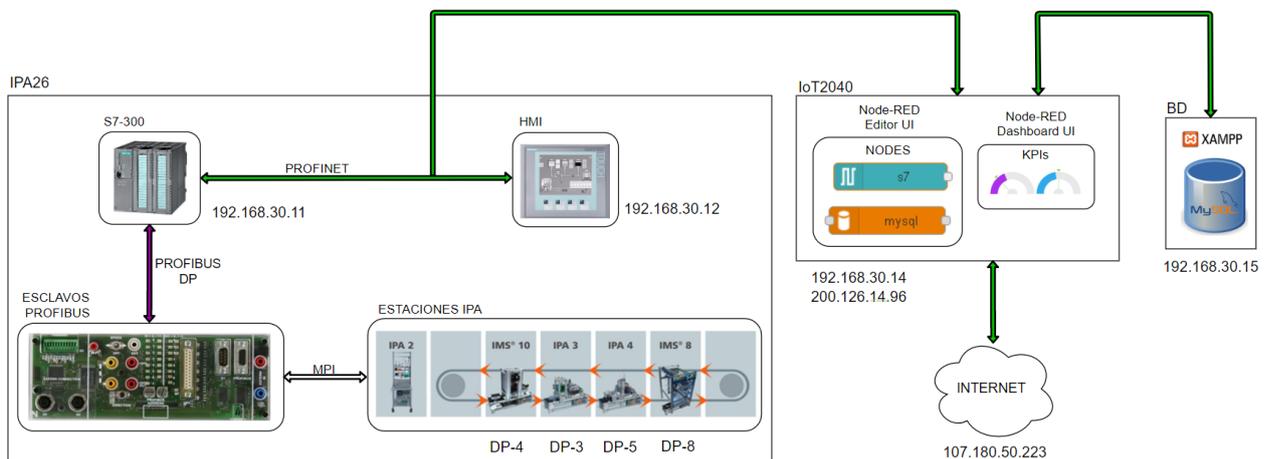


Figura 3.1 Topología implementada

En la figura 3.2 se presenta el flujo de datos entre los componentes del proyecto. El IoT recibe información desde el S7-300 y desde la base de datos local. A su vez, envía información a ambas bases de datos.

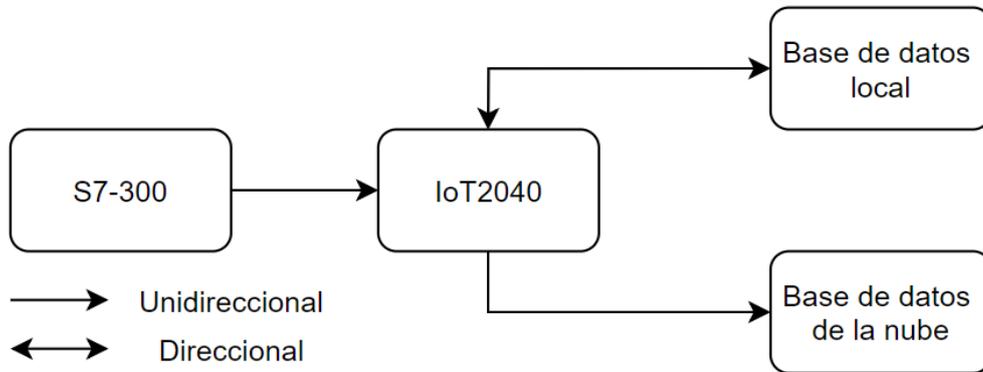


Figura 3.2 Flujo de datos

3.2 Tratamiento de variables

Las variables extraídas del controlador son propias del proceso, provienen de sensores digitales de la IPA26 y de datos ingresados por el operador vía HMI, por lo que no fue necesario modificar la programación base del controlador, únicamente, se requirió de la creación de un bloque de datos (DB) con las señales útiles para la generación de los KPIs.

3.3 Plataformas web

3.3.1 Interfaz en red local en Node-RED Dashboard UI

Esta interfaz fue diseñada para el supervisor o planificador de producción que se encuentra en planta. Para acceder se necesita de un dispositivo conectado a la red local en el que se pueda abrir un navegador web. Se ingresa la URL <http://192.168.30.14:1880/ui> y se colocan los datos de identificación de usuario, como nombre de usuario y contraseña.

La interfaz cuenta con seis ventanas: KPIs, Planificación de producción (Registro), Planificación de producción (Modificación), Resumen de KPIs, Costo de Producción y Pre-Producción.

3.3.2 Lectura de KPIs

Como página principal para el usuario se tiene la lectura de los KPIs de la producción en curso, esto es información en tiempo real de la operación de producción, así como muestra la figura 3.3.

Adicional a los KPIs se colocó un cuadro con información relevante del proceso. En este se indica el tiempo total de producción, el tiempo total de fallas, el número de fallas, el número de botellas producidas y la meta de producción del día.

El funcionamiento de la IPA26 posee dos etapas. La primera etapa es la de preproducción y la segunda es la de producción. Durante la primera etapa el único KPI generado es el de tiempo muerto, los KPIs restantes se obtienen en la segunda etapa.

La etapa de preproducción es llevada a cabo por la estación IMS10, la cual se encarga de almacenar los palletes. Su período de operación es considerado como tiempo muerto, por lo que el KPI del mismo nombre indica cuanto tiempo se ha empleado en esta estación.

