

Diseño de un sistema de monitoreo de un prototipo de máquina industrial, para la presentación de datos en tiempo real con recursos de la nube de IBM en Colombia.

Nerley Adrián Giraldo Gómez

Dirigido por:

Santiago Rúa Pérez, Ph.D.

Universidad Nacional Abierta Y A Distancia

Escuela De Ciencias Básicas, Tecnología E Ingeniería

Medellín,

2021

TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	9
Abstract.....	11
Introducción	13
Planteamiento del problema	15
Justificación.....	18
Objetivo general	18
Objetivos específicos.....	19
Desarrollo metodológico	19
Estructura del trabajo	20
Marco teórico	22
Sistemas de ejecución de fabricación MES.....	24
Industria 4.0 e internet de las cosas IIoT.....	26
Sistemas de monitoreo para las máquinas industriales	28
Servidores en la nube	30
Microsoft Azure	32
Amazon Web Services	32
IBM cloud services.....	32
Requerimientos para el sistema de monitoreo.....	33
Requerimiento de hardware	34

Requerimiento de software.....	34
Implementación del sistema.....	36
Sistema electrónico	36
Planos eléctricos y manual del usuario.	36
Configuración Raspberry pi	38
Raspberry PI OS.....	39
Instalación del servidor LAMP	42
Bases de datos SQL.....	43
Plataforma en la nube IBM Watson.	48
Node-Red	51
Resultados finales	67
Casos de estudio.....	72
Caso de estudio 1.....	72
Caso de estudio 2.....	83
Caso de estudio 3.....	87
Recomendaciones	89
Presupuesto	92
Conclusiones	94
Glosario.....	95
Bibliografía	96

Anexos	100
--------------	-----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	<i>Alimentación placa Raspberry PI</i>	37
Figura 2	<i>Entradas y salidas placa Raspberry PI</i>	37
Figura 3	<i>Raspberry PI 3</i>	39
Figura 4	<i>PHP en placa Raspberry pi.</i>	43
Figura 5	<i>Que permite hacer SQL con la base de datos.</i>	44
Figura 6	<i>Estructura base de datos SQL en servidor local.</i>	45
Figura 7	<i>Servicio de prueba para evaluar funcionamiento base de datos SQL.</i>	46
Figura 8	<i>Base de datos remota almacenando información del sistema.</i>	47
Figura 9	<i>Gráfico de turnos SQL</i>	47
Figura 10	<i>Lógica de IBM Watson para resolver consultas</i>	48
Figura 11	<i>Historia de IBM Watson</i>	49
Figura 12	<i>Configuración de comunicación para recolección datos</i>	50
Figura 13	<i>Estado actual de la producción en máquinas en planta</i>	50
Figura 14	<i>Lista de recursos ofrecidos por IBM</i>	51
Figura 15	<i>Interfaz de node-red</i>	53
Figura 16	<i>Entradas desde puerto de placa Raspberry PI a Node-Red</i>	55
Figura 17	<i>Funciones para cargar mensaje en flujo</i>	56
Figura 18	<i>Función CHANGE y paso de variable a JSON</i>	56
Figura 19	<i>Flujos para contar los tiempos y graficar en dashboard</i>	57
Figura 20	<i>Datos en los flujos llevados a la nube de IBM Watson</i>	58
Figura 21	<i>Flujos de información alimentando base de datos SQL</i>	59
Figura 22	<i>Subrutina para almacenar información por turno de 8 horas</i>	60

Figura 23	<i>Vista general de todos los flujos del proyecto</i>	61
Figura 24	<i>DashBoard con información de los tiempos de paro y productos fabricados</i> . 62	
Figura 25	<i>DashBoard para visualizar la velocidad actual del equipo</i>	63
Figura 26	<i>Flujo para monitoreo estado del servidor</i>	64
Figura 27	<i>Dashboard con estado actual del servidor</i>	65
Figura 28	<i>Pruebas entrada Raspberry con Dip-switch y protoboard</i>	67
Figura 29	<i>Fuente de 5 v dc usada para simular entradas a Raspberry PI</i>	68
Figura 30	<i>RUN - STOP Máquina simulada</i>	68
Figura 31	<i>Maqueta 1 maquina industrial</i>	70
Figura 32	<i>Maqueta 2 máquina industrial potencializada</i>	71
Figura 33	<i>Sensor Producto</i>	72
Figura 34	<i>Configuración Entrada digital sensor producto</i>	73
Figura 35	<i>Tablero de control</i>	74
Figura 36	<i>Alarma puerta abierta</i>	75
Figura 37	<i>Alarma fin de rollo</i>	76
Figura 38	<i>Configuración entradas digitales Paro emergencia, Puerta y Fin de rollo</i> ..	77
Figura 39	<i>Máquina trabajando</i>	78
Figura 40	<i>Paro por avería</i>	78
Figura 41	<i>Paro programado</i>	79
Figura 42	<i>Paro por Servicio de Restaurante</i>	80
Figura 43	<i>Paro por uso W.C.</i>	81
Figura 44	<i>Paro por oprimir botón STOP</i>	81
Figura 45	<i>Velocidad actual máquina</i>	82

Figura 46	<i>Registro datos en servidor SQL local</i>	83
Figura 47	<i>Funciones para registro de datos servidor local SQL</i>	84
Figura 48	<i>Funciones para registro de datos servidor remoto SQL</i>	85
Figura 49	<i>Dispositivo registrado en nube de IBM</i>	86
Figura 50	<i>Gráfica de producción y paros en nube IBM</i>	87
Figura 51	<i>Monitoreo estado servidor</i>	88
Figura 52	<i>Raspberry PI industrial</i>	89
Figura 53	<i>Interfaz industrial SIEMENS Simatic ITO2000</i>	90

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 <i>Número de empresas por sectores económicos y tamaño 2018</i>	23
Tabla 2 <i>Especificaciones placa Raspberry PI 3</i>	40
Tabla 3 <i>Presupuesto mano de obra eléctrica y equipos del proyecto</i>	92
Tabla 4 <i>Registros Máquina 1 en base de datos SQL</i>	117
Tabla 5 <i>Alarmas en base de datos SQL</i>	121
Tabla 6 <i>OEE registrado en base de datos SQL</i>	125

Resumen

La información de eficiencia de los equipos de producción es muy importante en la industria, ya que esta se traduce en productos de mejor calidad, entregas a tiempo, clientes satisfechos, continuidad de la empresa y ganancias económicas.

Para el presente proyecto tecnológico, nos enfocaremos en la información que podemos tomar de los procesos productivos, específicamente de las máquinas industriales manufactureras con alimentación eléctrica.

Todo el tiempo las máquinas están generando información importante como: máquina está trabajando, velocidad, producción está entregando, y si por el contrario no está trabajando conocer cuál es la causa de su paro, así como la duración de cada paro y almacenar esta información.

Es importante el desarrollo de este proyecto y similares ya que las proyecciones para las tecnologías en la industria 4.0 son alentadoras, así como se menciona en este fragmento el cual dice que “El Banco Mundial proyecta hacia el año 2030 la automatización y la inteligencia artificial en los procesos de producción estarán generando el 14% del PIB mundial, y se estima que desde el 2018 a 2023 la Industria 4.0 aportarán entre 0.5 y 1.5 billones de dólares a la economía mundial.” Pricewaterhousecoopers, PCW (2017)

En el proyecto se adquiere información de las máquinas de producción industriales, con la instalación de sensores en puntos claves, para luego procesar y presentar esta información a los usuarios desde una aplicación WEB en tiempo real, tomando como referencia un sistema MES (Manufacturing Execution System) interconectándolo con la nube de IBM y la aplicación Watson se analizan los datos de producción históricos en IBM-COGNOS, en la plataforma de

IBM es posible añadir otros servicios cognitivos para analizar los datos recolectados por el sistema.

Por último, la información se va a almacenar en bases de datos SQL para su posterior análisis y presentar resultados de periodos de tiempo históricos más amplios.

El proyecto se realizó utilizando software y hardware libre en la parte de recolección y procesamiento local de la información con el objetivo de tener un alcance amplio en las industrias de todos los tipos, los lenguajes utilizados son de fácil aprendizaje para el personal de mantenimiento o sistemas de cada compañía y así lograr que se puedan personalizar las aplicaciones de acuerdo a las necesidades particulares.

Palabras claves: monitoreo en tiempo real, IBM Watson, bases de datos, IoT.

Abstract

The Information on the efficiency of production equipment is very important in the industry, since it translates into better quality products, on-time deliveries, satisfied customers, business continuity, and economic gains.

For this technological project, we will focus on the information that we can take from production processes, specifically from industrial manufacturing machines with electrical power.

All the time the machines are generating important information such as: machine is working, speed, production is delivering, and if on the contrary it is not working, know what is the cause of its stoppage, as well as the duration of each stoppage and store this information.

The development of this project and similar projects is important since the projections for technologies in Industry 4.0 are encouraging, as is mentioned in this passage which says that "The World Bank projects automation and artificial intelligence in production processes will be generating 14% of world GDP, and it is estimated that from 2018 to 2023 Industry 4.0 will contribute between 0.5 and 1.5 trillion dollars to the world economy. " Pricewaterhousecoopers, PCW (2017)

In the project, information is acquired from industrial production machines, with the installation of sensors at key points, to then process and present this information to users from a WEB application in real time, taking as a reference a MES (Manufacturing Execution System).) interconnecting it with the IBM cloud and the Watson application, historical production data is analyzed in IBM-COGNOS, on the IBM platform it is possible to add other cognitive services to analyze the data collected by the system.

Finally, the information is going to be stored in SQL databases for further analysis and to present results from longer historical periods of time. The project was carried out using free

software and hardware in the part of local information collection and processing with the aim of having a wide scope in industries of all types, the languages used are easy to learn for maintenance or systems personnel. of each company and thus achieve that applications can be customized according to particular needs.

Keywords: real time monitoring, IBM Watson, databases, IoT.

Introducción

La problemática de algunas empresas industriales manufactureras en Colombia por no tener un sistema para medir el estado de sus máquinas industriales puede acarrear pérdidas ocultas, es por ello que en este documento ofrecemos una alternativa viable y económica para controlar el proceso de producción, esto representa mayor cantidad de productos buenos fabricados y por lo tanto mayores ganancias económicas lo que a su vez se traslada en empleos estables, desarrollo de las comunidades y del país.

El principal insumo para controlar los procesos es tener información de nuestros procesos específicamente conocer cuántos productos estamos fabricando, que sean de buena calidad, que estén acorde con lo que se programó por el área de logística, que el valor que se calculó para el costo por parte del área de contabilidad esté de acuerdo con los parámetros establecidos del producto entre muchas otras variables que se deben tener en cuenta en la fábrica.

Con el surgimiento de nuevas tecnologías y paradigmas para la industria, la posibilidad de conectar todos los equipos e inclusive sus componentes internos a la red de información en tiempo real, también llamada internet industrial de las cosas IIoT (Industrial Internet of Things) por sus siglas inglés, que es una parte de la llamada cuarta revolución industrial o industrias 4.0 (Mega revolución de las industrias del planeta en su cuarta etapa), es posible tener sistemas de adquisición de datos compatibles con los equipos antiguos y nuevos, que pueden alimentar el sistema con información directa de las máquinas, desde la parte industrial estos sistemas se han llamado MES (Manufacturing Execution System) por sus siglas en inglés, los cuales son sistemas estructurados para recolección de la información de forma automática.

El proyecto tecnológico que se está presentando en este documento se diseñó para ayudar a las empresas a tener información del estado sus máquinas actualizada en tiempo real ,

el resultado final es un sistema MES con las herramientas básicas necesarias para funcionar, pero es necesario continuar su desarrollo y agregar módulos y funciones adicionales, el sistema presenta las siguientes funciones en su versión 1: contador de producción, velocidad actual, gráficos, informes del OEE, paros del equipo tanto conectados a entradas digitales y razones de paro en pantalla para que el operario los seleccione, almacenamiento de información en base de datos SQL, envío de datos y graficas en la nube de IBM “WATSON IOT PLATFORM”.

El sistema es adaptable a las necesidades particulares de cada industria, se pueden agregar más sensores para monitorear condiciones del equipo, modificar nombres de alarmas o razones de paro en pantalla.

De acuerdo con las opciones que ofrece la tecnología y las necesidades particulares que tienen las empresas manufactureras, se desarrolla un prototipo de máquina genérico para la simulación, pruebas y tomas de datos del sistema MES, los procesos para tener la información de las cantidades de producción en cada turno, tiempos de paro, además de definir qué tipo de paro se presenta en los equipos.

Por lo general el seguimiento de la producción es llevado de forma manual por el operador en formatos escritos llenados al final de cada turno, luego toda la información debe ser digitada en hojas de Microsoft Excel o similares, archivar las planillas en el computador del supervisor de la empresa, esto ocasiona información poco precisa basada en lo que el operario reporte, y es difícil recuperar o filtrar datos importantes históricos que pueden ser de beneficio para identificar oportunidades de mejora, información obtenida por experiencia personal después de más de 20 años de trabajo en diferentes empresas manufactureras. .

La importancia de realizar el proyecto radica en el hecho de que se tendría un sistema automático de adquisición de datos de las máquinas de producción las cuales alimentarán con

información en tiempo real el sistema propuesto, utilizando tecnologías nuevas, fiables, económicas y de código libre.

Algunas características generales del sistema son: Toma de datos de sensores específicos de la máquina, pantalla touch screen con botones para elegir el tipo de paro si es por falta de producto, operador en servicio de alimentación, operador debe ir al WC, paro programado por logística, o la información que la empresa considere relevante en su proceso, se podrá visualizar la información gráficamente en tiempo real desde la nube IBM Watson es importante recordar que la información ya está en Watson y por lo tanto se tiene la posibilidad de conexión con aplicaciones de análisis cognitivos (no al alcance de este proyecto), y el archivado de toda la información en bases de datos SQL de manera local y remota.

Planteamiento del problema

Colombia tiene grandes retos para lograr llegar a la madurez de la industria 4.0 en comparación con otras empresas y en otras geografías del mundo, con el uso de la tecnología como medio y como fin podemos llegar al desarrollo de nuestro país. (Casas, Aguirre, & Yanet, 2019)

El uso de la tecnología se debe convertir en prioridad en la industria Colombiana más aun estos 2 últimos años de pandemia ocasionado por el virus del COVID 19 que ha golpeado a las industrias de diferente forma en sus operaciones y comercialmente, pero donde hay desafíos también hay nuevas oportunidades para la industria y especialmente la industria 4.0 ya que la tecnología está siendo protagonista indiscutible para que las empresas y en general la sociedad pueda continuar desarrollando la mayoría de las actividades, la oportunidad radica en el aumento del uso de medios tecnológicos, ventas en línea, educación, redes sociales etc. Lo que llevara a

un fortalecimiento de estos medios y que las empresas deberán saber capitalizar para salir victoriosas de la crisis. (Villanueva, 2020)

El aumento de producción y la necesidad de generar mayores ganancias en la industria debe conducir a mejorar en la capacidad de producción industrial con mejor calidad de esta es allí donde surge la necesidad de implementar tecnologías 4,0 al interior de la industria.

Según Bruce Mac Master presidente de la ANDI en Colombia, en el marco del Innovation Land en Medellín del 19 de noviembre de 2019, presentó algunas de las cifras de la Encuesta de Transformación Digital del 2018 revelaron que “hoy el 88,2% de las empresas conoce qué es la Cuarta Revolución Industrial, mientras que para 2017 esa cifra era de sólo 65,2%. Además, 63,5% de las empresas (54,9% del sector manufactura y 74,1% del sector servicios) ya tiene una estrategia de transformación digital, frente a 2017 cuando este indicador era de 58,4%. Respecto a la inversión, 66,5% de las empresas que invierte, destina sus recursos a tecnologías maduras y 62,7% a tecnologías emergentes” (ANDI, 2018)

También nos podemos apoyar en el reporte de Frost & Sullivan el cual indicó que “para el año 2022 en Colombia el mercado de Internet de las Cosas Industrial (IIoT) generará ingresos por 523,7 millones de dólares, con una tasa de crecimiento compuesto anual (CAGR por sus siglas en inglés) del 20,8 por ciento” (Sullivan, 2018)

Según el documento: Preparación para la disrupción del internet de las cosas se afirma que “La industria inteligente está en un estado muy incipiente en Colombia, el IoT aumentará la productividad y eficiencia de la industria colombiana, por lo que se proyecta una CAGR del 21,4% para los próximos cinco años. De hecho, en el Foro Económico Mundial de 2019 en Davos, Medellín fue elegida como sede del primer Centro para la Cuarta Revolución Industrial en América Latina.” (Informe técnico de BID Invest, GSMA y Frost & Sullivan, 2019)

Esta información revela que hay una región de la industria en Colombia la cual tiene falencias y por tanto capacidad de crecimiento, dado que muchas industrias no tienen conocimiento acerca de que es la industria 4.0, según la encuesta de transformación digital realizada por la ANDI que reveló cuáles son las mayores barreras y desafíos que enfrentan las compañías para lograr una transformación digital exitosa arrojó los siguientes datos “Presupuesto (59,2%), falta de cultura (57,1%), desconocimiento (55,4%), y falta de un modelo de negocio claro (36,5%), entre los principales” (ANDI, 2018)

Por datos como estos, se pone en evidencia que se requiere una solución de costo medio y adaptable a todas las industrias de nuestro país, donde hay empresas que tienen equipos con muchos años de antigüedad y carecen de sistemas de medición como plataformas MES u otras.

De acuerdo a los datos analizados se observa que en Colombia hay condiciones para el desarrollo de este proyecto, propuesta que incluye implementación de hardware y software, con capacidad de adquirir información por sus puertos tales como entradas y salidas digitales, analógicas, I2C, RS232, Ethernet, WIFI etc.

Toda esta información es procesada en tiempo real por el servidor y visualizada en una página WEB, donde puede ser consultada desde la red local. El operario puede ingresar información como el tipo de paro programado en el equipo, cuando el paro no es detectado por un sensor de la máquina.

La propuesta incluye 4 opciones de paro los cuales son a modo ilustrativo: Paro programado, para por W.C., paro por servicio de alimentación y paro por avería. los datos recolectados indican el tiempo de paro de cada evento, también cuenta la producción y velocidad, adicionalmente toda la información puede ser consultada desde una página WEB local y enviada a la nube de IBM y su herramienta Watson, la cual puede ser vista en tiempo real y

desde cualquier lugar del mundo, además podría conectarse con APIs (Application Programming Interface) cognitivas para analizar datos y presentarlos de forma resumida en lenguaje de fácil comprensión para cualquier persona, la cual es una excelente alternativa de la empresa IBM con su aplicativo Watson (No se implementara esta parte en este proyecto).

Justificación

La implementación del proyecto busca aumentar la productividad de los equipos en las plantas de producción de empresas manufactureras en Colombia, para lograrlo se necesita información ajustada a la realidad de cada equipo en tiempo real y acceso a datos históricos.

Con la información obtenida los gerentes de producción pueden visualizar el estado actual de los equipos, tomar medidas rápidas y efectivas que ayuden en la dinámica empresarial y además que sea ágil y adaptable al proceso productivo.

En caso de presentarse fallas o paros no programados en los equipos estos se evidencian fácilmente y los operadores de las plantas contarían con acceso a la información de la máquina, el departamento de mantenimiento por ejemplo pueden encontrar las causas raíces de las averías, pérdidas ocultas o fallas repetitivas en estos equipos, estas pueden ser tan amplias como: averías graves, fallas ínfimas, falta de capacitación del operario, mala planeación, falta de producto, malos ajustes del equipo, paros por falta de programación de producción, y en general cualquier ítem que la empresa considere necesario medir y el cual se puede agregar al sistema.

Objetivo general

Diseñar y fabricar un sistema electrónico de monitoreo de producción en máquinas industriales, presentación de los datos localmente en página WEB de forma gráfica y desde la nube de IBM Watson, enviar la información a un servidor SQL para almacenar los datos.

Objetivos específicos

- Seleccionar plataforma de hardware y software para sistema de monitoreo industrial.
- Conectar el dispositivo con la nube de IBM Watson y base de datos SQL.
- Generar gráficas de producción, número de unidades producidas, tipos de paro del equipo con tiempos de cada uno.
- Enviar los datos y graficar en la nube de IBM Watson.
- Enviar los datos a dos bases de datos SQL de forma local y remota.
- Realizar simulación del proyecto, visualizar datos y gráficas de forma local (cliente WEB) y en la nube de IBM Watson con almacenamiento de la información en una base de datos SQL local y remota.
- Construir plano eléctrico y manual de usuario para la operación del sistema.
- Realizar instalación en máquina de prueba y evaluar resultados.

Desarrollo metodológico

- Instalar LAMP (Linux, Apache, MySQL, PHP/Perl/Python), que es el acrónimo usado para describir un sistema de infraestructura de internet, que usa las siguientes herramientas: Linux el cual es el sistema operativo, Apache es el servidor web, MySQL con MariaDB es el gestor de bases de datos y PHP es el lenguaje de programación usado.
- Instalar el software gráfico de código abierto diseñado por la empresa IBM llamado NODE-RED basado en el software NODE-JS.
- Configurar base de datos SQL, con MYPHP_admin.
- Configurar cuenta en IBM Watson.

- Programar entradas del Raspberry PI con NODE-RED, programar las funciones para que las entradas cuenten tiempo y se visualicen en IBM Watson, en página web local, y se envíe la información a la base de datos remota.
- Instalar placa de expansión a la placa Raspberry PI y optoacopladores a las entradas que conectaremos a la máquina industrial, poner todo en la caja plástica con tapa.
- Realizar pruebas de simulación en prototipo de máquina y toma de resultados.

Estructura del trabajo

Este proyecto se va a realizar en diferentes etapas secuenciales, las cuales son:

- Etapa 1: En esta primera etapa, realizaremos consultas bibliográficas para definir conceptos que usaremos en el transcurso del proyecto, se definirán conceptos clave respecto a los sistemas de adquisición de información de máquinas industriales se revisará las plataformas de software y hardware utilizadas en el proyecto.
- Etapa 2: Revisaremos necesidades comunes de los posibles usuarios del sistema que se implementará, luego definiremos requisitos para implementar el prototipo como hardware y software (IDE) que cumplan los requisitos propuestos en el desarrollo del sistema.
- Etapa 3: Para esta etapa se inicia con la implementación del sistema se definirá la interfaz de usuario, entradas y salidas del sistema, almacenamiento de información, y métodos para graficar la información en el servidor WEB local y en la plataforma IBM Watson.
- Etapa 4: Se implementa el sistema en la parte de hardware y software que cumplan con los requisitos descritos en las etapas anteriores se instalarán las interfaces de acoplamiento de voltajes, se realizarán pruebas con todos los sistemas en línea y conectados.

- Etapa 5: En esta etapa se realizarán pruebas y se tomarán datos ante diferentes escenarios, se verifica que cada parte del sistema cumpla con los objetivos propuestos.

Marco teórico

La confiabilidad, la disponibilidad y el rendimiento de los equipos son una prioridad para las empresas colombianas, hay varias formas de obtener estos indicadores y la principal y más utilizada en la actualidad es la transformación digital.

” Ocho de cada diez empresas colombianas han comenzado ya algún proceso de transformación digital, según el Primer Estudio de Transformación Digital de la Empresa Colombiana, realizado por Territorio Creativo y Colombia Digital, con el apoyo del Centro de Innovación de BBVA y el Ministerio de las Tecnologías de Información y las Comunicaciones.”

Para poder controlar los indicadores es necesario tener información de los equipos y esta información debe ser real, “el 98% de los empresarios en Colombia consideran importante promover el uso de tecnologías emergentes y digitales en sus compañías.” (Summit, 2019)

Hay variadas formas en que las empresas planean las inversiones en tecnologías nuevas y emergentes “El 57,8% de los que realizaron inversiones tecnológicas busca reducir costos” (Summit, 2019)

Para reducir costos se deben conocer los factores que ocasionan sobrecostos o faltas de productividad, se tienen que identificar pérdidas ocultas o paros de los equipos que no fueron programados.

La realidad en Colombia muestra inclusive que algunas pequeñas empresas PYMES trabajan sin herramientas e información de equipos y esto en un sector que aporta mucho al desarrollo de nuestro país “En septiembre del 2020, Colombia tiene 2.540.953 mipymes, que es equivalente al 90% de las empresas del país, estas solo producen el 30% del producto interno bruto, pero además generan más del 65% de los empleos en Colombia.” (Economía, 2020)

De acuerdo con otro estudio del 2018 por confecámaras hay 135.607 empresas manufactureras donde solo 3.671 son grandes y medianas empresas (ver Tabla 1)

Tabla 1

Número de empresas por sectores económicos y tamaño 2018

Número de empresas por sectores económicos y tamaño, 2018						
	Gran Empresa	Mediana empresa	Pequeña empresa	PYME (Pequeña + Mediana)	Microempresa	TOTAL
A : Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca	343	1.341	3.261	4.602	21.038	25.983
B : Explotación de minas y canteras	249	393	953	1.346	10.011	11.606
C : Industrias manufactureras	1.072	2.499	9.926	12.425	122.111	135.607
D : Suministro de electricidad, gas, vapor y aire	119	71	177	248	2.690	3.057
E : Distribución de agua, saneamiento ambiental	70	159	490	648	6.490	7.208
F : Construcción	772	2.585	8.170	10.755	82.418	93.945
G : Comercio al por mayor y al por menor;vehículos	1.146	4.476	18.824	23.300	261.295	285.741
H : Transporte y almacenamiento	313	1.030	4.363	5.393	38.408	44.113
I : Alojamiento y servicios de comida	105	341	1.829	2.170	24.301	26.576
J : Información y comunicaciones	165	482	2.410	2.892	44.119	47.176
K : Actividades financieras y de seguros	621	861	2.068	2.930	29.463	33.013
L : Actividades inmobiliarias	541	2.261	6.828	9.088	48.468	58.098
M : Actividades profesionales, científicas y técnicas	333	1.491	8.380	9.871	141.863	152.067
N : Actividades de servicios administrativos y de apoyo	247	1.042	4.124	5.166	63.478	68.891
O : Administración pública y defensa;seguridad social	18	11	37	48	1.590	1.656
P : Educación	16	98	675	773	13.239	14.028
Q : Actividades de salud humana y asistencia social	169	565	2.432	2.997	29.830	32.997
R : Actividades artísticas, de entretenimiento	33	121	690	811	11.315	12.160
S : Otras actividades de servicios	130	82	507	589	13.779	14.497
T : Actividades hogares en calidad de empleadores	-	-	1	1	153	154
Z : Actividad no Homologada a CIU V4	332	1.550	11.617	13.167	538.271	551.769
Total	6.793	21.459	87.761	109.220	1.504.329	1.620.342

Nota: Tomado de <http://economiaaplicada.co/index.php/10-noticias/1493-2019-cuantas-empresas-hay-en-colombia>

Para toda empresa manufacturera, incluso las pequeñas que no cuentan con tales datos es importante estimar cuánta producción entregan por unidad de tiempo o por turno de trabajo, que paros hay en los equipos, entre muchos factores que tal vez no están identificados por las empresas, sean grandes o pequeñas, se deben detectar los paros de producción de acuerdo a cada empresa y sus características de funcionamiento, identificar este tipo de averías en tiempo real permitirá que las empresas sean más competitivas en un mundo cada vez más globalizado.

Las causas para que las empresas no cuenten con sistemas de gestión de la información son variadas, pero principalmente se debe a motivos económicos también se puede mencionar

que generalmente no están utilizando la herramienta de medición correcta o poseen una herramienta de medición no muy confiable, por ejemplo, cuando es el operador el encargado de llenar a final del turno una planilla con el resumen, el cual en ocasiones no se llena o se hace de forma incorrecta.

Teniendo en cuenta estos datos se busca un método que sea efectivo, de un costo moderado, desarrollado en Colombia y adaptable a las necesidades específicas de cada empresa, además tener la posibilidad de conexión con herramientas innovadoras y actuales que permitan identificar claramente el estado actual de las máquinas, señalar pérdidas en tiempo real, poder realizar planes de mejora, en caso de desviaciones de las metas que las compañías se proponen y finalmente hacer que la empresa sea rentable y competitiva para inversionistas, apuntar en lograr que Colombia sea un país desarrollado con un sector manufacturero competitivo y de calidad mundial.

Sistemas de ejecución de fabricación MES

Un sistema MES (Manufacturing Execution System) es un sistema de gestión adquisición de datos comunes y en tiempo real en las diferentes áreas de una empresa sus principales objetivos son reducir tiempos de respuesta, reducir costos de producción, mejorar los indicadores de calidad.

