



universidad
de león



Escuela de Ingenierías Industrial, Informática y Aeroespacial

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

Trabajo de Fin de Máster

INTEGRACIÓN DINÁMICA DE ROBOTS COLABORATIVOS
EN ENTORNOS INDUSTRIALES

DYNAMIC INTEGRATION OF COLLABORATIVE ROBOTS
IN INDUSTRIAL ENVIRONMENTS

Autor: Santiago Seijas Castro
Tutores: Hilde Pérez García
Alberto Martínez Gutiérrez

(Febrero, 2022)

UNIVERSIDAD DE LEÓN
Escuela de Ingenierías Industrial, Informática y
Aeroespacial

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
Trabajo de Fin de Máster

ALUMNO: Santiago Seijas Castro

TUTORES: Hilde Pérez García y Alberto Martínez Gutiérrez.

TÍTULO: Integración dinámica de robots colaborativos en entornos industriales

TITLE: Dynamic integration of collaborative robots in industrial environments

CONVOCATORIA: Febrero, 2022

RESUMEN:

El presente trabajo tiene como objetivo la implementación de un entorno de comunicación entre el hombre y la máquina bajo el paradigma de la smart manufacturing. Además, se logra la implementación de una plataforma de comunicaciones basada en la aplicación de mensajería instantánea WhatsApp. También se crea una interfaz intuitiva que permite la comunicación por parte de cualquier usuario del entorno industrial con el robot colaborativo. La implementación de sistemas ciberfísicos para mejorar la trazabilidad de productos haciendo uso del control del brazo robótico. El fin es mejorar la competitividad de las empresas logrando un beneficio social y económico.

ABSTRACT:

The present work aims to implement a human-machine communication environment under the paradigm of smart manufacturing. In addition, the implementation of a communication platform based on the instant messaging application WhatsApp is achieved. An intuitive interface is also created that allows communication by any user in the industrial environment with the collaborative robot. The implementation of cyber-physical systems to improve product traceability by making use of the robotic arm control. The aim is to improve the competitiveness of companies achieving a social and economic benefit.

Palabras clave: Cobot, UR5e, industria 4.0, IoT, Fog, Node-RED, sistemas ciberfísicos, WhatsApp.

Firma del alumno:



VºBº Tutor/es:

Agradecimientos

En primer lugar, deseo expresar mi agradecimiento a mi familia y en especial a mis padres, Paz y Ramón, puesto que siempre me han aportado los medios y el apoyo necesario para que yo haya podido estudiar este máster y me encuentre hoy en día realizando este trabajo.

También me gustaría dar las gracias a Daniel Mendoza por haberme devuelto la ilusión y la motivación para seguir estudiando y superarme cada día hasta llegar a donde hoy estoy.

Por otro lado, agradezco la ayuda tanto de mi pareja, como a mis amigos y personas más cercanas, que me ha ayudado a afrontar los momentos difíciles en la realización de este trabajo.

No me gustaría finalizar sin referirme a mi tutor Don Alberto Martínez Gutiérrez, que ha supervisado de cerca todo este trabajo aportándome tanto el apoyo que todo estudiante necesita en los momentos difíciles, como las correcciones necesarias para la óptima realización del mismo.

Índice de contenidos

1	Introducción	11
1.1	Objetivos generales	13
1.2	Objetivos específicos	14
2	Estado del arte	15
2.1	Evolución de la industria a lo largo de la historia	15
2.1.1	Primera Revolución Industrial	16
2.1.2	Segunda Revolución Industrial	17
2.1.3	Tercera Revolución Industrial	18
2.1.4	Cuarta Revolución Industrial.....	19
2.2	Industria 4.0.....	19
2.2.1	Beneficios e inconvenientes de la Industria 4.0	20
2.2.2	Objetivos de la industria 4.0	21
2.2.3	Internet Of Things (IoT)	22
2.2.3.1	Definición.....	22
2.2.3.2	Tecnologías empleadas y funcionalidad	22
2.2.4	Sistemas ciberfísicos	24
2.2.5	Tecnologías de computación industrial	25
2.2.5.1	Técnicas de análisis de datos.....	26
2.2.5.2	Cloud Computing	28
2.2.5.3	Fog Computing.....	29
2.2.5.4	Edge Computing	30
2.3	Ciberseguridad	31
2.3.1.1	Ingeniería social	32

2.3.1.2 Phising	32
2.3.1.3 Malware.....	33
3 Definición de plataforma del entorno industrial.....	34
3.1 Marco teórico	34
3.2 Implementación.....	35
3.3 Descripción de la Plataforma de internet industrial	36
3.4 Protocolos de comunicación	38
3.4.1 Protocolo MQTT.....	38
3.4.2 Protocolo TCP/IP	39
4 Cobot	41
4.1 Descripción	41
4.2 Especificaciones	42
4.3 Programación	44
4.4 Interfaces de comunicación.....	45
4.4.1 API	47
5 Programación Fog.....	48
5.1 Definición del hardware	48
5.1.1 Características del TBOX-1630	49
5.1.2 Dimensiones del TBOX-1630	52
5.2 Node-RED	53
5.2.1 Interfaz de programación	53
5.2.2 Metodología	54
5.2.2.1 Los nodos	55
5.2.2.2 Los flujos	57
5.2.2.3 Los paneles.....	58
5.2.3 Protocolos de comunicación	58

5.3 Librerías.....	58
6 Resultados	60
6.1 Programación Cobot.....	60
6.2 Programación Node-RED	72
6.3 Interfaz	77
6.3.1 Interfaz de programación	78
6.3.2 Interfaz de comunicación con el WhatsApp	79
6.3.3 Interfaz de comunicación con el cobot	79
7 Conclusiones.....	81
7.1 Hitos futuros	82

Índice de figuras

<i>Figura 1 Evolución industrial a lo largo de la historia. (Fuente: avansis.es).....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2 Máquina de vapor utilizada en la primera revolución industrial. (Fuente: mecanizadossinc.com).....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 3 Producción en masa de vehículos propuesta por Henry Ford. (Fuente: significados.com).....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 4 Introducción de ordenadores en la industria con la Tercera Revolución Industrial. (Fuente: sebastianbrau.com)</i>	<i>18</i>
<i>Figura 5 Esquema de funcionamiento de la IoT. (Fuente: doc.aws.com)</i>	<i>24</i>
<i>Figura 6 Sistemas ciberfísicos. (Fuente: factoriadelfuturo.com)</i>	<i>25</i>
<i>Figura 7 Pirámide de funcionamiento del Cloud Computing, Fog Computing y Cloud Computing. (Fuente: itmastersmag.com).....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 8 Dispositivos conectados con Big Data. (Fuente: robertojasinski.com) ..</i>	<i>27</i>
<i>Figura 9 Conectividad del Cloud Computing. (Fuente: forum.huawei.com)</i>	<i>28</i>
<i>Figura 10 Método de actuación del Fog Computing. (Fuente: bloginnovacionytecnologia.es)</i>	<i>30</i>
<i>Figura 11 Forma en la que se analiza la información con Edge Computing. (Fuente: ignasisayol.com).....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 12 Conector RJ45. (Fuente: ekanet.es).....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 13 Arquitectura de red del proyecto. (Fuente: propia).....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 14 Funcionamiento del protocolo MQTT. (Fuente: luisllamas.es)</i>	<i>39</i>
<i>Figura 15 Funcionamiento del protocolo TCP/IP. (Fuente: sites.google.com) ...</i>	<i>40</i>
<i>Figura 16 Cobot utilizado en el proyecto. (Fuente: revistaderobots.com)</i>	<i>42</i>
<i>Figura 17 Partes del Cobot. (Fuente: revistaderobots.com).....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 18 Pantalla táctil Cobot UR5e. (Fuente: Mybotshop.de).....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 19 Bus serie RS-485. (Fuente: movusautomation.com).....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 20 PC industrial empleado para la realización del proyecto, el TBOX- 1630. (Fuente: tegacomindustrial.es).....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 21 Dimensiones del TBOX-1630. (Fuente: tegacomindustrial.es)</i>	<i>52</i>
<i>Figura 22 Interfaz de programación con Node-RED. (Fuente: soloelectronicos.com)</i>	<i>54</i>

<i>Figura 23 Ventana principal del Node-RED. (Fuente: propia)</i>	55
<i>Figura 24 Nodos de entrada. (Fuente: propia)</i>	56
<i>Figura 25 Nodos de entrada/salida. (Fuente: propia)</i>	56
<i>Figura 26 Nodo de entrada/salida con varias salidas. (Fuente: propia)</i>	56
<i>Figura 27 Nodos de salida. (Fuente: propia)</i>	57
<i>Figura 28 Plantilla para la colocación de piezas. (Fuente: propia)</i>	60
<i>Figura 29 Movimiento de carga y descarga del cobot. (Fuente: propia)</i>	61
<i>Figura 30 Carpetas contenedoras de los programas para el movimiento del cobot. (Fuente: propia)</i>	62
<i>Figura 31 Carpetas contenedoras de los programas para el movimiento del cobot.</i>	63
<i>Figura 32 Apartado de explicación de programación de los movimientos. (Fuente: propia)</i>	64
<i>Figura 33 Move j de la carga de objetos. (Fuente: propia)</i>	65
<i>Figura 34 Posición inicial del brazo robótico. (Fuente: propia)</i>	65
<i>Figura 35 Movimiento manual del brazo robótico. (Fuente: propia)</i>	66
<i>Figura 36 Activación de las pinzas. (Fuente: propia)</i>	67
<i>Figura 37 Orden de pinza abierta. (Fuente: propia)</i>	67
<i>Figura 38 Move L para la recogida de la pieza. (Fuente: propia)</i>	68
<i>Figura 39 : Interfaz para el movimiento más preciso del cobot. (Fuente: propia)</i>	69
<i>Figura 40 Acción de pinza cerrada del cobot. (Fuente: propia)</i>	70
<i>Figura 41 Tiempo de espera para el pinzamiento de la pieza. (Fuente: propia)</i> .	70
<i>Figura 42 Programas de descarga de la pieza el movimiento del cobot. (Fuente: propia)</i>	71
<i>Figura 43 Programación de la tarea” pick and place” con Node-RED. (fuente: propia)</i>	74
<i>Figura 44 Programación de la forma de comunicación a través del servicio de mensajería instantánea WhatsApp a través de Node-RED. (fuente: propia)</i>	75
<i>Figura 45 Programación de las acciones de control del brazo robótico a través de Node-RED. (fuente: propia)</i>	77
<i>Figura 46 Pestañas de la interfaz. (Fuente: propia)</i>	78
<i>Figura 47 Interfaz de programación. (Fuente: propia)</i>	79

Figura 48 Interfaz de comunicación con el WhatsApp. (Fuente: propia).....79
Figura 49 Interfaz de comunicación con el cobot. (Fuente: propia)80
*Figura 50 Funcionamiento del sistema RFID para una posible incorporación
futura. (Fuente; dymSolperu.com)82*

Índice de Tablas

<i>Tabla 1 Puertos de la caja de control del Cobot UR5e.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 2 Puertos de la herramienta del Cobot UR5e.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 3 Tabla del sistema operativo y hardware del TBOX-1630. (Fuente: tegacomindustrial.es)</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 4 Tabla de entradas y salidas del TBOX-1630. (Fuente: tegacomindustrial.es)</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 5 Tabla de estructura física del TBOX-1630. (Fuente: tegacomindustrial.es)</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 6 Tabla de potencia y entorno del TBOX-1630. (Fuente: tegacomindustrial.es)</i>	<i>51</i>

1 Introducción

A lo largo de la historia, los avances tecnológicos han formado parte del proceso histórico y social en temas como la economía, la salud, la educación, la investigación y el trabajo. Estos ámbitos están íntimamente vinculados con los cambios tecnológicos que aportan una serie de consecuencias para la vida de las personas.

Por otro lado, la globalización de la economía supone una competitividad sin precedentes. Esto provoca que las empresas deberán tener un desarrollo tecnológico continuo para poder ofrecer productos más baratos y con una calidad mayor.

Estos desarrollos tecnológicos se han visto reflejados en cuatro grandes revoluciones industriales que han ocasionado la ruptura de los modelos económicos, sociales, culturales y laborales en todo el mundo.

La primera tiene lugar en el siglo XVIII y está caracterizada por la aparición de las primeras máquinas autopropulsadas y la existencia de grandes industrias. La segunda revolución industrial por su parte aparece a finales del siglo XIX y principios del siglo XX, destacándose por introducir la producción en cadena o masa que tanta agilidad ha dado a los procesos productivos. La tercera, se inicia en la década de los años sesenta y se caracteriza por la aparición de los ordenadores y el Internet.

En la actualidad nos encontramos inmersos en una nueva revolución industrial denominada industria 4.0, que se caracteriza por una completa automatización de los procesos industriales de producción gracias a la digitalización de los procesos, la aparición de nuevas tecnologías robóticas, la realidad aumentada, el internet de las cosas (IoT) y la comunicación autónoma mediante el uso de red entre objetos.

Este cambio de paradigma supone el paso de una arquitectura más jerarquizada, donde tanto la integración vertical como la horizontal entre los diferentes dispositivos es escasa, hacia una Smart Manufacturing, mucho más integrada y colaborativa.

Por todo ello, en este Trabajo de Fin de Máster se propone una nueva metodología para automatizar y crear un entorno colaborativo para la manutención dentro de la Smart Manufacturing.

En este caso se va a emplear el uso de robots colaborativos novedosos, así como de la computación en el FOG que permite, a diferencia de los dispositivos antiguos, una coordinación efectiva entre estos dispositivos.

Por otro lado, en este proyecto se va a desarrollar el empleo de una aplicación de mensajería instantánea denominada WhatsApp, que hará de intermediario y permitirá la comunicación de los usuarios con el propio dispositivo a controlar independientemente de la parte del mundo en la que se encuentren.

En este trabajo se desarrollan e implementan los conceptos tecnológicos que se mencionan en la literatura científica orientados a la industria 4.0 tales como: los sistemas ciberfísicos (CPS), el internet de las cosas (IoT) o la computación en la nube (Cloud computing), el Smart manufacturing o la simulación (Digital Twin), entre otros.

Los sistemas ciberfísicos incorporan inteligencia y conectividad a diferencia de los sensores clásicos, consiguiendo unir el mundo virtual con el mundo físico.

El internet de las cosas (IoT), permite la comunicación efectiva entre el mundo de las operaciones (OT) y el mundo de la información (IT) en el ámbito de la industria, logrando de este modo la integración completa de los dispositivos hardware disponibles con las propias plataformas informáticas.

La computación en la nube, ha originado que se haya producido una mejora en las comunicaciones especialmente en la latencia y el ancho de banda, de tal forma que se pueda dar soporte a los datos que generan la multitud de dispositivos conectados.

Por último, cabe destacar que en este proyecto se buscan la incorporación de sistemas de comunicación que estén implementados en entornos no industriales, eliminando de esta forma la brecha existente entre las comunicaciones entre el propio entorno industrial con el exterior, el control completo de un sistema novedoso de transporte de elemento

Con todo lo mencionado anteriormente se busca la coordinación e integración de las tecnologías bajo una única red siguiendo la filosofía del Smart manufacturing

y la industria 4.0. El objetivo es fomentar la optimización de los recursos con el fin de aumentar la prosperidad económica y social.

Definido este entorno colaborativo en este trabajo se pueden destacar los siguientes objetivos.

1.1 OBJETIVOS GENERALES

Entre los objetivos generales que se buscan en el proyecto, podemos destacar los siguientes:

- Definir el marco de la industria 4.0 y de la Smart Manufacturing especialmente en el ámbito de la manutención, así como una descripción de las tecnologías que se aplican o están asociadas a la filosofía de la nueva revolución industrial.
- Establecer un marco o una plataforma para la comunicación y la creación de un entorno colaborativo siguiendo la filosofía de la Industria 4.0 en el ámbito de la manutención industrial.
- Implementación con equipamiento real de un robot colaborativo, así como el empleo de computación para un servidor tercero de WhatsApp para la coordinación de todos estos elementos característicos de la industria 4.0
- Programar el hardware de computación industrial empleado en el proyecto para la interconexión de los diferentes protocolos del robot colaborativo.
- Implementar una interfaz de usuario intuitiva para la monitorización y el control del proceso de la manutención industrial de forma automática mediante las entradas y salidas de los diferentes sistemas
- Automatizar los diferentes equipos, y establecer la relación entre ellas de forma automática sin la necesidad de la interacción de los usuarios u operarios de la planta industrial.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

En cuanto a los objetivos específicos del Trabajo de Fin de Máster, se pueden citar los siguientes:

- Programar del robot colaborativo mediante la aplicación y la interfaz que facilita el fabricante denominado PolyScope para la creación de programas destinados a controlar el movimiento del robot colaborativo.
- Definir de los protocolos de comunicación entre los diferentes dispositivos tanto del brazo robótico, como de la nube y su conexión con los servidores de WhatsApp.
- Realizar una programación específica mediante Node-Red para la creación de un servicio de comunicaciones.
- Disminuir la brecha existente en las comunicaciones dentro de la planta con el exterior de la industria. Para conseguir esto se busca una interacción efectiva de los operarios, mediante la aplicación WhatsApp, y el robot colaborativo suponiendo la integración total de sistemas industriales con sistemas o protocolos no industriales.

2 Estado del arte

2.1 EVOLUCIÓN DE LA INDUSTRIA A LO LARGO DE LA HISTORIA

A lo largo de la historia de la humanidad, la industria ha jugado un papel fundamental en nuestras vidas, tanto en el ámbito económico como en el ámbito social. Por todo ello la industria ha sufrido una gran cantidad de cambios con el paso del tiempo. Esto se debe a que ha ido evolucionando, se ha pasado desde la primera máquina de vapor, pasando por la aparición de la electricidad y la fabricación en serie, hasta los robots y las telecomunicaciones empleados en la actualidad. [1].

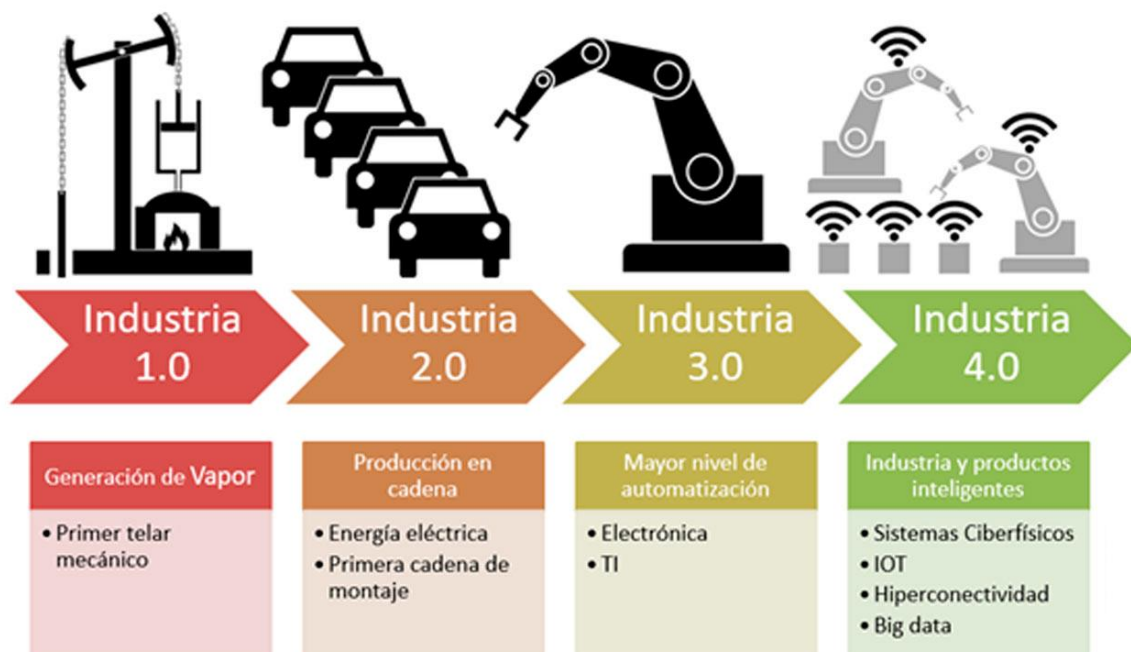


Figura 1 Evolución industrial a lo largo de la historia. (Fuente: avansis.es)

Por tanto, para comprender mejor esta evolución industrial a lo largo de la historia, se debe asimilar primero lo que una gran cantidad de personas entienden

como “*las cuatro revoluciones industriales*” que han llevado al punto en el que se encuentra actualmente.