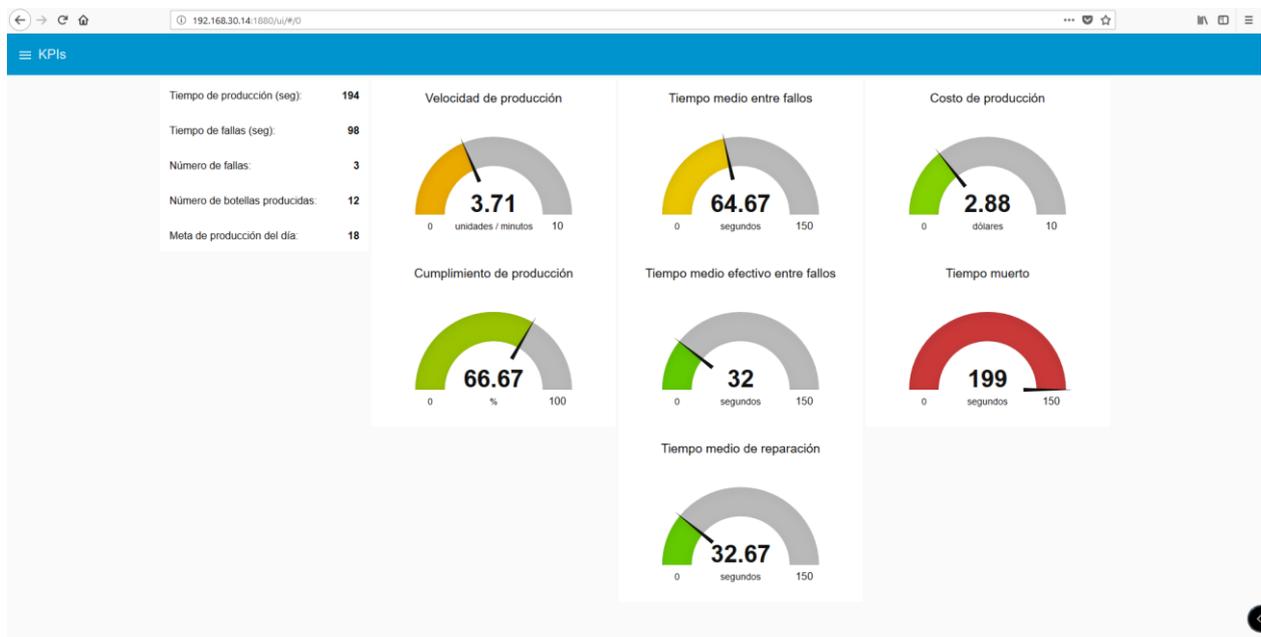


Figura 3.3 Ventana de “Lectura de KPIs”

De los seis KPIs que se obtienen de manera simultánea, la velocidad de producción y el costo de producción toman valores continuos. El resto de

KPIs se van acumulando acorde se desarrolla la operación de la planta. La figura 3.3 muestra los valores de KPIs generados en el instante en que el operador de la planta activó el fin de la producción desde el HMI. Esto nos permite establecer conclusiones del turno empleado en la producción en base a los índices de producción acumulativos.

Los KPIs fueron agrupados en tres grupos de manera vertical. En el primer grupo se colocó a la velocidad de producción y al cumplimiento de la producción. La velocidad de producción depende del número de botellas producidas y del tiempo que se tiene en la etapa de producción. Su valor se obtiene de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Velocidad de producción} &= \frac{\text{Número de botellas producidas}}{\text{Tiempo de producción [min]}} = \frac{12}{\frac{194}{60}} \\ &= 3.71 \text{ [unidades/min]} \end{aligned}$$

Con este valor podemos decir que en el instante en que se tomó el dato se producían casi cuatro unidades por minuto. Por otro lado, el cumplimiento de la producción es un índice que depende de la producción actual y la meta de producción planificada. Para el caso de la figura 3.3, se obtiene el siguiente valor:

$$\text{Cumplimiento de producción} = \frac{\text{Producción del día}}{\text{Meta del día}} \cdot 100\% = \frac{12}{18} \cdot 100\% = 66.67\%$$

Esto nos indica que sólo se produjo dos tercios de lo que se planificó, es decir que no se alcanzó la meta de producción.

En la segunda columna de KPIs se tiene al tiempo medio entre fallas (TMEF), al tiempo medio efectivo entre fallas (TMEEF) y al tiempo medio de reparación de falla (TMRF). Estos índices son calculados de la siguiente manera:

$$\text{TMEF} = \frac{\text{Tiempo de producción [s]}}{\text{Número de fallas}} = \frac{194}{3} = 64.67 \text{ [s]}$$

$$\begin{aligned} \text{TMEEF} &= \frac{\text{Tiempo de producción [s]} - \text{Tiempo de fallas [s]}}{\text{Número de fallas}} = \frac{194 - 94}{3} \\ &= 33.33 \text{ [s]} \end{aligned}$$

$$TMRF = \frac{\text{Tiempo de fallas [s]}}{\text{Número de fallas}} = \frac{94}{3} = 31.33 \text{ [s]}$$

En base a estos valores obtenidos se puede afirmar que durante la operación de la planta esta se encontraba en falla casi cada 65 segundos. La planta operó sin falla en intervalos de 33 segundos y al operador le tomó alrededor de 31 segundos limpiar las fallas generadas.

En la última columna de KPIs de muestra al costo de producción y al tiempo muerto. El primer índice mencionado es calculado mediante la ecuación 2.3, utilizando los datos ingresados por el usuario en la sección de “Costo de Producción”. En el instante en que se tomó el dato se tenía un costo por unidad de 2.88 dólares. Este KPI es el más importante de todos debido a que puede indicarnos si la producción está generando pérdidas para la empresa.

3.3.3 Planificación de producción

El usuario en planta tiene la opción de planificar la producción con el fin de plantear las metas de producción. Para esto se crearon dos ventanas, una para el registro de la producción y la otra para su edición, así como muestran las figuras 3.4 y 3.5.

Figura 3.4 Ventana de registro de la planificación de la producción

# Semana	Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Total
1	20/8/2018	18	18	18	18	18	90

Figura 3.5 Ventana de modificación de la planificación de producción

El usuario debe ingresar el primer día de la semana a planificar y la meta de producción diaria. Los datos de producción son establecidos por semana y con un único turno por día, toda esta información es guardada en la base de datos local.

En caso de que se cometa algún error en la planificación de producción, se puede editar su contenido. En ambas páginas se muestra una tabla con la información ingresada por el usuario. Gracias a la planificación de producción se puede generar un indicador que resuma la congruencia entre lo planificado y lo que realmente se produce en el turno.

3.3.4 Resumen de KPIs

En esta ventana el usuario podrá ver el histórico de los indicadores recogidos en los diferentes turnos guardados en la base de datos. Esta ventada muestra el promedio de la velocidad de producción y del costo de producción, además de los últimos valores registrados para el tiempo medio entre fallos, tiempo medio efectivo entre fallos, tiempo muerto y cumplimiento de la producción. La figura 3.6 muestra la distribución de la ventada “Resumen de KPIs”, mostrando la semana en que se registraron los datos y los valores de KPIs en cada turno.