Se identificó las 11 funciones principales asociadas a los sistemas MES (MESA INTERNACIONAL, 1997a):

- Asignación y estado de recursos
- Programación detallada de operaciones
- Despacho/ejecución de unidades de producción
- Control de documentos

- Adquisición/recolección de datos
- Gestión laboral
- Gestión de la calidad
- Gestión de proceso
- Gestión de mantenimiento
- Seguimiento de productos
- Análisis de rendimiento

Este proyecto no es el desarrollo completo de un sistema MES por tal razón solo se desarrollarán parte de los módulos propuestos con software poco tradicionales en el ámbito de la programación estructurada comúnmente usada en este tipo de desarrollos, el software usado es de programación visual por flujos, de código abierto y completamente embebido en el internet de las cosas IoT y es compatible con múltiples plataformas de diferentes fabricantes.

Con la finalización de este proyecto se tendrá desarrollado los siguientes 3 módulos descritos por (MESA INTERNACIONAL, 1997a):

- Adquisición/recolección de datos
- Gestión de proceso
- Análisis de rendimiento

Estas 3 funciones se procesarán en el servidor local y serán presentadas en la intranet de la empresa al ingresar al link específico del equipo a monitorear, adicional se contará con gráficas y envío de la información a IBM Watson para análisis de datos en una segunda versión del proyecto.

Industria 4.0 e internet de las cosas IIoT

El proyecto está desarrollado con tecnologías utilizadas ampliamente en el llamado internet de las cosas ya que se utilizan dispositivos tanto versátiles como actuales, con múltiples puertos de conexión a gran variedad de dispositivos, con protocolos de conexión estándares adicionalmente el software utilizado para conectar diferentes dispositivos a la red global de internet.

La expresión famosa en la actualidad industria 4.0 fue utilizada por primera vez en Alemania en el 2011, y se refería a una idea de interconectar cada parte de la empresa por medio de tecnología informática y dispositivos IoT (Internet of things).

Al aplicar el internet de las cosas en la industria este adquiere el nombre de internet industrial de las cosas IIoT (Industrial Internet Of Things)

Es algo similar a las 3 revoluciones industriales que nos preceden como fue aprovechar el poder del vapor y el agua para la primera revolución industrial en su época causó grandes impactos sociales y económicos, después vino la producción en masa con algo que se llamó la segunda revolución y permitió a las fábricas fabricar elementos a menor precio lo cual hizo posible que los elementos fabricados en masa lleguen a todo público, y de la tercera caracterizada por el crecimiento de la electrónica y la proliferación de las tecnologías de la información en la cual están la mayoría de empresas en el mundo principalmente en países en vía de desarrollo.

La industria 4.0 (o cuarta revolución industrial) representa la fusión del internet con la fábrica, dando a cada componente y máquina una dirección IP propia con la capacidad de producir, manejar datos compartir estos datos con otras máquinas (m2m) o con personas (m2p)

los cuales pueden ser usados para flexibilizar la industria, prevenir fallas, y operación y reparación de forma remota.

Logrando que las máquinas estén interconectadas adquiriendo, analizando información de forma automática y autónoma nos dan la capacidad de crear nuevas formas de negocio que estarían en concordancia con la humanidad volviendo esta industria parte integral de la sociedad.” (Tapia, 2014)

Internet de las cosas está ocasionando la unión del mundo físico y del mundo digital creando un nuevo y tercer mundo, las empresas deben entender este nuevo mundo y adaptarse a este.

Es importante analizar como las anteriores revoluciones industriales crearon nuevas oportunidades y cómo las empresas que entendieron esto lograron sostenerse y reinventarse para nacer cada vez más grandes y sostenibles en el tiempo, las empresas que no entendieron las revoluciones fracasaron y pasaron dificultades, por tal motivo es conveniente analizar cómo fue que las revoluciones anteriores jugaron en las industrias papeles importantes.

En la segunda mitad del siglo XVIII se da la primera revolución industrial la cual se dio con la llegada de medios de producción mecánicos accionados por energía como el agua y el vapor en lugar de los procesos de producción manual y el uso de la tracción animal.

En los años comprendidos entre 1850 y 1870 se da inicio a la segunda revolución industrial impulsada por la electricidad, la química y el automovilismo lo que permitió la producción en masa.

La tercera revolución industrial se da con la llegada del siglo XXI y es la llegada de la electrónica y las telecomunicaciones en la industria, también las energías renovables

convergióron con esta etapa de la industria, se dio la automatizaci3n ampliamente en las empresas y se vieron robots industriales en muchas empresas del mundo.

Sistemas de monitoreo para las máquinás industriales

Existen variados sistemas de monitoreo en equipos industriales en planta, la mayoría son soluciones personalizadas y que se adaptan a la necesidad de cada planta industrial, adicional estas soluciones presentan costos de implementaci3n elevados y un ROI (Tasa de retorno a la inversi3n) de 6 meses o un ańo dependiendo del tipo de planta lo cual representa una buena oportunidad de inversi3n en las diferentes fábricas.

Estos sistemas buscan la optimizaci3n de los procesos en las empresas de todos los tipos, se usa tecnología actual e inteligente, con ayuda de las diferentes herramientas tecnológicas se logra capturar los datos importantes y claves de los equipos de producci3n sin importar la tecnología que usen o el modelo.

Aquí utilizamos el concepto llamado “Internet de las cosas” que con la ayuda de diversos recursos basados en tecnología proporcionan la informaci3n en tiempo real, esta informaci3n siempre está en línea y con posibilidad de ser monitoreada desde diversos dispositivos e inclusive a nivel mundial.

En todas las plantas industriales es muy importante que las decisiones que se tomen sean acertadas y cuenten con la informaci3n en tiempo real, es por esto que es una condici3n en la actualidad contar con sistemas que tengan la capacidad de procesar la informaci3n en tiempo real y que cuenten con los puertos de conexi3n adecuados para transmitir la informaci3n.

Con la implementaci3n de “Internet de las cosas en sistemas de monitoreo en plantas industriales” se puede tener la gesti3n óptima de todos los datos, y estos datos se pueden

visualizar desde diferente tipo de terminales como: Smartphones, computadoras, tablets, entre otros.

Lo que permite que se pueda monitorizar la planta en cualquier lugar en cualquier momento y desde cualquier dispositivo dando flexibilidad en la información recopilada y disponibilidad inmediata para la toma de decisiones rápida.

Por lo tanto, el “Internet de las cosas en monitoreo industrial”, ayuda y permite que la información sea inmediata y ayuda a que los indicadores sean positivos como los rendimientos, consumos, detenciones, etc.

Muchos de estos servicios se presentan de forma inalámbrica y permiten que la información sea llevada a servidores y que la información pueda ser presentada por ejemplo vía web para los colaboradores y directivos, así como una buena presentación de informes. (VESAT, 2017)

Algunas Categorías de aplicación:

Corriente eléctrica

Temperatura

Potencia

Motores

Gases peligrosos

Toneladas producidas por hora

Velocidad de correa

Pistones

Otros

Servidores en la nube

Los servidores en la nube son potentes infraestructuras tanto físicas o virtuales, estos servidores pueden procesar aplicaciones, almacenar información y diversos procesos de cómputo, los servidores físicos son conocidos como Bare-Metal y estos mediante programas como VMWARE se pueden dividir en diferentes servidores virtuales e independientes compartiendo el mismo hardware.

Por lo general están en línea todo el tiempo y se utilizan interfaces para acceder a su información.

Los servidores en la nube pueden tener todas las capacidades de un servidor físico, dependiendo de la necesidad este puede ser físico o virtual, pueden procesar grandes cargas de trabajo y almacenan grandes volúmenes de información, se pueden contratar en modelo alquiler o por demanda, utilizan Apis para acceder a ellos, se puede usar la modalidad de hosting compartido.

Hay varias ventajas de este tipo de servidores: las empresas solo pagan por lo que usan, no tienen que tener el servidor físico en sus instalaciones consumiendo energía y generando gastos de mantenimiento y depreciación de los equipos, la escalabilidad es ganadora ya que solo se contrata más poder de cómputo con el proveedor del servicio, toda la organización puede acceder a ellos permitiendo una integración en la organización. (I.B.M., 2020)

Para lograr comprender los conceptos básicos de los servicios de servidores en la nube se deben conocer 3 conceptos, el primero es el modelo cliente servidor en el cual está el servidor que tiene todos los datos y la aplicación para gestionar la información que está contenido en el servidor, puede haber muchos clientes los cuales hacen peticiones al servidor, el servidor toma la petición, extrae la información, realiza la consulta en su base de datos, interpreta la información

y arma una respuesta que es enviada al cliente, el cual lee el mensaje, extrae la información y lo procesa de acuerdo a su lógica para ser mostrada al usuario que solicitó la información.

Modelo peer to peer: en este modelo distribuido cualquier equipo conectado a la red puede tomar el rol de cliente o servidor, esto depende de la dinámica de la comunicación y de cuales equipos necesitan la información y cuales la tienen.

El tercer concepto necesario es Internet, el cual es la red de redes global, esta red inició con unos protocolos TCP/IP diseñados por el departamento de defensa de los Estados Unidos y facilitó la interconexión de redes pequeñas aproximadamente en el año 1990, luego con la llegada de algunas herramientas adicionales como el lenguaje HTML (Hypertext Mark-up Language) el cual dio la posibilidad de realizar páginas con hipervínculos y texto enriquecido este fue desarrollado en el instituto CERN en Suiza, luego el sistema de localización de objetos en la web URL (Uniform Resource Locator) y el protocolo de nivel aplicativo HTTP (Hypertext Transmission Protocol).

“El protocolo HTTP le permite a una aplicación cliente llamada browser o navegador de Internet solicitar el envío de una página que reside en la base de datos de un servidor de tal forma que el servidor busca la página y la información residente en su base de datos, la recupera, la formatea en lenguaje HTML y se la envía al cliente como respuesta encapsulada en un mensaje HTTP, para que este la interprete y la despliegue para el usuario. Esta forma de operación sumada al sistema de nombres de dominio (Domain Name System DNS) para buscar los sitios en Internet por medio de una URL, es la base para que un usuario pueda tener acceso en Internet a información, aplicaciones y recursos que pueden residir en cualquier parte del mundo” (Valera, Portella, & Pallares, 2018).

Microsoft Azure

Microsoft Azure se mostró inicialmente en el evento PDC (Professional Developers Conference) en 2008 como Windows Azure Platform y se lanzó en 2010 como Windows Azure. Es un servicio IaaS y PaaS de Microsoft, se pueden gestionar servicios, aplicaciones y servidores como por ejemplo centros de datos.

Soporta los lenguajes de programación (.NET, PHP, C++, Ruby, Java), permite SQL y NOSQL, también cualquier sistema operativo se puede utilizar, crea copias automáticas las cuales son cifradas y guardadas en la nube de Azure, como toda plataforma se pueden mencionar algunas desventajas como un coste inicial alto, hay algunos retrasos en el desarrollo de la plataforma, algunas respuestas son lentas.

Amazon Web Services

Del 2003 al 2004 se inició la nube básica de Amazon desde proponer una nube muy simple hasta ofrecer los primeros servicios, pero fue en 2006 que se lanzó oficialmente Amazon web services su principal funcionalidad era ayudar a las empresas a mejorar y volverse cada día más grandes.

Soporta múltiples lenguajes de programación como: (AWS IoT Device SDK, .NET, Node.js, PHP, BrowserC++, iOS, Ruby, Go, Python, Android, AWS Mobile SDK y Java), se presta el servicio de CloudWatch este revisa aplicaciones que se están ejecutando en la nube y se pueden parametrizar, revisar distintas métricas, y configuraciones. (Vañó, 2018), pág. 21

IBM cloud services

El informe The Forrester Wave™ publicado el agosto 9 del 2018 llamado: Industrial IoT Software Platforms, Q3 2018, nos presenta los CCM (Content Management System) este es un

informe independiente reconocido en la industria que evalúa los principales proveedores de sistemas de gestión de contenido empresarial basados en criterios cuidadosamente seleccionados.

En el informe se presentan las principales ventajas y desventajas de las diferentes marcas que pueden ofrecer soluciones para nuestro actual trabajo y de acuerdo al informe hemos seleccionado la marca IBM IoT services ya que son Líderes y la inversión de varios años en IoT abarca la experiencia de construcción en mercados clave de IIoT, incluyendo fabricación, energía, petróleo y gas.

Ofrece una amplia gama de capacidades, que incluyen realidad aumentada, procesamiento de datos cognitivos, blockchain, análisis de bordes y lenguaje natural.

Además, integra fuentes de datos como el clima, mapas y datos de redes sociales, servicio de conexión IoT y la plataforma Watson IoT.

Para profesionales de infraestructura y operaciones IBM ha creado un conjunto de soluciones listas para usar, como mantenimiento prescriptivo, que incorpora tipos de equipos comunes y fabricación especializada analítica. (The Forrester Wave, 2018)

Como se observa en el informe Forrester-Wave la nube de IBM ofrece buenas condiciones para el desarrollo de una aplicación de captura de datos en máquinas industriales, adicional ofrece las herramientas para desarrollar el sistema y probar su funcionamiento sin costo económico, por tales razones se implementará el sistema propuesto utilizando esta plataforma en la nube.

Requerimientos para el sistema de monitoreo.

Existen diferentes máquinas industriales en las que se requiere la captura de la información con el objetivo principal de entender su funcionamiento en planta como los paros de producción los cuales afecta su rendimiento en productividad, también es necesario identificar

los paros para tomar decisiones estratégicas desde la planeación de la producción o la planeación del mantenimiento.

Se requiere un sistema que sea compatible con diferente tipo de máquinas, que sea configurable, que informe de la cantidad de productos fabricados, que mida la velocidad del equipo, que informe el tipo de paro directo desde la máquina, que informe otro tipo de paros introducidos por usuario, que almacene información de los turnos en una base de datos estructurada que sea accesible desde cualquier lugar, que muestre gráficamente el paro actual, velocidad, tiempos de paro preferiblemente en un servidor web para acceder desde cualquier dispositivo con navegador, y como valor agregado que tenga la posibilidad de conectar con aplicaciones cognitivas.

Requerimiento de hardware

Para cumplir con los requerimientos generales se debe implementar desde el hardware un sistema que tenga capacidad de procesamiento ya sea un procesador Intel core I3 , AMD ryzen 3 o un procesador como ejemplo el Cortex-A53 con un reloj a 0,8 GHz o superior , debe tener mínimo 1 giga de RAM, almacenamiento de 16 gigas en estado sólido o superior, que sea programable con diferentes lenguajes de programación y sistemas operativos, que cuente con comunicaciones inalámbricas y cableadas preferiblemente Ethernet y WIFI, que posea más de 10 entradas y salidas digitales, que soporta voltajes industriales en sus entradas a 24 vdc como mínimo.

Requerimiento de software

Se requiere un sistema operativo que tenga la capacidad de gestionar todo el hardware del dispositivo utilizado, el sistema operativo debe soportar la instalación adicional de programas de comunicación, entornos de desarrollo, bases de datos estructuradas, se requiere un software que

pueda controlar las entradas del dispositivo electrónico, el software utilizado debe poder enviar información a través de internet y debe tener la capacidad de funcionar como servidor WEB.

Implementación del sistema

Se implementó un sistema que cumple con los requerimientos y cumple con el objetivo propuesto en este proyecto.

Para esta versión se utilizó la placa de desarrollo Raspberry PI 3 como sistema de procesamiento principal, este tipo de placas de desarrollo son reconocidas a nivel mundial en el ámbito educativo y cuentan con una comunidad amplia y colaborativa que ayudan a ofrecer soporte para el desarrollo de software y de hardware.

Sistema electrónico

El sistema electrónico requerido para el proyecto debe disponer como mínimo de un equipo con 2 procesadores, 1 giga de memoria RAM, un sistema de almacenamiento en estado sólido micro SD tipo 10, 4 entradas digitales que soportan desde 5 hasta 24 voltios DC, 4 salidas digitales de 5 a 24 voltios DC, en la parte de comunicaciones debe tener 1 puerto Ethernet, 1 antena WIFI, puerto para monitor HDMI, 2 puertos USB.

El sistema debe poder trabajar en ambientes con temperaturas desde 0 hasta 60°C (Raspberry pi, 2020)

Se debe adicionar una placa opto-acopladores para acondicionar las señales de entrada y de salida a voltajes industriales de 24 voltios DC.

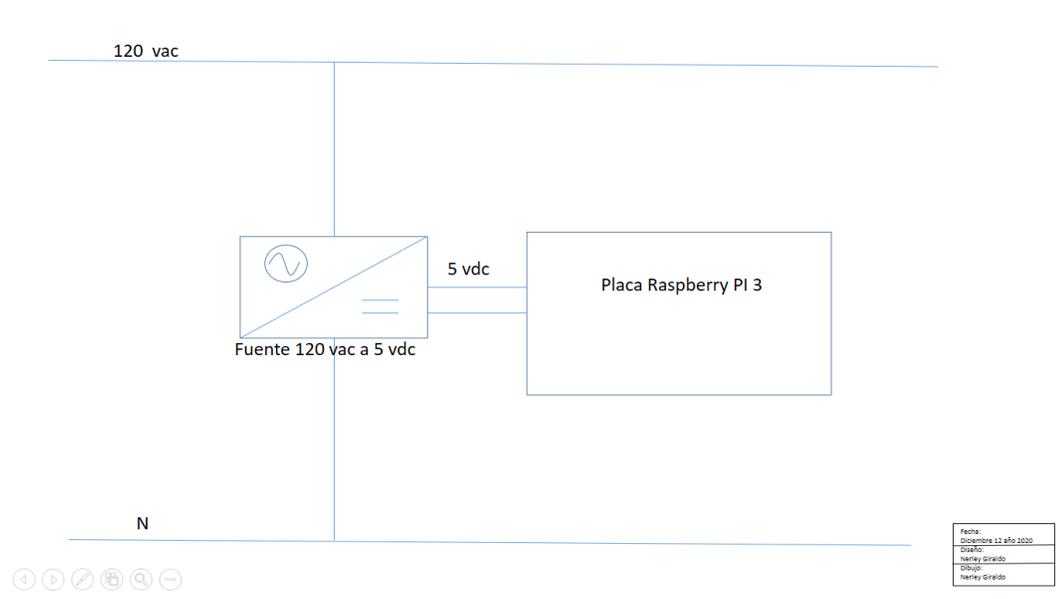
También actúa la placa como aisladora galvánica de las corrientes que se controlan desde el control y desde la potencia ayudando a proteger los puertos del sistema Raspberry PI.

Planos eléctricos y manual del usuario.

Se adjuntan planos eléctricos de alimentación y de conexión a las entradas de la placa Raspberry PI.

Figura 1

Alimentación placa Raspberry PI

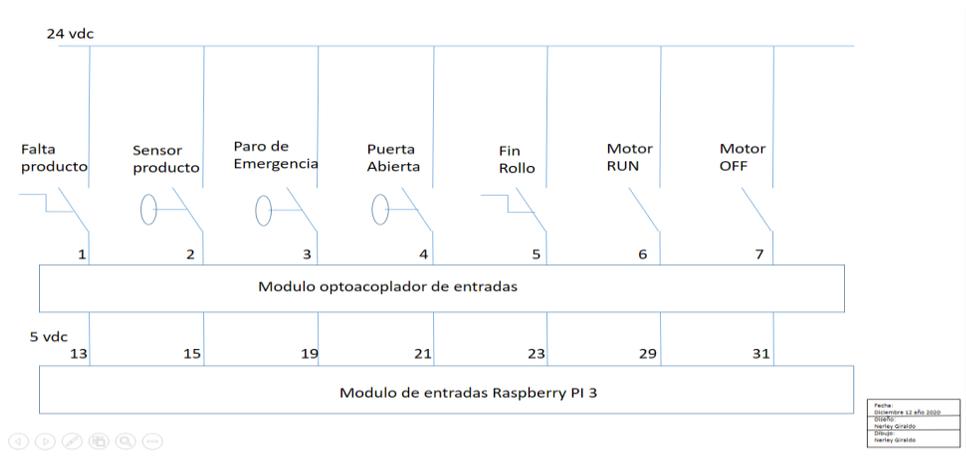


Nota: Plano eléctrico de alimentación de la rasperry PI. Se requiere alimentación de DC.

Fuente del autor

Figura 2

Entradas y salidas placa Raspberry PI



Nota: Plano eléctrico de conexiones entre los diferentes módulos del sistema. Fuente del autor

El manual de usuario se entrega como documento adjunto número 8.

Configuración Raspberry pi

Los Raspberry Pi son principalmente minicomputadores los cuales están contruidos en una sola placa de tamaño reducido el cual es estándar en todos los modelos que han salido al mercado desde su primer versión, en esta placa están todos los elementos necesarios básicos para su funcionamiento como procesador, memoria RAM, puerto para tarjeta de memoria micro SD, periféricos de entrada, salida y comunicaciones, “La Raspberry Pi tienen varios modelos de computadoras pequeñas estas son de placa única que se utilizan a menudo en las escuelas para enseñar conceptos básicos de informática.

Contiene un procesador de CPU ARM Cortex-A7 de cuatro núcleos a 1400 MHz (Unidad de procesamiento central) junto con 1 GB de RAM (Memoria de acceso aleatorio). Arm. Cortex-A7 se basa en la canalización de 8 etapas de bajo consumo y tiene una caché L2 integrada diseñada para baja potencia y latencia reducida. Admite Ethernet de 100 MBPS y contiene 4 puertos USB junto con 40 pines GPIO.

Se encuentra disponible con compatibilidad total con HDMI (Interfaz multimedia de alta definición) con interfaz de cámara y tarjeta, así como con tarjeta Micro SD. Contiene conector de audio de 3,5 mm y soporte de video compuesto también.” Ashraf et al. (2020)

Por el uso de este hardware de modo comercial al ser aplicado en empresas privadas se recuerda que la licencia puede ser usada de forma comercial, esto lo podemos encontrar en su página oficial: <https://www.raspberrypi.org/documentation/>

En el link de licencia se incluye la descripción detallada de sus posibles usos, y textualmente podemos encontrar el siguiente fragmento:

“Usted es libre de: Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato, Adaptar, re-mezclar, transformar y construir a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente.” Creative Commons por SA licencia bajo BY-SA 4.0.

Raspberry PI OS

El sistema operativo oficial y que también tenemos instalado en la placa para este proyecto es una versión adaptada de Debian (LINUX), cumple con los requerimientos del proyecto es de código abierto y es denominada Raspberry Pi OS, aunque la placa a nivel de información también permite usar otros sistemas operativos, incluido una versión de Windows 10 el cual no ha sido seleccionado para este proyecto ya que en la página de Raspberry pi recomiendan usar el Raspberry pi OS como sistema operativo funcional. La fundación de Raspberry PI da soporte para las descargas de las distribuciones para arquitectura ARM como: Raspberry Pi OS como sistema oficial y es con base en sistema operativo Linux Debian, RISC OS, Arch Linux ARM (derivado de Arch Linux) y Pidora (derivado de Fedora) la fundación promueve la programación en Python. Otros lenguajes también soportados son Tiny BASIC, C, Perl y Ruby (ver especificaciones técnicas en Tabla 2).

Figura 3

Raspberry PI 3



Nota: Tomado de <https://www.raspberrypi.org/>

Tabla 2

Especificaciones placa Raspberry PI 3

Especificaciones	Raspberry Pi 3 modelo B+
SoC (CPU, GPU, DSP, RAM y puertos USB)	Broadcom BCM2837
CPU	1.4GHz 64-bit quad-core ARMv8
Juego de instrucciones	RISC de 64 bits
GPU	Broadcom VideoCore IV, OpenGL ES 2.0, MPEG-2 y VC-1 (con licencia), 1080p30 H.264/MPEG-4 AVC
Memoria	1 GB (compartidos con la GPU)
Puertos USB 2.0	4
Puertos USB 3.0	no
Entradas de vídeo	Conector MIPI CSI que permite instalar un módulo de cámara desarrollado por la Raspberry Pi Foundation
Salidas de vídeo	Conector RCA (PAL y NTSC), HDMI (rev1.3 y 1.4), Interfaz DSI para panel LCD
Salidas de audio	Jack de 3.5 mm, HDMI
Almacenamiento	SD / MMC / ranura para SDIO

Conectividad de red	Puerto RJ-45 (Ethernet) de 10/100/1000Mbps vía hub USB limitado a 300Mbit/s Wi-Fi 802.11ac de doble banda Bluetooth 4.2 BLE
Periféricos de bajo nivel	17 x GPIO y un bus HAT ID
Consumo energético	800 mA (4.0 W)
Fuente de alimentación	5 V vía Micro USB o puerto GPIO
Dimensiones	85mm x 53mm
Sistemas operativos soportados	GNU/Linux: Raspbian, Fedora (Pidora), Arch Linux (Arch Linux ARM), Slackware Linux, SUSE Linux Enterprise Server for ARM, RISC OS

Instalación del servidor LAMP

La configuración utilizada para tener la base de datos en el servidor, tener acceso desde red local y almacenar información es configurando un servidor tipo LAMP el cual se instaló en la placa Raspberry pi, para obtener la información de cómo configurar esta herramienta nos podemos remitir a la tesis de grado en la referencia bibliográfica. (Chapilliquen, 2016)

Para tener una mejor idea de la infraestructura del servidor instalado en el proyecto podemos apoyarnos en Santiago Borges con su descripción, definiendo que es un servidor LAMP: “LAMP es un acrónimo de «Linux, Apache, MySQL y PHP», es decir, las cuatro tecnologías que conforman esta plataforma que corra desde el lado del servidor.

Gracias a LAMP se puede crear sitios web, aplicaciones, realizar testing de páginas dinámicas y estáticas, entre muchas otras cosas más. En inglés se lo conoce como LAMP stack, es decir, una aplicación de servicios y tecnologías que nos permiten una gracias a la otra, conformar la plataforma que necesitamos.” Veamos ahora qué es cada cosa y cómo funciona el servidor LAMP, acrónimo usado para describir un sistema de infraestructura de internet que usa las siguientes herramientas:

- 1.- Linux como sistema operativo.
- 2.- Apache como servidor web.
- 3.- MySQL como gestor de bases de datos.
- 4.- Perl, PHP o Python son los lenguajes de programación.” (Saire & Gómez, 2008)

Digitando la dirección del servidor se puede observar la página principal de PHP versión

Figura 4

PHP en placa Raspberry pi.

PHP Version 7.3.14-1~deb10u1	
System	Linux raspberrypi1 4.19.97-v7+ #1294 SMP Thu Jan 30 13:15:58 GMT 2020 armv7l
Build Date	Feb 16 2020 15:07:23
Server API	Apache 2.0 Handler
Virtual Directory Support	disabled
Configuration File (php.ini) Path	/etc/php/7.3/apache2
Loaded Configuration File	/etc/php/7.3/apache2/php.ini
Scan this dir for additional .ini files	/etc/php/7.3/apache2/conf.d
Additional .ini files parsed	/etc/php/7.3/apache2/conf.d/10-mysqld.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/10-opcache.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/10-pdo.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/15-mem.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/20-bz2.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/20-calendar.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/20-ctype.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/20-curl.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/20-dom.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/20-enchant.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/20-ffi.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/20-ftp.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/20-gd.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/20-gettext.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/20-iconv.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/20-json.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/20-mbstring.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/20-mysql.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/20-pdo_mysql.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/20-redis.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/20-shar.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/20-sockets.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/20-readline.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/20-shmop.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/20-simplexml.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/20-sockets.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/20-sysmsg.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/20-system.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/20-sysvshm.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/20-tokenizer.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/20-xmlrpc.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/20-xmlreader.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/20-xmlwriter.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/20-xsl.ini, /etc/php/7.3/apache2/conf.d/20-zip.ini
PHP API	20180731
PHP Extension	20180731
Zend Extension	320180731
Zend Extension Build	API320180731.NTS
PHP Extension Build	API20180731.NTS
Debug Build	no

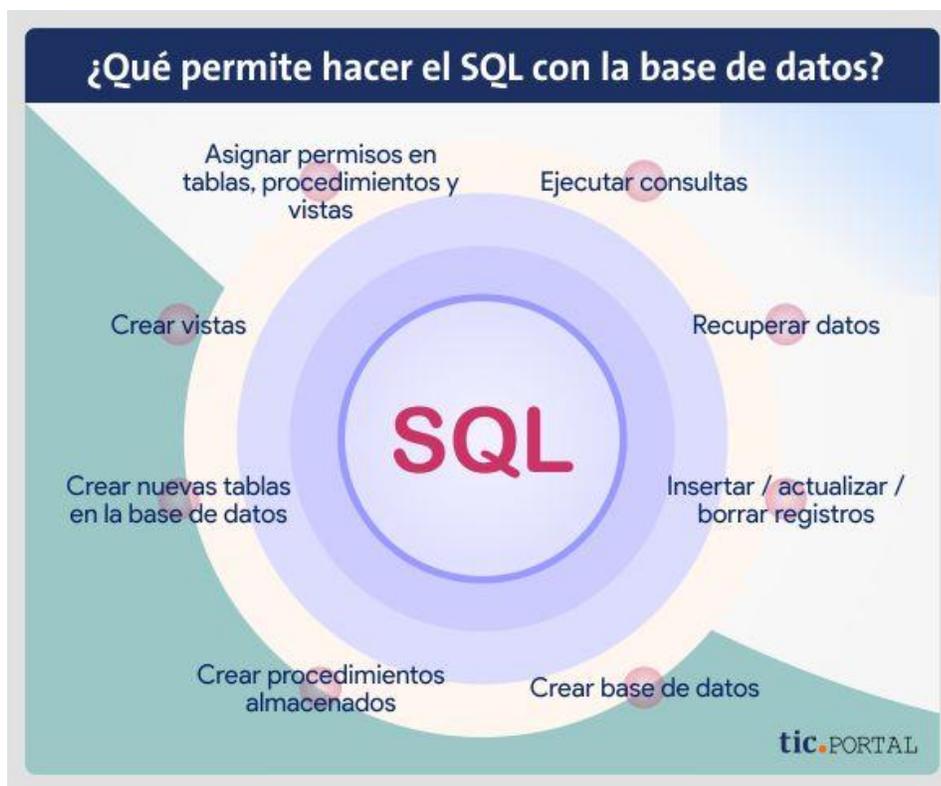
Nota: Configuración del servidor PHP en la raspberry. Fuente del autor

Bases de datos SQL

Una de las formas más usadas en la actualidad para almacenar información es la base de datos SQL por lo tanto es la herramienta que hemos escogido para el proyecto por 2 razones principales, la primera es que es de código libre y la segunda por su uso masivo, respaldo, y que es muy usada en todos los servidores del mundo. Básicamente es una base de relacional están escritas en SQL por sus siglas en inglés (Structured Query Language o lenguaje de consulta estructurado). Es un lenguaje estándar de acuerdo a la norma ANSI por sus siglas en inglés (American National Standards Institute o Instituto Nacional Americano de Estándares en español).