2.1.1 PRIMERA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

La Primera Revolución Industrial tuvo lugar a finales del siglo XVIII mediante la introducción de maquinaria en la industria. Para ello, se comenzó a utilizar la energía de vapor y la mecanización de la producción. De forma que, lo que antes producía cuerdas sobre ruedas giratorias simples, la versión mecanizada aumentaba por ocho el volumen de trabajo en el mismo tiempo de producción. Por otro lado, el uso de la energía de vapor ya era comúnmente conocida, sin embargo, su utilización para propósitos industriales fue uno de los mayores descubrimientos para aumentar la producción, ya que este permitía mover grandes cantidades de material y mercancías mediante vehículos propulsados por la propia energía producida por el vapor, cuando hasta ese momento las mercancías eran transportadas por tracción animal o mediante el uso de las propias personas. [2]



*Figura 2 Máquina de vapor utilizada en la primera revolución industrial.
(Fuente: mecanizadossinc.com)*

2.1.2 SEGUNDA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

La Segunda Revolución Industrial comenzó en el siglo XIX mediante dos descubrimientos que revolucionaron el mundo tal y como era conocido, estos se trataban de la electricidad y las líneas de montaje. [3]

Por otro lado, la implementación de sistemas eléctricos en la industria permitió a los fabricantes aumentar la eficiencia y conseguir que la maquinaria disponible fuera más móvil que las antiguas [4]. Asimismo, en esta época Henry Ford introdujo también la idea de la producción en masa de un matadero de Chicago, de forma que los animales colgaban de unas cintas transportadoras colocadas en el techo de la estructura, para que a posteriori los carniceros situados a continuación tuvieran que realizar una única tarea a la hora de cortar el animal. Una vez observada la eficacia de este sistema de producción, a Henry Ford se le ocurrió introducir esta idea al sector del automovilismo, [57] lo cual modificó drásticamente la forma de la visión empresarial. Esto se debe a que mientras antes una única estación ensamblaba un vehículo completo, ahora los vehículos eran producidos en etapas parciales en cintas transportadoras, lo cual significaba un ahorro en cuanto a tiempo y coste. [5]



Figura 3 Producción en masa de vehículos propuesta por Henry Ford. (Fuente: significados.com)

2.1.3 TERCERA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

En los inicios de la década de 1950, comenzó a llevarse a cabo una Tercera Revolución Industrial, promovida por la incorporación de mayor tecnología en el ámbito de la electrónica, y eventualmente de la informática, en las fábricas. [6] Esto desembocó en una automatización parcial de las industrias, ya que estas comenzaban a utilizar controles de memoria programable y computadoras. Gracias a este avance tecnológico, se han podido automatizar procesos de producción completos sin ningún tipo de asistencia humana. Para ejemplificar este nivel de automatización, basta con observar los procesos en los que los robots llevan a cabo alguna secuencia se programas sin ningún tipo de intervención humana. [7]



Figura 4 Introducción de ordenadores en la industria con la Tercera Revolución Industrial. (Fuente: sebastianbrau.com)

2.1.4 CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

En la actualidad, nos encontramos inmersos en una cuarta revolución industrial. Esta se basa en una serie de mecanismos capaces de integrar las capacidades de computación, almacenamiento y comunicación, junto con las capacidades de seguimiento y control de objetos en un mundo físico. A este tipo de mecanismos, dotados de algoritmos basados en inteligencia artificial, se les conocen como los sistemas físicos cibernéticos (CPS), que posibilitan una mayor optimización de la producción. [8]

A diferencia de las demás revoluciones industriales, esta se compone ya de máquinas dotadas de inteligencia, diferentes formas de almacenamiento e instalaciones productivas capaces de operar de forma autónoma, desencadenando acciones y métodos de control ejecutados de manera independiente.[9]

Para poder llevar a cabo esto, debemos entender que estas máquinas intercambian información mediante el uso del Internet Industrial de las Cosas (IIoT), a través del cual, miles de sensores alojados en la propia maquinaria trabajan en tiempo real y transfieren datos a un servidor local o a un servidor en la nube, de forma que las máquinas puedan estar controladas en todo momento, permitiendo de esta forma operar con ellas en caso de falla desde cualquier parte del mundo.[10]

2.2 INDUSTRIA 4.0

El término de industria 4.0 nació en Alemania en el año 2011, en la feria de la tecnología más conocida del mundo, la feria de Hannover, como respuesta a la estrategia dual desarrollada en este país, y que busca seguir siendo líderes en la oferta de equipos y soluciones. Asimismo, se realizó esta para conseguir una mayor eficiencia en la producción industrial y su aplicación en entornos industriales mediante la introducción de las cadenas de valor y la digitalización de todo el proceso productivo.[11]

Este concepto surge de la necesidad de impulsar el desarrollo y creación de la “producción inteligente”. Esto se trata de una nueva forma de ver la fabricación computarizada, uniendo todos los procesos posteriores con la ayuda del Internet Industrial de las Cosas (IIoT).

De esta forma, para poder competir contra otros países más avanzados tecnológicamente en el área industrial, Alemania tomo en cuenta esta iniciativa en el año 2013, y así de esta forma surgió la competencia del resto de países en materia de industria como son el caso de Estados Unidos y China.[12]

2.2.1 BENEFICIOS E INCONVENIENTES DE LA INDUSTRIA 4.0

En cuanto a los beneficios que aportan la industria 4.0 al sector son:

- Una mejora considerable en cuanto a la gestión de los recursos y un incremento de la productividad.
- Un aumento en la eficiencia a la hora de la toma de decisiones basada en información real.
- Empleo de procesos productivos optimizados e integrados.
- Mayor flexibilidad a la hora de alcanzar una producción masiva y personalizada.
- Existencia de una comunicación directa entre clientes y organizadores, lo cual ayuda a entender mejor lo que los clientes necesitan.
- Disminución de los tiempos de fabricación.
- Una considerable reducción de los desperfectos y defectos en las fábricas, dado que los prototipos pueden ser testeados en entornos virtuales y con una mayor optimización de las líneas de montaje.[58][59]

Sin embargo, no todo lo que conlleva este avance es positivo ya que tiene una serie de inconvenientes como pueden ser:

- Las empresas requieren de una gran inyección de capital para poder llevar a cabo una automatización efectiva de sus instalaciones.

- La automatización conllevará la pérdida de una gran cantidad de oficios y puestos de trabajos puesto que muchas de las maquinas pasaran a ser controladas por inteligencia artificial.
- La reglamentación actual quedará obsoleta por lo que será necesaria la creación de otra nueva normativa para poder regular la actividad industrial.
- Los ataques cibernéticos supondrán un gran problema en las industrias, lo cual hará imprescindible a las empresas disponer de un sistema que salvaguarde la integridad de las máquinas de las que disponen de inteligencia.[12]

2.2.2 OBJETIVOS DE LA INDUSTRIA 4.0

Como todas las evoluciones que han surgido a lo largo de la historia, se han desarrollado en base a unos objetivos, en el caso de la industria 4.0 se ha desarrollado con el objetivo de mejorar algunas tareas industriales:

- En cuanto al uso de robots, la Industria 4.0 posibilita el empleo de estos dispositivos a empresas con menos cantidad de recursos, puesto que gracias a estas se abaratarán costes.
- Permitirá una mayor optimización de la logística y las cadenas de producción, puesto que una cadena de suministro conectada puede ser ajustada y acomodada si se presenta nueva información.
- El empleo de vehículos autónomos agilizará cualquier operación puesto que se disminuye el factor humano y permite una conducción más rápida y eficiente.
- La introducción de la impresión 3D o fabricación aditiva permitirá a muchas empresas crear sus propias piezas sin necesidad de encargárselo a terceros, abaratando costes y permitiendo un ahorro en cuanto a la inversión empleada para la realización de activos por parte de la empresa.
- Detectar fallos en las maquinas en cualquier momento y desde cualquier parte del mundo, ya que, al tener los dispositivos conectados a la nube,

estos pueden en cualquier momento informar al operario de la existencia de un fallo en cualquiera de las partes de la cadena de producción.

- Finalmente, uno de los objetivos principales es la implementación del internet de las cosas, también conocido como Internet Industrial de las Cosas, caracterizado por la aplicación de dispositivos conectados.[13]

2.2.3 INTERNET OF THINGS (IOT)

2.2.3.1 DEFINICIÓN

El Internet de las cosas es la metodología partir del cual se pueden conectar diferentes elementos físicos utilizados de manera cotidiana a Internet, estos pueden ir desde conectar una simple bombilla hasta los propios sistemas de las ciudades inteligentes.[14]

Por todo ello se puede decir que IoT es la agrupación e interconexión de dispositivos y objetos a través de la red.[54] A través de los diferentes protocolos de comunicación, y aprovechando la conectividad a internet de la que disponen, estos dispositivos podrán interaccionar entre sí, y ser visibles para que otros dispositivos puedan localizarlos y así poder realizar el intercambio de datos.[55] Gracias a esto, se consigue que cualquier dispositivo pueda ser conectado a la red y actuar de manera independiente, sin la necesidad de la actuación humana,[56] para la realización de cierto tipo de tareas, consiguiendo de esta forma un tipo de interacción de maquina con máquina, o lo que se conoce como interacción M2M (Machine to Machine) [15]

2.2.3.2 TECNOLOGÍAS EMPLEADAS Y FUNCIONALIDAD

Este concepto es cada vez más empleado en el ámbito empresarial, ya que posibilita la realización de tareas sin la intervención humana. No obstante, para que esto sea posible es necesario un soporte para la infraestructura de comunicaciones. Para poder llevar a cabo esto, los equipos que se quiere que

estén interconectados, deberán disponer del hardware necesario para realizar una eficiente conectividad a Internet.[16]

Para conseguir este objetivo, actualmente se está trabajando en las nuevas redes 5G, las cuales, están basadas en un soporte para la transmisión de grandes cantidades de datos a una gran velocidad y con bajo consumo energético. [52]

Por todo ello, la tecnología empleada para la transferencia y recogida de datos juega un papel de suma importancia en el correcto funcionamiento de estos equipos, por tanto, entra en escena la elección del protocolo de comunicación que utilicemos en cada uno de los dispositivos. La elección de estos depende del equipo, ya que no todos los equipos utilizan los mismos, bien sea por antigüedad, o bien, porque algunos fabricantes disponen de sus propios protocolos de comunicación y no permiten que sus equipos utilicen otros distintos.[53]

Resumiendo, se podría decir que el modo de actuación de estos equipos depende fundamentalmente de 5 pilares:

- **Hardware y software que permita la conexión de cada uno de los equipos a Internet:** dentro de este se encuentran los sensores, que serán los encargados de captar la información necesaria para el funcionamiento, y los actuadores encargados de disparar las acciones que corresponden en cada momento.
- **Protocolos de comunicación:** la función de la que disponen no es otra que conseguir que los equipos sean capaces de enviar y recibir información de Internet.
- Soporte para la infraestructura.
- **Capa de aplicación:** es la encargada de proporcionar servicios al usuario final y entre los propios dispositivos.[17]

Finalmente, se podría decir que estos equipos, a través de la información recabada por los propios sensores, pueden tomar cierto tipo de decisiones de manera independiente. A su vez, estas decisiones van a desembocar en determinadas actuaciones, y esto finalmente dará lugar a la automatización de determinados procesos, así como llevar a cabo mantenimientos correctivos y preventivos.[60]

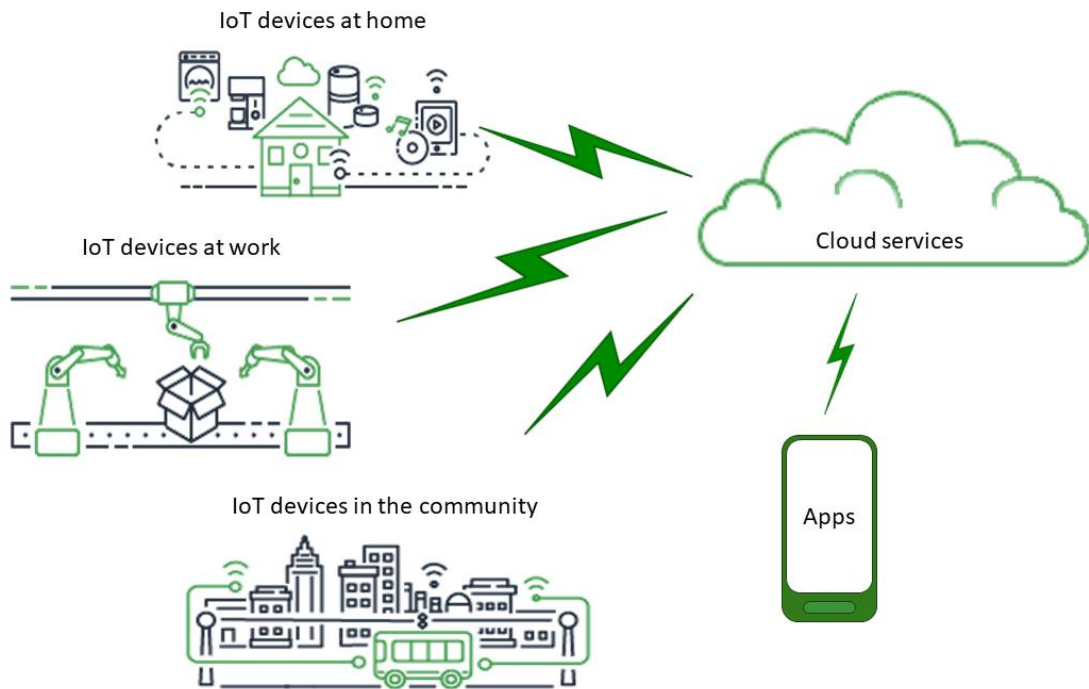


Figura 5 Esquema de funcionamiento de la IoT. (Fuente: doc.aws.com)

2.2.4 SISTEMAS CIBERFÍSICOS

Los Sistemas ciberfísicos, son dispositivos inteligentes dotados de conectividad. Estos a su vez, controlan las entradas y salidas de las variables tanto digitales como físicas uniendo tanto el mundo de operaciones (OT) como el ámbito de la información (IT)

Por tanto, estos equipos son aquellos capaces de integrar las diferentes capacidades de computación. El almacenamiento y la comunicación, con las diferentes capacidades de seguimiento, y el control de los objetos en el mundo físico. Por otro lado, estos mismos dispositivos empleados están interconectados entre sí y, a su vez, están conectados con el mundo virtual para conseguir una gran capacidad de aprendizaje en nuestros dispositivos.

Finalmente, se puede destacar el hecho de que tanto la ingeniería, como el desarrollo de un sistema y su utilización han sido realizadas como ramas independientes. No obstante, con el paso del tiempo se ha observado que, para conseguir el funcionamiento efectivo de los equipos, es necesario tener en cuenta

la experiencia de uso. Por todo ello, el desarrollo de ambos debe de ir de la mano.[18]

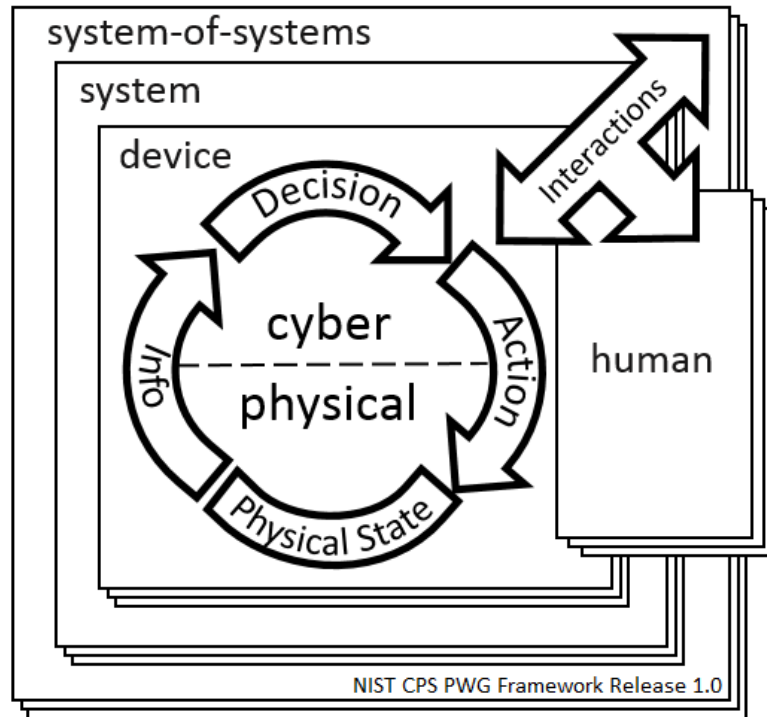


Figura 6 Sistemas ciberfísicos. (Fuente: factoriadelfuturo.com)

2.2.5 TECNOLOGÍAS DE COMPUTACIÓN INDUSTRIAL

El Fog es el ordenador industrial encargado de coordinar todos los sistemas ciberfísicos, dado que estos disponen de una capacidad de cómputo mayor. Por tanto, la utilización de todas las técnicas de computación industrial parte de un Fog que las supervisa y controla en todo momento.