Resumen de KPIs																												
Producción			Velocidad de producción				Tiempo medio entre fallos				Costo por unidad																	
# Semana	Semana	M	T	W	TH	F	Total	# Semana	Semana	M	T	W	TH	F	# Semana	Semana	M	T	W	TH	F							
1	20/8/2018	0	0	0	0	0	0	1	20/8/2018	3.68	0	0	0	0	1	20/8/2018	64.67	0	0	0	0	1	20/8/2018	2.47	0.11	0	1.84	1.91
Metas			Cumplimiento de producción				Tiempo muerto				Tiempo medio efectivo entre fallos																	
# Semana	Semana	M	T	W	TH	F	Total	# Semana	Semana	M	T	W	TH	F	# Semana	Semana	M	T	W	TH	F	# Semana	Semana	M	T	W	TH	F
1	20/8/2018	18	18	18	18	18	90	1	20/8/2018	66.67	0	0	0	0	1	20/8/2018	199	25	0	0	0	1	20/8/2018	10	0	0	0	0

Figura 3.6 Ventana de resúmenes de KPIs

3.3.5 Costo de producción

Esta ventana permite el ingreso de datos necesarios para calcular el costo de producción en tiempo real, tales como, el salario de los operadores, el costo de la materia prima y los costos indirectos. Toda esta información es ingresada por el usuario, así mismo en caso de variar alguno de estos valores se puede corregir para seguir realizando el cálculo. En la figura 3.7 se muestra la ventana de Costo de Producción, donde se indican los costos actuales. Además, se tiene un campo para ingresar nuevos valores o corregir los ya establecidos.

3.3.6 Pre-Producción

La ventana de Pre-Producción es una herramienta para el inicio de la producción, al mostrar por pantalla las fallas existentes en cualquier estación. Mediante un “OK” o “FALLA” se indica el estado de las estaciones, así en caso de que existan fallas el operador puede corregirlas antes de iniciar la producción.

De manera adicional, esta pantalla muestra el cálculo de los recursos existentes respecto a la planificación de producción, indicando de esta manera si es posible o no cumplir con la meta de producción del turno.

La figura 3.8 muestra la ventana mencionada, teniendo la distribución de las alarmas de cada estación, así como los datos necesarios y el cálculo ya realizado de los recursos para el cumplimiento de la producción programada.

Figura 3.7 Ventana de costo de producción

Figura 3.8 Ventana de costo de producción

3.3.7 Interfaz en la nube

Para fines de supervisión de la actividad de producción de los altos mandos de una empresa en cualquier parte del mundo con acceso a internet, se planteó una interfaz web en la nube donde se visualiza los *key performance indicators*, planificación de la producción e históricos de los indicadores como en la plataforma local. Esta interfaz por motivos de seguridad solo se puede visualizar información mas no cambiar los parámetros de costo de producción y planificación de producción.

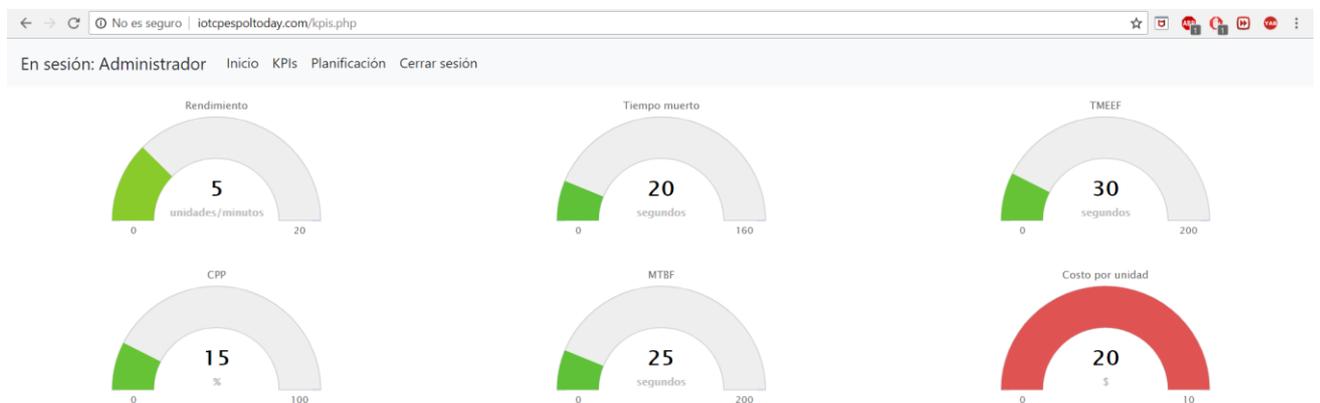


Figura 3.9 Interfaz en la nube

3.4 Resultados de la planta industrial

En base de las pruebas hechas con el sistema implementado en la planta industrial de estudio, se han recolectado los siguientes datos finales de los indicadores en la Tabla 3.1. y datos adicionales que presenta el sistema en la Tabla 3.2.

Tabla 3.1 Resumen de KPIs

Pruebas	Velocidad de Producción [u/min]	Tiempo medio entre fallos [s]	Tiempo medio de reparación del fallo [s]	Costo por Unidad [\$]	Cumplimiento de producción [%]	Tiempo muerto [s]	Tiempo medio efectivo entre fallos [s]
1	3,68	64,67	32,67	2,15	66,67	199	32
2	3,85	43,25	17	2,47	50	173	26,25
3	3,9	46	19,5	2,2	100	186	26,5
4	3,54	48,5	21,5	2,64	100	210	27
5	3,77	45,5	18,25	2,31	100	220	27,25
6	3,73	45,75	19	2,36	100	186	26,75
7	3,62	46,5	20,5	2,3	100	200	26
8	3,73	46,25	20	2,78	100	182	26,25
9	3,71	46	19,25	2,3	100	195	26,75
10	3,77	61	27,67	2,31	100	186	33,33
Promedio	3,75	49,34	21,53	2,38	91,67	193,70	27,81
Máximo	3,90	64,67	32,67	2,78	100,00	220,00	33,33
Mínimo	3,62	43,25	17,00	2,15	50,00	173,00	26,00

Tabla 3.2 Resumen de datos recolectados

Pruebas	Tiempo de producción [s]	Tiempo de fallas [s]	Número de fallas	Número de botellas producidas [u]	Meta de producción del día [u]
1	194	98	3	12	18
2	173	68	4	12	24
3	184	78	4	12	12
4	194	86	4	12	12
5	182	73	4	12	12
6	183	76	4	12	12
7	186	82	4	12	12
8	185	80	4	12	12
9	184	77	4	12	12
10	183	83	3	12	12
Promedio	184,80	80,10	3,80	12,00	13,80
Máximo	194,00	98,00	4,00	12,00	24,00
Mínimo	173,00	68,00	3,00	12,00	12,00

3.5 Viabilidad económica

El proyecto cuenta con sólo dos ítems para el desarrollo del mismo, que son el hardware implementado y la ingeniería alrededor del proyecto, la tabla 3.1 muestra el costo del proyecto.