Figura 5

Que permite hacer SQL con la base de datos.



Nota: Tomado de <https://www.ticportal.es/glosario-tic/base-datos-sql>

“Una vez que se tiene una base de datos, hace falta un sistema que sea capaz de crear y proporcionar acceso (acceso de distintos niveles) a los datos de la base de datos. Este es el sistema de gestión de base de datos (DBMS, Database Management System). Algunos ejemplos de sistemas de bases de datos comunes son: SAP HANA, Microsoft SQL Server, phpMyadmin, Amazon RDS, etc.

En la parte de node-red se presentó como los flujos de información son llevados a funciones que envían la información en 2 bases de datos SQL las cuales fueron configuradas para recibir nueva información desde NODE-RED y almacenarla en su estructura interna la cual está separada en alarmas, producción, velocidad, resumen.

Cada parte se encarga de almacenar información específica con la descripción del estado de la variable, el valor y el tiempo.

Figura 6

Estructura base de datos SQL en servidor local.

date	Unidades_turno	Minutos_paro	Minutos_trabajados	velocidad
2021-02-22 14:00:00	19352.0	67.4	161.3	119.8
2021-02-22 22:00:00	0.0	478.1	161.3	0.0
2021-02-23 08:00:00	54986.0	20.8	619.5	119.8
2021-02-23 14:00:00	20220.0	310.2	788.0	120.0
2021-02-23 22:00:00	6326.0	1.3	52.7	120.1
2021-02-24 08:00:00	53306.0	35.2	495.9	119.5
2021-02-24 14:00:00	29722.0	0.0	112.3	119.9
2021-02-24 22:00:00	0.0	478.7	112.4	0.0
2021-02-24 22:22:32	18.0	0.0	0.1	119.9
2021-02-24 22:24:33	0.0	2.0	0.1	0.0
2021-02-25 08:00:00	53852.0	0.3	223.5	119.9
2021-02-25 14:00:00	11438.0	383.0	271.2	0.0
2021-02-25 22:00:00	0.0	477.9	271.2	0.0
2021-02-26 08:00:00	34.0	478.5	271.4	0.0
2021-02-26 14:00:00	48714.0	85.1	478.5	119.9
2021-02-26 22:00:00	0.0	478.0	478.5	0.0
2021-02-27 08:00:00	51542.0	48.8	431.2	119.4
2021-02-27 14:00:00	15994.0	347.8	132.2	119.8
2021-02-27 22:00:00	59326.0	0.1	480.0	119.8
2021-02-28 08:00:00	0.0	478.0	2.0	0.0
2021-02-28 14:00:00	0.0	478.0	2.0	0.0
2021-02-28 22:00:00	9018.0	388.1	81.9	119.6
2021-03-01 08:00:00	18.0	478.5	1.5	0.0
2021-03-01 14:00:00	48282.0	93.6	388.4	120.0
2021-03-02 08:00:00	53438.0	30.8	449.4	119.5

Nota: Datos tomado del proceso. Fuente del autor

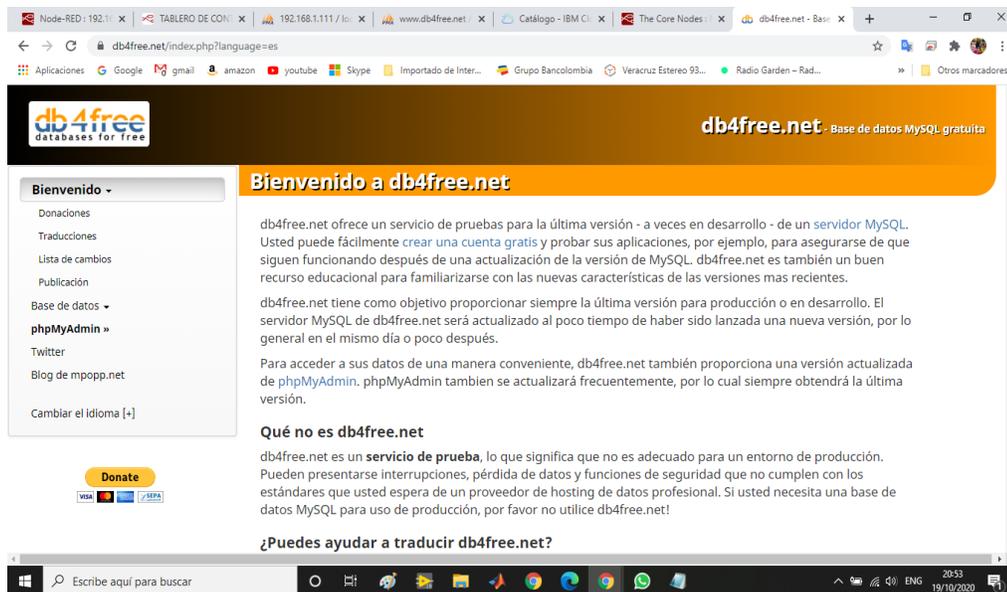
En la barra de navegación se puede observar que tiene una dirección IP local, y la información guardada en la fecha del servidor.

Para poder tener la información histórica segura es conveniente tener un servidor redundante en una ubicación diferente, es posible tener la base de datos en un equipo alterno en la red industrial de producción en la misma empresa, o un servidor en la nube accesible desde internet por lo tanto se puede monitorear desde cualquier lugar.

Como demostración y para evaluación se configuró un servidor SQL en la página WEB db4free.net, esta ofrece la oportunidad de evaluar la base de datos y verificar el funcionamiento.

Figura 7

Servicio de prueba para evaluar funcionamiento base de datos SQL.



Nota: Interfaz para validar funcionamiento del servidor. Fuente del autor

En la Figura 8 se puede observar la estructura configurada del servidor SQL la cual es igual a la configuración en la red local y ambos servidores almacenan la misma información del sistema de adquisición de datos, en la barra de navegador se puede evidenciar que es remoto, ya que se configuro en un servidor de internet.

La información es almacenada cada turno de trabajo de 8 horas, en las horas, 6 A.M. 2 P.M. y 10 P.M. queda almacenado la producción, unidades totales, paros totales, OEE, eficiencia, calidad, referencia producida, operador del turno y velocidad, con esta información se cumple uno de los objetivos específicos del proyecto.

Figura 8

Base de datos remota almacenando información del sistema.

The screenshot shows the phpMyAdmin interface for a MySQL database named 'produccion1'. The table 'prod' is selected, and its data is displayed in a table view. The table has three columns: 'date', 'estado', and 'unidades'. The data shows a sequence of production records with dates from 2020-10-20 and a state of 'RUN'. The number of units produced ('unidades') ranges from 609 to 615.

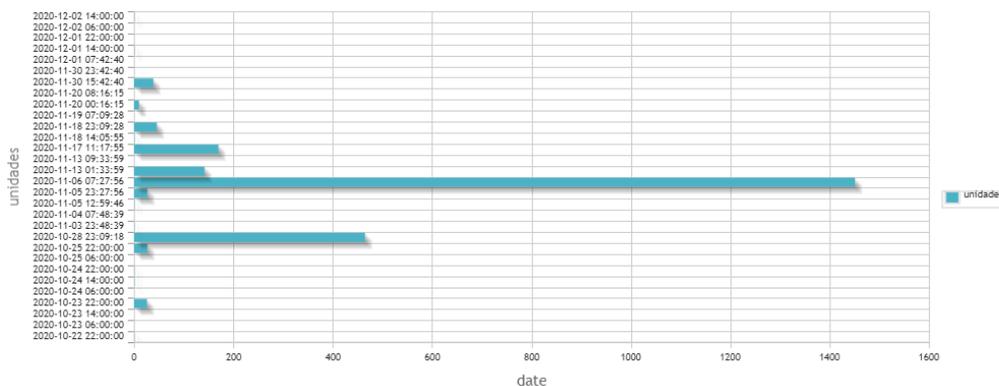
date	estado	unidades
2020-10-20 01:50:40	RUN	609
2020-10-20 01:50:41	RUN	609
2020-10-20 01:50:41	RUN	610
2020-10-20 01:50:42	RUN	610
2020-10-20 01:50:42	RUN	610
2020-10-20 01:50:43	RUN	611
2020-10-20 01:50:43	RUN	611
2020-10-20 01:50:44	RUN	611
2020-10-20 01:50:44	RUN	612
2020-10-20 01:50:44	RUN	612
2020-10-20 01:50:45	RUN	612
2020-10-20 01:50:45	RUN	613
2020-10-20 01:50:45	RUN	613
2020-10-20 01:50:46	RUN	613
2020-10-20 01:50:46	RUN	614
2020-10-20 01:50:47	RUN	614
2020-10-20 01:50:47	RUN	614
2020-10-20 01:50:48	RUN	615

Nota: Fuente del autor

La base de datos SQL ofrece algunas ventajas para administrar la información, en la Figura 9 Gráfico de turnos SQL puede observar la producción de la maquina organizada por fechas, de esta forma es fácil identificar picos o bajas en la producción.

Figura 9

Gráfico de turnos SQL



Nota: Fuente del autor

Plataforma en la nube IBM Watson.

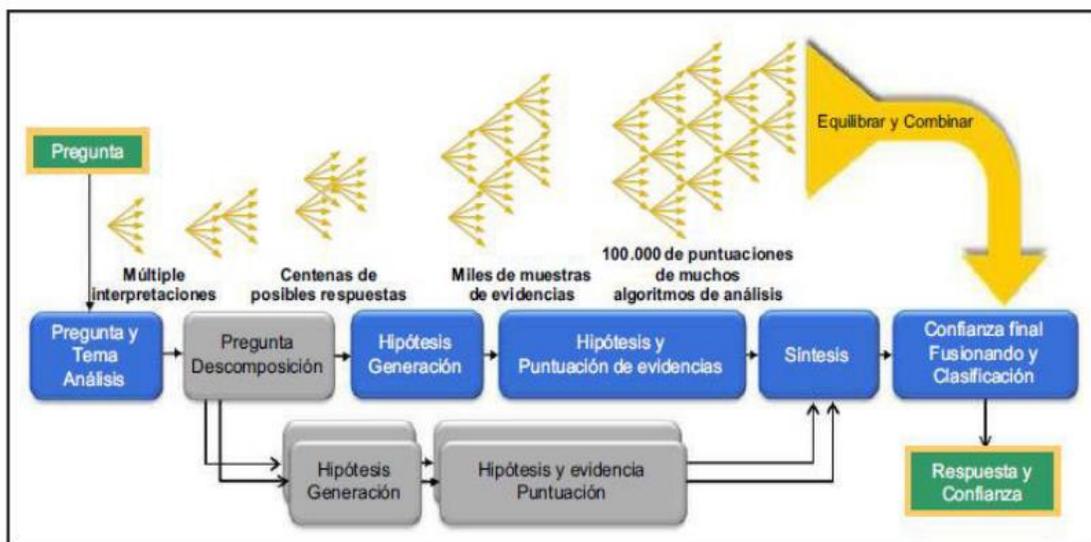
IBM Watson es un supercomputador desarrollado por IBM research, se llamó así en honor al fundador de IBM Thomas Watson, su idea inicial era participar en el popular juego de la televisión americana llamado Jeopardy.

Durante 25 años ingenieros de IBM desarrollaron la aplicación cognitiva la cual se basa en buscar y hacer match entre las preguntas y los resultados encontrados, a estos resultados el programa les asigna puntuaciones desencadenando en la entrega de una respuesta, con esta forma de procesar la información pudo ganar el campeonato mundial del juego Jeopardy en una transmisión televisada en directo en un canal de estados unidos, la lógica que usa IBM Watson para resolver consultas se puede visualizar en la Figura 10

Lógica de IBM Watson para resolver consultas

Figura 10

Lógica de IBM Watson para resolver consultas



Nota: Tomado de <https://seekingalpha.com/article/4087604-how-much-artificial-intelligence-ibm-watson>.

A este sistema se le llamó sistema cognitivo, es importante aclarar que es un sistema diferente a las redes neuronales y sistemas expertos.

El sistema cognitivo es un servicio en la nube el cual tiene muchas variantes centradas en inteligencia artificial, posee técnicas usadas en Deep learning y redes neuronales, en su nube tiene muchos otros servicios como: análisis de voz, de texto, imágenes, video, metadatos, IoT, etc. Constantemente se siguen agregando servicios a su catálogo. (Casado, 2018)

Figura 11

Historia de IBM Watson



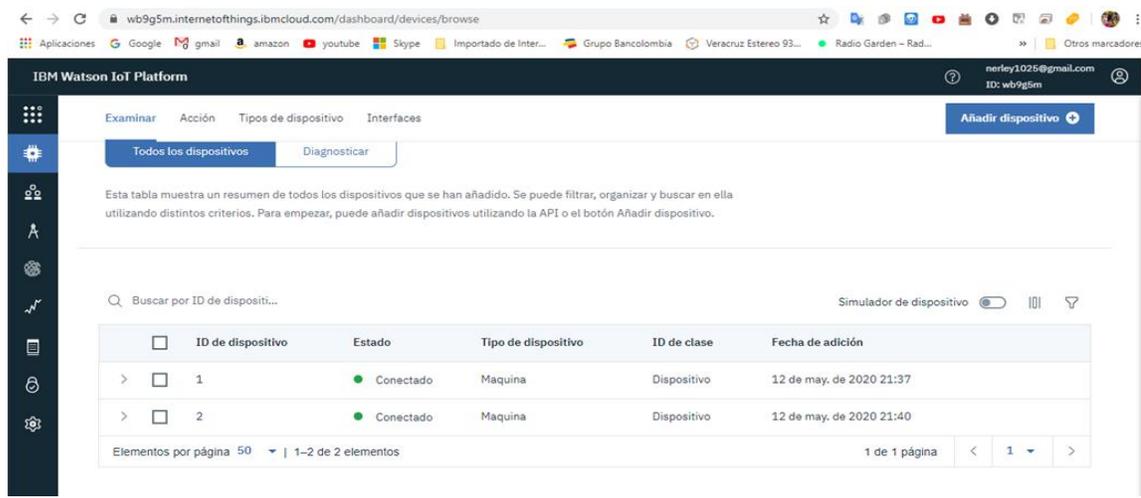
Nota: Tomado de IBM (Chumpitaz, 2016) p. 29

El sistema de recolección de información de máquinas industriales funciona en el servidor local independientemente en la Figura 12

Configuración de comunicación para recolección datos. Se puede observar la configuración de los servidores que hay en línea con la aplicación IBM Watson IoT Platform.

Figura 12

Configuración de comunicación para recolección datos.

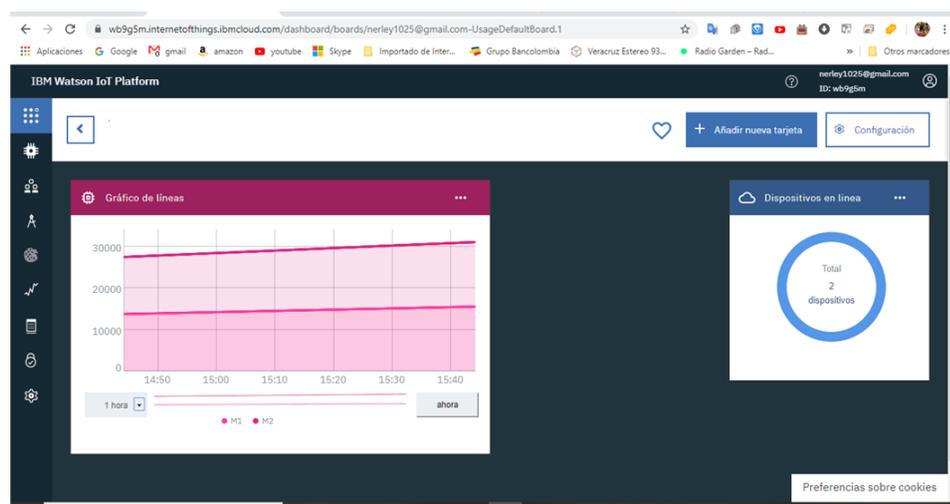


Nota: Fuente del Autor

La información de las máquinas de producción es enviada a la nube de IBM y como se mencionó para este proyecto es graficada y se verifica que la información es entregada a la plataforma, no se conecta con APIs para el alcance de este proyecto.

Figura 13

Estado actual de la producción en máquinas en planta.



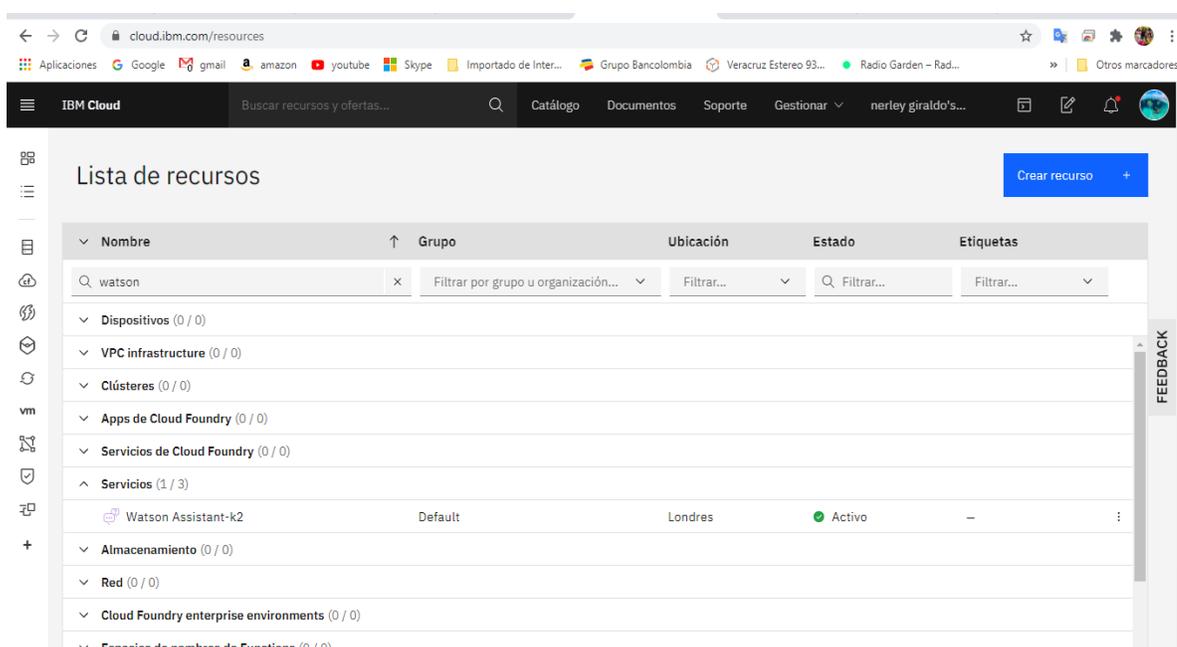
Nota: Fuente del autor

En la Figura 14

Lista de recursos ofrecidos por IBM, hay una amplia gama de herramientas compatibles y listas para usar con los datos que tenemos en IBM Watson, para utilizarlos de forma industrial o comercial es necesario acordar un contrato con IBM en el cual se definen las herramientas en línea y soportes que brindan para la implementación y uso.

Figura 14

Lista de recursos ofrecidos por IBM



Nota: Fuente del autor

Node-Red

Node-RED es el programa principal utilizado en el proyecto, fue escogido por ser de fácil aprendizaje, versatilidad, posibilidad de conectar flujos de información con cualquier otro lenguaje de programación, por tener una gran comunidad de desarrolladores que lo mejoran, ayudan con los proyectos y para nuestro caso porque fue creado por IBM por consiguiente interactúa de forma nativa con la nube de IBM y sus aplicaciones así puede llevar la información

del proyecto hasta cualquier herramienta como Watson, bases de datos, aplicaciones analíticas, entre otros.

La programación en NODE-RED es programación visual por lo tanto se facilita las tareas para desarrollos nuevos, modificaciones, cambios es de anotar los diagnósticos se hacen rápidamente muy conveniente para aplicaciones industriales en los que el tiempo es dinero.

En sus inicios este software “Fue creada por Nick O’Leary y Dave Conway-Jones del grupo de Servicios de Tecnologías Emergentes de IBM en el año 2013. Su objetivo es dar solución a la complejidad que surge cuando queremos integrar nuestro hardware con otros servicios.

Su punto fuerte es la sencillez. Permite utilizar tecnologías complejas sin tener que profundizar hasta el más mínimo detalle en todas ellas.

Nos quedamos en una capa inicial donde nos centramos en lo importante y dejamos de lado aquello que no es práctico.” (Hernández, 2020)

Una de las principales ventajas es realizar tareas que tomarían muchas líneas de programación y análisis en otros lenguajes, un ejemplo es realizar la activación de un relé desde el móvil a un sistema embebido, esto se haría en 5 minutos solamente en node-red.

Los nodos se representan como iconos los cuales son subrutinas específicas que tienen entradas y salidas estos pueden, por ejemplo. Recibir una llamada HTTP, un mensaje MQTT o la activación de un pulsador.

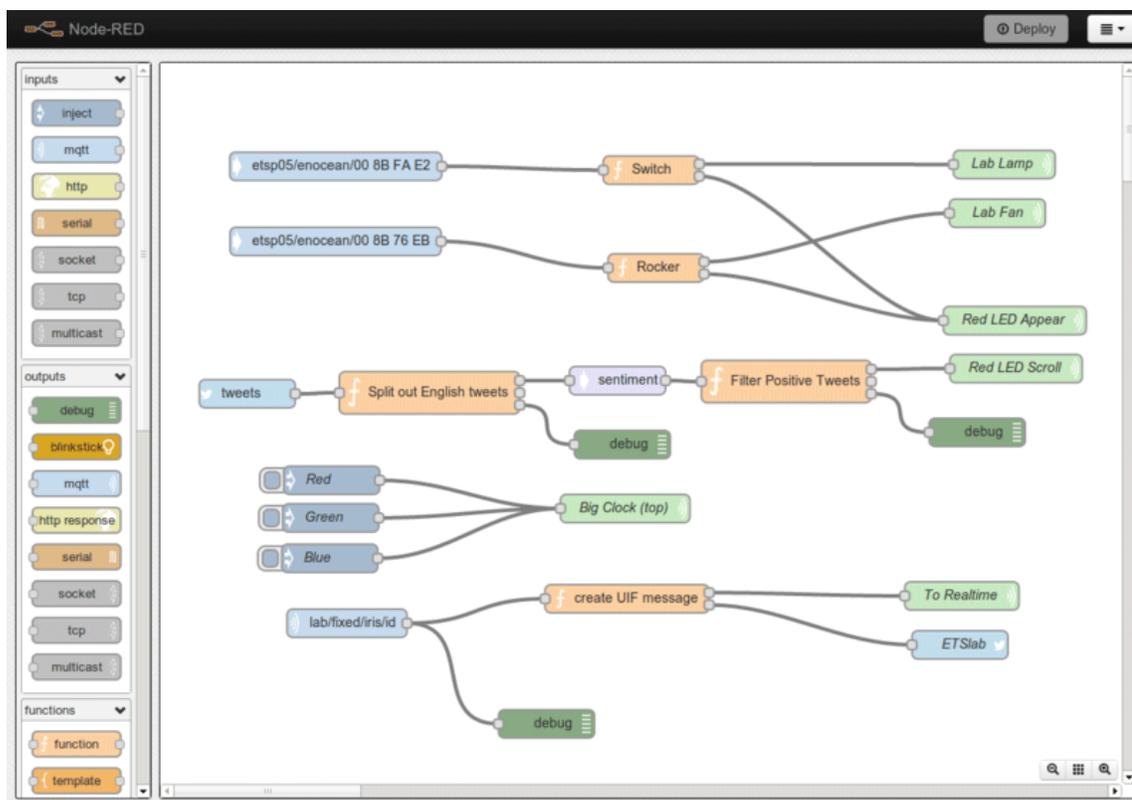
Todos estos nodos se organizan en flujos o flows que agrupan nodos los cuales se conectan entre ellos. Todo de una forma visual y con la utilización de programación básica, en la

Figura 15

Interfaz de node-red se presenta un ejemplo.

Figura 15

Interfaz de node-red



Nota: Fuente del autor

“Node-RED está creado a partir de NodeJS y la librería de JavaScript D3.js.

NodeJS proporciona la potencia suficiente para que Node-RED sea fiable y escalable.

NodeJS es un software muy potente que permite la programación en JavaScript del lado del servidor.

Su ventaja más importante es que está optimizado para poder tratar múltiples conexiones concurrentes de una manera óptima.

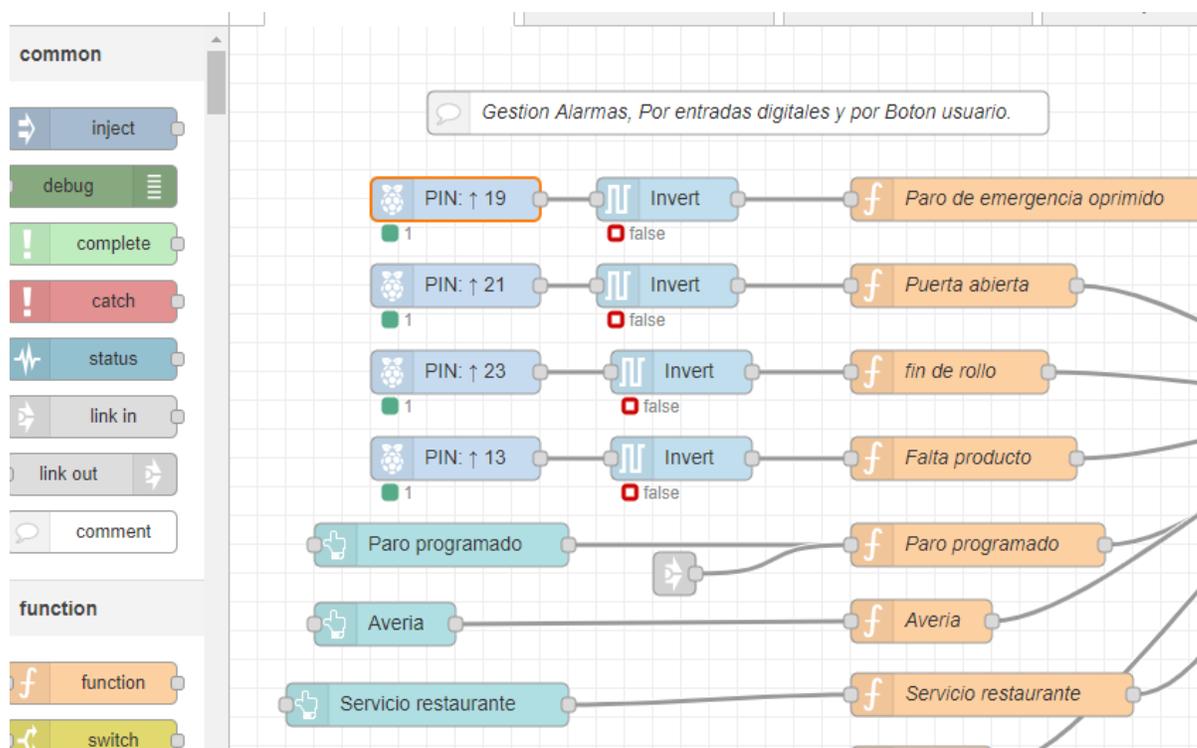
Según Hernández 2018 es el mayor ecosistema de código abierto que existe en el mundo y está siendo utilizado por empresas punteras como PayPal y Netflix.” (Hernández, 2020)

Una de las herramientas más sorprendentes de Node-Red es que se instala como un servicio no visual en diferentes lenguajes de programación y a su interfaz accedemos a través de un navegador web, allí inicia la interacción con esta potente herramienta de programación visual, tal como nos menciona el autor se puede programar Node-Red sin escribir líneas de código pero es muy importante que el programador tenga un conocimiento lógico alto para aprovechar esta potente herramienta “Se requiere unos altos conocimientos de lógica computacional para desarrollar proyectos con Node-RED.