Cloud Computing, Edge Computing y Fog Computing son diferentes tecnologías de computación industrial que emplean los dispositivos de la IoT para tratar, recopilar y gestionar los datos que disponemos, y para poder entender con mayor profundidad estos términos, se hablara de cada uno de ellos más adelante. No obstante, para poder hablar de estos términos primero debemos definir en que consiste el Big Data, Data Analytcs y Data Mining. [19]

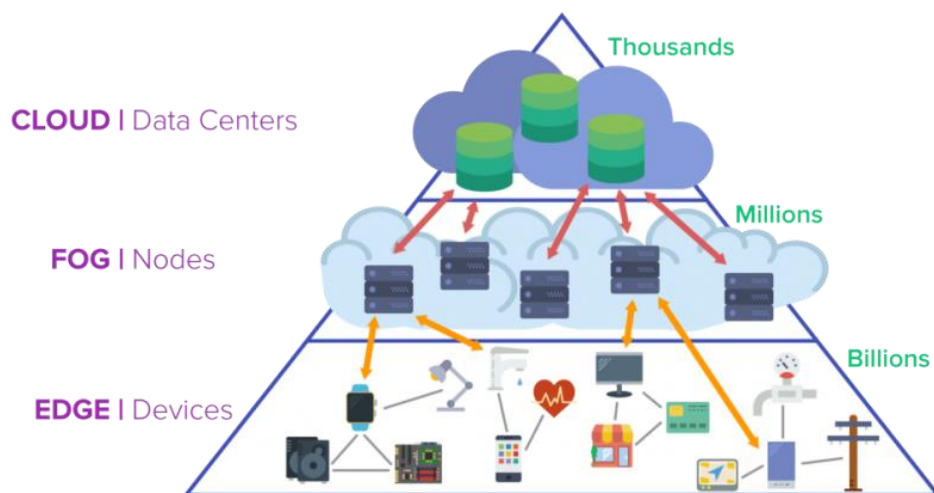


Figura 7 Pirámide de funcionamiento del Cloud Computing, Fog Computing y Cloud Computing. (Fuente: itmastersmag.com)

2.2.5.1 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS

El gran volumen de datos producidos por las nuevas tecnologías basadas en la IIoT y los sistemas ciberfísicos han de ser usados tanto para mejorar y optimizar los procesos y servicios, como para ser capaces de actuar de manera automática en la detección de posibles fallos en el sistema. Dichos errores suelen ser producidos por una medición anormal por parte de los sensores o debidos a el cálculo de probabilidades de fallo.[51] Para llevar a cabo estos últimos, se debe observar el comportamiento de la máquina. De esta forma, se puede actuar rápidamente para solucionar los problemas de forma predictiva y así poder evitar averías futuras en los equipos. Para solucionar estos problemas se han desarrollado un conjunto de herramientas que permiten realizar estas tareas sin ninguna clase de problema. [20]

En primer lugar, hemos de comenzar hablando del Big Data, que no es otra cosa que bases de datos en las que se almacenan un conjunto de datos y combinaciones de conjuntos de datos, cuyo tamaño complejidad y velocidad de crecimiento dificultan su almacenamiento en cualquier dispositivo. Gracias a esta tecnología, se puede almacenar toda esta cantidad de datos en una especie de nube, la cual, permite acceder desde cualquier parte del mundo a ella y así poder analizar dichos

datos, o incluso realizar cambios sin necesidad de estar en un dispositivo concreto. [20]

Por otro lado, se dispone del Data Analytics, que consiste en el análisis de datos, de forma que las empresas puedan estar mejor equipadas a la hora de tener que tomar cierto tipo de decisiones, estratégicas y aumentar su volumen de negocios. Por otro lado, este tipo de tecnología tiene como objetivos principales la mejora de la eficiencia operativa, así como mejorar y optimizar la experiencia UX y el cliente, y perfeccionar el modelo de negocio. [21]

Finalmente, como última tecnología empleada para solucionar estos problemas descritos al principio del punto se localiza el Data Mining, que consiste en un conjunto de técnicas y tecnologías que permiten explorar grandes bases de datos de forma autónoma. Esto permite poder encontrar una serie de patrones que se repitan, y así poder explicar el comportamiento de estos datos y su forma de actuación. Este método de actuación permite a los sistemas anticiparse a problemas que esos datos puedan derivar en los equipos en un futuro. De esta forma, se consigue que los datos analizados puedan ser utilizados para extraer una serie de conclusiones que contribuyan de manera positiva a la mejora y crecimiento de las empresas. [22]



Figura 8 Dispositivos conectados con Big Data. (Fuente: robertojasinski.com)

2.2.5.2 CLOUD COMPUTING

Cuando se habla de este tipo de tecnología, también conocida como computación en la nube, se refiere a un conjunto de dispositivos que hacen posible la capacidad computacional y su utilización de multitud de archivos, servicios e información desde Internet, almacenados en algo que conocemos como la nube.

Dentro de las ventajas que dispone esta tecnología podemos destacar la flexibilidad y la escalabilidad que otorga a los equipos ya que esta libera toda esa información que debería estar recogida en nuestros dispositivos y permite el acceso por parte de un número ilimitado de personas desde cualquier parte del mundo sin necesidad de contar con una gran infraestructura.

Asimismo, también se trata de una tecnología que aporta un grado de seguridad elevado para la información que en él se encuentra recogida permitiendo la visualización y modificación de los archivos en tiempo real con una mayor agilidad de la realización de los procesos.

No obstante, esta tecnología necesita de un SaaS o PaaS, web services o MSP para la correcta utilización por parte del cliente y que garantizan la seguridad de los datos.[23]

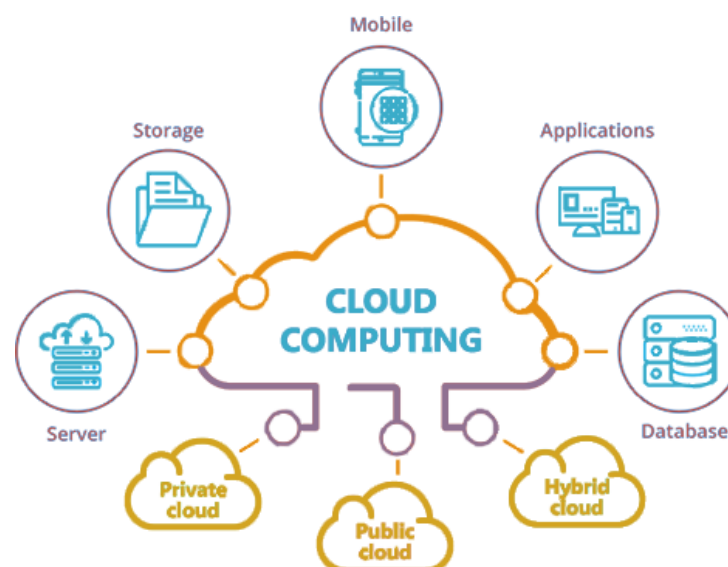


Figura 9 Conectividad del Cloud Computing. (Fuente: forum.huawei.com)

2.2.5.3 FOG COMPUTING

Cuando se habla de Fog Computing, se hace referencia a un tipo de red descentralizada en la que tanto los recursos se sitúan entre la nube y la fuente que genera los datos que se almacenan en ella. Esto provoca que los servicios que analizan los datos se coloquen en una posición más cercana a la fuente que los genera, lo que permite mejorar las prestaciones, reducir el espacio recorrido por los datos en la red y mejorar la eficiencia tanto de envío como de recogida de datos.

Si a lo recientemente explicado acerca del Fog Computing, le añadimos el hecho de que este método surgió como una extensión del Cloud Computing, se puede comprender el por qué esta técnica es denominada como "la nube que se acerca a la tierra"

Entre las principales ventajas que ofrece el Fog Computing, se puede destacar la de crear una red con menor latencia y menor carga de datos a la nube. Esto, permitirá tener unos requisitos menos restrictivos en cuanto a ancho de banda se refiere, propiciando una disminución de los costes. Este ahorro lo conseguimos gracias a que el procesamiento de datos se realiza en una zona cercana a la que se produjo el envío.

Por otro lado, el Fog Computing se comporta como una especie de intermediario entre el Cloud y los dispositivos IoT, actuando como una especie de dispositivo de filtrado de datos, lo cual constituye el aspecto diferenciador del Fog respecto a otras tecnologías similares.[24]

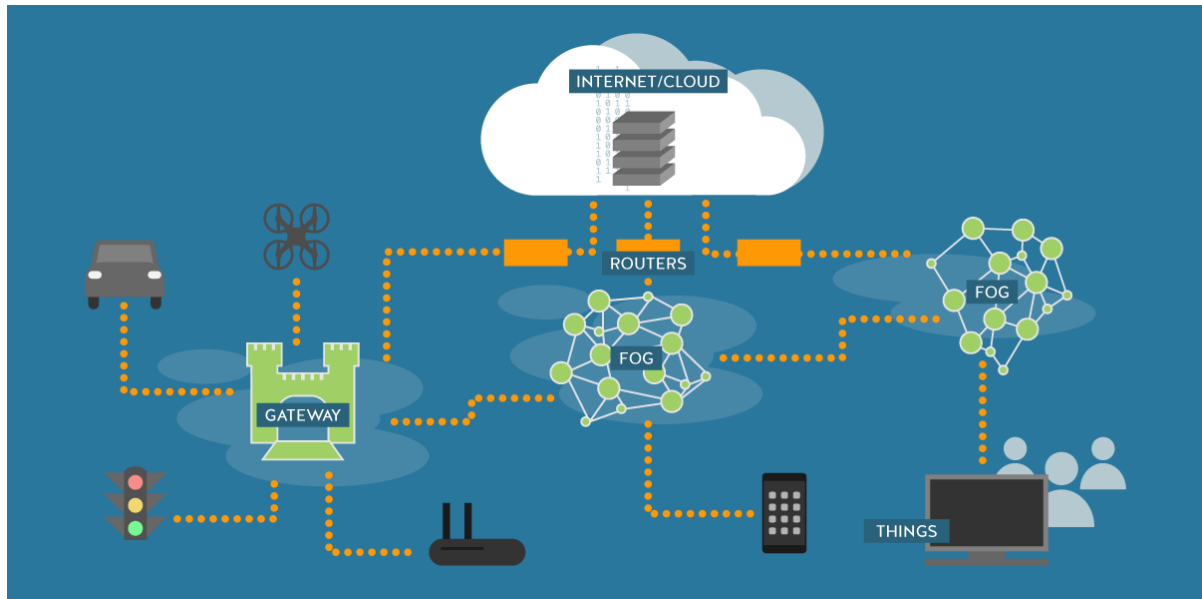
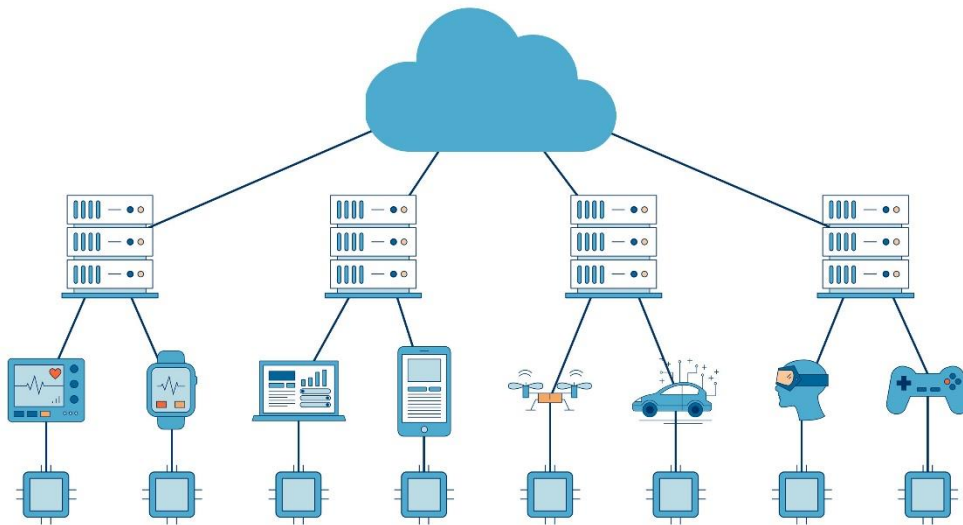


Figura 10 Método de actuación del Fog Computing. (Fuente: bloginnovacionytecnologia.es)

2.2.5.4 EDGE COMPUTING

Este, por otro lado, permite la recopilación, procesamiento y tratamiento de datos en un dispositivo inteligente sin necesidad de almacenarlos en una nube. Para la realización de esto, los sensores son conectados automáticamente a controladores de automatización programables (PACs). Estos a su vez, reciben, analizan y procesan toda la información posible, reduciendo de esta forma los niveles de comunicación, para finalmente envían a la nube únicamente los datos que han de ser almacenados, consiguiendo de esta forma una computación más eficiente.[25] De este modo, cualquier dispositivo que disponga de esta tecnología y conectividad a la red, será capaz de procesar una gran cantidad de datos que este recibiendo a corto plazo, y conseguir, aparte de analizarla, sustituir la información nueva por la antigua en la nube, lo cual, simplifica la cadena de comunicación y reduce los potenciales puntos de error.



*Figura 11 Forma en la que se analiza la información con Edge Computing.
(Fuente: ignasisayol.com)*

2.3 CIBERSEGURIDAD

La seguridad juega un papel importantísimo en la conectividad de distintos equipos automatizados, pues cualquier hackeo o intrusión en el sistema podría desembocar en una serie de catástrofes que pueden llevar a una empresa incluso a la quiebra. Por ello uno de los componentes más importantes dentro de un proceso de automatización es la ciberseguridad.

Esta es el conjunto de acciones y maniobras que tienen la función de proteger a los distintos equipos automatizados y conexiones de red ante posibles robos de información o incluso el control de los propios equipos.

Su funcionamiento se fundamenta en la aplicación de determinadas técnicas y herramientas de software y hardware que son las encargadas de crear obstáculos para evitar el acceso de un usuario desconocido a la información y de esta forma poder proteger a los equipos y expulsar al enemigo en caso de vulneración.[26]

A continuación, vamos a detallar algunos tipos de ataques que se producen en la industria.

2.3.1.1 INGENIERÍA SOCIAL

Son un tipo de ataques cibernéticos basados en la manipulación psicológica de las víctimas, la cual, permite a los criminales obtener un cierto tipo de información para poder realizar ciertos accesos ilegítimos a sus equipos.

Estos ataques pueden ser llevados a cabo por medio de diferentes plataformas y elementos como pueden ser el correo electrónico (phishing), por vía telefónica (vishing) mediante la realización de llamadas telefónicas suplantando la identidad de otras personas, a través de las redes sociales que sirven para poder extorsionar a los internautas, mediante el empleo de unidades externas como puede ser un USB (baiting) inyectando un malware directamente en el propio dispositivo, o por un mensaje de texto (smishing) que al igual que las llamadas telefónicas consisten en la suplantación de la identidad de cierto tipo de personas y a través del cual se envían un enlace que permite al cibercriminal acceder a los datos que buscaba. Para evitar este tipo de ataques se debe estar siempre en alerta y desarrollar una conducta adecuada al utilizar cualquier tipo de dispositivo y/o equipo de forma que debemos no revelar información ni datos confidenciales, tener cuidado a la hora de compartir información, verificar siempre la procedencia de los archivos adjuntados, instalar y mantener el correcto funcionamiento de un antivirus en el propio ordenador, y por último y no menos importante, tener siempre sentido común y precaución.[27]

2.3.1.2 PHISHING

Este tipo de ataque consiste en el empleo de técnicas o métodos empleados por los delincuentes cibernéticos para obtener información confidencial de sus víctimas.

Para llevar a cabo este tipo de ataque, el atacante configura sus medios de comunicación para que la víctima piense que se está conversando con una marca

o una empresa, de forma que el hacker copia la web, la publicidad y el diseño de la empresa a la que supuestamente representa para hacer creer a las víctimas que deben que facilitarles el control o el acceso a nuestros datos.[28]

2.3.1.3 MALWARE

En cuanto al termino malware, podemos definirlo como el conjunto de softwares que dañan los dispositivos, roban datos y siembran el caos entre los usuarios. Dentro de este término se pueden encontrar con muchos tipos de malware como pueden ser los virus, troyanos, spyware, ramsoware, etc. Pero para poder evitarlos con suma eficiencia debemos disponer de un software antimalware comúnmente conocido como antivirus.[29]

3 Definición de plataforma del entorno industrial

3.1 MARCO TEÓRICO

Uno de los principales retos a los que se enfrenta la industria 4.0 es la transformación de la pirámide de automatización clásica, en la que se encontraban escalonados los sensores y actuadores, el nivel control, el nivel de adquisición de datos SCADA, así como los sistemas MES y ERP de gestión de empresa, en un entorno con una inteligencia distribuida mediante sistemas ciberfísicos.

Gracias a esta transformación y el empleo de los sistemas ciberfísicos, conseguimos realizar una interconexión entre el mundo OT, que es el mundo de operaciones, señales lógicas con sensores y actuadores, o analógicas, y el mundo digital, que es el mundo IT de las comunicaciones.

Por otro lado, uno de los objetivos que se detallaron al comienzo de este trabajo es la utilización de las tecnologías propias de la industria 4.0. Para la consecución de ello, en este proyecto se ha optado por el empleo de un Framework o un marco de trabajo con una inteligencia más distribuida en comparación con las pirámides clásicas de automatización propias de la industria 3.0. [30]

En este caso, como inteligencia distribuida se tienen:

- A nivel más bajo, los sistemas ciberfísicos, que en este caso se trata del robot colaborativo UR5e, que es el empleado para la realización del proyecto. Este a su vez, está conectado a una plataforma, a una red de internet industrial.
- Posteriormente, dentro de la propia red industrial se encuentran los ordenadores industriales conocidos como Fogs, estos dispositivos serán los encargados de realizar las comunicaciones entre los diferentes dispositivos o sistemas ciberfísicos.

Gracias a todo lo expuesto anteriormente conseguimos otro de los objetivos del proyecto, que es la externalización de los servicios propios de la industria 4.0, es decir los servicios de optimización y digitalización de la propia planta industrial. Finalmente, cabe destacar la utilización en el proyecto de una comunicación bidireccional con el brazo robótico mediante la aplicación de mensajería instantánea WhatsApp.

3.2 IMPLEMENTACIÓN

Para implementar este concepto de industria 4.0, la cual, tiene como objetivo la implementación de una inteligencia distribuida en los diferentes elementos de la propia industria 4.0, vamos a utilizar:

- Una plataforma de internet industrial.
- Una red ethernet adaptada a las necesidades de la industria.
- Un gran ancho de banda.
- Una baja latencia.

Todo lo anteriormente descrito proporciona al proyecto un mayor control y calidad sobre el proceso industrial.

Para el lograr el correcto funcionamiento del proyecto se ha decidido emplear:

- Como sistema ciberfísico a controlar el Cobot UR5e.
- Como nivel de computación el pc industrial TAICENN TBOX-1630, también denominado Fog.
- Un router industrial para la comunicación de todos los dispositivos

Una de las características de la industria 4.0, también denominada como industria conectada, es la apertura de la información al exterior de forma segura. Para conseguir esto, en este proyecto, se ha conseguido emplear la aplicación de mensajería instantánea WhatsApp para conseguir una comunicación externa fuera del entorno y la red industrial. Esta comunicación permitirá al usuario controlar

tanto el movimiento del brazo robótico, como la monitorización del control del proceso de mantenimiento industrial que se está desarrollando en este trabajo desde cualquier parte del mundo.

Por otro lado, el Fog va a contar con un servidor y una interfaz Web, a la cual, el usuario puede acceder desde cualquier parte del mundo con un dispositivo con acceso a internet. Esto permite al usuario controlar y monitorizar todo el proceso industrial de los sistemas ciberfísicos ubicados en la planta.

3.3 DESCRIPCIÓN DE LA PLATAFORMA DE INTERNET INDUSTRIAL

A continuación, se va a describir la ubicación de los dispositivos y su forma de conexión a nivel físico, los medios de red, los medios de transmisión y los medios de comunicación empleados en cada dispositivo para emplear estas tecnologías propias de la industria 4.0 [31].

Algunos de los principales objetivos que persigue la plataforma industrial para la industria 4.0, son la inteligencia distribuida, y la comunicación entre máquinas y el resto de dispositivos de forma directa. Esta comunicación por su parte se lleva a cabo sin tener en cuenta una jerarquía, favoreciendo de esta forma, tanto la integración vertical como la horizontal de las pirámides clásicas de automatización [32].