Tabla 3.3 Costo del proyecto

Ítem	Cantidad	Costo por unidad	Costo Total
IoT2040	1	\$400,00	\$400,00
Ingeniería	1	\$12.000,00	\$12.000,00
		TOTAL	\$12.400,00

El criterio utilizado para la decisión de viabilidad económica del proyecto se basa en el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) [14], con un factor de rentabilidad mínima dictado por el inversionista del 50% y suponiendo que para mantener la disponibilidad del proyecto se necesite cada año \$1.000,00 para el mantenimiento de la plataforma. Asumiendo que la planta industrial actualmente cuenta con 2 personas encargadas del registro de los parámetros de producción ganando \$500,00 mensuales cada uno que ya no serán necesarios para ese objetivo, lo que representaría un ahorro para la empresa de \$12.000,00 anuales, con lo cual tenemos el flujo de caja en la tabla 3.2.

Tabla 3.4 Flujo de caja del proyecto

Año	Cobro	Pagos	Flujo de caja
0			-\$12.400,00
1	\$12.000,00	\$1.000,00	\$11.000,00
2	\$12.000,00	\$1.000,00	\$11.000,00
3	\$12.000,00	\$1.000,00	\$11.000,00

El cálculo de valor actual neto y la tasa interna de retorno fueron calculados con el uso de Microsoft Excel, con las funciones IRR para la tasa interna de retorno y NPV para el valor actual net, dando como resultado un VAN = \$3.081,48 y un TIR= 70,95%.

Al tener un valor actual neto positivo y una tasa interna de retorno mayor al factor de rentabilidad mínima, el proyecto es considerando una buena oportunidad [14].

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La generación de información útil en tiempo real a partir de datos de planta, el fácil acceso a dicha información y el uso de Internet de las cosas provee una herramienta importante para tomar decisiones administrativas dentro del sector de la producción. Este trabajo abre las alternativas para una solución ante la falta de información a nivel de planta fuera de programas privados al usar software libre.

Conclusiones

La solución implementada provee una herramienta administrativa para el sector de la producción, mostrando *Key Performance Indicators* en tiempo real a partir de señales de planta e información de planificación de la producción y costos involucrados en la misma. El uso del Internet de las cosas permitió la posibilidad de establecer acceso remoto a la plataforma local o a la plataforma web en la nube desde cualquier parte con acceso a Internet.

Se logró administrar la producción de la planta de producción de llenado de botellas mediante una interfaz de planificación, donde se ingresan las metas de producción por turno. Esto permite la gestión de la materia prima necesaria, al determinar si se puede cumplir la meta de producción mediante la comparación de la planificación del turno y los recursos actuales en planta, haciendo de la plataforma web una herramienta útil antes de iniciar la producción.

La información extraída de la planta industrial didáctica mostró un tiempo muerto equivalente aproximadamente al 50% del tiempo total de operación, lo que abre la posibilidad de mejorar el rendimiento de la planta industrial en esta etapa de producción. Datos relacionados al número y el tiempo de duración de las fallas reflejan el estado de mala calibración de la línea de producción, ya que el tiempo fallos es el 43,3% del tiempo de producción. El tiempo que se pierde en estas fallas es la apertura de la línea de producción para mejorar su rendimiento.

Para reparar un fallo se necesitan 21,53 segundos en promedio, además que se tienen en promedio 3,8 fallas en cada turno, un proyecto que pretenda disminuir un

25% el tiempo de reparación de los fallos ahorraría un total de 20.45 segundos al proceso, lo que conlleva a producir hasta 1.27 unidades más por turnos basados en el promedio de la velocidad de producción de la planta, esto representa un aumento del 10.65% a la producción planificada. Así mismo, un proyecto que disminuya un 25% el tiempo muerto podría tener un alcance de hasta 3.02 unidades más en el turno que representa un aumento del 25.22% de la producción realizada en las pruebas.

La interfaz local permite al administrador de la producción obtener información importante del funcionamiento en tiempo real de la situación en planta, además de acceder a información histórica de todos los indicadores KPIs registrados en los diferentes turnos. En esta interfaz también permite al administrador planificar la producción, información utilizada para brindar al operador una ventana que indica si se tiene los suficientes recursos para terminar la producción planificada. Esta interfaz al poseer todas las opciones de la plataforma desarrollada se encuentra bajo las seguridades de la red local.

Para la plataforma web local implementada, bajo las pruebas realizadas se estableció al navegador web predeterminado para este proyecto a Mozilla Firefox, especialmente sobre dispositivos móviles donde otros navegadores presentan complicaciones en la navegación sobre las interfaces.

La interfaz en la nube al presentar la información de los KPIs que genera la producción en campo, presentados en gráficos tipo *Dashboard*, en conjunto a datos de planificación de la producción ingresados por el encargado en planta, hace de esta parte del proyecto una herramienta de fácil lectura y fácil acceso para la gerencia, y de esta manera ejercer una rápida supervisión de las actividades en planta de manera remota.

La interfaz de costo de producción genera un control de los instantes en que la empresa está generando ganancias o pérdidas económicas por una interpretación visual de colores en la ventana de KPIs en las dos interfaces (local y en la nube), basando los límites de este valor en los requerimientos del cliente. Este dato al vincularse al sistema general de administración de la empresa ayudaría en los cálculos de rentabilidad de la institución.