Pero no sólo podemos hacer esto, también podemos conectar con servicios de terceros como IFTTT, ThingSpeak, Google Home, ThingerIO, etc...” (Hernández, 2020)

Las entradas de información a la lógica del programa Figura 16 Entradas desde puerto de placa Raspberry PI a Node-Red se realiza por medio de sensores los cuales son tomados de la maquina o de puntos específicos que brindan informan del estado de producción o paro, estos sensores son , micro SW, salidas o entradas de PLCs de los equipos y cualquier medio que requieran las aplicaciones, para la simulación del proyecto se está utilizando un sensor magnético el cual está detectando la producción entregada por la máquina, también se conectaron otras entradas desde botones normalmente abiertos los cuales simulan paro de emergencia, SW puerta, micro de fin de rollo.

Figura 16

Entradas desde puerto de placa Raspberry PI a Node-Red

Nota: Fuente del autor.

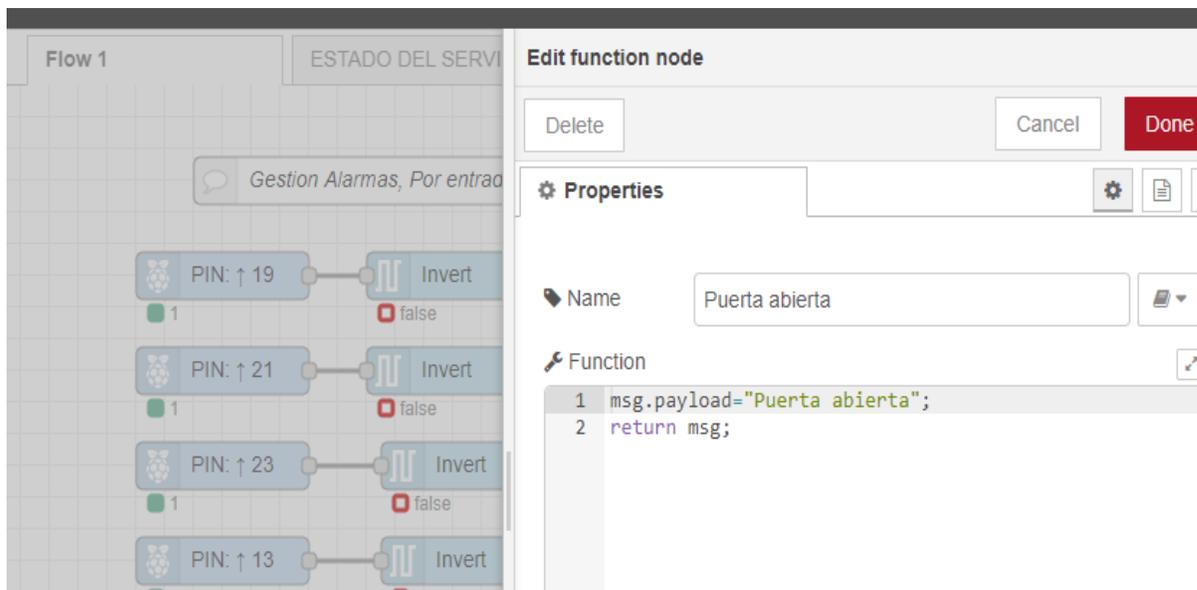
La información que se recibe de los pines del Raspberry PI por la función “leer pin” son pasados por la función “Invert”, para invertir la lógica, esto depende del tipo de conexión eléctrica que tenga la máquina, contacto normalmente abierto o contacto normalmente cerrado.

Después se carga el mensaje en la señal que tiene el flujo llamado genéricamente en node-red = msg.payload, en la Figura 17

Funciones para cargar mensaje en flujo cargamos en payload el mensaje “Puerta abierta”, esto al activarse ese flujo específico por la acción de la entrada en el Raspberry PI.

Figura 17

Funciones para cargar mensaje en flujo



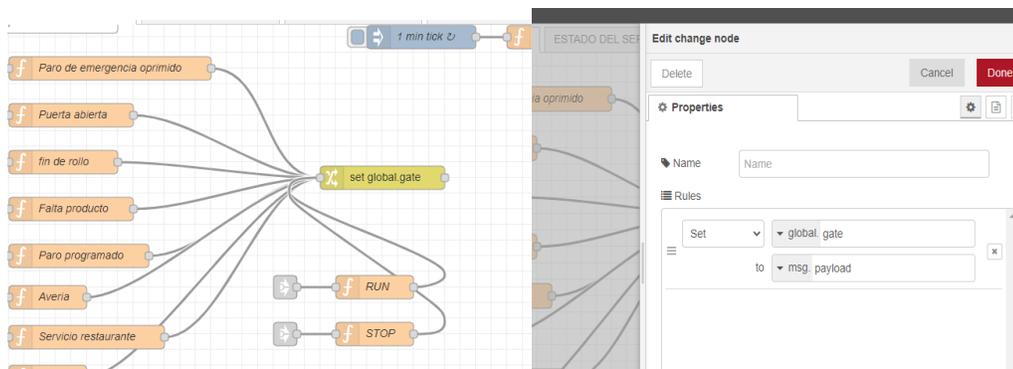
Nota: Fuente del autor

El flujo con el mensaje cargado es llevado a función “change” para modificar las propiedades de los mensajes y cargarlas en la variable como un archivo JSON ver Figura 18

Función CHANGE y paso de variable a JSON

Figura 18

Función CHANGE y paso de variable a JSON



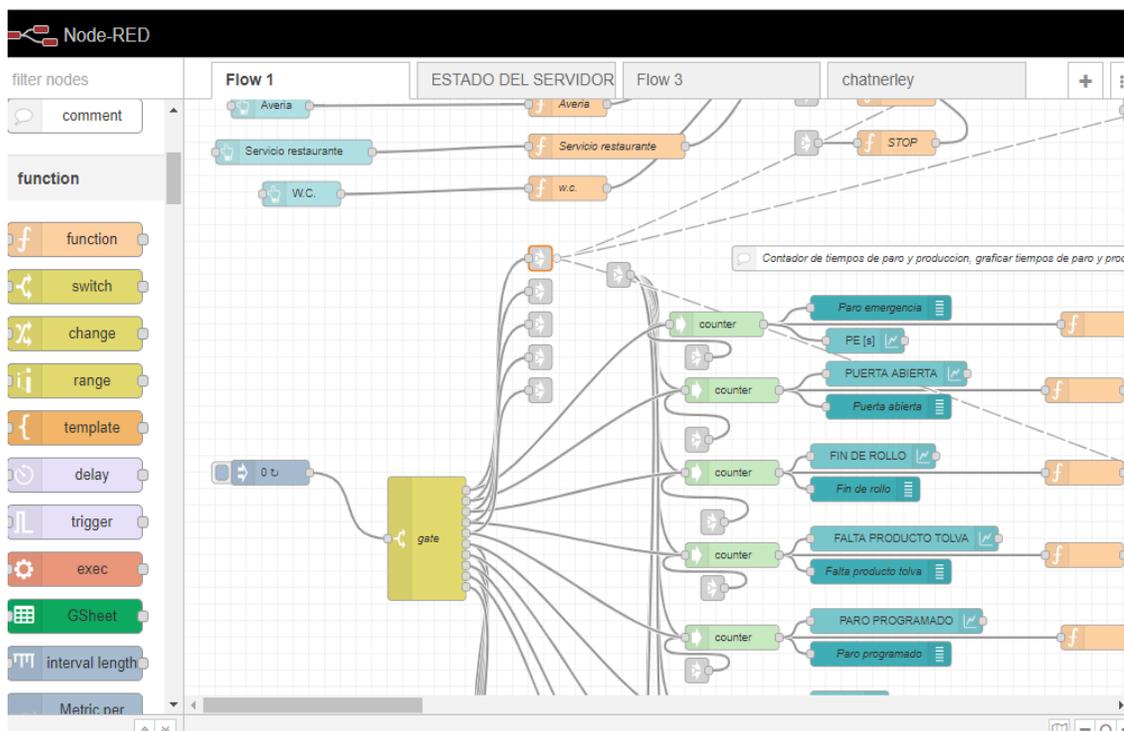
Nota: Fuente del autor

Cada flujo que sale de la puerta de la función CHANGE es enviada a las partes del programa para ejecutar la función deseada, esto se realiza en paralelo, en la Figura 19

Flujos para contar los tiempos y graficar en dashboard, se observan los contadores de tiempo que son activados con el flujo, y luego pasa a graficar en el dashboard cada flujo activado.

Figura 19

Flujos para contar los tiempos y graficar en dashboard



Nota: Fuente del autor

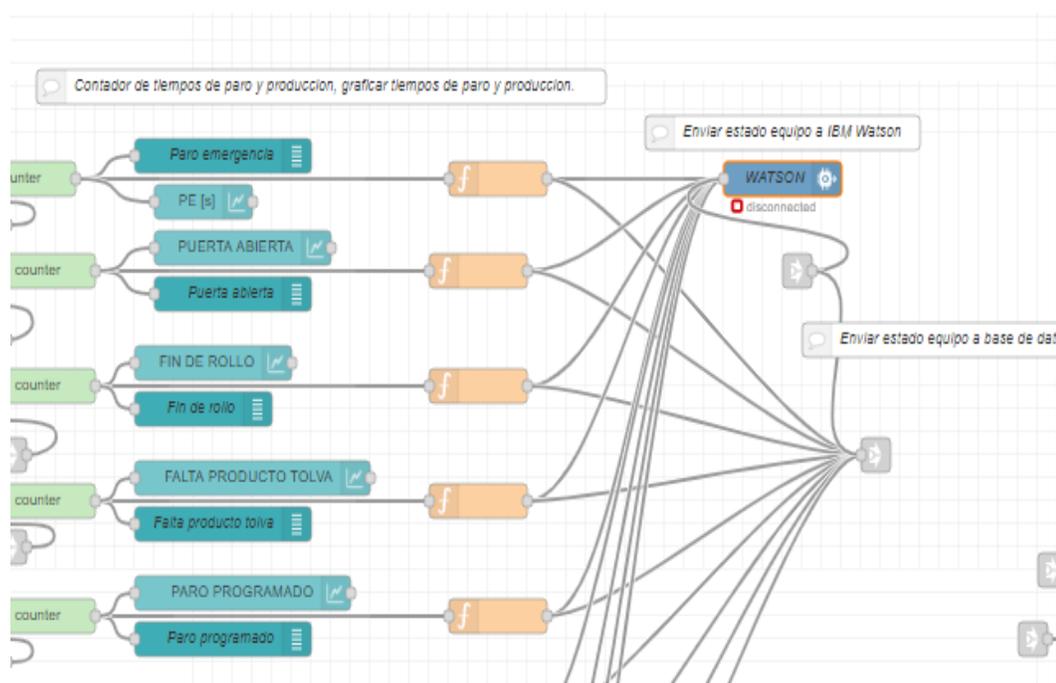
Después el flujo tratado con la función “FUNCTION” y enviado a Watson IBM Figura

20

Datos en los flujos llevados a la nube de IBM Watson para tratar los datos en esa plataforma, graficarlos o ser usado por otras aplicaciones disponibles en Watson comúnmente llamadas (APIs).

Figura 20

Datos en los flujos llevados a la nube de IBM Watson



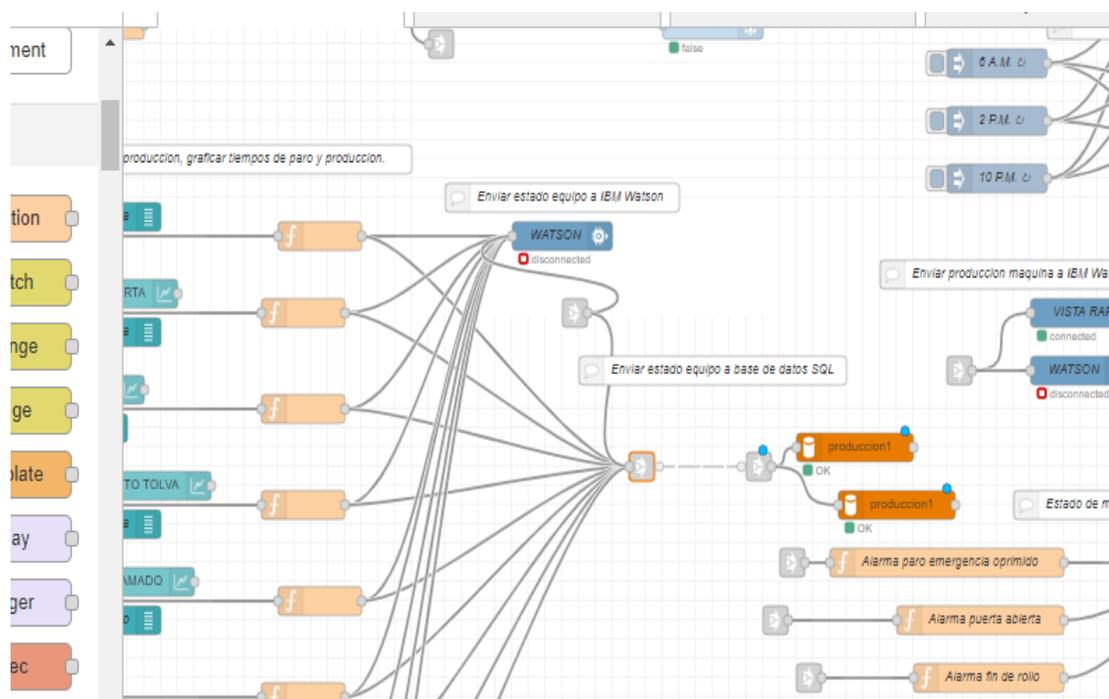
Nota: Fuente del Autor

Para almacenar la información es necesario llevar el flujo con el dato a una base de datos, SQL Figura 21

Flujos de información alimentando base de datos SQL, la cual se configura bajo el estándar de comunicación con bases de datos tipo SQL, luego se establece la seguridad con la base de datos y se realizan las respectivas conexiones desde NODE-RED para enviar información a esa base de datos.

Figura 21

Flujos de información alimentando base de datos SQL



Nota: Fuente del Autor

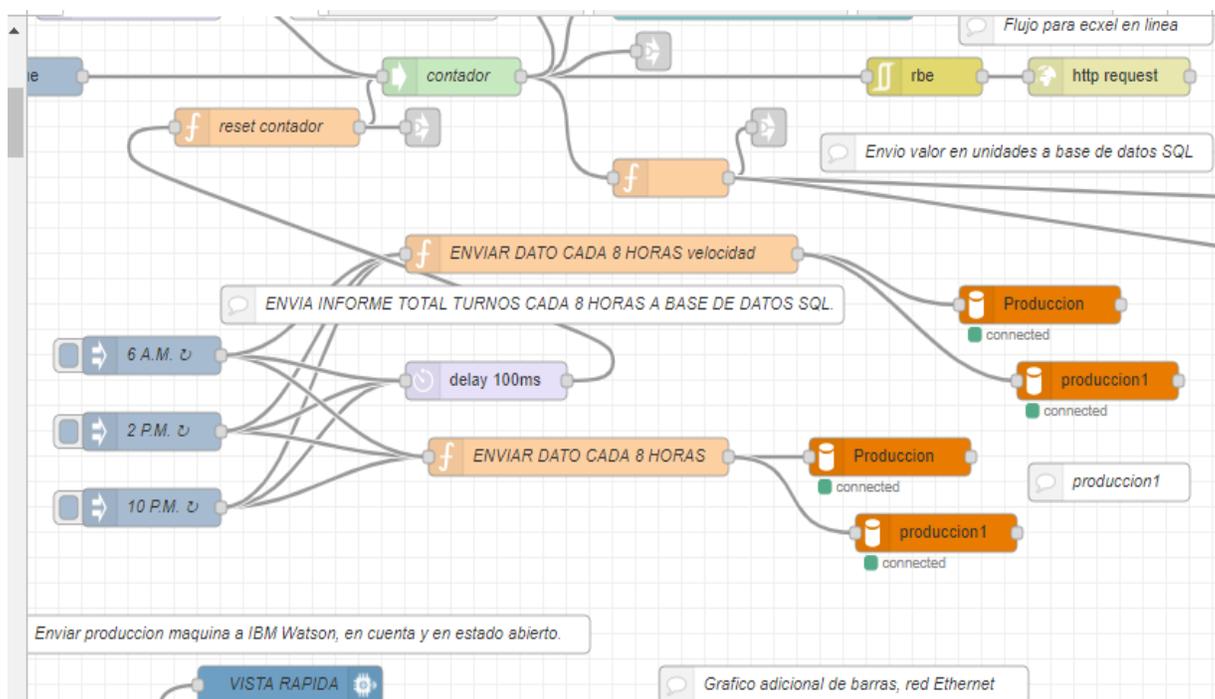
Una tarea necesaria en las plantas de producción es poder administrar turnos, realizar cortes de producción entre turnos y tener información consolidada de cada turno laboral, para el proyecto se realizaron cortes en turnos de 8 horas en los horarios 6 a.m. Hasta las 2 p.m. otro turno de 2 p.m. hasta las 10 p.m. y el turno nocturno de 10pm hasta las 6 a.m.

En la Figura 22

Subrutina para almacenar información por turno de 8 horas se puede observar el flujo que lleva la información la cual es almacenada en la base de datos SQL con el total de unidades producidas en el turno de trabajo.

Figura 22

Subrutina para almacenar información por turno de 8 horas



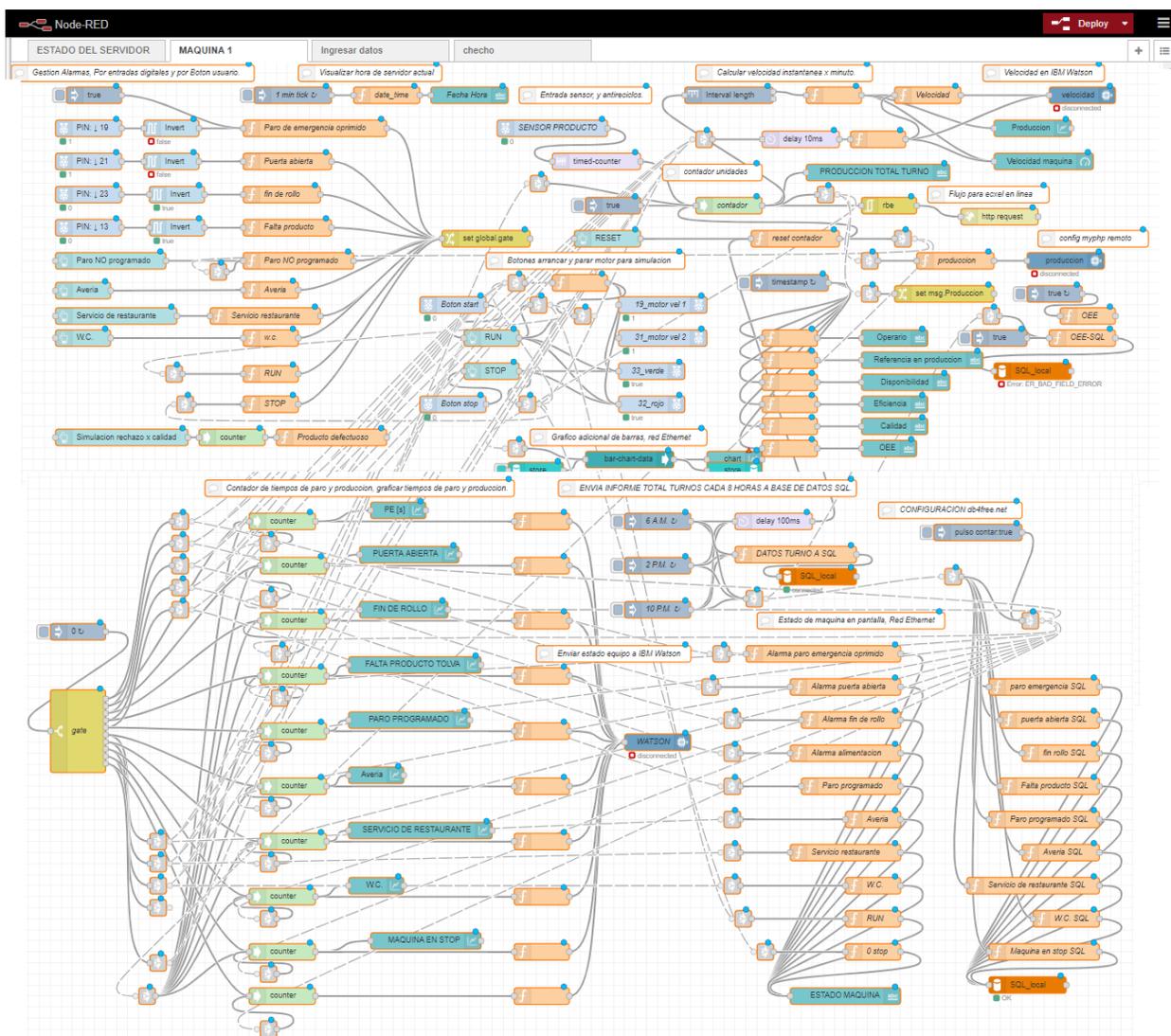
Nota: Fuente del autor

El tratamiento de la información del sensor de producción es un poco diferente ya que en esta hay funciones para contar, reset-producción, calcular velocidad de entrega de productos de la máquina, funciones para enviar la información y presentarla en pantalla, y flujos de conexión para enviar esta información a la base de datos SQL y a IBM Watson, donde es graficada.

Para tener el concepto general del proyecto final se presenta en la Figura 23 Vista general de todos los flujos del proyecto. Se han utilizado algunas herramientas para simplificar un poco el número de conexiones

Figura 23

Vista general de todos los flujos del proyecto.



Nota: Fuente del autor

En la siguiente Figura 24

DashBoard con información de los tiempos de paro y productos fabricados. se presenta el DASHBOARD generado el cual tiene las gráficas con las diferentes alarmas, estados de paro, contador de producción, velocidad (Figura 25 Dashboard para visualizar la velocidad actual del equipo.).

Esta información puede ser visualizada desde cualquier dispositivo que tenga navegador de internet como CHROME, Microsoft EDGE, Mozilla Firefox, Internet Explorer, entre otros, solo se debe digitar la dirección IP del servidor y acceder a la pantalla deseada.

La información presentada es del turno actual de trabajo de 8 horas en la Figura 24 DashBoard con información de los tiempos de paro y productos fabricados. se puede observar la cantidad de productos fabricados, barras indicadoras por cada paro de producción, estado actual, velocidad, botón run, stop, simulación rechazo calidad, paro por avería no conectada a ningún sensor que la pueda identificar, paro programado de la producción, botón de paro para que el operador acuda al servicio de restaurante y poder medir este tiempo, y botón de paro para acudir a W.C. servicios sanitarios si es requerido.

Figura 24

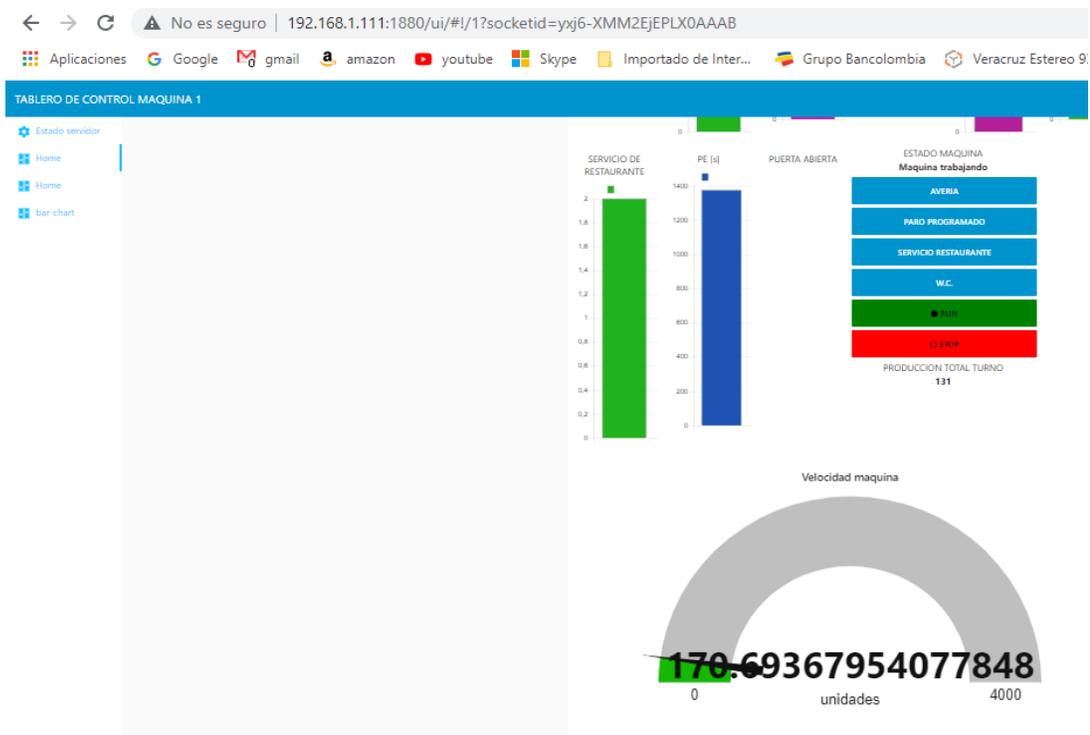
DashBoard con información de los tiempos de paro y productos fabricados.



Nota: Fuente del autor

Figura 25

DashBoard para visualizar la velocidad actual del equipo.



Nota: Fuente del autor

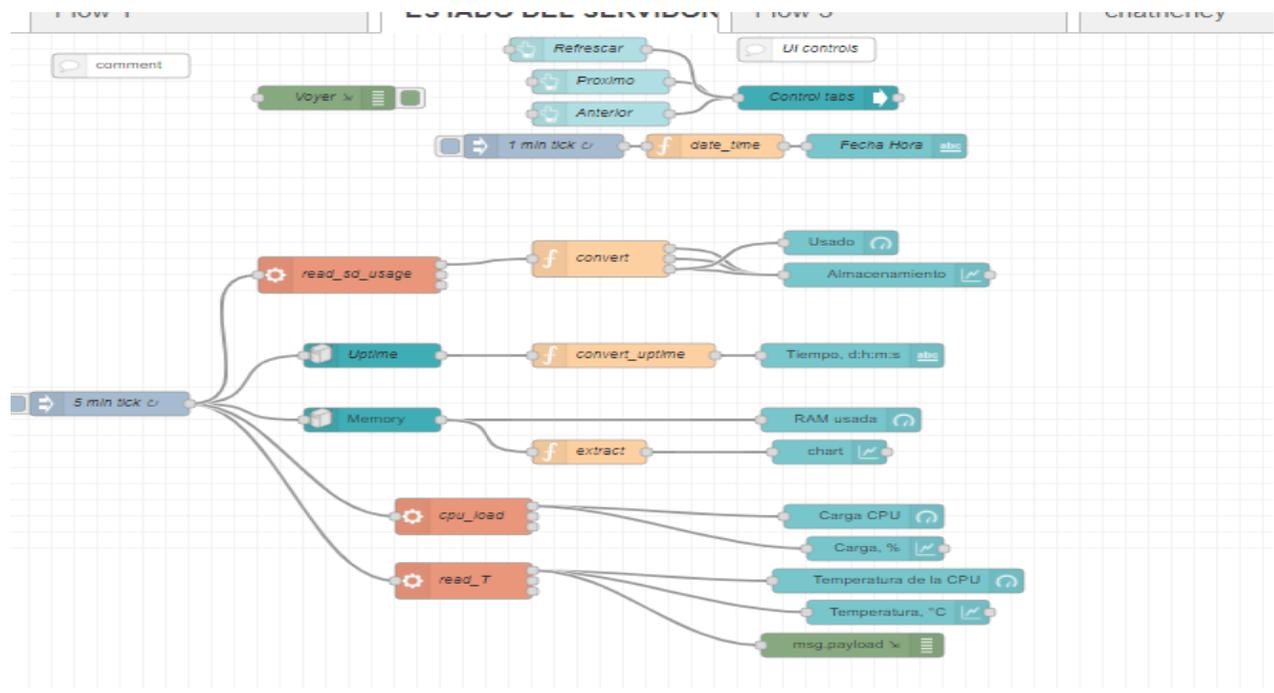
La estabilidad del servidor también es conveniente monitorearla, esto con el fin de tener siempre el servidor en línea, se obtiene ayuda de la comunidad de NODE-RED para descargar un programa que cumpla con esta característica ver Figura 26

Flujo para monitoreo estado del servidor y en la Figura 27

Dashboard con estado actual del servidor., está el dashboard que presenta la información al usuario, el programa se modifica para poder ser utilizado en la aplicación y monitorear el estado del servidor.