Para lograr alcanzar estos objetivos, en primer lugar, tenemos que definir una red industrial generada por un router, el cual tiene:

- Varias interfaces de comunicación.
- Las interfaces de red.
- El cable de red con el conector RJ45
- Una o dos interfaces inalámbricas de 2,4 GHz y 5 GHz para alcanzar un mayor ancho de banda.



Figura 12 Conector RJ45. (Fuente: ekanet.es)

Una vez desarrollada esta red, podremos conectar a través de ella los diferentes sistemas ciberfísicos de una planta industrial, los cuales por definición disponen de conectividad e inteligencia.

Como sistemas ciberfísicos tenemos el robot colaborativo, que va a ser necesario controlar. Para ello, empleamos un elemento coordinador clave en la industria conectada que se denomina FOG, este ordenador, situado en el borde (Edge computing), realiza labores de coordinación y sincronismo entre los diferentes dispositivos ciberfísicos.

Para llegar al nivel de seguridad requerida para las comunicaciones en un entorno industrial automatizado, se busca una redundancia en cuanto a la conectividad desde el Fog. Para ello se dispone de una comunicación vía ethernet CAT 6 y una interfaz por wifi, empleada para el intercambio de información con el router. Por último, la comunicación entre la centralita del cobot y el router se realizará mediante el empleo de una conexión ethernet.

En cuanto a los protocolos de comunicación empleados encontramos entre el cobot y el Fog, el protocolo TCP-IP, llevado a cabo a través del puerto 29999 del PolyScope, que es la interfaz gráfica de usuario empleada por el cobot UR5e y que a su vez ha definido el propio fabricante.

Una vez definidas las redes internas que vamos a emplear para la automatización, también hay que destacar el uso de una comunicación exterior característica de esta industria 4.0. Para llevar a cabo esta, se han de conectar con un servicio externo de mensajería instantánea, WhatsApp, a partir del cual se puede recibir información y enviarla nuevamente tanto desde el terminal móvil como desde el propio Fog. Este intercambio de información resulta de gran utilidad para coordinar las acciones del brazo robótico dentro de este entorno colaborativo para la industria 4.0 o industria conectada.

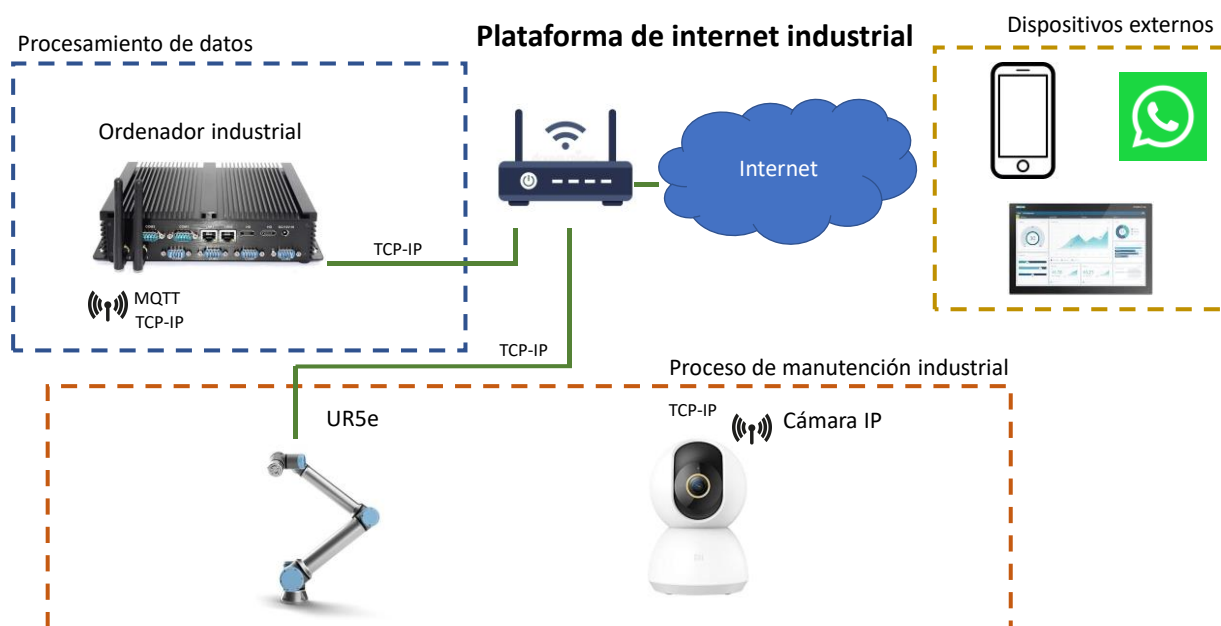


Figura 13 Arquitectura de red del proyecto. (Fuente: propia)

3.4 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

3.4.1 PROTOCOLO MQTT

MQTT, cuyas siglas son MQ Telemetry Transport, es un protocolo de comunicación M2M (machine to machine) con un tipo de mensaje *queue*. [47]

En cuanto al funcionamiento de este protocolo destaca que se trata de un tipo de mensajería push con patrón publicador/suscriptor. [48]

Asimismo, este protocolo dispone de los denominados topics, que nos permiten organizar jerárquicamente los mensajes enviados a los clientes para conseguir un filtrado efectivo de dichos mensajes. [49]

De esta forma un cliente puede publicar un mensaje en un determinado topic, mientras que otros clientes pueden suscribirse a ese topic, y el broker le hará llegar los mensajes a los clientes suscritos. [50]

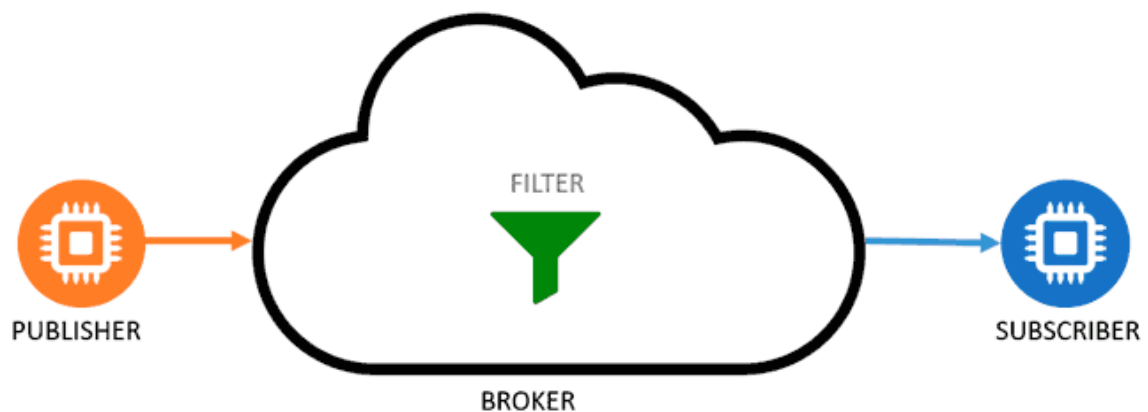


Figura 14 Funcionamiento del protocolo MQTT. (Fuente: luisllamas.es)

En cuanto al funcionamiento, los clientes inician una conexión TCP/IP con el bróker, el cual, dispone de información acerca de los clientes que se encuentran conectados. Esta conexión se mantiene abierta hasta que el cliente decide darla por finalizada. Por defecto este protocolo de comunicación emplea el puerto 1883 y el 8883 cuando funciona sobre TLS. [33]

3.4.2 PROTOCOLO TCP/IP

A día de hoy resulta de suma dificultad concebir el mundo de la informática sin internet, ya que las comunicaciones con los robots industriales son de vital importancia en el mundo de la industria 4.0. Por ello uno de los protocolos más esenciales para realizar este tipo de comunicaciones es el protocolo TCP/IP. [34] Cuando se hace referencia al protocolo TCP/IP se habla de un modelo que describe y clasifica los protocolos de red. Asimismo, también podemos decir que se trata de dos protocolos de red que operan a distintos niveles o capas (TCP en la capa

de transporte e IP en la capa de internet), y cuya existencia se hacen de vital importancia en lo que hoy se conoce como red de intercambio de paquetes. Por otro lado, El Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet (TCP/IP) identifica los protocolos empleados en las redes y describen el conjunto de guías y reglas generales que hacen posible que un equipo sea capaz de intercambiar información en una red. Por tanto, el modelo es capaz de asegurar una conexión punto a punto y define como han de ser formateados, direccionados, transmitidos y enrutados los datos.[35]

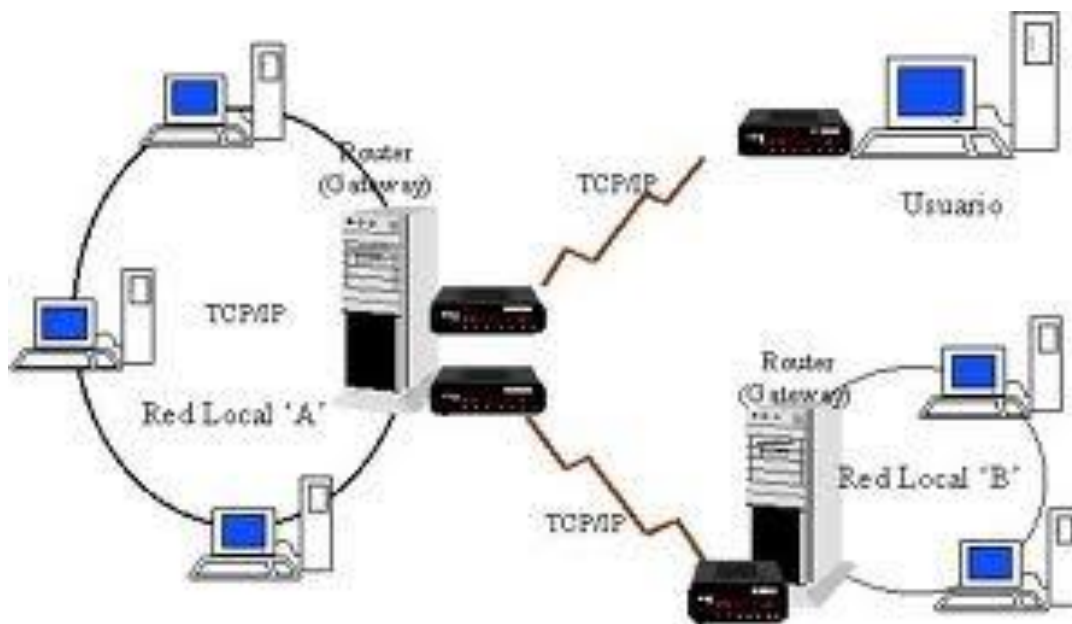


Figura 15 Funcionamiento del protocolo TCP/IP. (Fuente: sites.google.com)

4 Cobot

4.1 DESCRIPCIÓN

La industria de los robots se ha ido convirtiendo en uno de los pilares fundamentales de cualquier industria. Esto se debe a que son capaces de realizar cierto tipo de actividades con una velocidad y una precisión mucho más elevada que la de cualquier ser humano, además del tiempo efectivo de trabajo, ya que estos robots pueden trabajar de forma continua sin necesidad de descanso.

Sin embargo, la evolución de este sector ha llevado a la industria a desarrollar un tipo de robots capaces de trabajar con personas, e incluso llegar a interactuar con ellos, llegando a un nivel de eficiencia mucho mayor, ya que de esta forma se combinan tanto la rapidez y eficacia de los robots con la inteligencia humana, estos son los cobots.[36]

Estos pueden realizar prácticamente cualquier tarea manual con los correspondientes accesorios. A pesar de que estos son más utilizados actualmente para la realización de trabajos más repetitivos y manuales, pueden ser utilizados para ciertos trabajos que pueden suponer un riesgo para los operarios, como puede ser trabajar con herramientas cortantes o trabajos a temperaturas adversas.[37]

Otro aspecto muy destacable de los cobots es su facilidad de programación puesto que estos pueden ser programados previamente o en tiempo real de forma muy sencilla y en tan solo unos minutos.

En definitiva, constituye un gran avance en la industria la combinación de máquina y hombre para la realización de tareas. [38]

Finalmente, podemos concluir diciendo que en este proyecto hemos optado por la utilización del robot de la marca Universal Robots e-Series y el modelo UR5e. Este se trata de un Cobot articulado de tamaño medio con 6 ejes que le proporcionan una gran libertad de movimiento en un radio de acción de 850 milímetros. Este dispone asimismo de una programación que le permite mover una pieza y comunicarse con otros dispositivos a través de señales eléctricas.

La programación que dispone, expuesta con anterioridad consiste en una interfaz de programación patentada denominada PolyScope que posteriormente explicaremos con detalle.

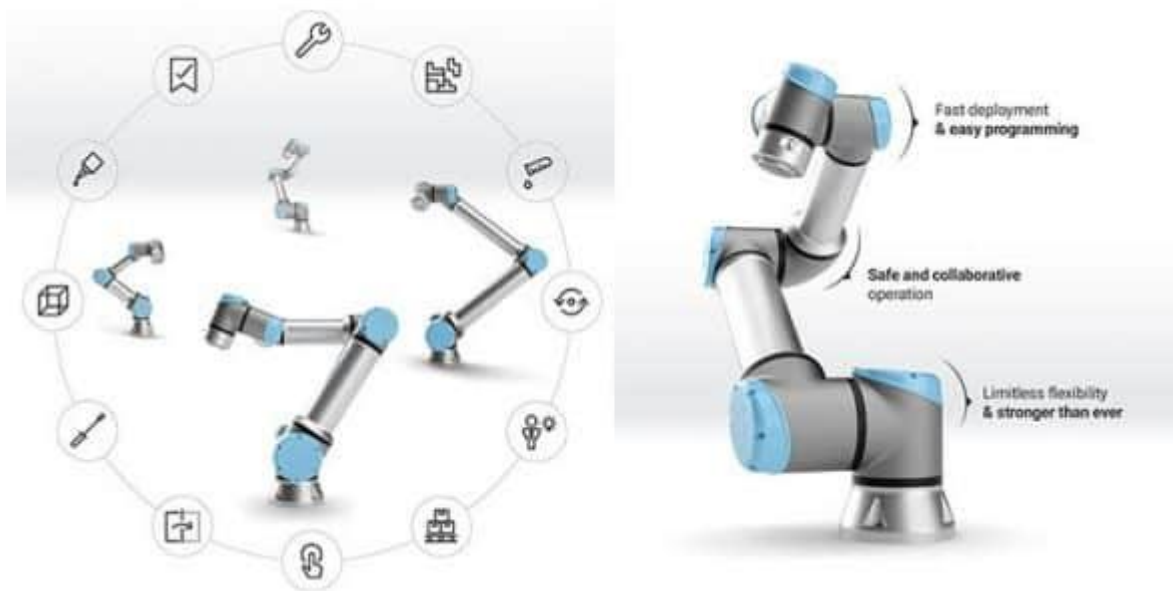


Figura 16 Cobot utilizado en el proyecto. (Fuente: revistaderobots.com)

4.2 ESPECIFICACIONES

El UR5e de Universal Robots, se trata de un robot colaborativo industrial construido para la realización de aplicaciones de servicio medio, es decir que permite el transporte de piezas de un lugar a otro con una carga útil de 5 kilogramos como máximo. Asimismo, en cuanto a los principales beneficios que proporciona este dispositivo a la industria se pueden destacar la versatilidad y la adaptabilidad.

En otro orden de cosas, nos encontramos con que se trata de un robot muy ligero puesto que tiene un peso aproximado de únicamente 20,7 kilogramos.

Por otro lado, destaca el bajo consumo energético que tiene el cobot, ya que para la realización de un programa típico tiene un consumo de unos 200 vatios aproximadamente. Asimismo, dispone de una fuente de alimentación de 24V y 2A en la caja de control y 12V/24V con 600mA en la herramienta.

Otro punto destacable de este cobot es la elevada seguridad de la que dispone, puesto que, dispone de 17 funciones de seguridad ajustables avanzadas, incluyendo la supervisión del codo Control remoto (comprendido en la normativa ISO 10218), lo que hace que pueda funcionar sin la necesidad de instalar protecciones de seguridad para su utilización.

Por lo que se refiere al alcance, el robot puede llegar a alcanzar objetos a una distancia de unos 850 milímetros con un rango de giro de 360° , si se combinan las 6 juntas giratorias que tiene, lo cual le otorga 6 grados de libertad.

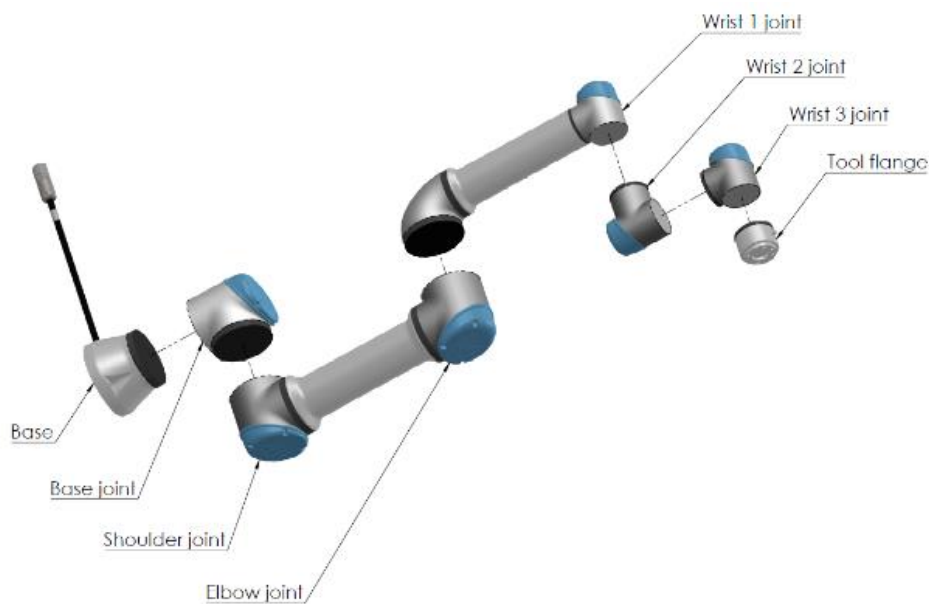


Figura 17 Partes del Cobot. (Fuente: revistaderobots.com)

En cuanto a la velocidad de movimiento, las juntas alcanzan una velocidad máxima de 180 grados por segundo a su velocidad máxima de giro, mientras que las herramientas se desplazan a una velocidad máxima de 1m/s.

Por otra parte, la repetibilidad de movimientos tiene un fallo de 0,03 milímetros como máximo, lo cual, supone un gran avance, puesto que permite realizar tareas repetitivas sin apenas fallo en las repeticiones de movimiento.

Asimismo, el radio de acción necesario para la realización de las tareas se trata de una circunferencia de 149 mm de radio.

El tamaño de la caja tiene unas dimensiones de 460mm de ancho por 445 mm de alto por 260mm de largo.

En cuanto a los puertos de entrada salida del cobot, se ha de distinguir entre los que se encuentran en la caja de control y los que se encuentran en la propia herramienta, de esta forma:

Tabla 1 Puertos de la caja de control del Cobot UR5e.

Caja de control			
Entradas digitales	Salidas digitales	Entradas analog.	Salidas analog.
16	16	2	2

Tabla 2 Puertos de la herramienta del Cobot UR5e.

Herramienta			
Entradas digitales	Salidas digitales	Entradas analog.	Salidas analog.
2	2	-	2

Por otro lado, los materiales de los que está construido el Cobot son aluminio y plástico PP, lo cual permite al Cobot tener un rango de temperatura de funcionamiento que va desde los -5°C hasta los 50°C .