Los resúmenes de KPIs al presentar datos históricos de los indicadores, es una herramienta para ver la evolución de la planta a través del tiempo, sobre todo, a partir de algún cambio en el proceso o maquinaria de la planta, que puede ser calificado como provechoso o improductivo en base a los resultados registrados en esta interfaz.

La ventana de Preproducción de la interfaz local muestra ser de ayuda al inicio de la producción al mostrar las diferentes alarmas o fallas de la planta industrial que incluyen la nula presencia de líquidos en los reservorios de la planta y los estados de falla que presentan las estaciones de trabajo. Además, presenta un cálculo en base a la producción programada en el turno y los recursos actuales de la planta, datos necesarios para conocer si se podrá realizar toda la producción planificada con dichos recursos.

El presente proyecto no intervino con la programación del controlador de la planta industrial. El algoritmo de control que automatiza las plantas industriales suele tener propiedad intelectual, lo que haría muy complicado tener acceso a las mismas, por esta razón se optó únicamente por crear una base de datos (DB) en la programación de la planta con las señales a utilizar, lo cual es factible de solicitar al fabricante de la máquina industrial, y así conocer el direccionamiento interno de las señales internas que son necesarias para un proyecto de este tipo.

El proyecto implementado es económicamente viable generando ganancias en el tercer año con un valor actual neto de \$3.081,48, con una inversión inicial de \$12.400,00 y una rentabilidad mínima del 50%, el flujo de caja es descrito en la Tabla 3.3. Además de presentar una tasa interna de retorno de 70.95%.

El uso de Node-RED como programa administrador de comunicación facilitó la implementación debido a poseer librerías como node-red-contrib-mysql para trabajar con MySQL y node-red-contrib-s7 para la comunicación con el controlador marca Siemens de la planta. Además, dentro de Node-RED se realizó codificaciones en JavaScript para el procesamiento de las señales provenientes de campo, lo que permitió el tratamiento preciso de los datos en tiempo real.

XAMPP como servidor de bases de datos y administrador de los servicios de este, resultó en ser un software de fácil uso y robusto para la aplicación realizada,

brindando todos los beneficios de una base de datos en MySQL y de un servidor Apache para la administración del mismo. El software cuenta con soporte del uso en la página oficial, además de poder ser usado de forma libre al ser un software de código abierto.

El uso de software libre para el desarrollo del prototipo evitó costos en licencias y amplió los alcances del proyecto por la fácil integración de diferentes tecnologías como Node-RED, controladores en planta y bases de datos, lo que facilita el desarrollo de prototipos como el del presente proyecto por no depender de terceros que provean licencias o permisos de uso.

El dispositivo elegido para alojar el servidor web a nivel local, realizar la adquisición de datos de planta y llevar a cabo el procesamiento de estas señales, el IoT2040, mostró disponer los suficientes recursos de procesamiento para la adquisición y tratamiento de los datos obtenidos en planta, pero al tener más de un dispositivo manipulando la plataforma web presenta problemas de actualización de datos. Otras de las ventajas que permitió el equipo es la topología de comunicación que se logró implementar, utilizando los dos puertos ethernet disponibles para manejar una red local con la planta industrial y la base de datos en planta, y el segundo puerto ethernet utilizado para acceder a la comunicación con la nube. Esta configuración de red permite independizar la red de planta con la red administrativa con internet, lo cual brinda más seguridad ante un intento de ataque informático a la red de la planta industrial.

Recomendaciones

El presente trabajo abre muchas líneas de desarrollo en diferentes disciplinas académicas. El levantamiento digital de un proceso conlleva a tener muchas posibilidades de generar información útil para una empresa, qué tipo de información y bajo qué necesidad es provechoso utilizar estos datos, abre muchas probables soluciones a la falta de información a nivel de planta.

El desarrollo de una plataforma completa para la administración de la producción es una constante búsqueda de herramientas que den soporte a esta área. Al estar involucrado procesos industriales, controladores en planta, lenguajes de programación, redes administrativas y servidores web, es recomendable que

disciplinas afines desarrollen proyectos multidisciplinarios para lograr implementar conceptos de ingeniería industrial, extrayendo datos de procesos automatizados, con una interfaz amigable y robusta.

En cuestiones del software de la plataforma realizada en este proyecto, se puede continuar con el desarrollo con la generación de informes diarios, por turnos o por secciones de tiempo elegidos por el usuario. Esto llevaría al administrador tener un histórico del cambio de su planta industrial para evaluar una decisión a lo largo de un periodo. Algo sumamente útil es registrar el ingreso a la plataforma de los diferentes usuarios, así como tener guardado en la base de datos quien realizo cambios en los diferentes valores ingresados por pantalla, para el gerente pueda supervisar el trabajo de cada usuario de la plataforma.

Para ampliar el uso de la plataforma aprovechando los índices creados, la integración con sistemas ERP, MES etc. Beneficiaría mucho a los administradores de otras áreas que dan soporte a la producción. Tener datos de producción como el costo por unidad para el área financiera, la planificación de la producción para la logística y bodega es información necesaria para cumplir los objetivos de estas áreas de la empresa.

El uso de IoT2040 para ser el servidor web local no es recomendable, por lo que se sugiere utilizar el dispositivo solo como pasarela de comunicación entre la planta industrial, las bases de datos y un servidor web alojado fuera del mismo, aprovechando los puertos ethernet disponibles se puede lograr independizar estas redes y hacer del sistema mucho más robusto y seguro. Tecnologías probadas de servidores web locales como XAMPP, abrirían muchas más opciones y utilidades en comparación al sistema implementado al no estar limitado a las opciones que gráficos y programación que posee Node-RED.

Trabajando en la misma área en que se desarrolló este proyecto, producción, se requiere el estudio de qué indicadores en tiempo real son los más necesarios para la oportuna toma de decisiones de los administradores que están en planta, así mismo, cuáles son los indicadores que son útiles para tomar decisiones financieras a mediano y largo plazo, incluso para verificar el producto de una inversión. Además,

el registro datos de consumo de energía de la planta industrial, lo que haría mucho más correcta el cálculo del costo por unidad.