Figura 26

Flujo para monitoreo estado del servidor

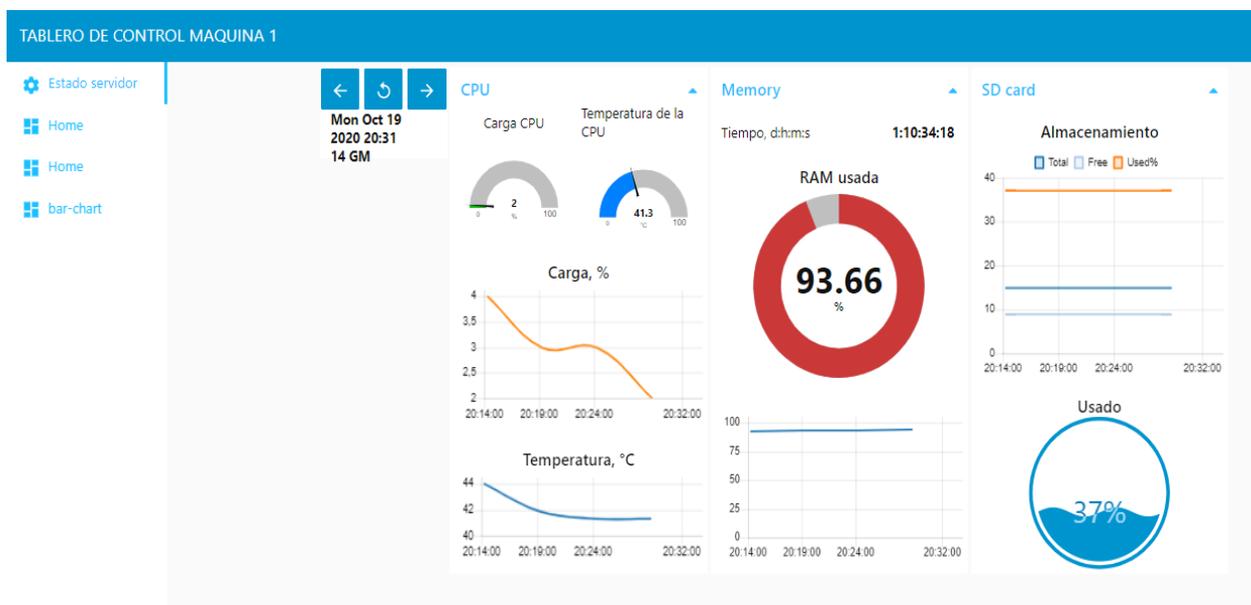


Nota: Fuente del autor

Es importante recordar que para nuestro caso el servidor es la placa Raspberry PI la aplicación nos ayuda a monitorear diferentes aspectos como: capacidad de memoria RAM, estado del disco de almacenamiento, temperatura del procesador y carga de la CPU.

Figura 27

Dashboard con estado actual del servidor.



Nota: Fuente del autor

¿Por qué elegir Node-RED para proyectos del IoT y Domótica?

En palabras del autor de referencia y según mi propia experiencia “Node-RED es de código abierto y está mantenido por IBM.

Se puede instalar en cualquier sistema operativo incluyendo Raspberry pi OS que es el sistema operativo oficial para Raspberry Pi.

Evita tener que profundizar en tecnologías complejas difíciles de implementar y programar.

Esto te permite crear prototipos muy rápidamente y centrarte en hacer cosas divertidas en lugar de pasar horas y horas programando en un lenguaje de alto nivel.” (Hernández, 2020)

Es difícil mencionar todas las ventajas y estas pueden cambiar según la necesidad de cada programador, en este proyecto fue de ayuda que existen librerías que interactúan directamente con los puertos del mini PC Raspberry PI, también la fácil adaptación con la

herramienta de IBM Watson para enviar información de forma rápida y confiable a la nube, y la gran comunidad que mantiene el proyecto, realiza tutoriales, resuelve dudas, realiza mejoras al código fuente y crea nuevas interfaces para conectar los flujos con cualquier dispositivo nuevo.

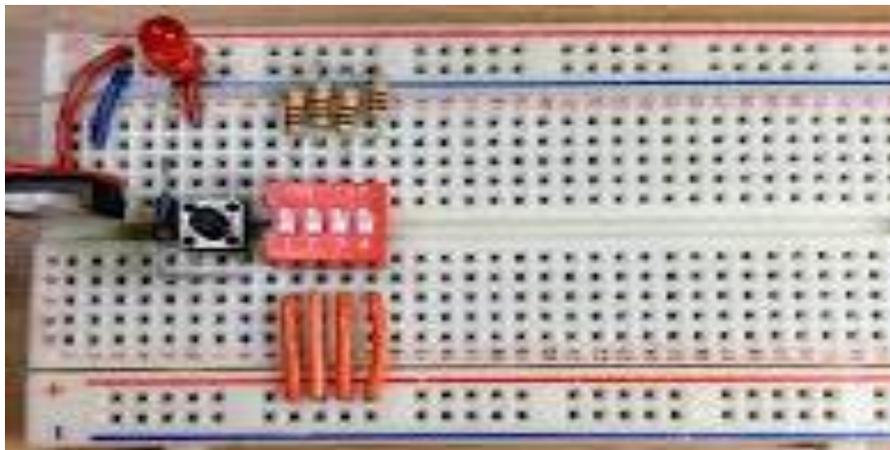
Resultados finales

Para el desarrollo del sistema se realizaron pruebas experimentales de las señales que se envían a la placa madre utilizada en el proyecto, para las pruebas preliminares se utilizó una fuente de voltaje con salidas a 5 voltios similar a la que se puede ver en la Figura 29 Fuente de 5 v dc usada para simular entradas a Raspberry PI.

También se realizó un montaje con protoboard, con sistema tipo Dip-switch como se puede observar en la Figura 28, con estos elementos se pudo enviar señales digitales al sistema para realizar pruebas con estas y verificar que el programa tenga acceso a los puertos, verificar que las señales sean convertidas en flujos en node red y que los flujos ingresen por los diferentes módulos del programa y cumplan con los objetivos para cada señal.

Figura 28

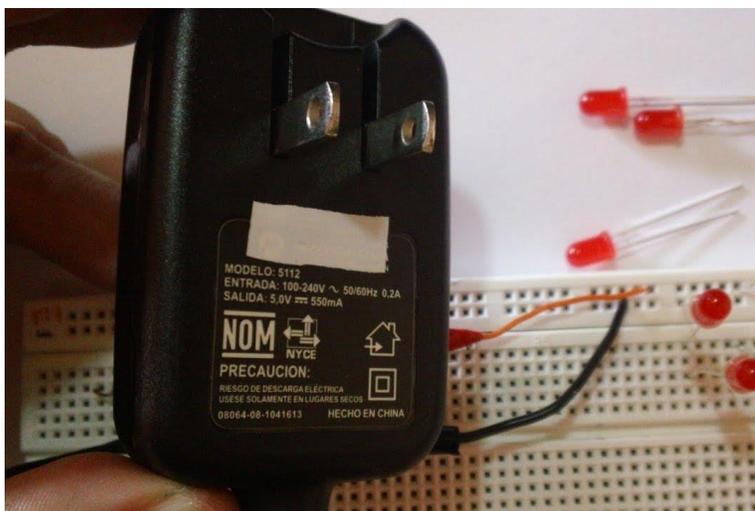
Pruebas entrada Raspberry con Dip-switch y protoboard



Nota: Fuente del autor

Figura 29

Fuente de 5 v dc usada para simular entradas a Raspberry PI



Nota: Fuente del autor

Para una segunda fase de las pruebas se diseñó una maqueta ver Figura 31 Maqueta 1 maquina industrial esta no es copia de ninguna maquina real solo se instalaron elementos comunes a maquinas industriales con el propósito de recrear las condiciones de trabajo y poder simular el sistema, para simular se programaron 2 funciones desde Node-Red para iniciar o detener la máquina desde el servidor WEB Figura 30

RUN - STOP Máquina simulada.

Figura 30

RUN - STOP Máquina simulada

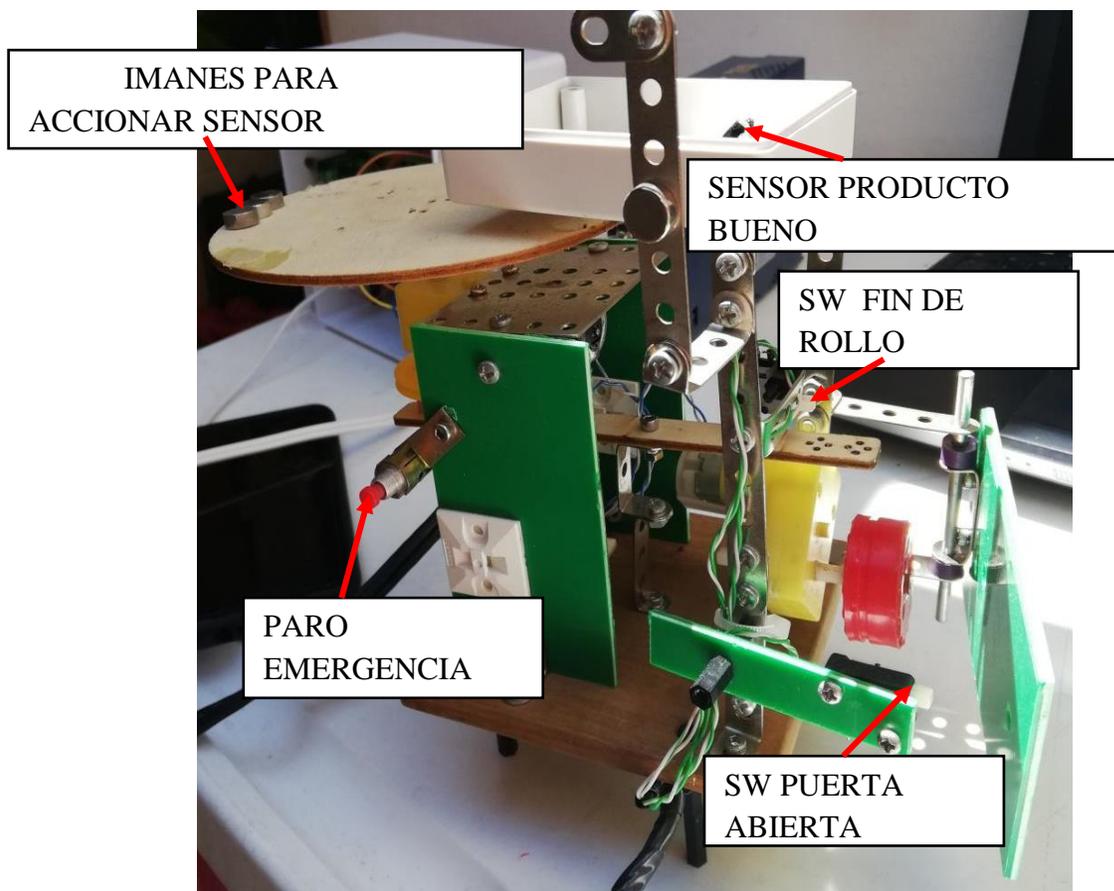


Nota: Fuente del autor

Esta función está instalada desde la interfaz web que se diseñó para gestionar y visualizar la máquina llamada tablero de control, estas 2 funciones van conectadas a 2 salidas de la placa Raspberry pi las cuales accionan 2 relés de control para 2 motores que simularán la máquina de producción, a esta maqueta se le instaló un sensor magnético el cual detecta las vueltas del disco alimentador de producto, estas señales son contabilizadas como unidades buenas producidas por la máquina y así se registran para el sistema, en cuanto a las señales de paro se instalaron 3 sensores físicos los cuales son paro de emergencia, SW puerta abierta, SW fin de rollo, ver Figura 31

Maqueta 1 maquina industrial.

Figura 31

Maqueta 1 maquina industrial

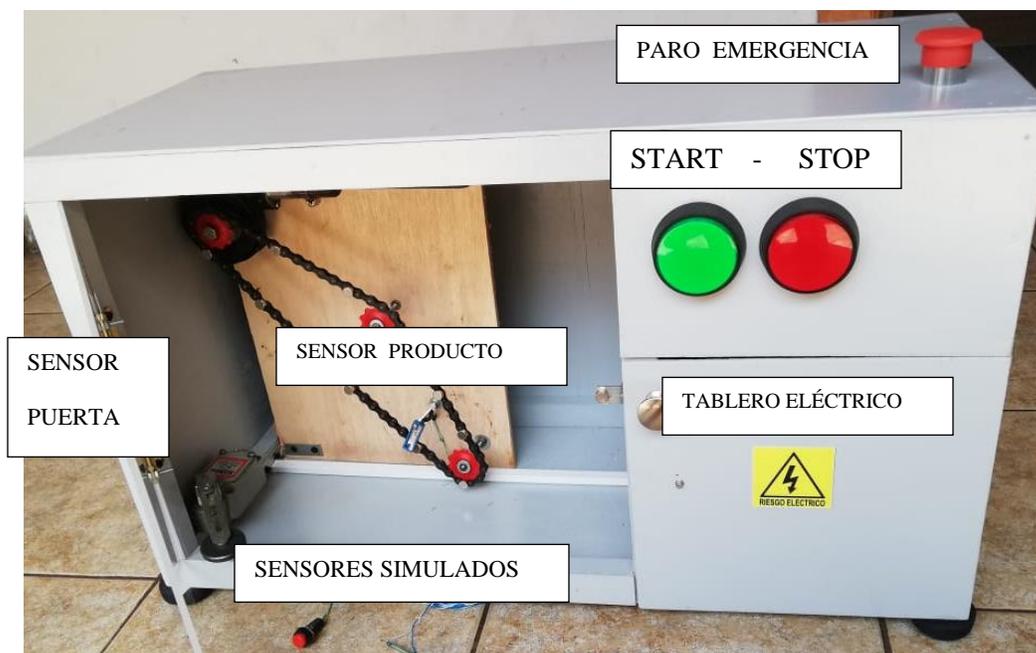
Nota: Fuente del autor

En la Figura se puede ver la ubicación de los sensores en la maqueta de la máquina. Para la presentación final ante el jurado se diseña otra maqueta de maquina Figura 32

Maqueta 2 máquina industrial con elementos usados en la industria de tal forma que sea más fácil la presentación y funcionamiento de la aplicación.

Figura 32

Maqueta 2 máquina industrial potencializada



Nota: Fuente del autor

Casos de estudio

En este apartado revisaremos los casos de estudio que se llevaron a cabo para verificar el correcto funcionamiento del sistema, en sus partes y luego el sistema completo.

Caso de estudio 1

Se simula operación de la máquina en diferentes días y turnos, se verificó el funcionamiento mecánico de la máquina, durante el ensayo se calibro sensor producto, se ajustaron distancias, y se ajustó parámetros de señal en software para evitar doble conteo de producto o no conteo, para el ajuste fino de este sensor se ensayaron las señales con 1,2 y 3 imanes el mejor resultado se obtuvo con 1 imán para generar el pulso de información que entra al flujo en NODE-RED.

Figura 33

Sensor Producto



Nota: Fuente del autor

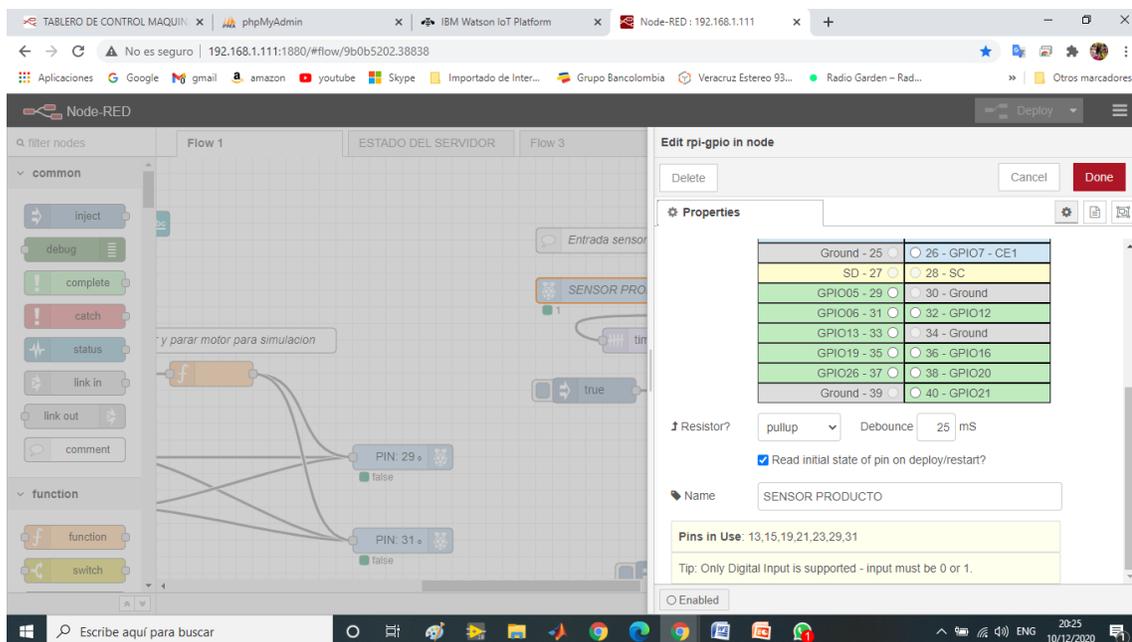
En la Figura 34

Configuración Entrada digital sensor producto podemos observar la configuración que se realiza

en nuestro sistema de desarrollo, los pines que se han utilizado como entradas y salidas, y el retardo que mencionamos el cual ignora falsas señales que se producen cuando se activa y desactiva el sensor.

Figura 34

Configuración Entrada digital sensor producto



Nota: Fuente del autor

En las figuras 35 a 37, observamos una presentación de cómo lucen las diferentes gráficas de barras con información de la máquina de los diferentes contadores programados para los paros por entradas digitales o por los paros digitados por el usuario.

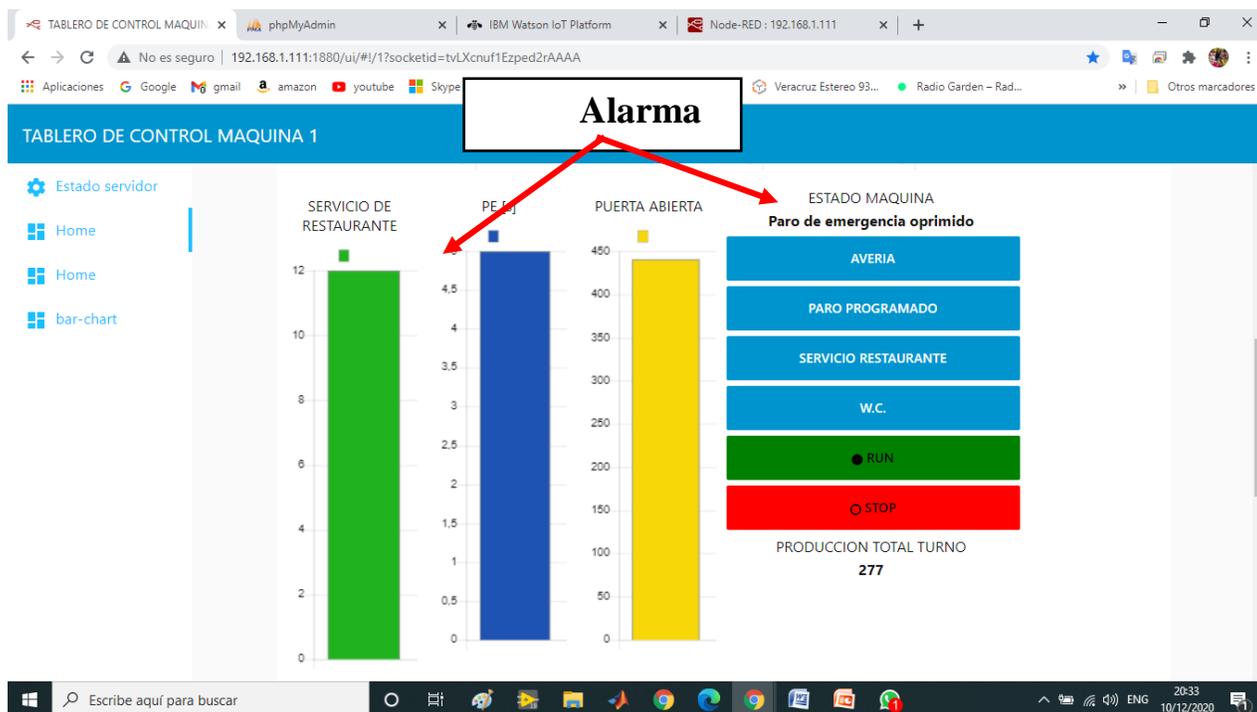
Para visualizar este tablero de control se accede desde cualquier navegador WEB esto se logra digitando la dirección IP que correspondería a cada máquina en nuestra planta de producción.

Para verificar el funcionamiento de las entradas digitales se realizó la simulación oprimiendo físicamente el botón paro de emergencia y en la Figura 35

Tablero de control se puede observar que se generó el respectivo paro, el mensaje de la alarma y el contador de paro de emergencia.

Figura 35

Tablero de control

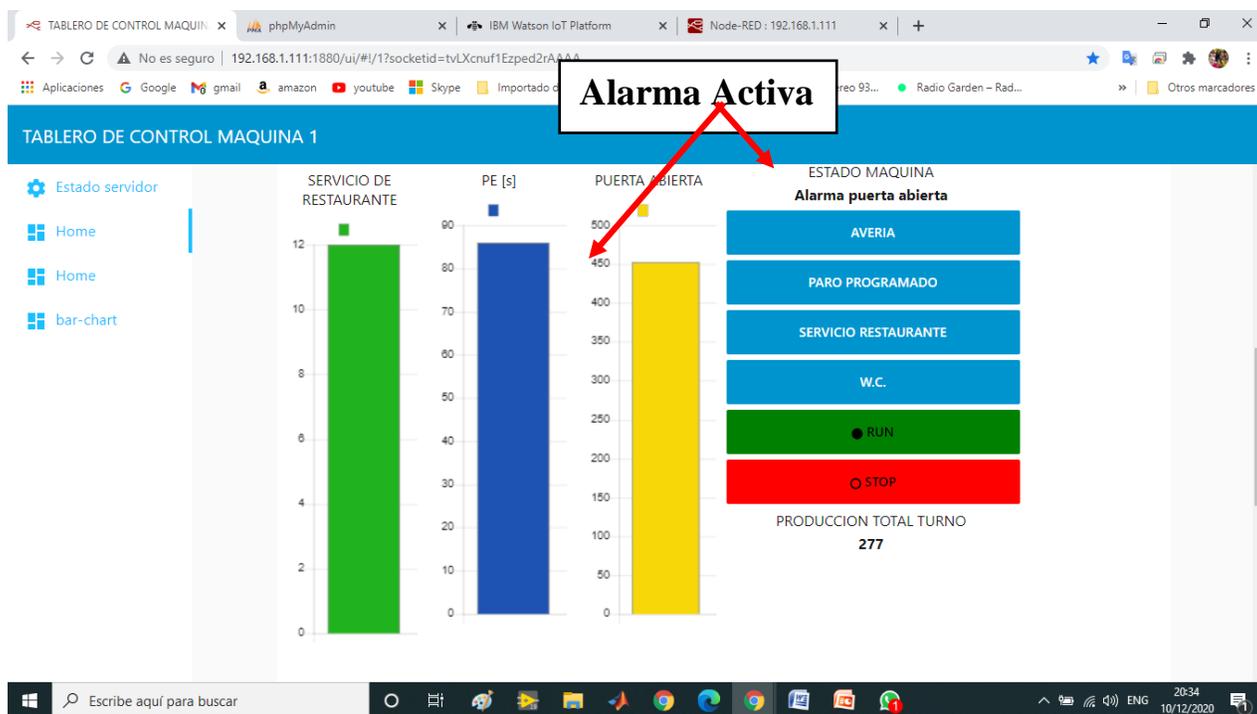


Nota: Fuente del autor

Continuando con el protocolo de ensayo y verificación para el caso de estudio 1 se continúa con revisión de cada una de las alarmas programadas para este proyecto.

La metodología será accionar las diferentes señales de entrada en el prototipo de la máquina, verificar que se presente el mensaje correcto en la aplicación, que inicie el respectivo contador, comprobar que el gráfico de barras sí indica de forma visual y escrita el tiempo transcurrido de paro por esa alarma específica, si el operador considera que debe cambiar el tipo de alarma en el cual está el equipo solo debe seleccionar en pantalla la alarma correcta, o en la máquina se acciona la alarma y automáticamente el sistema cambia el contador de paro.

Figura 36

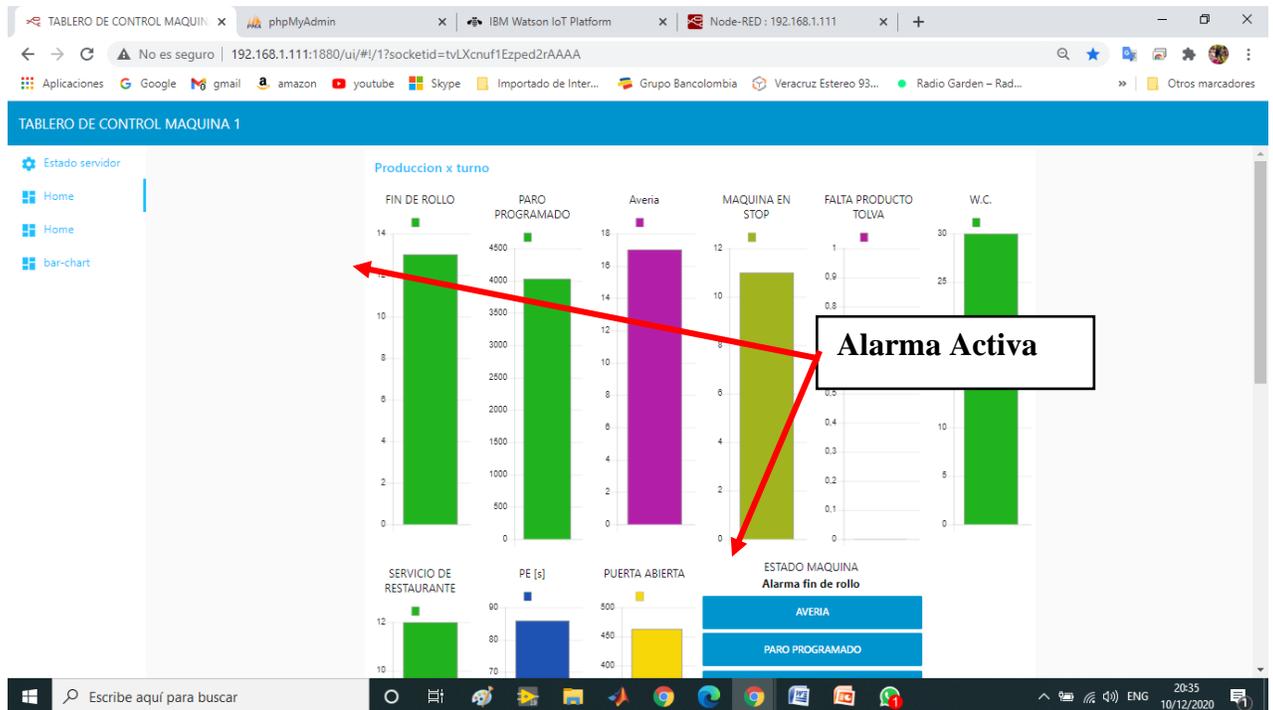
Alarma puerta abierta

Nota: Fuente del autor

Se acciona manualmente la puerta de la máquina la cual acciona el micro-SW que activa alarma por puerta abierta, el equipo para automáticamente y se inicia conteo por puerta abierta con su respectivo mensaje en pantalla, de esta forma se realizaron los ensayos para todas las entradas de la máquina.