Al mismo tiempo, el Cobot dispone de una fuente de alimentación de 100-240VAC, 47-440Hz.

Finalmente, entre los métodos de comunicación utilizados por el Cobot, nos encontramos con el protocolo TCP/IP, que es el empleado en este trabajo, aunque este también puede operar con protocolos Ethernet socket, MODBUS TCP & Ethernet/IP Adaptador y Profinet.

4.3 PROGRAMACIÓN

El entorno de programación del fabricante UR5e se llama PolyScope, que es la interfaz gráfica del usuario (IGU). Esta se encuentra en la pantalla táctil del panel de Consola portátil del UR5e y es la encargada de programar los movimientos del brazo robótico mediante la extensión “.urp”. Para la creación de la programación se dispone de una interfaz táctil que provee el fabricante en el cual definimos diferentes tipos de movimiento:

- *g* está destinado para movimientos rápidos y poco precisos.
- *Move L* se destina a movimientos que requieren de una mayor precisión y con una velocidad mucho más baja.
- *Move P* está destinado a movimientos en círculo para aplicaciones como el lijado o bordear ciertos elementos.

Por otro lado, el entorno de programación permite realizar acciones básicas como pueden ser IF, bucles For o interrupciones en función de las entradas y salidas que dispone el controlador UR. Esto está muy bien para el empleo de cintas transportadoras o cualquier otro dispositivo industrial en el cual se maneje por entradas y salidas digitales a 12 o 24V.

Otra característica a la hora de la programación es la incorporación de librerías para el accionamiento de las extensiones o los accesorios que se pueden incorporar al UR5e, en este caso, tenemos una pinza de la marca Robotics que permite graduar tanto la apertura de la pinza como la fuerza útil que emplea para el desarrollo de aplicaciones de “pick and place”



Figura 18 Pantalla táctil Cobot UR5e. (Fuente: Mybotshop.de)

4.4 INTERFACES DE COMUNICACIÓN

Todo equipo industrial tiene cierta inteligencia, en nuestro caso el cobot tiene un controlador a parte del propio brazo robótico, por tanto, interpreta las señales de

información del mundo IT y las convierte en acciones del mundo OT, lo cual, le otorga cierta inteligencia a la hora de ejecutar este programa. Por tanto, este dispositivo se puede localizar dentro de los que son conocidos como sistemas ciberfísicos.

En cuanto a los protocolos de comunicación que emplea el cobot UR5e, hay que destacar que se trata de una aplicación propietaria del propio fabricante de Universal Robot. Este protocolo está disponible en el puerto TCP-IP 29999 y mediante una serie de instrucciones definidas por el fabricante podemos recibir información relativa al estado del cobot.

Como interfaz de comunicación dispone de un bus serie RS485 y una toma ethernet con conector RJ45 que se conecta bajo el protocolo TCP-IP a un ordenador o un servidor.

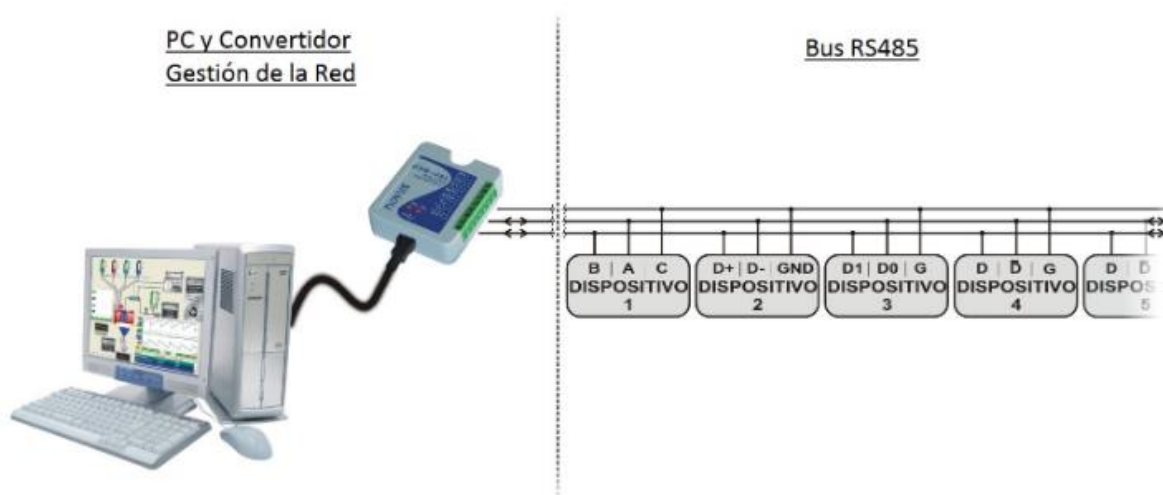


Figura 19 Bus serie RS-485. (Fuente: movusautomation.com)

Es posible que el cobot en futuras ampliaciones tenga otras compatibilidades con otros protocolos industriales como puede ser Modbus y Profinet entre otros.

Asimismo, también cabe destacar que este dispositivo dispone de una pantalla táctil que nos permite actuar con el robot tanto a nivel local desde la propia pantalla como a nivel remoto desde el FOG.

4.4.1 API

Universal Robots, que es el fabricante del cobot UR5e, ha establecido una interfaz de aplicación de programación conocida como API. En esta se definen una serie de comandos, la información asociada a esos comandos, el contenido de la información que debe ir asociada a esos comandos para la ejecución de ciertas acciones, así como recibir información procedente del cobot.

Entre las acciones destaca:

- Como encender el brazo robótico.
- Desactivar los frenos.
- Cargar ciertos programas.
- El movimiento del brazo robótico de acuerdo a los programas previamente cargados.
- Las paradas.
- La parada de emergencia.
- Los avisos sobre el estado del cobot.

5 Programación Fog

5.1 DEFINICION DEL HARDWARE

Los dispositivos de computación industrial actuales propios de la industria 4.0 llevan embebidos sistemas operativos bastante sólidos y con una gran trayectoria. Por tanto, los sistemas operativos empleados por estos dispositivos son los Linux o Windows con un kernel modificado.

En cuanto a características estos equipos disponen son:

- Varias interfaces de red para aumentar la redundancia y evitar así posibles ataques cibernéticos.
- Generalmente dos tomas RJ45.
- Una interfaz internet en vía wifi.
- En cuanto a procesadores puede tener una gran variedad, estos suelen ser generalmente Intel, normalmente tratándose de un I5 o un I7.
- Son ordenadores que no suelen llevar ventiladores, por lo tanto, se conocen como fanless.
- Disponen de varios puertos para las comunicaciones RS 485, 232, entre otros.
- Varios puertos USB para hacer comunicación serie vía UART.
- En cuanto a la memoria de almacenamiento, depende de las características y del uso que se les dé a estos dispositivos, también conocidos como Fog Computing. No obstante, estos suelen disponer de un SSD de al menos un tera.
- La memoria RAM suele rondar entre los 8 y 16 gigabytes.[39]

Dada la arquitectura que estamos empleando, la misión de estos equipos es servir como nodo intermedio entre los sistemas ciberfísicos de la planta industrial y los sistemas cloud. Por tanto, la misión que tienen estos ordenadores es reunir la información, organizarla, clasificarla y operar de forma más rápida, obteniendo

una respuesta más crítica o rápida que un procesamiento mucho más optimizado como es el de la nube.

Para la realización de este proyecto se decidió utilizar un ordenador industrial, FOG, en el cual tenemos alojado el hardware.

El ordenador que hemos empleado se trata del TAICENN TBOX-1630, que se trata de un modelo de PC industrial ultra compacto de alto rendimiento que no necesita de la utilización de un ventilador para su refrigeración. Este a su vez lleva instalado un procesador Intel Skylake Core i7-6500U, el cual dispone de un rendimiento informático muy avanzado y bajo consumo energético.

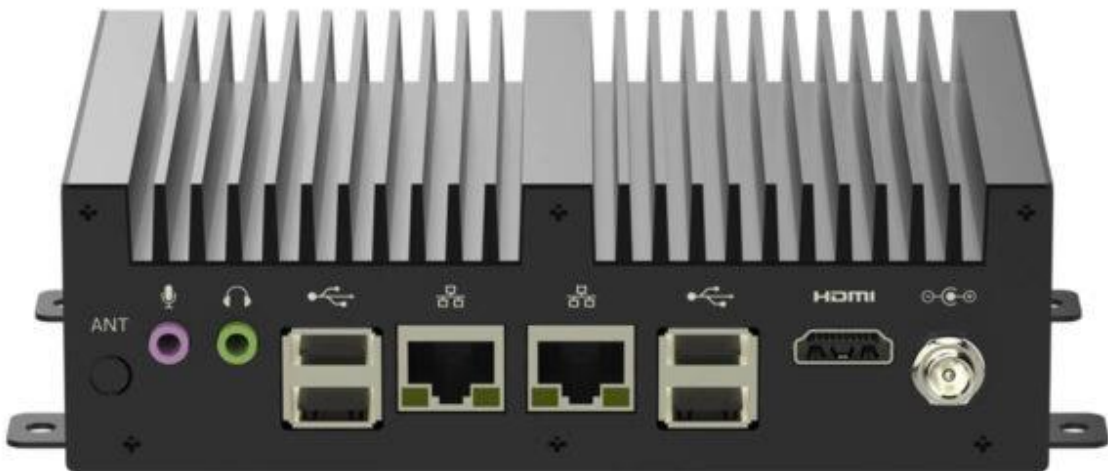


Figura 20 PC industrial empleado para la realización del proyecto, el TBOX-1630. (Fuente: tegacomindustrial.es)

5.1.1 CARACTERÍSTICAS DEL TBOX-1630

En cuanto al almacenamiento, el TBOX-1630 puede admitir 1 mSATA SSD. Asimismo, tiene una interfaz de comunicación un poco limitada, ya que, únicamente dispone de 2 puertos LAN y 4 puertos USB.

Por otro lado, en cuanto a la entrada de alimentación, esta admite un voltaje de 12 a 24 Voltios, y dispone de protección contra sobre corriente, sobrevoltaje y polaridad inversa.

Además, TAICENN TBOX-1630 emplea la construcción de una caja completamente sellada, de esta forma se evita la entrada del polvo al sistema del dispositivo. Como refrigeración del dispositivo, se encuentra con un gran disipador de calor de aluminio que permite disminuir el calor de manera efectiva y rápida, aumentando de esta forma la vida útil del propio dispositivo.

En otro orden de cosas, este dispositivo tiene unos rangos de temperatura de funcionamiento, ya que, permite trabajar a unas temperaturas que van desde los -20 °C hasta los 50 °C, esta característica permite al propio pc ser utilizado en proyectos con aplicaciones industriales de entornos industriales hostiles y con un tiempo de funcionamiento muy prolongado.

Asimismo, el sistema operativo de este dispositivo es compatible con windows 7, windows 7 embedded, windows 8, windows 10 y el sistema operativo Linux, así como, softwares de aplicación basados en estos sistemas operativos.[40]

Tabla 3 Tabla del sistema operativo y hardware del TBOX-1630. (Fuente: tegacomindustrial.es)

Sistema operativo y hardware	
Sistema básico de entrada (BIOS)	SPI AMI EFI BIOS
CPU	Intel Core I7-6500U
CPU GHz	Dual-core Four threads, 2.5Ghz, Burst to 3.1Ghz, TDP 15W
Memoria	SO-DIMM, DDR4L, Max. up to 16GB
Almacenamiento	1* mSATA
GPU	Intel HD Graphics 520
Conexión	2*Intel I211AT (optional Wifi/3G/4G)
Audio	Realtek ACL 269 Audio controller
Sistema	Windows 7, Windows 7 Embedded, Windows 8, Windows 10, Linux

Tabla 4 Tabla de entradas y salidas del TBOX-1630. (Fuente: tegacomindustrial.es)

Entradas/salidas	
COM	-
Conexión	2 puertos RJ45, 10/100/1000 Mbps
Audio	Line-in, Line-Out
USB	4 puertos USB 3.0
Display	1 puerto HDMI
Entrada de alimentación	1*2 pins, puerto phoenix

Tabla 5 Tabla de estructura física del TBOX-1630. (Fuente: tegacomindustrial.es)

Estructura	
Estructura de la caja y superficie	Aleación de aluminio, anodizado y con un tratamiento anti-arañazos
Sistema de refrigeración	Disipadores de calor de aluminio con aletas
Color	Negro
Indicador	Luz de encendido/ Power LED/ HDD LED
Soporte	Soporte para escritorio, montado en la pared
Dimensiones	168,4 x 106,2 x 45 (mm)
Peso neto	Sobre 0,82Kg

Tabla 6 Tabla de potencia y entorno del TBOX-1630. (Fuente: tegacomindustrial.es)

Potencia y entorno	
Voltaje de entrada	DC 12~24V (protección contra sobre corriente, sobretensión, polaridad inversa)
Consumo de potencia	25W
Temperatura de trabajo	-20°C~50°C

Temperatura exterior	-40°C~70°C
Humedad relativa	10~95% (sin condensación)
Vibración	50~500Hz, 1.5G, 0.15mm de pico a pico

5.1.2 DIMENSIONES DEL TBOX-1630

En cuanto al tamaño de este ordenador industrial, se puede destacar que es extremadamente pequeño para las grandes especificaciones que dispone, de ahí que se denomine como PC industrial compacto, además este tipo de ordenadores tienen la cualidad de que pueden ser incorporados a armarios con carril DIN. A continuación, en la siguiente imagen vienen detalladas con exactitud las dimensiones de dicho dispositivo.[40]

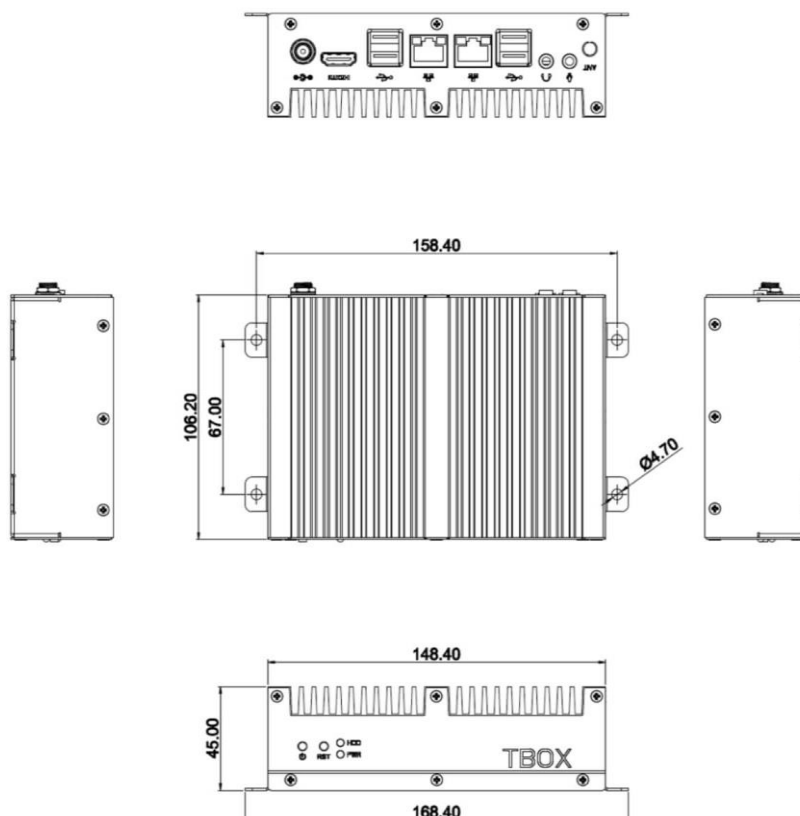


Figura 21 Dimensiones del TBOX-1630. (Fuente: tegacomindustrial.es)

5.2 NODE-RED

Node-RED es una herramienta de programación o un IDE de programación orientado al internet de las cosas, creada en el 2013, que proviene del método de programación del Node js, y es la que se va a emplear en este proyecto. Fue creada por un grupo de Servicios de Tecnologías Emergentes de IBM con el objetivo de resolver la problemática de tratar de interconectar diferentes dispositivos que poseen naturalezas y protocolos diferentes.[41] Este a su vez, permite hacer uso de unos tipos de tecnologías muy complejas sin la necesidad de ejercer grandes esfuerzos, centrándose directamente en la problemática a la que se enfrenta y obviando una serie de tareas que no tienen mayor importancia para el usuario que en ese momento lo esté programando. Asimismo, es un sistema de programación muy distinguible respecto a otros sistemas debido a que permite la conexión de diferentes dispositivos de forma muy rápida y sencilla. [42]

Asimismo, no tiene la necesidad de emplear grandes recursos de cómputo, lo cual facilita su uso, ya que con un ordenador común industrial se pueden realizar acciones de gestión y transformación de datos en tiempo real para soluciones IoT e industria 4.0[19]. Asimismo, se puede instalar en una gran variedad de dispositivos IOT y en cualquier ordenador independientemente del sistema operativo que en ese momento se esté utilizando.[42]

Por otro lado, otra de las ventajas que dispone es que el IDE está disponible en un navegador y no requiere de ningún software específico. Esto quiere decir que el servidor está alojado en el propio equipo. Cuando este se ejecuta nos permite conectarnos o crear una interfaz que está disponible desde la web, es decir, podemos acceder a ella conectándonos a este servidor mediante la IP de este.[43]

5.2.1 INTERFAZ DE PROGRAMACIÓN

En cuanto al funcionamiento, esta herramienta trabaja mostrando de manera visual las relaciones y funciones de forma que se pueda programar sin necesidad de escribir la programación en forma de texto. Por tanto, este es panel de Flow donde podemos introducir una serie de nodos comunicados entre sí. Asimismo,

esta herramienta puede ser instalada tanto en ordenadores windows como en Linux o incluso en servidores de la nube.

Por otro lado, el hecho de que la programación sea tan visual permite al usuario visualizar gráficamente como fluye la información a través de los diferentes nodos mediante la representación gráfica.

Además, Node-RED permite la conexión de nodos, mediante una combinación de nodos de entrada, nodos de procesamiento y nodos de salida, que constituyen lo que anteriormente nombramos como Flow.