La idea implementada es aplicable para el área de mantenimiento, donde los datos de planta como los tiempos de uso de la maquinarias y frecuencias de fallas por daños eléctricos o mecánicos, pueden generar indicadores que evidencien la administración en este sector. Al usar una tecnología libre y de fácil integración, añadir datos financieros a las señales de planta pueden llevar a generar información verídica y muy específica de maquinaria u procesos que están habiendo problemas que pueden ser imperceptibles en el día a día, pero que con advertencia en los indicadores se puede lograr optimizar estos elementos oportunamente y evitar maquinaria que esté generando pérdidas económicas para la empresa.

Una línea de investigación en el área de automatización es el control de lazo cerrado de indicadores como rendimiento, tiempo medio entre fallos, etc. Esto quiere decir, lograr la optimización de la línea de producción en función de costos, o indicadores usados en la administración, e implantar un control automático en la planta para el mismo. El paso previo a dicho control es el presente trabajo, donde se extrae datos de planta para generar información administrativa en tiempo real, luego de esto se requiere implementar un control robusto en función de actuadores en la planta industrial.

BIBLIOGRAFÍA

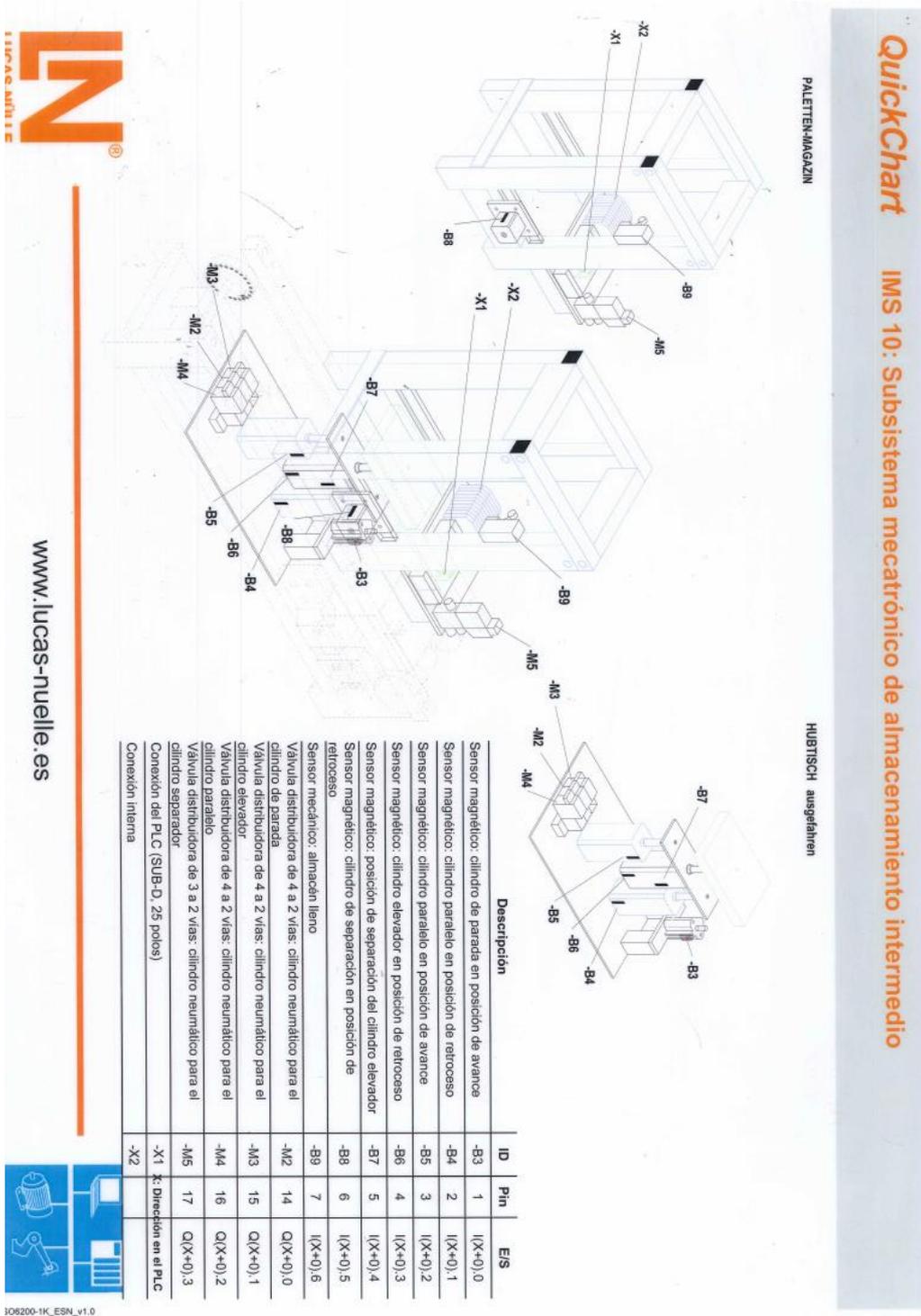
- [1] Office of Public Management: Planning and monitoring your program: First steps in program evaluation, p. 76.
- [2] V. Jovan, S. Zorzut, "Use of Key Performance Indicators in Production Management".
- [3] S. A. Zainal Abidin, S. N. Ibrahim, "Web-based Monitoring of an Automated Fertigation System: An IoT Application".
- [4] D.Gangaand, V. Ramachandran, "IoT based Vibration Analytics of Electrical Machines".
- [5] Siemens. (2016). SIMATIC IOT Operating Instructions [Online]. Disponible en: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/658/109741658/att_899623/v1/iot2000_operating_instructions_e_en-US.pdf
- [6] M. Lekić, G. Gardašević, "IoT sensor integration to Node-RED platform".
- [7] H. Rahadian, W. Nugroho, D. Izzhati, "Siemens CPU1215C input expansion and remote monitoring with Arduino bridge", Agosto 2016.
- [8] Wonderware (2018). Wonderware InTouch Access Anywhere: Your Web HMI and Mobile SCADA [Online]. Disponible en: <http://www.wonderware.es/hmi-scada/intouch-access-anywhere/>
- [9] Rockwell Automation (2014), FactoryTalk View Metrics User Guide [Online]. Disponible en: http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/plmt-um001_-en-p.pdf
- [10] SSH Communications Security (2018). PUTTY USER MANUAL [Online]. Disponible en: <https://www.ssh.com/ssh/putty/putty-manuals/0.68/index.html>
- [11] J. Garza-Reyes, "From measuring overall equipment effectiveness (OEE) to overall resource effectiveness (ORE)," Journal of Quality in Maintenance Engineering, vol. 21, (4), pp. 506-527, 2015. Disponible en: <https://search.proquest.com/docview/1850936138?accountid=171402>.