Con estas pruebas se puede comprobar el correcto funcionamiento de los flujos de información en el proyecto los cuales llegan por entradas digitales de sensores o desde pantalla, así se está cumpliendo con los objetivos propuestos en este documento

Figura 37

Alarma fin de rollo

Nota: Fuente del autor

Como se puede ver en las Figura 35

Tablero de control Figura 36

Alarma puerta abierta y Figura 37

Alarma fin de rollo Se ensayaron las entradas de paro de emergencia oprimido, puerta abierta y fin de rollo, se verificó que al accionar las señales se genere un paro en el equipo, se active el mensaje correspondiente al tipo de paro, y se cuente el tiempo correspondiente al paro y su duración.

Para configurar las entradas en la placa Raspberry PI se debe identificar el número de pin usado, y el tiempo de retardo anti-reciclos el cual ayuda a evitar falsas detecciones.

Figura 38

Configuración entradas digitales Paro emergencia, Puerta y Fin de rollo.



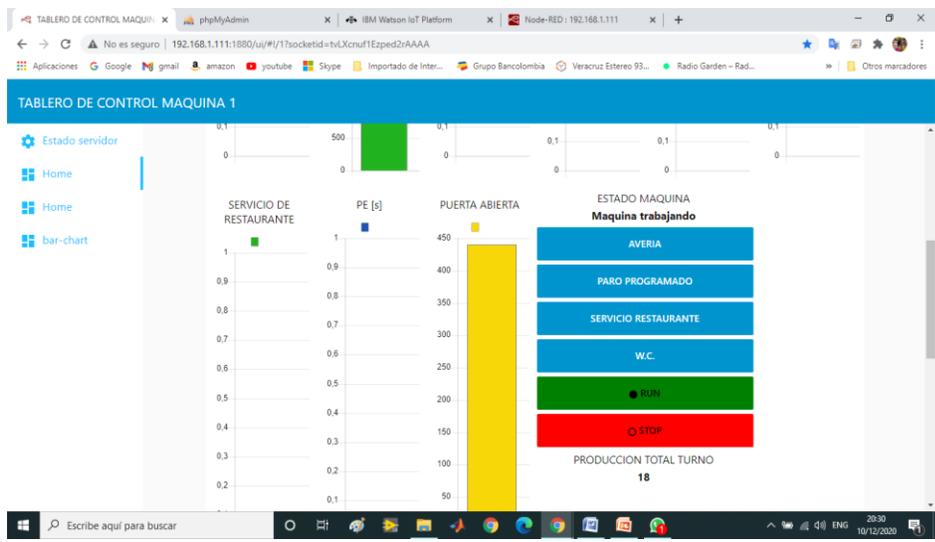
Nota: Fuente del autor

Como última verificación se ensaya función paro del equipo desde la pantalla del operador, esta función se crea para otros paros que no se pueden tomar desde sensores en la máquina, los cuales deben ser justificados por el operador de la máquina.

Se verifica que al oprimir botón de paro y de las opciones creadas en la pantalla se active el respectivo mensaje en el programa y que se inicie el contador específico de ese paro, en las siguientes figuras se verifica cada uno de los paros identificando el mensaje y el contador respectivo.

Figura 39

Máquina trabajando

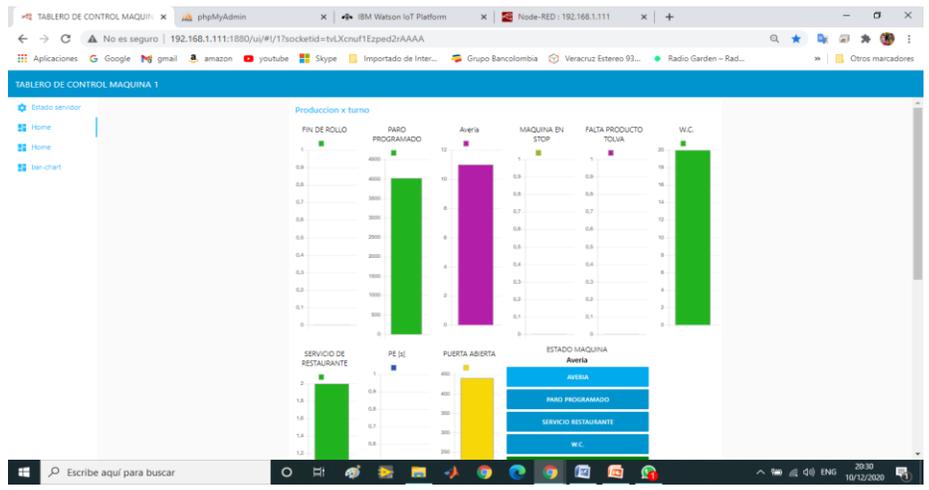


Nota: Fuente del autor

Cuando la máquina está trabajando (RUN) se puede ver el contador de producto incrementando, el mensaje “Maquina trabajando” aparece en pantalla (Figura 39 Máquina trabajando).

Figura 40

Paro por avería



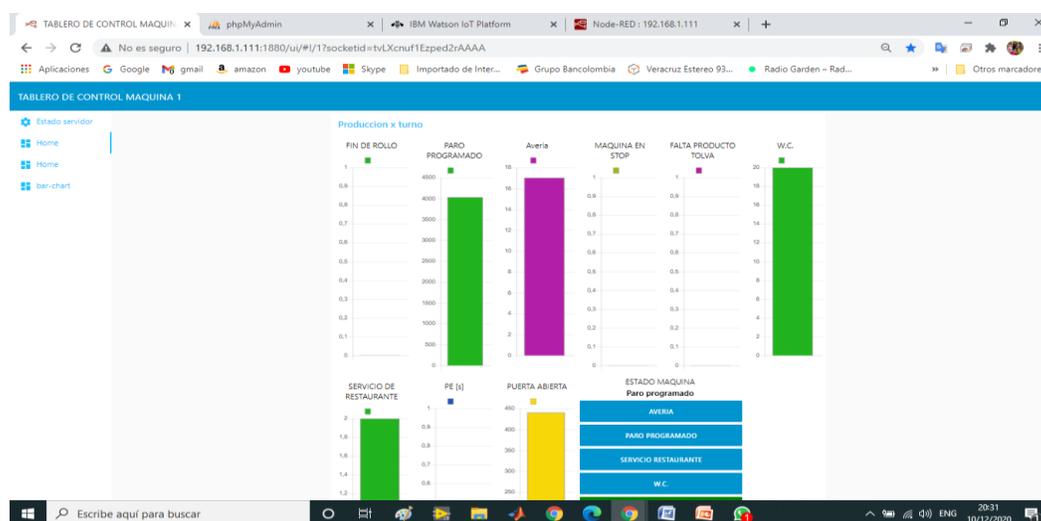
Nota: Fuente del autor

En la Figura 40

Paro por avería podemos observar que se realizó la prueba accionando en la pantalla touch screen el respectivo botón de avería, esto lo realiza el operador cuando el motivo de paro de maquina no tiene sensor que detecto el paro especifico, el operador toma la decisión de marcar el paro como avería y oprime botón para que se llene este indicador.

Figura 41

Paro programado



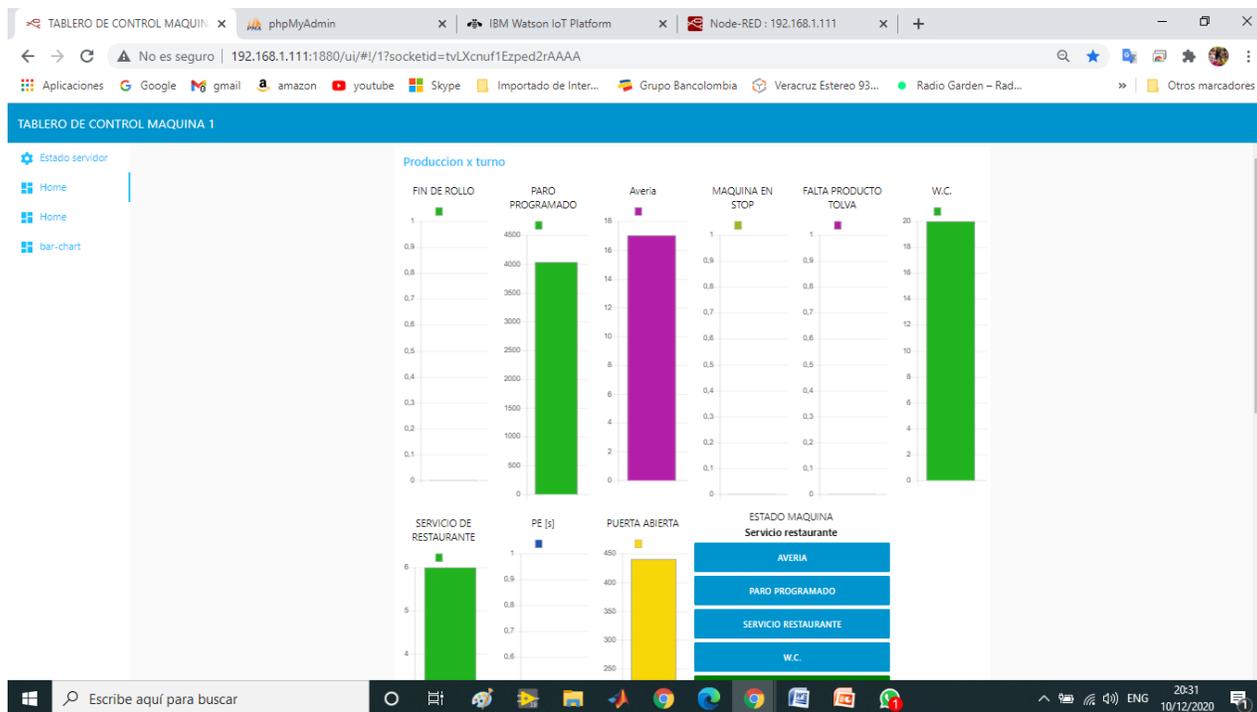
Nota: Fuente del autor

En ocasiones por temas de producción se deben hacer paros programados ya sea por tema de insumos, horas de reuniones, o cualquier paro que el jefe inmediato autorice en el equipo, conveniente tener la información del tiempo de paro programado, ver Figura 41

Paro programado.

Figura 42

Paro por Servicio de Restaurante



Nota: Fuente del autor

Se crea a modo de ejemplo del uso del programa otros botones los cuales lo definirá la empresa en particular, en la Figura 42

Paro por servicio de restaurante se da el ejemplo si el operador no tiene reemplazo y se debe desplazar al servicio de alimentación, este tiempo ocasiona un paro en el equipo, se puede observar que en la aplicación se activa el contador específico, se muestra el mensaje y se envía el dato al servidor SQL.

Figura 43

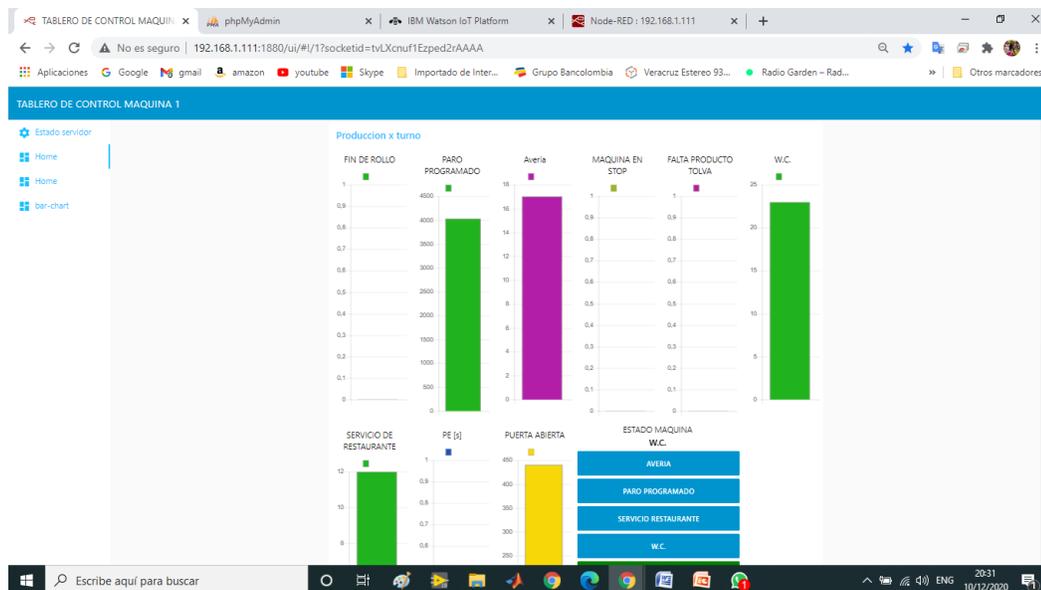
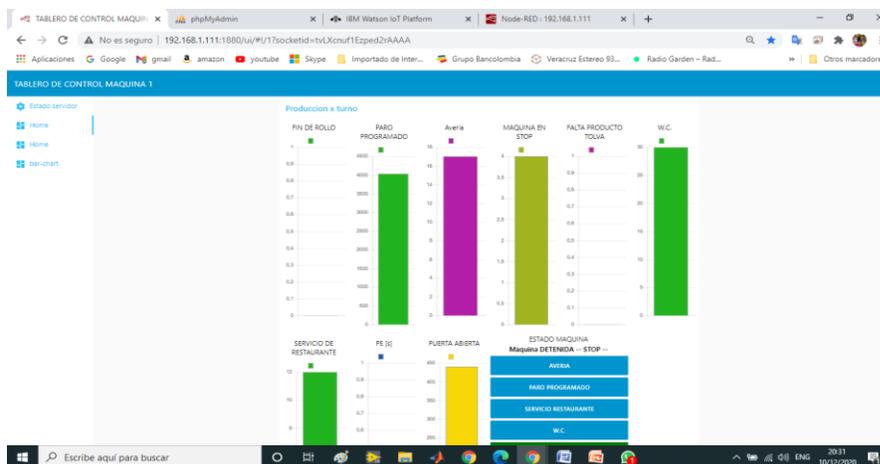
Paro por uso W.C.*Nota:* Fuente del autor

Figura 44

Paro por oprimir botón STOP*Nota:* Fuente del autor

En las figuras Figura 43

Paro por uso W.C. (servicios sanitarios) y Figura 44

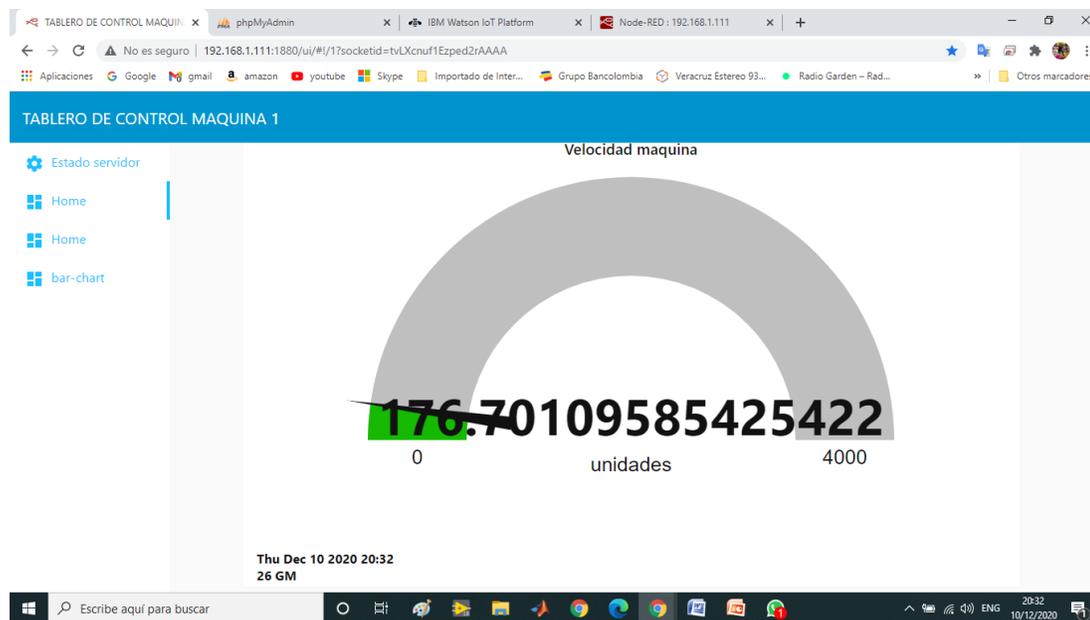
Paro por oprimir botón STOP se presentan los respectivos ejemplos para verificar el funcionamiento de las señales faltantes conectadas desde el equipo al sistema.

La velocidad actual de trabajo es un indicador importante a seguir ya que nos muestra en tiempo real si hay alguna condición que no permite llegar a la velocidad nominal del equipo y esto evitaría que el equipo cumpla con la meta de producción que se tiene para el turno, para ayudar a identificar esta condición de velocidad reducida se programa la pantalla en la que nos indica la cantidad de unidades por minuto producidas en el equipo Figura 45

Velocidad actual máquina.

Figura 45

Velocidad actual máquina



Nota: Fuente de autor

Caso de estudio 2

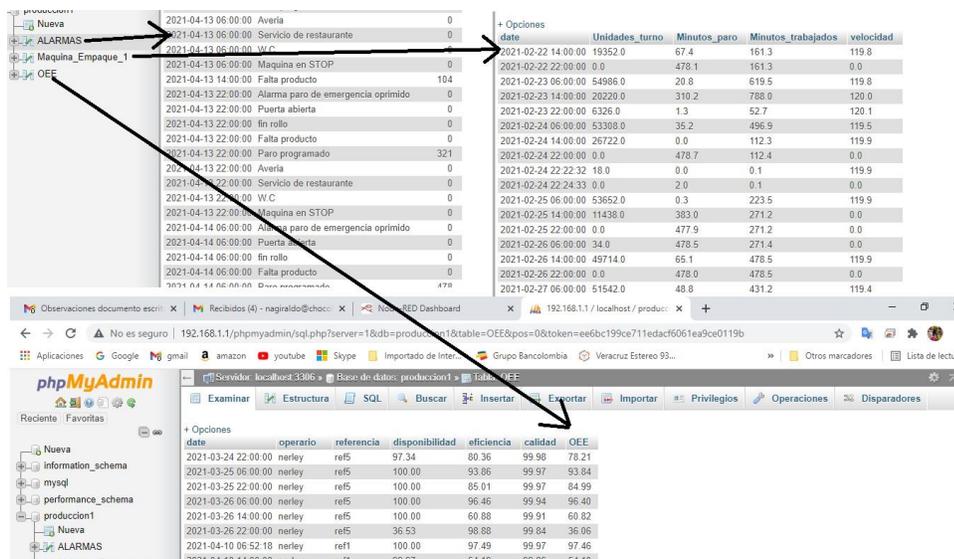
En el caso de estudio número 2 y después de haber comprobado que el sistema esté funcionando correctamente en sus entradas, salidas, funciones desde pantallas, contadores de paro, producción y velocidad es necesario revisar el funcionamiento del sistema que almacena la información.

Este sistema se compone por 2 servidores SQL trabajando paralelamente uno de ellos localmente en el dispositivo y el otro servidor remotamente en una plataforma WEB en internet, esto se realiza de esta forma para tener un backup de la información guardada Figura 46 Registro datos en servidor SQL local.

Se verifica que los paros por cada tipo que se implementó en el proyecto estén debidamente registrados con hora, descripción y cantidad de tiempo en la base de datos SQL tanto local como remotamente.

Figura 46

Registro datos en servidor SQL local



Nota: Fuente del autor

En la Figura 47

Funciones para registro de datos servidor local SQL almacena la información en la tabla PRODUCCIÓN 1, en 3 columnas llamadas, alarmas, maquina 1, OEE.

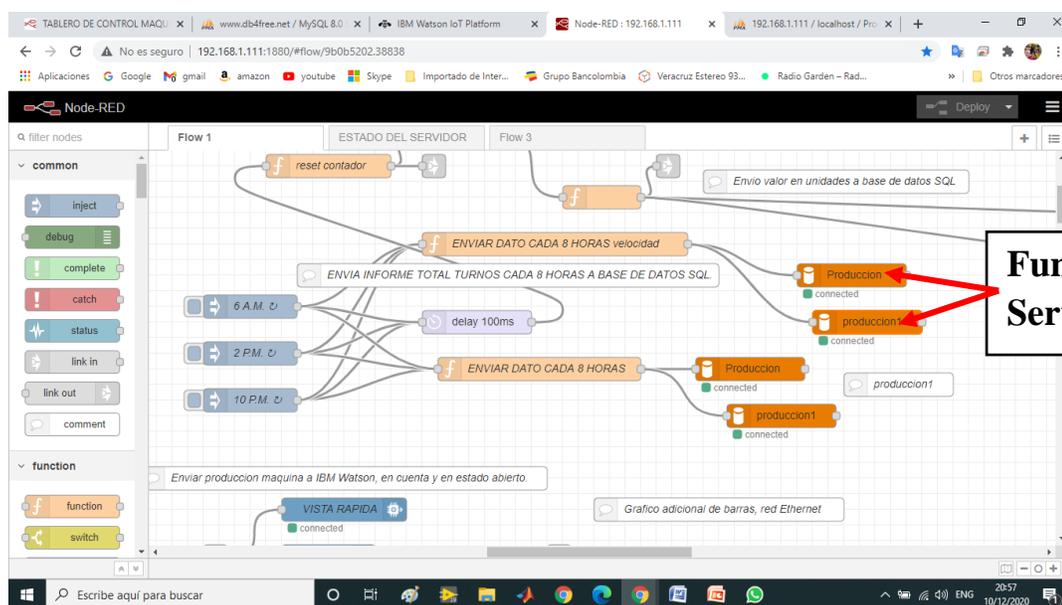
En alarmas se almacena el tiempo de paro totalizado por cada alarma.

En Maquina 1 se almacena unidades producidas por turno, minutos totales de paro producción del turno, minutos trabajados y velocidad.

En OEE almacenamos el nombre del operador, referencia trabajada en turno, disponibilidad, eficiencia, calidad, y el indicador global de rendimiento OEE.

Figura 47

Funciones para registro de datos servidor local SQL



Nota: Fuente del autor

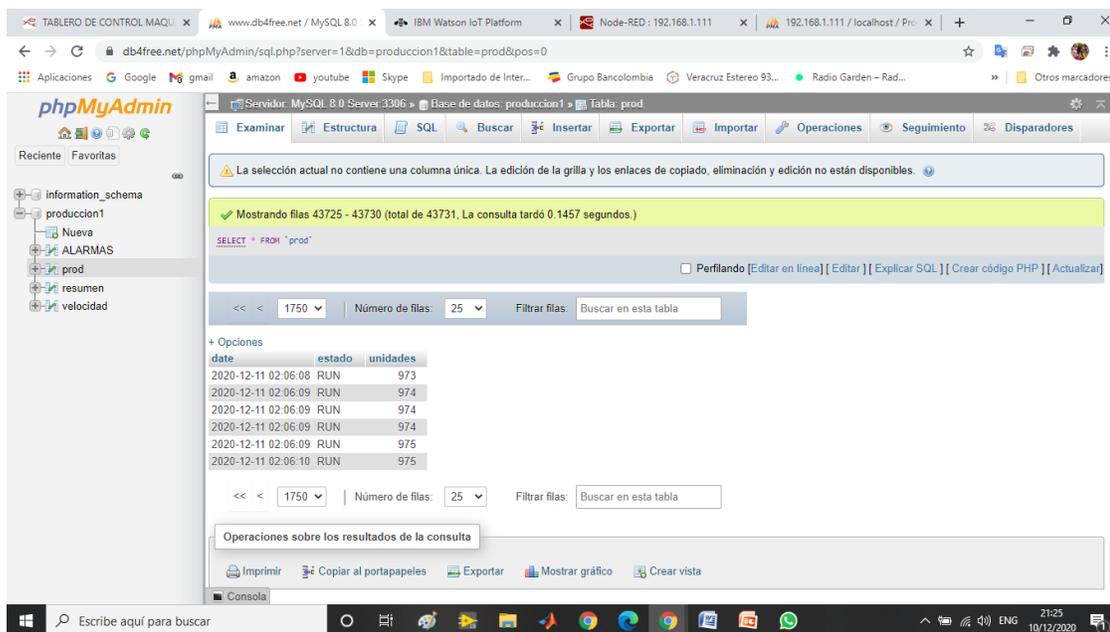
En la Figura 47

Funciones para registro de datos servidor local SQL se puede observar la función que se programa en Node-Red para enviar el dato a los servidores, los flujos parten del mismo punto, pero cada función escribe el dato en el servidor específico, local y remoto.

La información de la producción histórica esta almacenada en el servidor SQL,

Figura 48

Funciones para registro de datos servidor remoto SQL



Nota: Fuente del autor

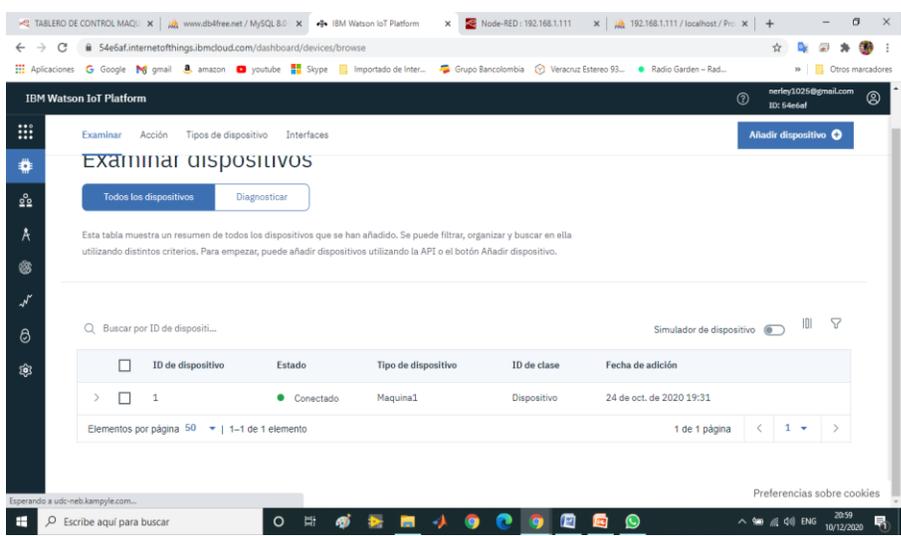
También se verifica el correcto funcionamiento de gráficas creadas en IBM Watson, las señales que se envían para contador de producción y tipo de paro se muestran en tiempo real en la plataforma, y la gráfica se cree y sea acorde a la realidad del proceso simulado en la maqueta.

En la Figura 49

Dispositivo registrado en nube de IBM podemos ver que el dispositivo está registrado en la nube, está activo, tiene el nombre maquina 1 y la fecha en que se creó el dispositivo.

Figura 49

Dispositivo registrado en nube de IBM

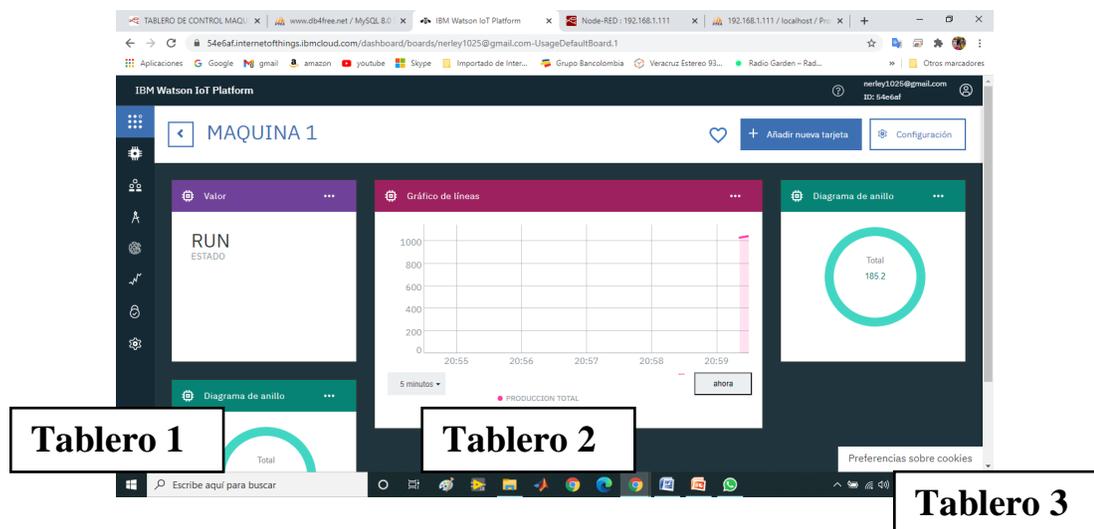


Nota: Fuente del autor

En la Figura 50

Gráfica de producción y paros en nube IBM se puede observar los diferentes tableros que se pueden crear, en el tablero 1 está el estado actual del equipo escrito en letras, en el tablero 2 el contador de producción y en el tablero 3 la velocidad actual.