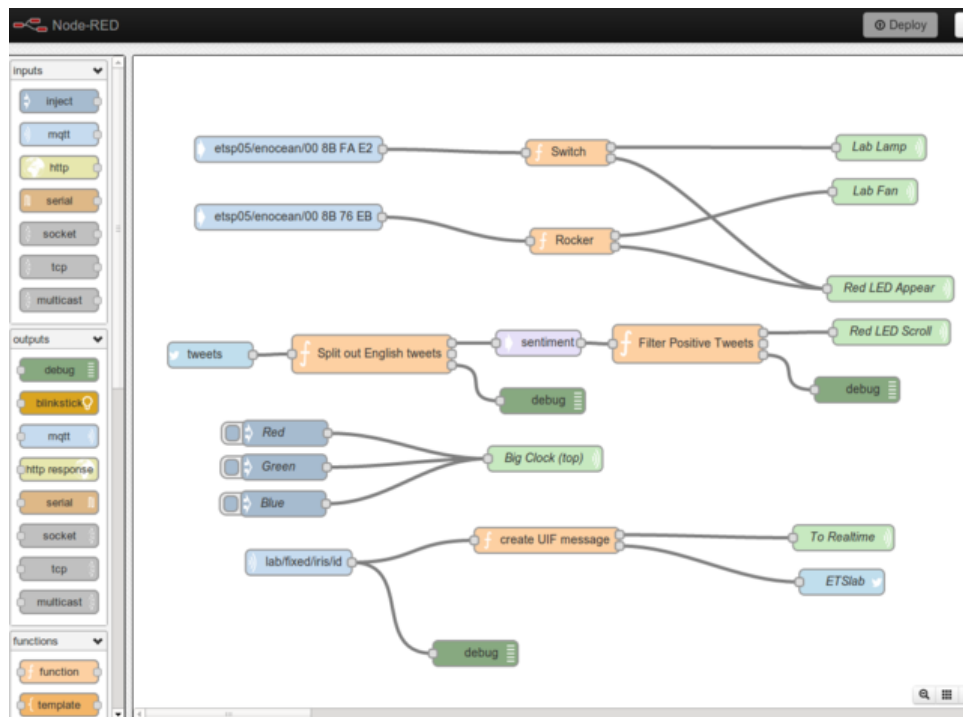


Figura 22 Interfaz de programación con Node-RED. (Fuente: soloelectronicos.com)

5.2.2 METODOLOGÍA

En cuanto a la metodología Node-RED trabaja con objetos JavaScript, a su vez, estos objetos contienen una serie de mensajes que pasan entre los nodos. Por otro lado, los objetos contienen propiedades que pueden ser modificadas, o incluso añadir otras nuevas. Por defecto todos los objetos tienen tres propiedades predeterminadas:

- “payload” que es la que se suele utilizar por defecto como mensaje principal.

- “topic” que se trata del título del mensaje.
- “_msgid” que es un identificador que dispone cada objeto, y que a su vez es empleado para que tras el paso por los nodos se pueda rastrear de donde provenía.

Nada más abrir la aplicación se pueden observar tres zonas bien diferenciadas que la componen: Nodos, Flujos y paneles.



Figura 23 Ventana principal del Node-RED. (Fuente: propia)

5.2.2.1 LOS NODOS

Los nodos se tratan de la unidad mínima disponible en Node-RED, y son los encargados de realizar las tareas y pasar la información de unos a otros. Asimismo, se pueden clasificar en tres tipos:

Nodos de entrada

Estos nodos son caracterizados por tener una única punta de unión en el extremo derecho, y son los encargados de inyectar la información en el flujo. Esta tarea es imprescindible para realizar el posterior tratamiento y obtener una salida.

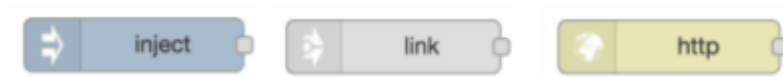


Figura 24 Nodos de entrada. (Fuente: propia)

Nodos de entrada/salida

Son aquellos nodos que permiten la entrada de datos, su tratamiento y su posterior salida. La mayoría de ellos tienen dos puntas de unión, una a cada lado, siendo la de la izquierda la entrada y la de la derecha la salida.



Figura 25 Nodos de entrada/salida. (Fuente: propia)

En ocasiones estos nodos de entrada/salida pueden tener más de una salida. Esto se puede configurar haciendo click sobre el nodo y añadiendo más salidas. Una vez hecho esto habrá que indicar que parte del objeto va por una salida y cual por la otra.



Figura 26 Nodo de entrada/salida con varias salidas. (Fuente: propia)

Nodos de salida

Son aquellos que se ocupan únicamente de mostrar los datos que han pasado por el flujo tras todo el proceso. Para ello tienen un único lazo de unión en el lado izquierdo.[44]



Figura 27 Nodos de salida. (Fuente: propia)

5.2.2.2 LOS FLUJOS

Los flujos son aquellos que contienen la lógica del propio programa. Se trata de un espacio de trabajo en blanco donde se arrastran los diferentes nodos. Una vez hemos arrastrado estos, los nodos se pueden configurar y conectar según nos convenga. La información que se mueve en el flujo entre los nodos son los mensajes “msg”, los cuales contienen tres propiedades básicas: número de mensaje, topic y payload. Aunque si fuera necesario se pueden añadir propiedades a cada uno de los objetos.

La conexión de estos nodos se puede llevar a cabo en serie o en paralelo y se realiza uniendo la salida de uno con la entrada del otro. Por otro lado, para llevar a cabo la configuración de los mismos, únicamente hace falta hacer doble click sobre el nodo que queramos configurar, y a continuación se abrirá una pestaña donde aparecerán múltiples propiedades del nodo que se pueden cambiar.

Una vez tengamos creado nuestro programa y hallamos configurado ya todos los nodos, debemos pulsar el botón “deploy”. Este botón nos permite compilar el programa, y si no sale ningún error eso es que el programa esta correctamente realizado y ya está listo para ser utilizado.

Por otro lado, los flujos pueden ser exportables e importables como archivos JSON (JavaScript Object Notation). Por tanto, esto permite una configuración mucho más sencilla de los programas, puesto que se puede emplear un proyecto realizado y configurarlo para crear un programa específico.[44]

5.2.2.3 LOS PANELES

En la parte derecha de la ventana, además de localizar el botón “deploy”, podemos acceder a toda la información acerca de los nodos (Node information), además de visualizar el estado y los errores de los nodos (debug messages), así como, configurar el dashboard.

5.2.3 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

Para poder conocer los protocolos de comunicación del Node-RED, debemos saber que esta herramienta tiene como estructura mínima los nodos. Estos se arrastran por la interfaz gráfica para su correcta colocación en el entorno de trabajo y esto permite realizar una tarea concreta de forma efectiva. Asimismo, esto permite recibir una llamada HTTP, un mensaje MQTT o simplemente la activación de un pulsador.

Por tanto, es un motor de flujos enfocado a la IoT, que permite definir gráficamente flujos de servicios, a través de protocolos estándares como REST, MQTT, Websocket, AMQP, etc. Además de la integración de estos estándares con otras Apis de terceros como pueden ser Twitter, Facebook, Whatsapp, Telegram, entre otros.[45]

5.3 LIBRERÍAS

Como ya se expuso en apartados anteriores, el entorno de programación de Node-RED está basado en nodos, y a estos nodos se les conoce como librerías. Estas librerías están basadas en lenguaje de JavaScript y dentro del flujo entra una información en formato JSON, se procesa en esa librería y se obtiene un output en el mismo formato JSON.

Hay librerías de muchos tipos tanto de tratamiento de información, almacenamiento, procesamiento, o análisis de datos, así como el envío a terceros

servicios como pueden ser sistemas de mensajería instantánea o en bases de datos o incluso almacenamiento en el cloud.

Dentro de los objetivos de este trabajo está la conectividad con otros protocolos no industriales para el uso y el manejo del robot colaborativo. En este trabajo vamos a emplear un Bot de WhatsApp para el manejo y la transmisión bidireccional de información entre el usuario y el robot colaborativo siendo un ejemplo de conectividad o hiperconectividad dentro del entorno industrial.

Otra librería muy utilizada en Node-RED es la del dashboard, que en este caso digamos que es una librería que genera una interfaz gráfica de cara a que el usuario pueda gestionar ordenes de manera intuitiva y sencilla mejorando la calidad de uso, surgiendo de esta forma como alternativa a los HMI clásicos de la industria. Desde esta interfaz se pueden realizar varias acciones, que van desde rellenar un formulario para las acciones a determinar del cobot, hasta la visualización de información vía texto o imágenes.

Otra librería destacada es la de la interfaz de comunicación con el robot colaborativo, en este caso como se ha mencionado en otros puntos, el cobot funciona mediante el protocolo TCP-IP en el puerto 29999, y mediante el envío de información detallada y una serie de comandos, es capaz de realizar unas acciones que están ya preprogramadas en la propia caja o controlador del robot colaborativo. Esto nos permite controlar el robot de una forma sencilla para así poder unir ambos mundos el externo y como el propio entorno industrial en el que está basado el robot colaborativo.

También, existen otras librerías en las cuales se hace una interpretación de los datos incluidos en los flujos del formato JSON, esto nos permite cambiar la estructura de la información de unos nodos a otros, para que así la programación sea mucho más entendible y se pueda adaptar mejor a las condiciones del flujo y de las librerías. De esta forma conseguimos que sean compatibles y se puedan comunicar de forma bidireccional entre ellas.

6 Resultados

6.1 PROGRAMACIÓN COBOT

Uno de los objetivos que se busca en este proyecto consiste en conseguir el movimiento del brazo robótico de una manera eficiente, para ellos se ha empleado la interfaz proporcionada por el fabricante para la programación de los diferentes movimientos que ha de realizar este.

Para ello en primer lugar hemos decidido crear dos plantillas, situadas a cada uno de los lados del cobot, en las que situamos las piezas que queremos mover desde su destino hasta su origen. Cada una de estas dispondrá de 9 posiciones en las que se pueden depositar los elementos que queremos desplazar. Asimismo, cada uno de los recuadros en los que pueden ir situadas las piezas tendrán unas dimensiones de 6,5 centímetros de alto por 8 centímetros de ancho, por lo que la programación de este brazo robótico ira destinada a la colocación de piezas de un tamaño medio.

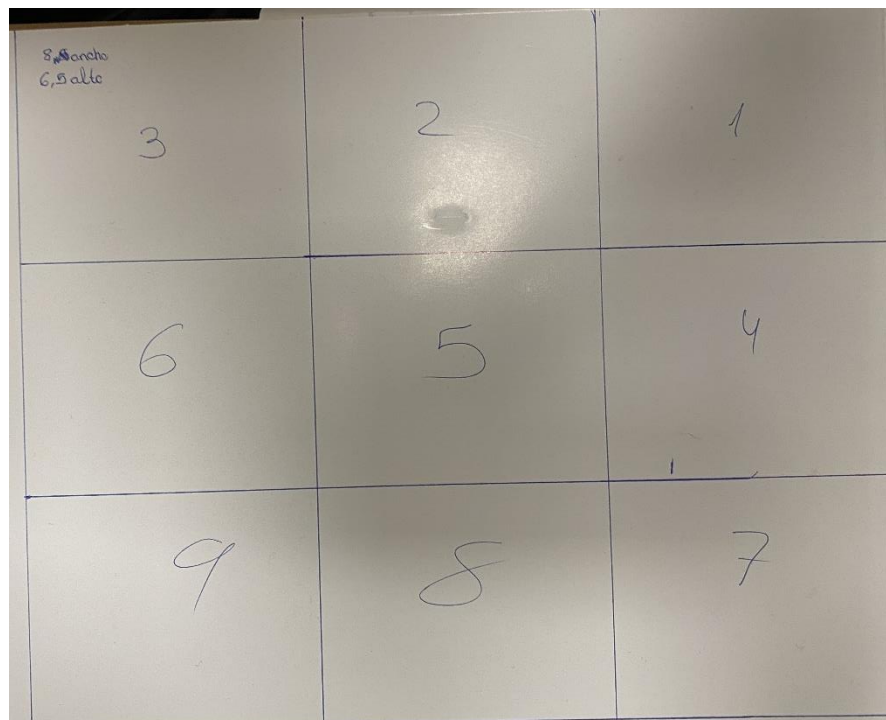


Figura 28 Plantilla para la colocación de piezas. (Fuente: propia)

Para conseguir que el brazo robótico efectúe todos los movimientos que nos hemos marcado como objeto al inicio de la realización de este proyecto, hemos necesitado dividir los movimientos en sectores y en funcionalidades. De esta forma tenemos dos tipos de movimientos que serían: en primer lugar, la carga de objetos, a partir de esta el cobot agarraría las piezas, y la descarga, que es el movimiento a partir del cual el brazo robótico depositaría las piezas en la posición indicada por el usuario.

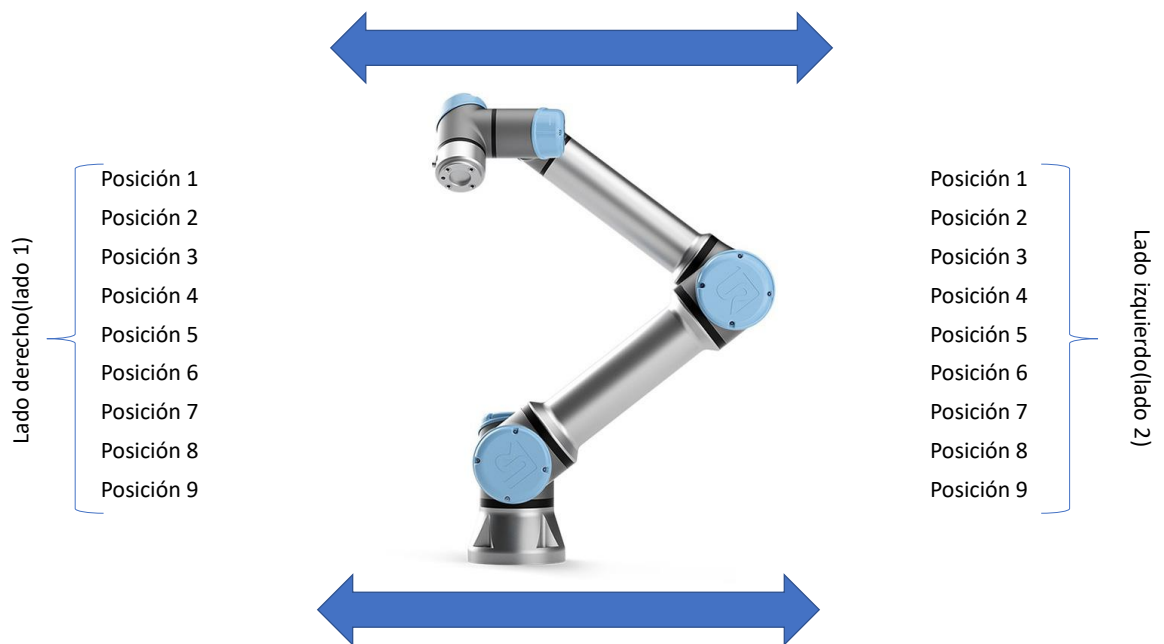


Figura 29 Movimiento de carga y descarga del cobot. (Fuente: propia)

Por otro lado, el número 1 o 2 indicaría el sector en el que se encuentra la pieza, siendo el sector 1 el lado izquierdo del cobot, y el sector 2 el lado derecho. De esta forma nos quedan las carpetas de “cargado1”, “cargado2”, “descargado1” y “descargado2” en las cuales tenemos alojados todos los programas asociados a la ejecución de los movimientos del brazo robótico.

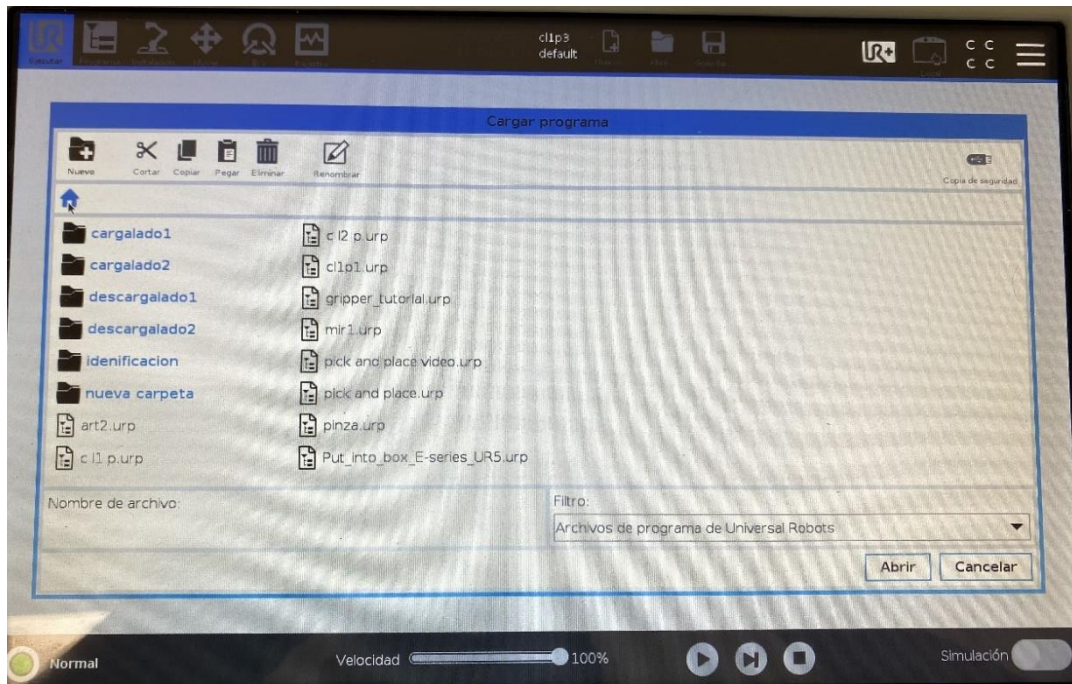


Figura 30 Carpetas contenedoras de los programas para el movimiento del cobot. (Fuente: propia)

Si entramos en cada una de estas carpetas, encontraríamos 9 programas, uno por cada una de las posiciones de la plantilla en las que pueden estar localizadas las piezas.

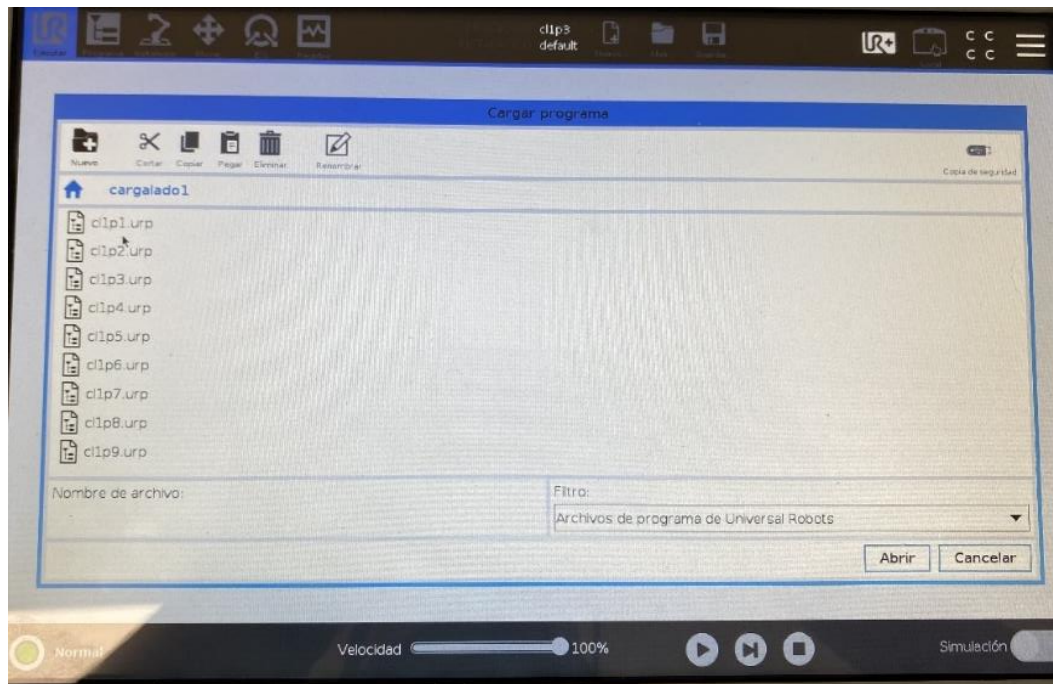


Figura 31 Carpetas contenedoras de los programas para el movimiento del cobot.

Una vez entramos ya en cada uno de los programas en primer lugar encontraremos un apartado en el que nos explica brevemente como realizar la programación de los movimientos.