- [12] S. Huang, C. Yang and H. Liu, "Pricing and production decisions in a dual-channel supply chain when production costs are disrupted," *Econ. Model.*, vol. 30, pp. 521, 2013. Disponible en: <https://search.proquest.com/docview/1266240372?accountid=171402>.
- [13] J. Orozco Torres, "La Contabilidad de Costos, ". Disponible en: http://jotvirtual.ucoz.es/COSTOS/LA_CONTABILIDAD_DE_COSTOS.pdf
- [14] R. Fitzgerald, Part IV: Finance Techniques for Developing the Organization Chapter 12: Capital Investment Decisions (2002). Disponible en: <https://search.proquest.com/docview/251337189?accountid=171402>.

ANEXOS

ANEXO A

QuickChart IMS10 – Estación de almacenamiento temporal



www.lucas-nuelle.es



106200-1K_ESN_v1.0

QuickChart

IMS 10: Subsistema mecatrónico de almacenamiento intermedio

PALETEN-MAGAZIN

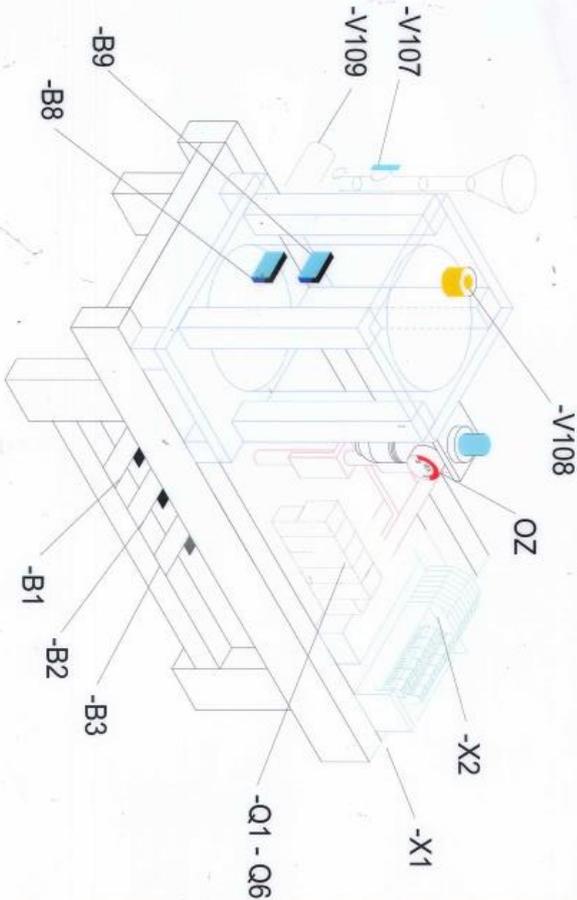
HUBTISCH ausgefahren

ANEXO B

QuickChart IPA 3 – Estación de envasado

QuickChart

IPA 3: Plantas de ingeniería de procesos
Estación de envasado



Descripción	ID	Pin	E/S
Sensor magnético de posición de envasado 1	-B1	1	E(X+0),0
Sensor magnético de posición de envasado 2	-B2	2	E(X+0),1
Sensor magnético de posición de envasado 3	-B3	3	E(X+0),2
Eje X, izquierda:	-B4	4	E(X+0),3
Eje X, derecha:	-B5	5	E(X+0),4
Eje Z, arriba	-B6	6	E(X+0),5
Eje Z, abajo	-B7	7	E(X+0),6
Nivel mínimo	-B8	8	E(X+0),7
Nivel máximo	-B9	9	E(X+1),0
Dosificar impulsos	-B10	10	E(X+1),1
Cilindro de parada, posición de llenado 1, descenso, válvula de 4 a 2 vías	-Q1	14	A(X+0),0
Cilindro de parada, posición de llenado 2, descenso, válvula de 4 a 2 vías	-Q2	15	A(X+0),1
Cilindro de parada, posición de llenado 3, descenso, válvula de 4 a 2 vías	-Q3	16	A(X+0),2
Eje X hacia la derecha, válvula de 4 a 2 vías	-Q4	17	A(X+0),3
Eje X hacia la izquierda, válvula de 4 a 2 vías	-Q5	18	A(X+0),4
Aire comprimido ON, válvula distribuidora de 3 a 2 vías	-Q6	19	A(X+0),5
Admisión de agua, válvula distribuidora de 2 a 2 vías	-Q7	20	A(X+0),6
Evacuación de agua, válvula distribuidora de 2 a 2 vías	-Q8	21	A(X+0),7
Admisión de agua, válvula distribuidora de 2 a 2 vías	-V107		
Limitador de presión a 0,3 bares, válvula de seguridad B100	-V108		
Commutación a modo de llenado, válvula distribuidora de 3 a 2 vías	-V109		
Limitador de presión con manómetro ajustado a 0,1 bar	OZ		
Sub-D de 25 polos, interfaz IMS	-X1		
Hilera de bornes	-X2		