Figura 50

Gráfica de producción y paros en nube IBM

Nota: Fuente del autor

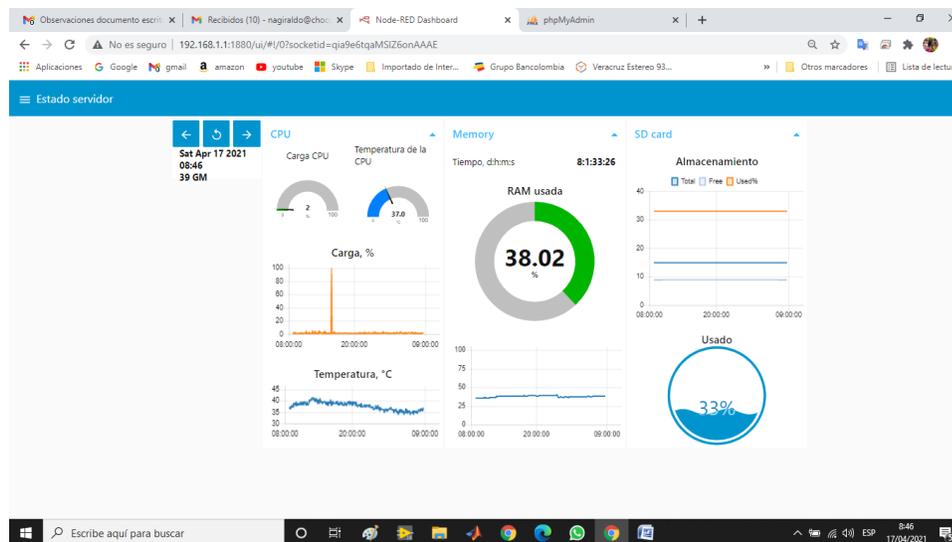
Caso de estudio 3

En el caso de estudio 3 se simula funcionamiento del equipo en diferentes espacios de tiempo para verificar conteo de producción, funcionamiento del sistema Figura 51. Monitoreo estado servidor, la temperatura de operación, uso de memoria RAM y memoria de almacenamiento.

Uno de los objetivos específicos es evaluar los resultados, por tal razón se trabaja maquina por diferentes espacios de tiempo ya sea en producción, en paro por diferentes alarmas, con rechazos de calidad simulados.

Todos estos datos quedan consignados en el anexo 9. SQL especialmente se verifica que el cambio de turno programado para las 6 am, 2 pm, y 10 pm borre los contadores de producción y tiempos de paro y que se inicie un nuevo ciclo de monitoreo con valores en cero.

Figura 51

Monitoreo estado servidor

Nota: Fuente del autor

Recomendaciones

Para la implementación del sistema se puede utilizar el Raspberry PI 3 que se utilizó en el proyecto ya que es confiable y soporta entornos industriales ver Anexo 1 ficha técnica RPI 3, se recomienda usar la protecciones adecuadas y fuentes reguladas, si se desea un producto más eficiente o para entornos de trabajo muy pesados se recomienda el uso de sistemas Raspberry PI industriales como el que se presenta en la Figura 52

Raspberry PI industrial.

Figura 52

Raspberry PI industrial.



Nota: Tomado de Raspberry.org

Adicional al Raspberry PI industrial las marcas en la industria de renombre mundial tienen dispositivos compatibles con NODE-RED como el Siemens IOT 2000 Figura 53 Interfaz industrial SIEMENS Simatic ITO2000,este ofrece soporte por parte del fabricante en Colombia y en la mayoría de países del mundo.

Para ampliar la información se puede visitar su página web:

<https://new.siemens.com/es/es/productos/automatizacion/sistemas/simatic/pcs-industriales/iot-gateways/iot-2000.html>

Figura 53

Interfaz industrial SIEMENS Simatic ITO2000



Nota: Tomado de <https://new.siemens.com/us/en/products/automation/pc-based/iot-gateways/iot2000.html>

Para lograr el desarrollo del sistema inteligente (cognitivo) se debe realizar desarrollo adicional para conectar aplicaciones cognitivas IBM Watson, y otras APIs que ofrece la nube de IBM.

Se recomienda para uso industrial comprar la licencia de uso de IBM para sus productos en la nube y aplicaciones cognitivas, con esto se tiene acceso a soporte las 24 horas y acceso ilimitado a todas las funciones que en modo demo no se pueden utilizar.

Implementar una plataforma web para filtrar la información de las bases de datos SQL y presentarla en la intranet de la empresa de una forma ágil con opciones de filtros por turno, horas, meses, ETC.

Presupuesto

En este apartado se presenta el presupuesto económico, para lograr el objetivo propuesto, los componentes usados son de fácil adquisición, no tienen licencias costosas ya que son de código abierto tanto el hardware como el software por tal razón es un proyecto económico en cuanto a elementos, licencias se componen (ver Tabla 3 para el presupuesto utilizado en el desarrollo del proyecto).

Tabla 3

Presupuesto mano de obra eléctrica y equipos del proyecto

Can tidad	Descripción	unidad	total
1	Raspberry pi 3	250000	250000
1	Placa de expansión para riel DIN	150000	150000
2	Módulos optoacopladores	50000	100000
1	Caja de conexiones plástica con tapa	40000	40000
1	Fuente de 5, 12 y 24 voltios d.c.	80000	80000
1	Maqueta máquina para pruebas	360000	360000
100	Horas de aprendizaje y mano de obra	20000	2000000

TOTAL

2980000

Conclusiones

- Se cumple con el objetivo general ya que se demostró el funcionamiento del sistema MES diseñado.

La selección de software y hardware estuvo acorde al objetivo del sistema ya que aportaron positivamente en el funcionamiento del proyecto con un presupuesto ajustado ideal para la pequeña y mediana industria.

Se logra automatizar la recolección de datos automáticamente, se generaron graficas de monitoreo, graficas en WATSON IoT, y registro de información en SQL.

Con la implementación del sistema hay reducción de registro manual de planillas por cada turno liberando tiempo a los operadores y aumentando productividad de la máquina.

- Identificación real de las causas de paro del equipo, reducción paros no deseados, lo cual nos lleva a identificar oportunidades de mejora.
- Al lograr llevar la información a la nube de IBM se puede analizar la información desde una perspectiva global y la toma de decisiones rápidas para posibles ajustes de la producción notando que esta información se está presentando en tiempo real.
- Se tiene información histórica de los turnos anteriores en la base de datos almacenada de forma segura en 2 servidores con ubicación distinta.
- Se diseño y fabrico maqueta de máquina genérica, se instalo sistema, se realizaron pruebas y se entregan evidencias del correcto funcionamiento del sistema MES, almacenamiento SQL, y conexión con Watson IoT Platform de IBM.

Glosario

IoT: (Internet of Things) Internet de las cosas.

IIoT: (Industrial Internet of Things) Internet industrial de las cosas.

M2M: Comunicación de máquina con otra máquina.

M2P: Comunicación de máquina con una persona.

Industria 4.0: Concepto de desarrollo industrial en su versión 4

MES: (Manufacturing Execution System) Sistemas de ejecución de fabricación

OEE: (Overall Equipment Effectiveness) Efectividad total de los Equipos

Bibliografía

- ANDI. (19 de Noviembre de 2018). *ANDI*. Recuperado el 25 de Octubre de 2020, de ANDI:
<http://www.andi.com.co/Home/Noticia/15609-andi-presento-los-resultados-de-la-encu?cv=1>
- Casado, L. (2018). *Universidad de Valladolid*. Recuperado el 16 de 09 de 2020, de Desarrollo y despliegue de una aplicación escalable usando IBM Cloud (Bluemix) y servicios Watson:
<http://uvadoc.uva.es/handle/10324/33262>
- Casas, D. A., Aguirre, D. E., & Yanet, C. A. (2019). *La Revolución de la Industria 4.0 en España y su tendencia en Colombia*. Recuperado el 16 de 04 de 2021, de
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/21523/2020camilodavid.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chapilliquen, J. (20 de 12 de 2016). *Diseño de un servidor web utilizando hardware libre*. Recuperado el 16 de 10 de 2020, de Universidad Nacional de Piura:
<http://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/2032/IET-SAA-CHA-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chumpitaz, C. (2016). *Aplicaciones actuales de la inteligencia artificial y su uso con la tecnología IBM Watson*. Recuperado el 12 de 11 de 2020, de Universidad Nacional Mayor de San Marcos:
https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/7030/Lepage_chc.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Economía, R. (8 de 09 de 2020). *Colombia Fintech*. Recuperado el 18 de 10 de 2020, de El 62% de las pymes colombianas no tiene acceso a financiamiento:
<https://www.colombiafintech.co/novedades/el-62-de-las-pymes-colombianas-no-tiene->

<https://store.frost.com/colombian-industrial-internet-of-things-market-forecast-to-2022.html>

Summit, I. L. (19 de 11 de 2019). *ANDI más país*. Recuperado el 15 de 09 de 2020, de <http://www.andi.com.co/Home/Noticia/15609-andi-presento-los-resultados-de-la-encu?cv=1>

Tapia, V. (2014). *Industria 4.0 – Internet de las Cosas*. Latacunga, Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi,.

The Forrester Wave. (5 de 9 de 2018). *The Forrester Wave*. Recuperado el 26 de 7 de 2020, de <https://www.forrester.com/report/The+Forrester+Wave+Multimodal+Predictive+Analytics+And+Machine+Learning+Solutions+Q3+2018/-/E-RES141374#>

Valera, C., Portella, J., & Pallares, L. (5 de 4 de 2018). *Revistas Industrial*. Recuperado el 24 de 11 de 2020, de <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/REDES/article/view/12485/13087>

Vañó, J. M. (1 de 4 de 2018). *Modelo Comparativo de Plataformas Cloud y Evaluación de Microsoft Azure, Google App Engine y Amazon EC2*. Recuperado el 23 de 11 de 2020, de RiuNet: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/101221/%c3%81LVAREZ%20-%20Modelo%20Comparativo%20de%20Plataformas%20Cloud%20y%20Evaluaci%c3%b3n%20de%20Microsoft%20Azure%2c%20Google%20App%20Eng....pdf?sequence=1&isAllowed=y>

VESAT. (2017). *Monitoreo Industrial*. Recuperado el 12 de 11 de 2020, de Desarrollando la internet de las cosas: <https://www.vesat.cl/servicios/monitoreo->

Anexos

Con el fin de ampliar la información se incluyen algunos anexos que se consideran de utilidad en el desarrollo del proyecto. A continuación se hace un listado de los mismos.

- Anexo 1 Ficha Técnica RPI 3
- Anexo 2 Dimensiones mecánicas placa RPI3
- Anexo 3 Diseño esquemático optoacoplador PC817
- Anexo 4 Características del PC817
- Anexo 5 Manuales de usuario sistema MES
- Anexo 6 Evidencia de funcionamiento sistema MES

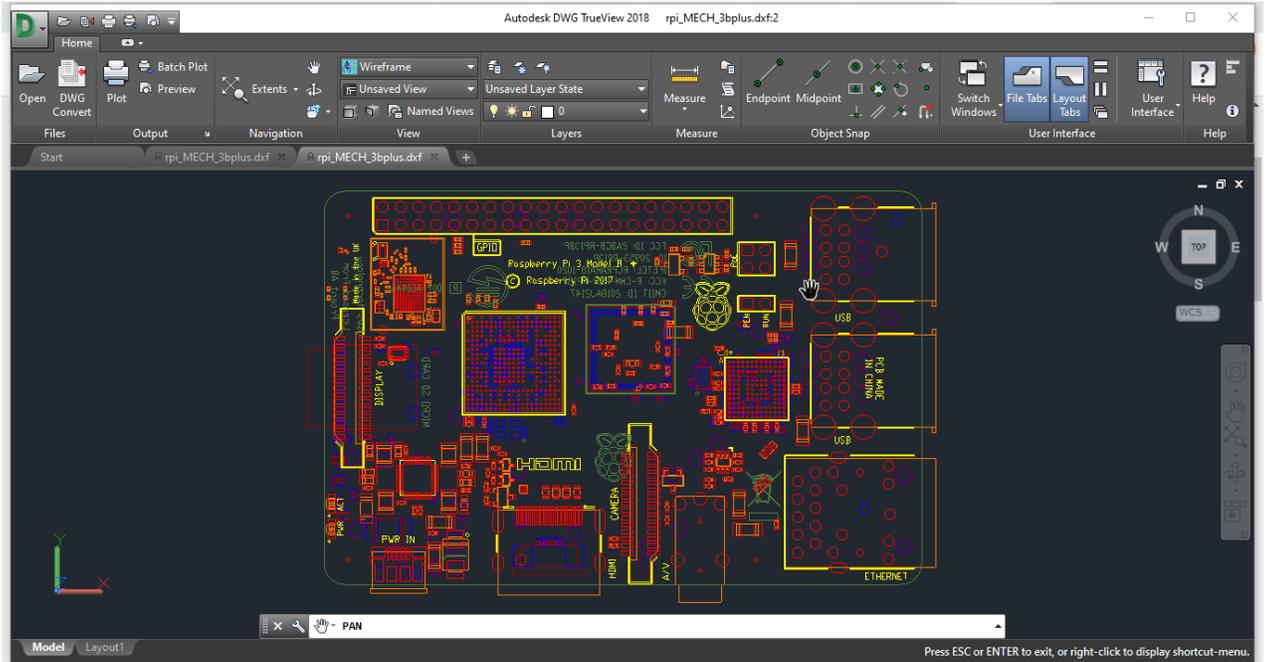
Anexo 1 ficha técnica RPI 3




	New Raspberry Pi 3+ (plus)	Raspberry Pi 3
Fecha Lanzamiento	14/03/2018	28/02/2016
Procesador	Quad Core 1.4Ghz BCM2837B0	Quad Core 1.2Ghz BCM2837
RAM	1GB LPDDR2	
WiFi	Dual Band 2.4/5Ghz	2.4Ghz
Bluetooth	4.2 BLE	4.1 BLE
LAN	Gigabit LAN 10/100/1000*	10/100
PoE	Si	No
USB	4	
Access	40Pin GPIO	
Audio y Video	HDMI, DSI, CSI, RCA+Video	
Capacidad Media	H.264, MPEG 1080p30 enc/dec, OpenGL 1.1, 2.0	
Almacenamiento	Micro SD	
Alimentacion	5V 2.5A DC Micro USB, 5V GPIO, Power Over Ethernet	5V 2.5A DC Micro USB, 5V GPIO
Funcionamiento	0-50°	
Factor de Forma	Igual Raspberry Pi Model B	

Nota: <http://www.raspipec.es/blog/category/raspberry-pi/>

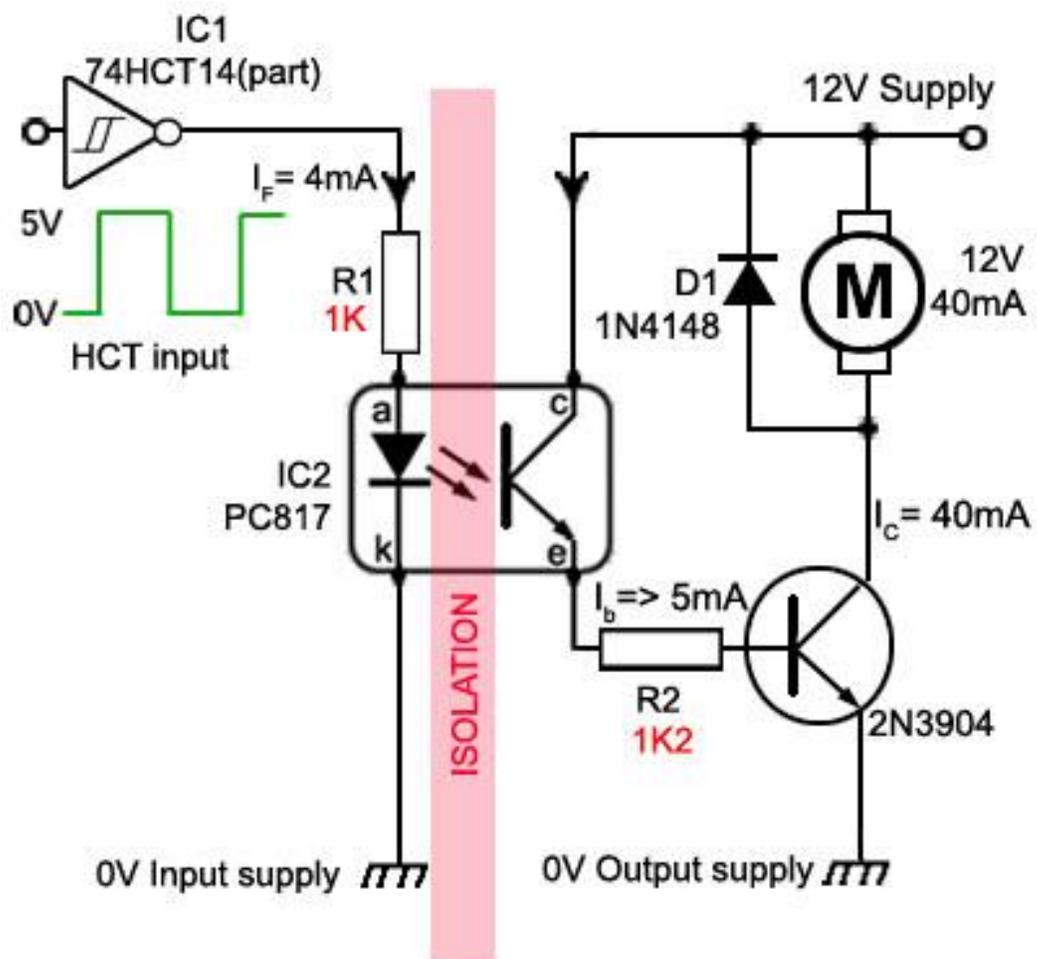
Anexo 2 Dimensiones mecánicas placa RPI3



Nota: <https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/raspberrypi/mechanical/REA>

[DME.md](#)

Anexo 3 Diseño esquemático optoacoplador PC817



Anexo 4 Características del optoacoplador PC817 (4 paginas)

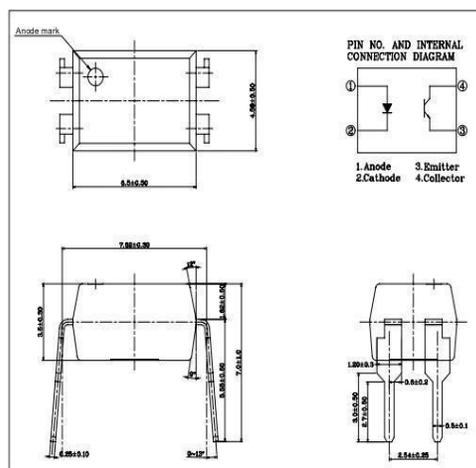


High Density DIP Type Photocoupler PC817 Series



■ Features

- Current transfer ratio
(CTR: MIN. 50% at $I_F = 5\text{mA}$, $V_{CE} = 5\text{V}$)
- High isolation voltage between input and output



■ Absolute Maximum Ratings $T_a = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Input Reverse voltage	V_R	6	V
Collector - Emitter Output Voltage	V_{CEO}	35	
Emitter-Collector Output Voltage	V_{ECO}	6	
Isolation Voltage	V_{ISO}	5000	V_{RMS}
Input Forward Current	I_F	50	mA
Input Peak Forward Current (Note.1)	I_{FM}	1	A
Collector Current - Continuous	I_C	50	mA
Input Power Dissipation	P	70	mW
Collector Output Power dissipation	P_C	150	
Total Power Dissipation	P_{tot}	200	
Junction Temperature	T_J	125	$^\circ\text{C}$
Soldering temperature	T_{sol}	260	
Operating Temperature	T_{opr}	-30 to 100	
Storage Temperature Range	T_{stg}	-55 to 125	

Note.1:Pulse width $\leq 100\text{ms}$, Duty ratio : 0.001

High Density DIP Type Photocoupler PC817 Series

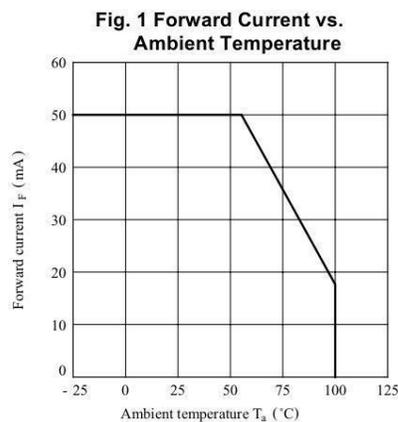
■ Electrical Characteristics Ta = 25°C

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Input Forward Voltage	V _F	I _F = 20 mA			1.4	V
Input Peak Forward Voltage	V _{FM}	I _{FM} = 500 mA			3	
Input Reverse Current	I _R	V _R = 4 V			10	μA
Collector-emitter cut-off current	I _{CEO}	V _{CE} = 20 V, I _E = 0			10	
Collector-emitter saturation voltage	V _{CE(sat)}	I _F = 20mA, I _C = 1mA		0.1	0.2	V
Isolation resistance	R _{ISO}	DC 500V, 40 to 60% RH	5 x 10 ¹⁰	10 ¹¹		Ω
Current Transfer Ratio	CTR	V _{CE} = 5V, I _F = 5mA	50		600	%
Rise time	t _r	V _{CE} = 2V, I _C = 2mA, R _L = 100Ω		4	18	μS
Fall time	t _f			3	18	
Input Terminal Capacitance	C _t	V= 0V, f=1KHz		30	250	pF
Floating Capacitance	C _f			0.6	1	
Cut-off frequency	f _c	V _{CE} = 5V, I _C = 2mA, R _L =100Ω		80		KHz

■ Classification of CTR(%)

Type	PC817A	PC817B	PC817C	PC817D	PC817
Range	80-160	130-260	200-400	300-600	50-600

■ Typical Characteristics



High Density DIP Type Photocoupler PC817 Series

■ Typical Characteristics

Fig. 2 Collector Power Dissipation vs. Ambient Temperature

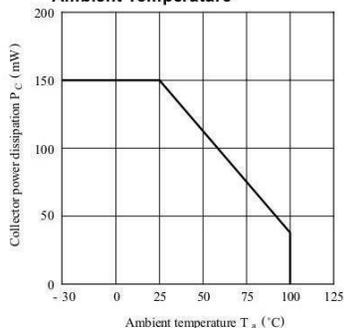


Fig. 3 Peak Forward Current vs. Duty Ratio

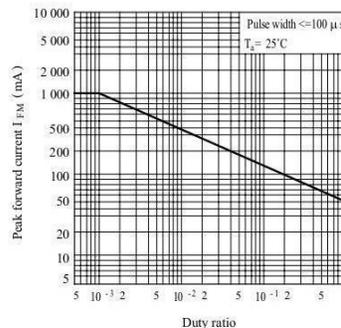


Fig. 4 Current Transfer Ratio vs. Forward Current

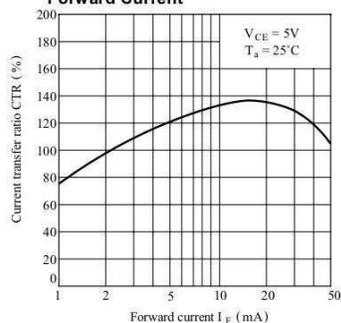


Fig. 5 Forward Current vs. Forward Voltage

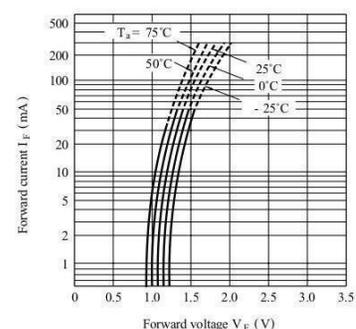


Fig. 6 Collector Current vs. Collector-emitter Voltage

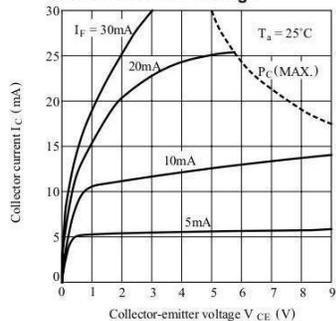
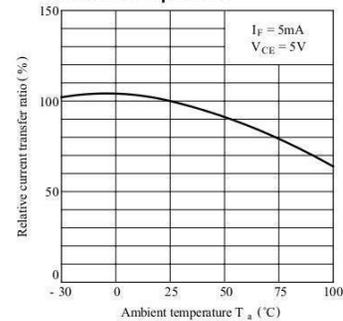


Fig. 7 Relative Current Transfer Ratio vs. Ambient Temperature



High Density DIP Type Photocoupler PC817 Series

■ Typical Characteristics

Fig. 8 Collector-emitter Saturation Voltage vs. Ambient Temperature

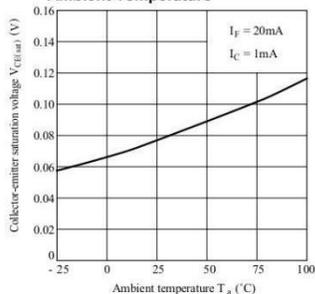


Fig. 9 Collector Dark Current vs. Ambient Temperature

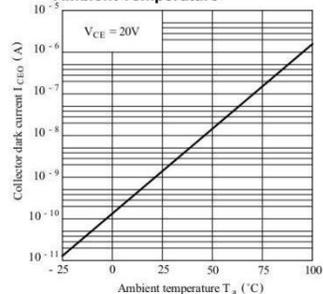


Fig.10 Response Time vs. Load Resistance

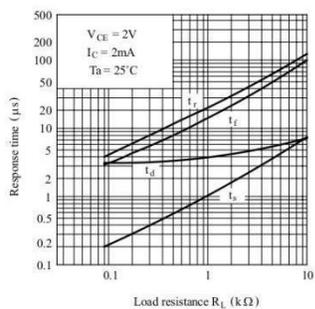
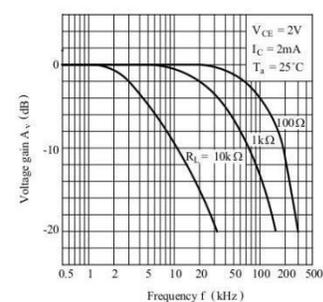
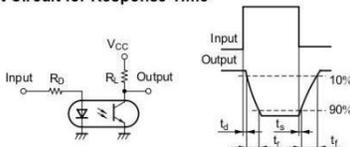


Fig.11 Frequency Response



Test Circuit for Response Time



Test Circuit for Frequency Response

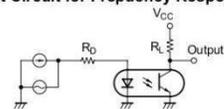
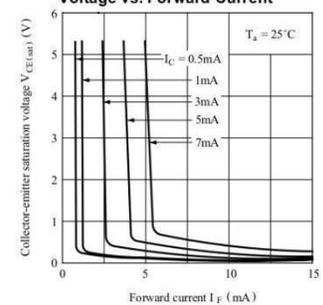


Fig.12 Collector-emitter Saturation Voltage vs. Forward Current



Nota: [https://www.alldatasheet.com/datasheet-](https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/826263/TGS/PC817A.html)

[pdf/pdf/826263/TGS/PC817A.html](https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/826263/TGS/PC817A.html)

Anexo 5 Manuales del usuario sistema MES

El sistema MES está compuesto por una placa Raspberry PI 3 como procesador principal, módulos opto acopladores para proteger las entradas y salidas de la placa y tarjeta de extensión para conexión a bornera de las señales de entrada y salida.

Instalación básica del sistema

Para instalación en planta se debe crear una red local con wifi y cableado que tenga acceso a internet.