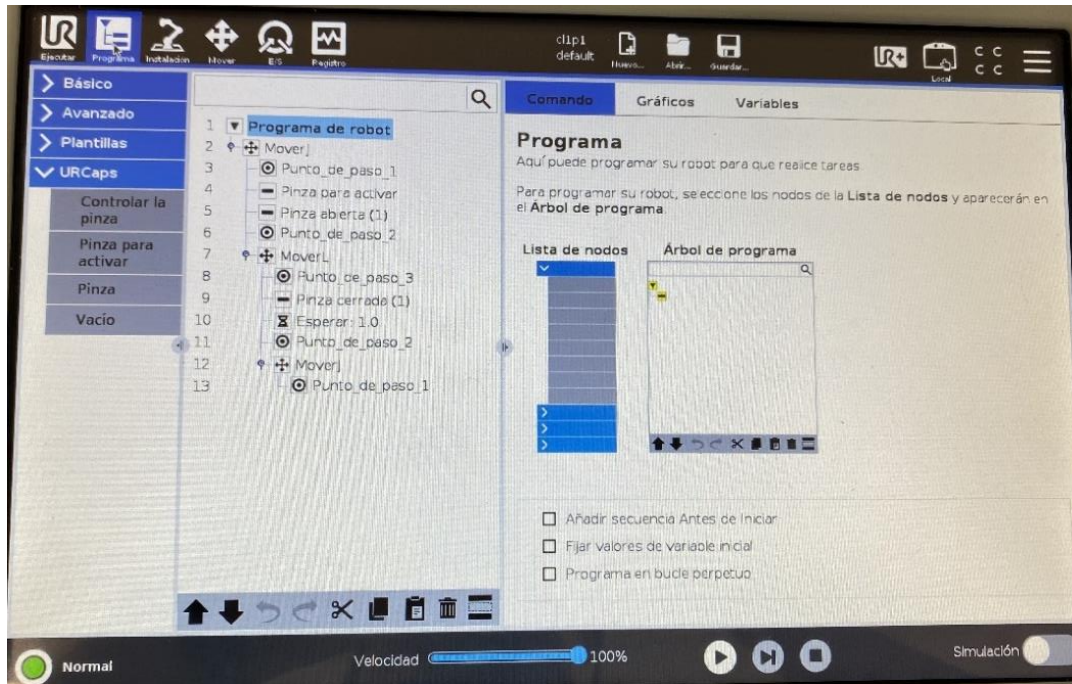


Figura 32 Apartado de explicación de programación de los movimientos.
(Fuente: propia)

A continuación, vamos a explicar cómo se ha realizado la función de coger objetos. Para ello en primer lugar hemos decidido colocar un *Move J* que permite un movimiento rápido del brazo robótico desde la posición inicial, de la cual parten todos los programas, hasta situarse encima de la pieza. Para conseguir esto, se ha decidido darle una velocidad de junta de 60°/s y una aceleración de junta de 80°/s.

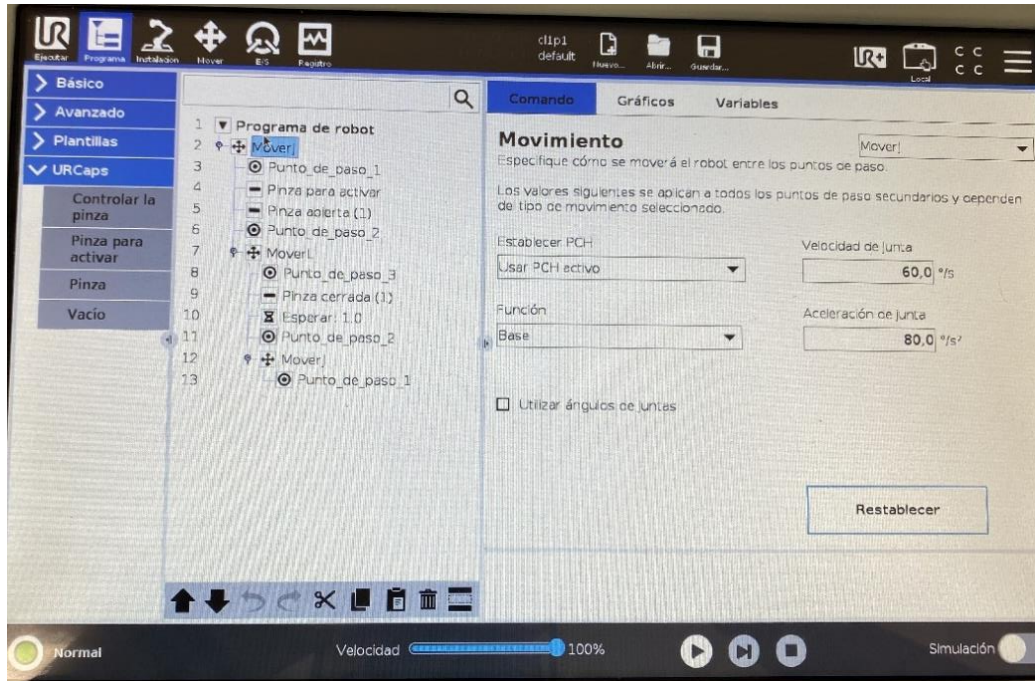


Figura 33 Move j de la carga de objetos. (Fuente: propia)

Dentro del apartado *Move J*, en primer lugar, debemos definir la posición inicial a partir de la cual van a partir y finalizar todas las acciones. Esta se puede definir de dos formas, una más manual, pulsando el botón “editar pose”, y otra más precisa, pulsando “ajustar punto de paso”.

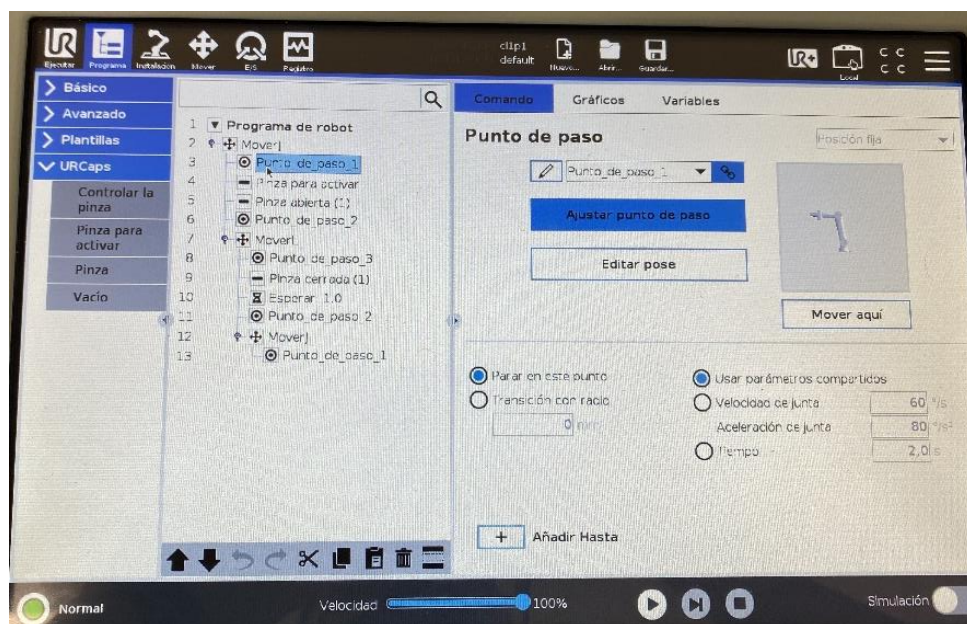


Figura 34 Posición inicial del brazo robótico. (Fuente: propia)

Para la colocación de la posición inicial del robot, se realizó mediante ajuste manual. Para ello, se tuvo que mantener pulsado el botón situado en la parte superior de la pantalla táctil, puesto que esto nos permitía desactivar los frenos que dispone cada uno de los motores del brazo robótico, permitiendo el desplazamiento manual el robot hasta la posición deseada.

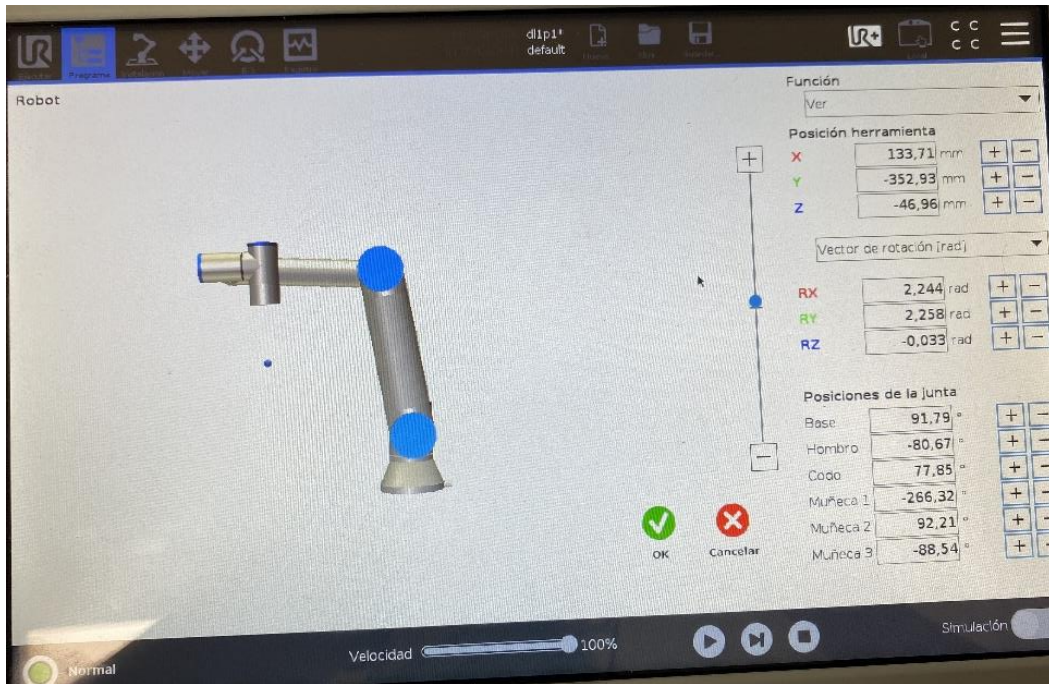


Figura 35 Movimiento manual del brazo robótico. (Fuente: propia)

A continuación, se procedió a la activación de las pinzas, esta acción es muy importante, puesto que, si no se activan las pinzas, estas no se mueven en todo el proceso.

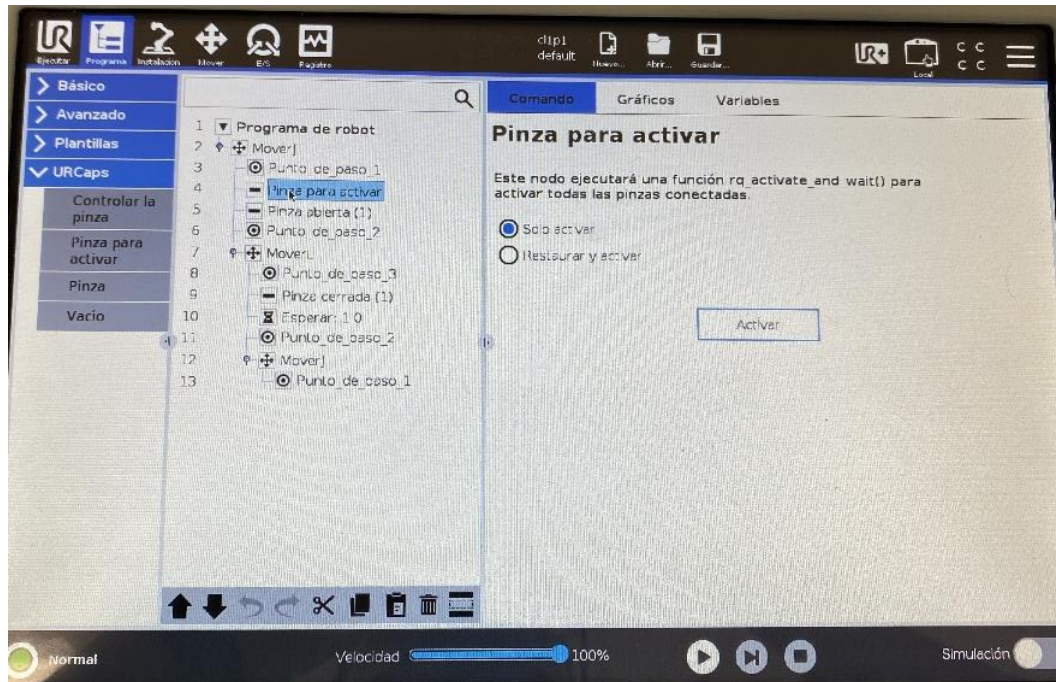


Figura 36 Activación de las pinzas. (Fuente: propia)

Posteriormente, se dio la orden de pinza abierta, para lo cual fue necesario dar el rasgo de 0% al parámetro de posición.

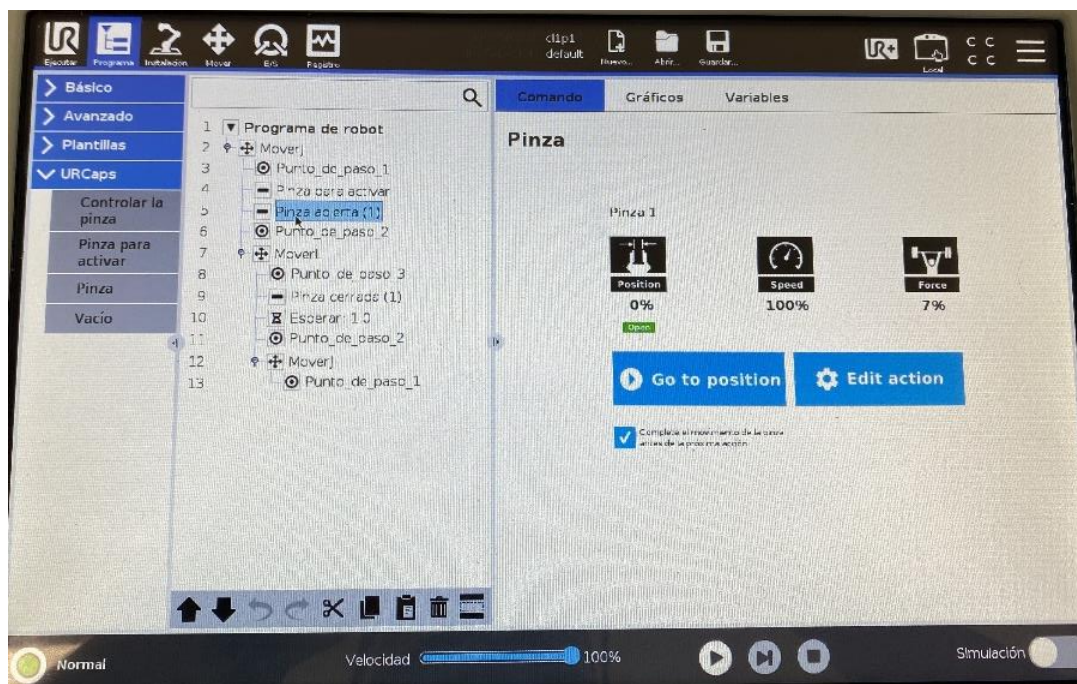


Figura 37 Orden de pinza abierta. (Fuente: propia)

A continuación, se le da una nueva posición al cobot, justo encima de la pieza. Para ello se realizó el mismo procedimiento que empleamos para la colocación de la posición inicial. Este movimiento se denominó como punto_de_paso_2 en el programa.

Seguidamente, se colocó un *Move L* para la acción de recogida de la pieza. Se empleó este ya que ha de ser un movimiento más preciso, puesto que de lo contrario podríamos dañar la pieza.

Para conseguir esto se le dio unos valores de 250mm/s de velocidad de la herramienta y una aceleración de 1200mm/s².

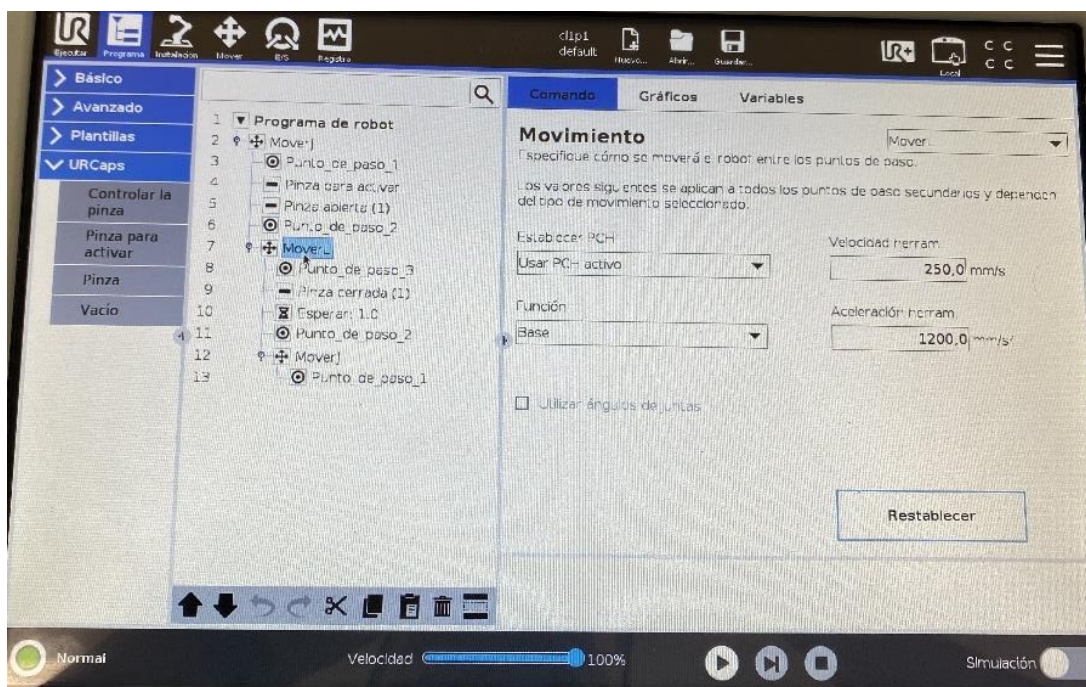


Figura 38 Move L para la recogida de la pieza. (Fuente: propia)

Para la realización de este movimiento, se definió la posición a partir de la cual las pinzas se cierran y se recoge la pieza, que es lo que denominamos en el programa como punto de base 3. No obstante, al tratarse de un movimiento que requiere una mayor precisión decidimos realizarlo mediante el método de ajuste de paso, ya que este permite un ajuste mucho más preciso de la posición del brazo robótico. Para realizar esto basta con pulsar en las flechas situadas en la parte izquierda de la pantalla y el cobot comenzará a moverse de un modo más preciso y más lento para conseguir una colocación muy precisa del mismo. Asimismo, esta interfaz permite el movimiento en los tres ejes, además de una rotación por parte de la pinza y del brazo, muy útil para la recogida de piezas extrañas que no puedan ser extraídas verticalmente.