X: dirección en el PLC



www.lucas-nuelle.es



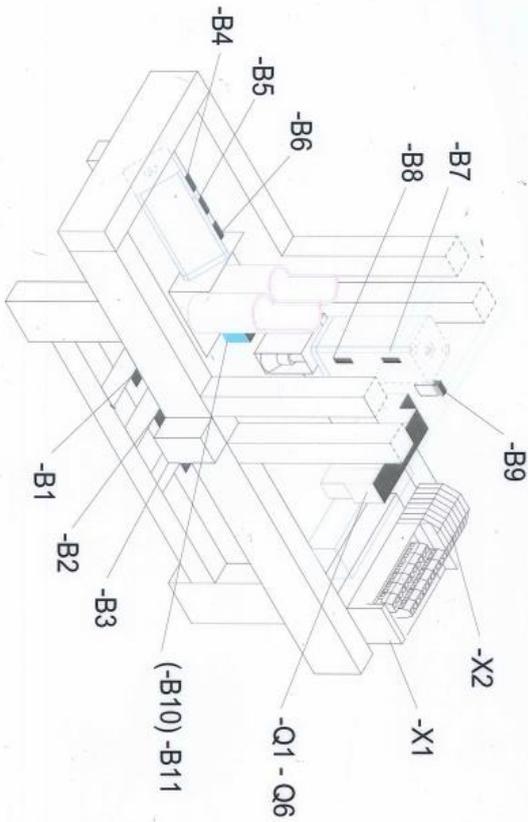
106200-2G_ESN_v1.0

ANEXO C

QuickChart IPA 4 – Estación de sellado

QuickChart

IPA 4: Plantas de ingeniería de procesos
Estación de sellado



Descripción	ID	Pin	E/S
Sensor magnético de posición de montaje 1	-B1	1	E(X+0),0
Sensor magnético de posición de montaje 2	-B2	2	E(X+0),1
Sensor magnético de posición de montaje 3	-B3	3	E(X+0),2
Cilindro de separación en posición inicial	-B4	4	E(X+0),3
Cilindro de separación en posición media	-B5	5	E(X+0),4
Cilindro de separación en avance	-B6	6	E(X+0),5
Cilindro de montaje en posición inicial	-B7	7	E(X+0),6
Cilindro de montaje en avance	-B8	8	E(X+0),7
Aspirador de vacío ON – sensor de vacío	-B9	9	E(X+1),0
Probar tapa, izquierda – sensor óptico	-B10	10	E(X+1),1
Probar tapa, derecha – sensor óptico	-B11	11	E(X+1),2
Avance de cilindro de montaje, válvula distribuidora de 4 a 2 vías	-Q1	14	A(X+0),0
Avance de cilindro de separación, válvula distribuidora de 4 a 2 vías	-Q2	15	A(X+0),1
Cilindro de parada, posición de montaje 1, descenso, válvula de 4 a 2 vías	-Q3	16	A(X+0),2
Cilindro de parada, posición de montaje 2, descenso, válvula de 4 a 2 vías	-Q4	17	A(X+0),3
Cilindro de parada, posición de montaje 3, descenso, válvula de 4 a 2 vías	-Q5	18	A(X+0),4
Vacío ON, válvula distribuidora de 3 a 2 vías	-Q6	19	A(X+0),5
Sub-D de 25 pines, interfaz IMS	-X1		
Hilera de bornes	-X2		

X: dirección en el PLC



LUCAS-NÜLLE

www.lucas-nuelle.es



506200-2H_ESN_v1.0

ANEXO D

QuickChart IMS 1.2 – Banda transportadora

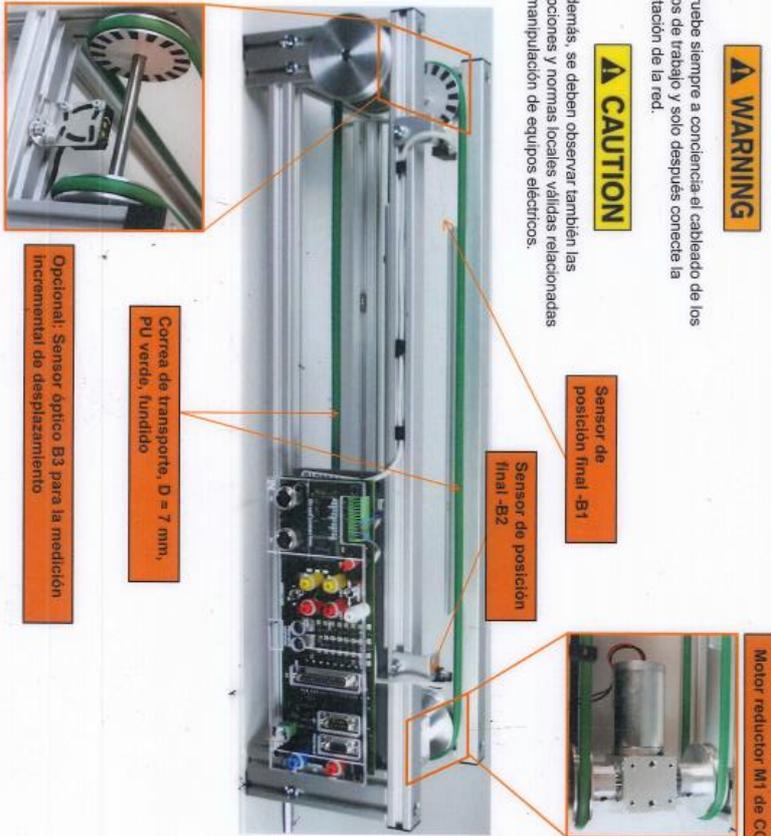
QuickChart IMS1.2: Sistema de transporte con accionamiento de corriente continua

⚠ WARNING

Compruebe siempre a conciencia el cableado de los módulos de trabajo y solo después conecte la alimentación de la red.

⚠ CAUTION

Por lo demás, se deben observar también las prescripciones y normas locales válidas relacionadas con la manipulación de equipos eléctricos.



Motor reductor M1 de CC



Sensor de posición final -B1

Sensor de posición final -B2

Correa de transporte, D = 7 mm, PU verde, fundido

Opcional: Sensor óptico B3 para la medición incremental de desplazamiento

Puesta en marcha rápida



Puesta en marcha rápida
 -- La alimentación de tensión se puede realizar por medio del terminal "EXTERN IN" o a través de los casquillos estándar de alimentación de corriente
 -- Para poder poner en marcha la cinta transportadora, en primer lugar, es necesario puentear los casquillos "+24V" y "+24V OUT", con lo que se suministra tensión a las salidas
 - El conmutador de velocidad se debe encontrar en la posición Izquierda de conmutación
 - El conmutador "Direccion" permite determinar el sentido de desplazamiento de la cinta
 - El potenciómetro "INT" sirve para determinar la velocidad de la cinta

Descripción	E/S
Sensor de posición final -B1	E(X+1).3
Sensor de posición final -B2	E(X+1).4
Casquillo M12 (X3)	E(X+1).5
Casquillo M12 (X4)	E(X+1).6
Marcha a la derecha	A(X+1).0
Marcha a la izquierda	A(X+1).1
Marcha lenta	A(X+1).2



www.lucas-nuelle.es