Figura 1 anexo 5: RED

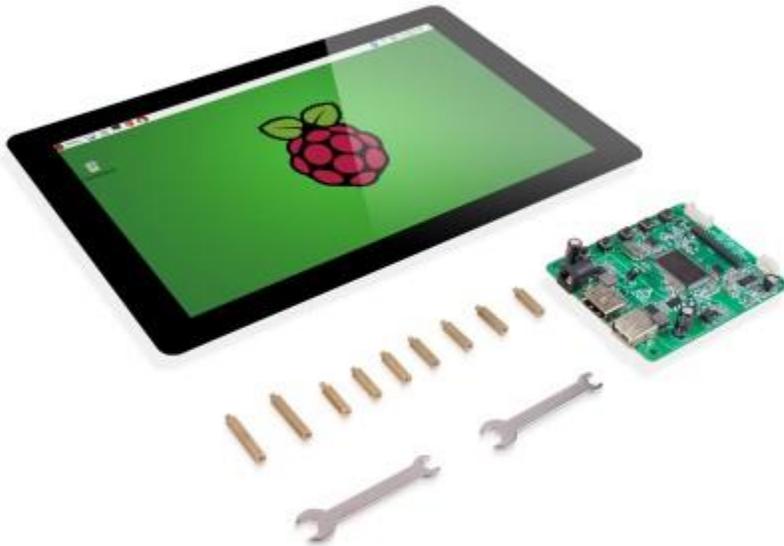


Nota: <http://redestelematicas.com/modos-de-funcionamiento-de-las-redes-wi-fi/>

Cada máquina en la planta debe asignarse una dirección IP fija la cual se configura en casa sistema MES instalado en los equipos. Los accesos directos deben identificar los nombres de cada máquina, y en cada terminal se debe instalar el acceso directo correspondiente a cada equipo.

Cada equipo debe tener un dispositivo con acceso a navegador web conectado a la red local como una Tablet, Smart Phone, computador, o una pantalla Touch Screen conectado a la placa Raspberry PI 3.

Figura 2 anexo 5: Pantalla Raspberry PI



Nota: <https://www.robotshop.com/us/es/pantalla-tactil-101-para-raspberry-pi-lattepanda-beagle-bone.html>

Inicio y operación del sistema

Al energizar el equipo también se inicia el sistema.

El operador de cada máquina abre el link con el acceso directo en su terminal, e ingresa a pantalla principal.

El operador debe digitar la información:

Velocidad del equipo, tiempo de trabajo programado, referencia del producto, nombre del operario, tiempo de paros programados., ver figura 3.

Figura 3 anexo 5: Pantalla de inicio principal

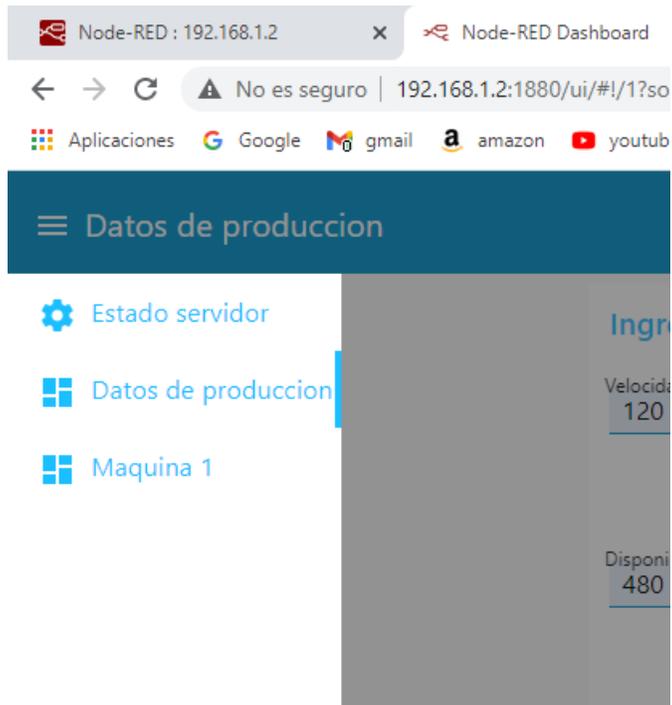
The screenshot shows a web browser window displaying a Node-RED dashboard. The browser's address bar shows the URL `192.168.1.2:1880/ui/#/1?socketid=TdmWx2TZSs5O75QAAAA`. The page title is "Datos de produccion". The main content area is titled "Ingresar datos para calcular OEE" and contains several input fields with their corresponding values and labels:

Field Label	Value	Label
Velocidad por minuto	120	120 --> Velocidad ingresada
Disponibilidad en minutos	480	480 --> Tiempo ingresado
Referencia del producto	ref3	ref3 --> Referencia ingresada
Nombre operario	Pedro perez	Pedro perez --> Nombre ingresado
Paros programados	20	20 --> Tiempo ingresado

Each input field has a blue "OK" button next to it. The browser's taskbar at the bottom shows the search bar with the text "Escribe aquí para buscar" and various application icons. The system tray on the right indicates the time as 11:39 and the date as 13/04/2021.

En la parte superior izquierda seleccionamos a cual parte del programa nos debemos dirigir.

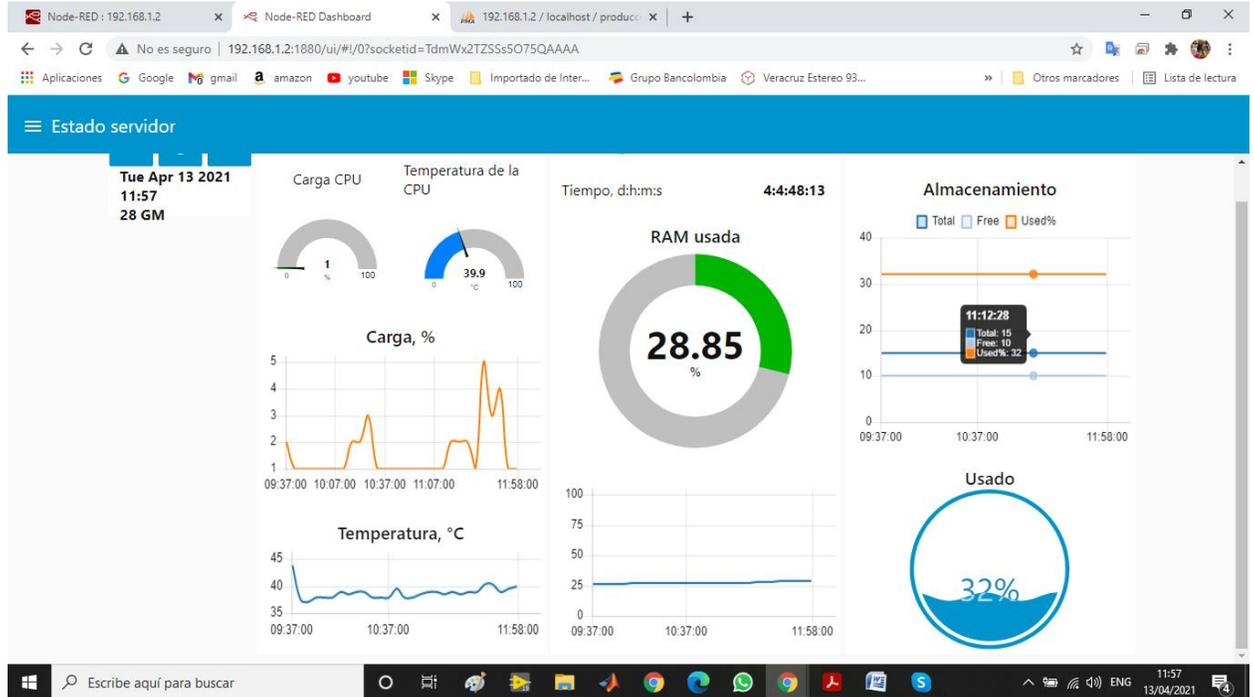
Figura 4 anexo 5: barra navegación



Hay 3 instancias principales del programa:

Estado del servidor: aquí podremos ver el estado del sistema de hardware, carga de la CPU, temperatura de operación, Espacio libre de nuestro sistema de archivos.

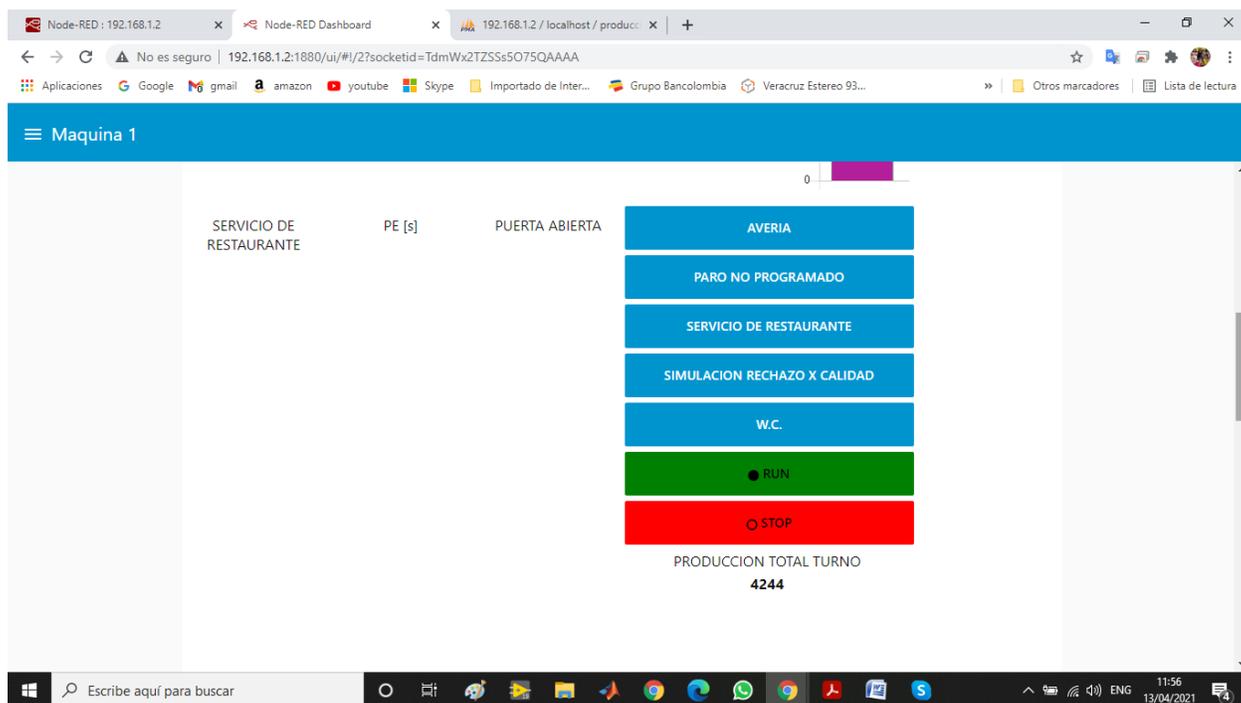
Figura 5 anexo 5: estado del sistema



Datos de producción: En esta página ingresamos la información cuando hay cambios en la producción, como operador, referencia, velocidad programada, tiempo disponible ver Figura 3 pantalla de inicio principal.

Maquina 1: En esta página podemos justificar los paros del equipo si no están identificados por sensores, podemos ver las gráficas de trabajo, velocidad de operación, cantidad de producción, tiempos de paro discriminado por cada tipo de paro de producción.

Figura 6 anexo 5: Pantalla de producción



Revisión de información, históricos de producción

La información es guardada en una base de datos SQL la cual está instalada de forma local en cada dispositivo.

Para acceder a la base de datos el usuario digita la dirección en su navegador desde una terminal conectada a la red de producción.

La dirección es configurada como acceso directo en el momento de la instalación del sistema en su planta, en la columna izquierda está el árbol de navegación ver Fig. 7, en las cuales se almacena la información por periodos de 8 horas (1 turno), con fecha del día y hora de finalización del turno.

El sistema se puede configurar a petición de los usuarios y proponer información adicional de interés para la planta.

Figura 7 anexo 5: Base de datos María DB SQL

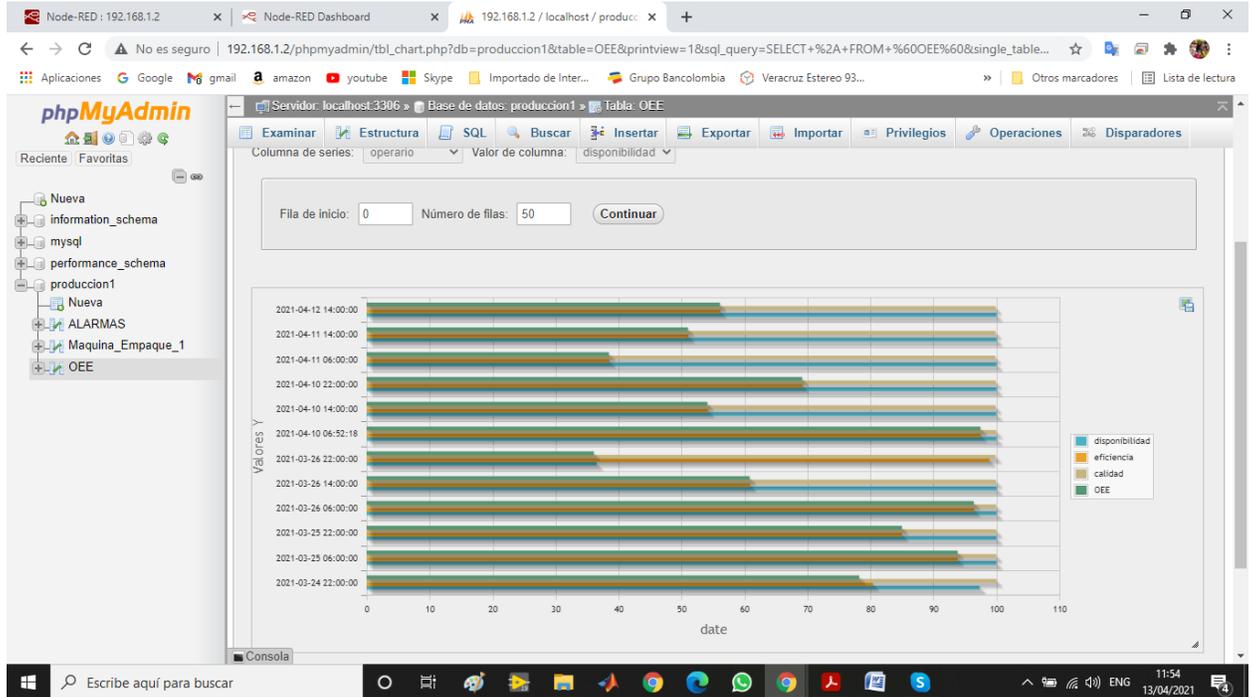
The screenshot displays the phpMyAdmin web interface. The left sidebar shows a database structure with folders for 'information_schema', 'mysql', 'performance_schema', and 'produccion1'. Under 'produccion1', there are sub-folders for 'Nueva', 'ALARMAS', 'Maquina_Empaque_1', and 'OEE'. The main content area shows the 'OEE' table with the following data:

date	operario	referencia	disponibilidad	eficiencia	calidad	OEE
2021-03-24 22:00:00	nerley	ref5	97.34	80.36	99.98	78.21
2021-03-25 06:00:00	nerley	ref5	100.00	93.86	99.97	93.84
2021-03-25 22:00:00	nerley	ref5	100.00	85.01	99.97	84.99
2021-03-26 06:00:00	nerley	ref5	100.00	96.46	99.94	96.40
2021-03-26 14:00:00	nerley	ref5	100.00	60.88	99.91	60.82
2021-03-26 22:00:00	nerley	ref5	36.53	98.88	99.84	36.06
2021-04-10 06:52:18	nerley	ref1	100.00	97.49	99.97	97.46
2021-04-10 14:00:00	nerley	ref1	99.97	54.19	99.86	54.10
2021-04-10 22:00:00	nerley	ref1	100.00	69.24	99.89	69.16
2021-04-11 06:00:00	nerley	ref1	100.00	38.54	99.81	38.46
2021-04-11 14:00:00	nerley	ref1	100.00	51.09	99.85	51.02
2021-04-12 14:00:00	nerley	ref1	100.00	56.17	99.87	56.10

Below the table, there are controls for 'Mostrar todo', 'Número de filas: 50', and 'Filtrar filas: Buscar en esta tabla'. At the bottom, there are options for 'Operaciones sobre los resultados de la consulta' including 'Imprimir', 'Copiar al portapapeles', 'Exportar', 'Mostrar gráfico', and 'Crear vista'.

La base de datos puede exportar datos a Excel para un mejor manejo y filtros de información, adicionalmente hay herramientas que permiten visualizar la información en diferentes gráficos según la necesidad o gusto del cliente.

Figura 8 anexo 5: Gráficos generados en base de datos SQL

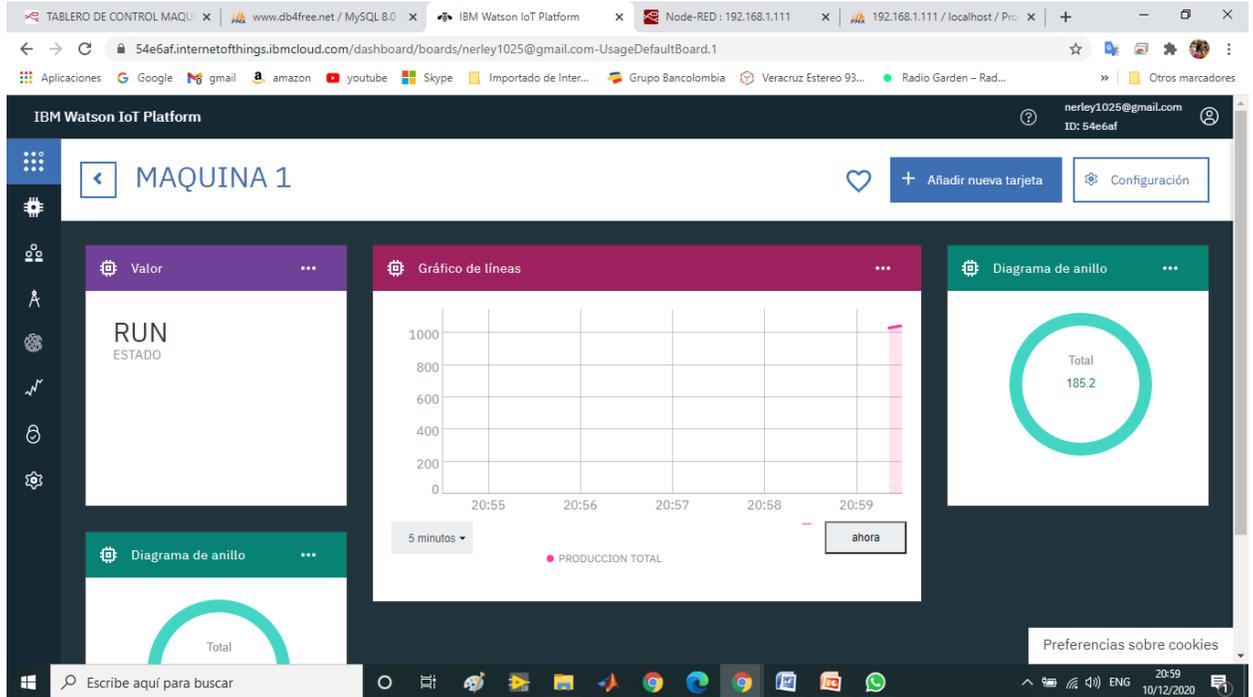


Si la empresa cuenta con servidor de datos SQL el sistema puede enviar la información al servidor en la planta, e incluso a un servidor remoto en internet.

IBM WATSON

IBM Watson es una aplicación basada en la nube con diferentes servicios para las empresas, el sistema está configurado para enviar la información a IBM Watson, ver gráficos en línea en cualquier lugar del mundo del estado del equipo ya sea en producción o en paro.

Figura 9 anexo 5: datos de maquina configurados en IBM Watson



Para mayor información escribir al correo:

Nerley1025@gmail.com

Gracias.

Anexo 6 Evidencias de funcionamiento sistema MES

En las Tablas 1, 2, y 3 del Anexo 6 se puede observar los registros almacenados y exportados a Excel desde la base de datos SQL María DB, se presentan y constituyen parte de la evaluación de resultados que se propuso en el objetivo específico.

Tabla 4:

Registros Máquina 1 en base de datos SQL

MAQUINA EMPAQUE 1				
FECHA	UNIDADES TURNO	MINUTOS PARO	MINUTOS TRABAJADOS	VELOCIDAD
22/02/2021 14:00	19352.0	67.4	161.3	119.8
22/02/2021 22:00	0.0	478.1	161.3	0.0
23/02/2021 6:00	54986.0	20.8	619.5	119.8
23/02/2021 14:00	20220.0	310.2	788.0	120.0
23/02/2021 22:00	6326.0	1.3	52.7	120.1
24/02/2021 6:00	53308.0	35.2	496.9	119.5
24/02/2021	26722.0	0.0	112.3	119.9

14:00				
24/02/2021				
22:00	0.0	478.7	112.4	0.0
24/02/2021				
22:22	18.0	0.0	0.1	119.9
24/02/2021				
22:24	0.0	2.0	0.1	0.0
25/02/2021				
6:00	53652.0	0.3	223.5	119.9
25/02/2021				
14:00	11438.0	383.0	271.2	0.0
25/02/2021				
22:00	0.0	477.9	271.2	0.0
26/02/2021				
6:00	34.0	478.5	271.4	0.0
26/02/2021				
14:00	49714.0	65.1	478.5	119.9
26/02/2021				
22:00	0.0	478.0	478.5	0.0
27/02/2021				
6:00	51542.0	48.8	431.2	119.4
27/02/2021				
14:00	15694.0	347.8	132.2	119.8

27/02/2021				
22:00	50326.0	0.1	480.0	119.8
28/02/2021				
6:00	0.0	478.0	2.0	0.0
28/02/2021				
14:00	0.0	478.0	2.0	0.0
28/02/2021				
22:00	9618.0	398.1	81.9	119.6
01/03/2021				
6:00	16.0	478.5	1.5	0.0
01/03/2021				
14:00	46282.0	93.6	386.4	120.0
02/03/2021				
6:00	53438.0	30.6	449.4	119.5
02/03/2021				
14:00	41768.0	131.0	349.0	120.0
02/03/2021				
22:00	21162.0	302.2	177.8	119.8
03/03/2021				
6:00	55810.0	14.2	465.8	120.0
03/03/2021				
14:00	4482.0	440.7	39.3	0.0
03/03/2021				
	6110.0	427.2	52.8	0.0

22:00				
04/03/2021				
6:00	54656.0	22.9	457.1	119.8
04/03/2021				
14:00	42784.0	122.5	357.5	119.8
04/03/2021				
22:00	29168.0	235.7	244.4	119.9
05/03/2021				
6:00	0.0	478.3	1.7	0.0
06/03/2021				
6:52	41150.0	135.5	344.5	0.0
06/03/2021				
22:00	36284.0	176.6	303.4	120.0
07/03/2021				
6:00	38.0	477.9	2.1	0.0
07/03/2021				
14:00	21390.0	300.2	179.9	0.0
07/03/2021				
22:00	0.0	477.8	2.2	0.0
08/03/2021				
6:00	43986.0	111.7	368.3	120.2
08/03/2021				
14:00	16116.0	344.2	135.8	119.8

08/03/2021 22:00	2.0	417.1	62.9	0.0
09/03/2021 6:00	49972.0	46.6	433.4	120.0
09/03/2021 14:00	7534.0	366.2	113.8	119.9
09/03/2021 22:00	11212.0	385.0	95.0	119.9
10/03/2021 6:00	0.0	478.4	1.6	0.0
10/03/2021 14:00	10356.0	202.2	277.8	119.9

Tabla 5:*Alarmas en base de datos SQL*

ALARMAS		
FECHA	ESTADO	TIE MPO
22/02/2021 14:00	Alarma paro de emergencia oprimido	8
22/02/2021 14:00	Puerta abierta	37
22/02/2021 14:00	fin rollo	5
22/02/2021 14:00	Falta producto	8
22/02/2021 14:00	Paro programado	0

22/02/2021 14:00	Avería	10
22/02/2021 14:00	Servicio de restaurante	0
22/02/2021 14:00	W.C	1
22/02/2021 14:00	Maquina en STOP	0
22/02/2021 22:00	Alarma paro de emergencia oprimido	0
22/02/2021 22:00	Puerta abierta	0
22/02/2021 22:00	fin rollo	0
22/02/2021 22:00	Falta producto	0
22/02/2021 22:00	Paro programado	478
22/02/2021 22:00	Avería	0
22/02/2021 22:00	Servicio de restaurante	0
22/02/2021 22:00	W.C	0
22/02/2021 22:00	Maquina en STOP	0
23/02/2021 6:00	Alarma paro de emergencia oprimido	0
23/02/2021 6:00	Puerta abierta	0
23/02/2021 6:00	fin rollo	0
23/02/2021 6:00	Falta producto	0
23/02/2021 6:00	Paro programado	21
23/02/2021 6:00	Avería	0
23/02/2021 6:00	Servicio de restaurante	0
23/02/2021 6:00	W.C	0
23/02/2021 6:00	Maquina en STOP	0
23/02/2021 14:00	Alarma paro de emergencia oprimido	0

23/02/2021 14:00	Puerta abierta	0
23/02/2021 14:00	fin rollo	161
23/02/2021 14:00	Falta producto	6
23/02/2021 14:00	Paro programado	143
23/02/2021 14:00	Avería	0
23/02/2021 14:00	Servicio de restaurante	0
23/02/2021 14:00	W.C	0
23/02/2021 14:00	Maquina en STOP	0
23/02/2021 22:00	Alarma paro de emergencia oprimido	0
23/02/2021 22:00	Puerta abierta	0
23/02/2021 22:00	fin rollo	0
23/02/2021 22:00	Falta producto	0
23/02/2021 22:00	Paro programado	0
23/02/2021 22:00	Avería	1
23/02/2021 22:00	Servicio de restaurante	0
23/02/2021 22:00	W.C	0
23/02/2021 22:00	Maquina en STOP	0
24/02/2021 6:00	Alarma paro de emergencia oprimido	0
24/02/2021 6:00	Puerta abierta	0
24/02/2021 6:00	fin rollo	0
24/02/2021 6:00	Falta producto	0
24/02/2021 6:00	Paro programado	35
24/02/2021 6:00	Avería	0

24/02/2021 6:00	Servicio de restaurante	0
24/02/2021 6:00	W.C	0
24/02/2021 6:00	Maquina en STOP	0
24/02/2021 14:00	Alarma paro de emergencia oprimido	0
24/02/2021 14:00	Puerta abierta	0
24/02/2021 14:00	fin rollo	0
24/02/2021 14:00	Falta producto	0
24/02/2021 14:00	Paro programado	0
24/02/2021 14:00	Avería	0
24/02/2021 14:00	Servicio de restaurante	0
24/02/2021 14:00	W.C	0
24/02/2021 14:00	Maquina en STOP	0
24/02/2021 22:00	Alarma paro de emergencia oprimido	0
24/02/2021 22:00	Puerta abierta	0
24/02/2021 22:00	fin rollo	0
24/02/2021 22:00	Falta producto	0
24/02/2021 22:00	Paro programado	479
24/02/2021 22:00	Avería	0
24/02/2021 22:00	Servicio de restaurante	0
24/02/2021 22:00	W.C	0
24/02/2021 22:00	Maquina en STOP	0

Tabla 6*OEE registrado en base de datos SQL*

OEE						
FECHA	OPERARIO	REFERENCIA	DISPONIBILIDAD	EFICIENCIA	CALIDAD	OEE
24/03/2 021 22:00	nerley	ref5	97.34	80.36	99.98	78.21
25/03/2 021 6:00	nerley	ref5	100.00	93.86	99.97	93.84
25/03/2 021 22:00	nerley	ref5	100.00	85.01	99.97	84.99
26/03/2 021 6:00	nerley	ref5	100.00	96.46	99.94	96.40
26/03/2 021 14:00	nerley	ref5	100.00	60.88	99.91	60.82
26/03/2 021 22:00	nerley	ref5	36.53	98.88	99.84	36.06
10/04/2 021 6:52	nerley	ref1	100.00	97.49	99.97	97.46
10/04/2 021 14:00	nerley	ref1	99.97	54.19	99.86	54.10
10/04/2021 22:00	nerley	ref1	100.00	69.24	99.89	69.16
11/04/2021 6:00	nerley	ref1	100.00	38.54	99.81	38.46
11/04/2021 14:00	nerley	ref1	100.00	51.09	99.85	51.02
12/04/2021 14:00	nerley	ref1	100.00	56.17	99.87	56.10
13/04/2021 22:00	Pedro Pérez	ref3	100.00	32.89	99.88	32.85
15/04/2021 6:00	Pedro Pérez	ref3	100.00	90.53	99.96	90.49
15/04/2021 14:00	Pedro Pérez	ref3	100.00	77.04	99.95	77.00
16/04/2021 14:00	Pedro Pérez	ref3	99.97	20.55	99.80	20.50
17/04/2021 14:00	Pedro Pérez	ref3	39.17	10.45	98.85	4.05

Datos de las 3 tablas exportados de base de datos SQL María DB el 17-04-2021