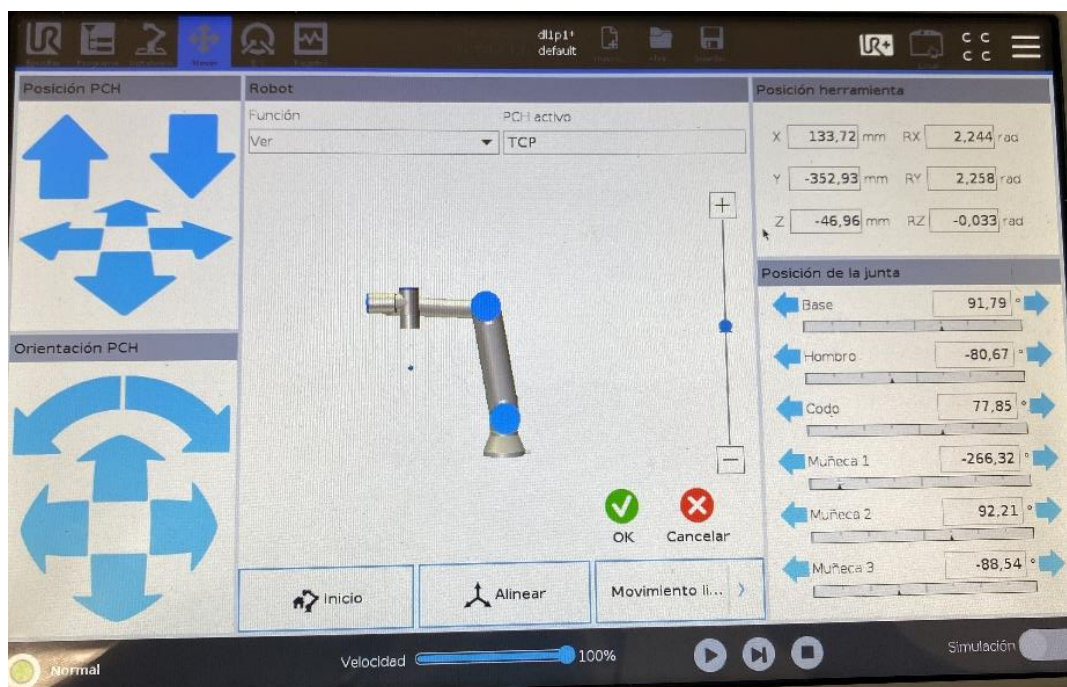


Figura 39 : Interfaz para el movimiento más preciso del cobot. (Fuente: propia)

Una vez colocada la pinza en posición de recogida de la pieza procedemos a cerrar la pinza, de esta forma ejercemos una presión sobre la pieza lo suficientemente grande como para poder elevarla y desplazarla hacia un nuevo destino. Para lograr esto, se necesitó darle un valor del 100% al posicionamiento de la pinza.

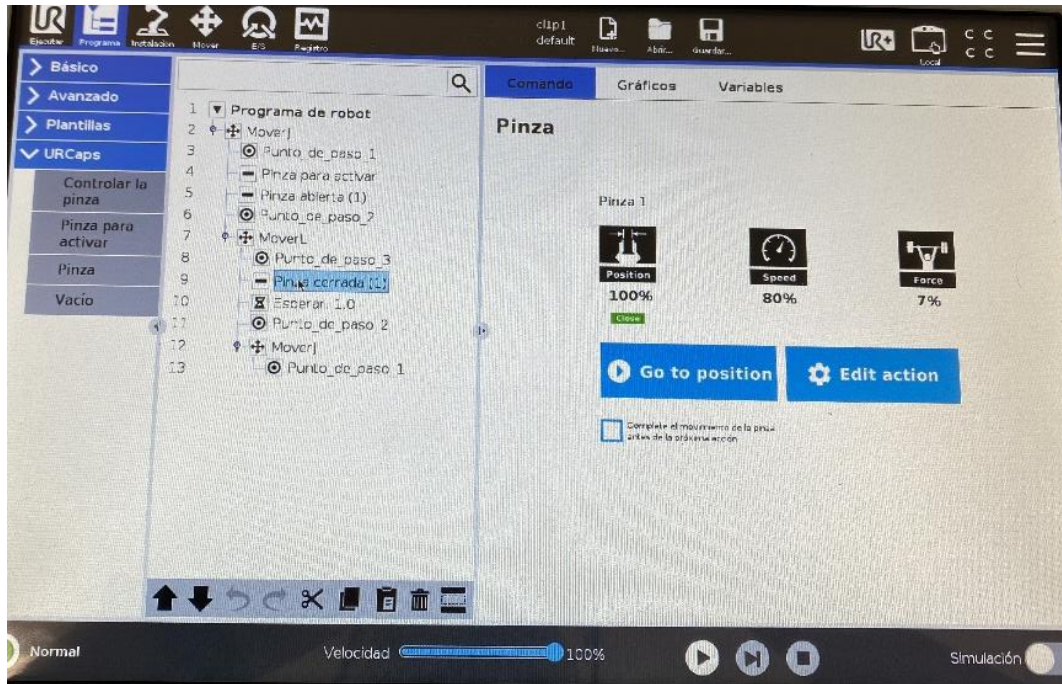


Figura 40 Acción de pinza cerrada del cobot. (Fuente: propia)

Posteriormente, se decide colocar un tiempo de espera de un segundo para facilitar el pinzamiento de la pieza y su posterior desplazamiento de la misma.

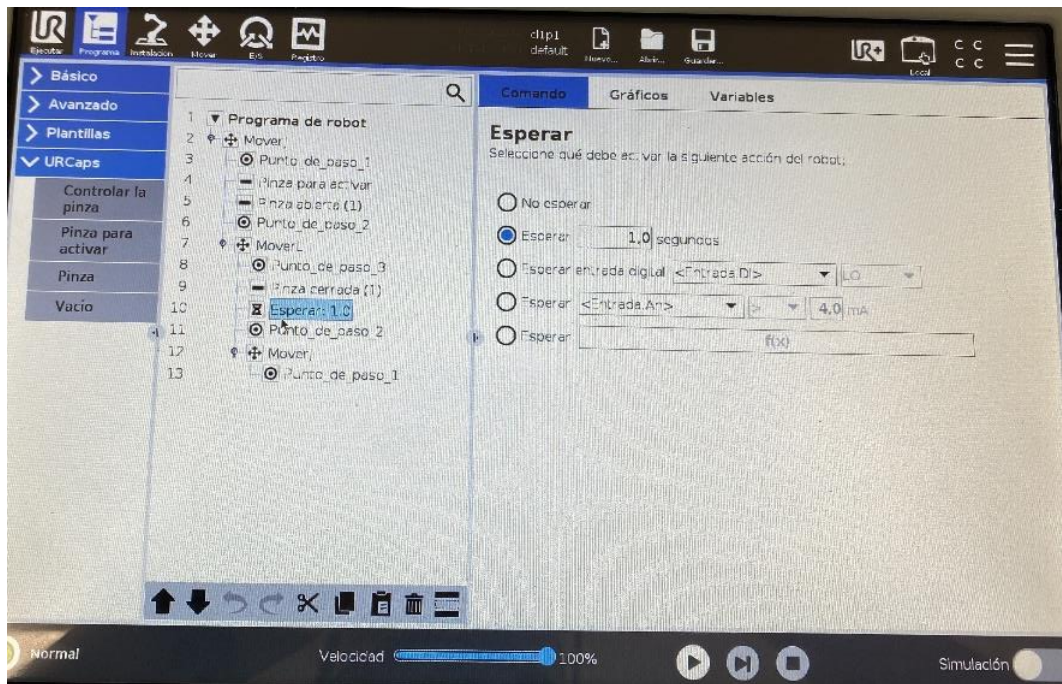


Figura 41 Tiempo de espera para el pinzamiento de la pieza. (Fuente: propia)

A continuación, se procede al levantamiento de la pieza hacia una posición punto_de_paso_2 anteriormente descrita.

Para finalizar la acción se coloca un *Move J* para desplazar la pieza hacia la posición inicial (punto_de_paso_1) y así poder dar paso a la acción de depósito de la pieza en su nuevo emplazamiento.

Cabe destacar que para realizar de la acción de coger pieza en la posición 2, se emplea el mismo método que para la posición 1.

Para llevar a cabo la acción de descarga también se realizaron 9 programas, uno para cada una de las posiciones en las que se puede depositar la pieza. Asimismo, todas tendrán idéntico método de programación y lo único que varía es el punto de posicionamiento de la pinza a la hora de depositar la pieza.

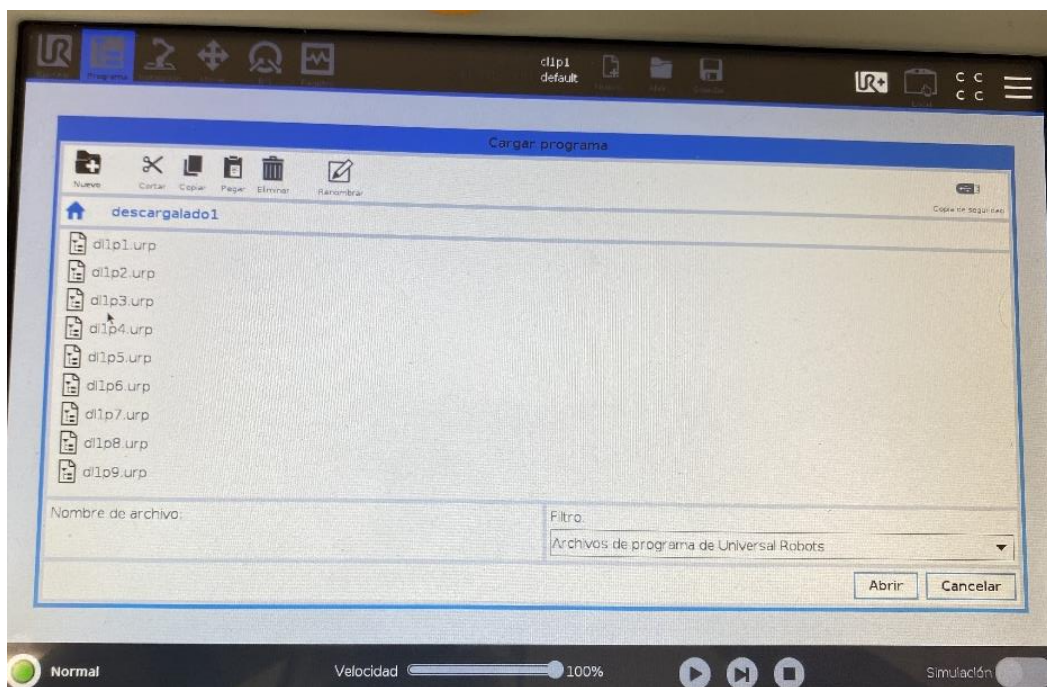


Figura 42 Programas de descarga de la pieza el movimiento del cobot. (Fuente: propia)

El movimiento de descarga de la pieza sigue el mismo patrón que el de carga. En primer lugar, el brazo robótico parte de la posición inicial en la que se situaba al realizar la acción de carga. A continuación, introducimos la acción de cerrado de pinza para asegurarnos de que el brazo robótico dispone de la pieza y no la suelta. Después pasamos al punto_de_paso_2, situado encima de la posición en la que se

va a depositar la pieza, a partir de un *Move J* para el desplazamiento rápido del brazo robótico. Posteriormente, se le da un nuevo punto_de_paso_3, situado justo en la posición en la que queremos depositar la pieza, a través de un *Move L* que nos permite una colocación más precisa del robot, acto seguido se ejecuta la acción de apertura de la pinza. Seguidamente se coloca un tiempo de espera de un segundo para la deposición efectiva de la pieza en la zona deseada. A continuación, se vuelve a través del *Move J* al punto_de_paso_2, para finalmente llevar el brazo robótico de nuevo al punto_de_paso_1, que se trata de la posición de partida de todos los programas.

6.2 PROGRAMACIÓN NODE-RED

El problema consiste en realizar una tarea “pick and place” de un lado derecho del brazo robótico a otro del lado izquierdo de forma bidireccional. En cada lado se dispone de 9 lugares para coger o depositar la pieza, por lo tanto, cuando queremos diseñar una acción debemos de introducir 3 parámetros:

- De qué lado a qué lado queremos coger las piezas, puede ser del lado derecho al lado izquierdo o del lado izquierdo al lado derecho.
- La posición dentro del lado de donde se quiera retirar la pieza.
- La casilla o la posición del lado de coger la pieza.

La combinación de todas estas posibilidades proporciona un abanico de hasta 36 posibilidades, es decir 36 posibles acciones a realizar.

Para la programación se ha resuelto en forma de flujos, en este caso se crea una encuesta por parte del usuario para que introduzca un número del 1 al 9 para la casilla de coger y otro número del 1 al 9 para la casilla de dejar. Además, se introduce en qué lado se quiere que se inicie la acción, es decir el lado de coger, en este caso lado derecho o lado izquierdo.

Después, esta información se transmite a través de un nodo a las diferentes librerías para la coordinación de movimientos, para ello, hay que determinar en primer lugar, en qué lado se inicia el movimiento, si del derecho o del izquierdo, y dentro del propio lado, la posición.

Una vez que se ha establecido esa información se manda ejecutar al brazo robótico, cuyo sistema está leyendo de forma continuada cual es el estado del

brazo robótico, por lo tanto, cuando acabe la acción se inicia la siguiente que es la de dejar, y en este caso se tiene que averiguar si es del lado derecho o del lado izquierdo y en que casilla.

Una vez está establecida esta información, se iniciaría la acción hasta que acabara.

Si se produjera algún error aparecería por la pantalla de la interfaz el error en cuestión para que el operario de forma manual lo subsane, estos errores pueden ser derivados de obstrucciones del propio brazo robótico, setas de emergencia etc.

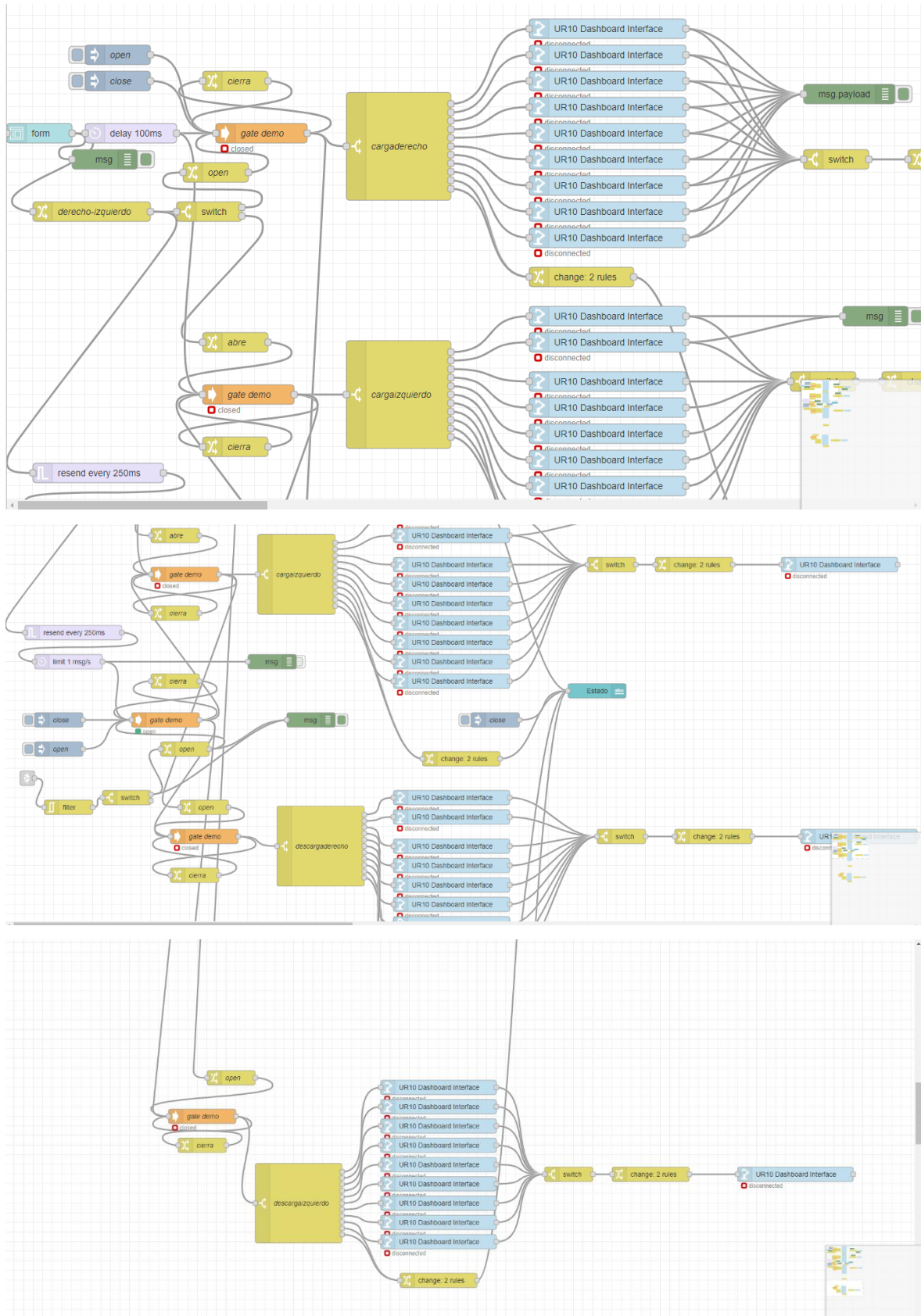


Figura 43 Programación de la tarea "pick and place" con Node-RED. (fuente: propia)

En cuanto a la programación mediante WhatsApp se creó en primer lugar un Bot mediante la disposición de un token y el propio número de teléfono y a partir de ahí se unieron los nodos de confirmación de recepción junto con el de respuesta, por un lado, y el de envío por el otro, permitiendo de este modo que el cobot sea capaz, gracias a este flujo, de comunicarse con el usuario a través de un sistema de mensajería instantánea WhatsApp. Asimismo, para solucionar la problemática de introducir WhatsApp con las acciones que debe realizar el cobot se introdujo un nodo que comunica WhatsApp con el programa anteriormente descrito.

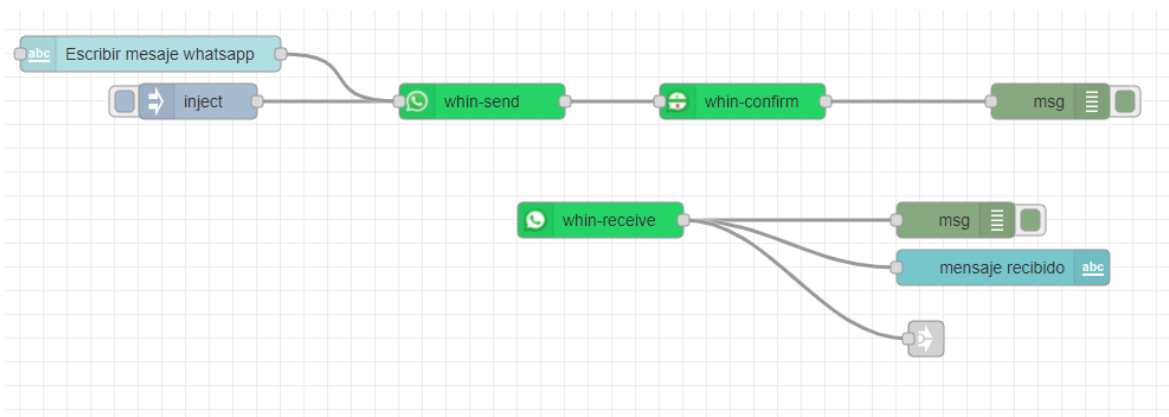
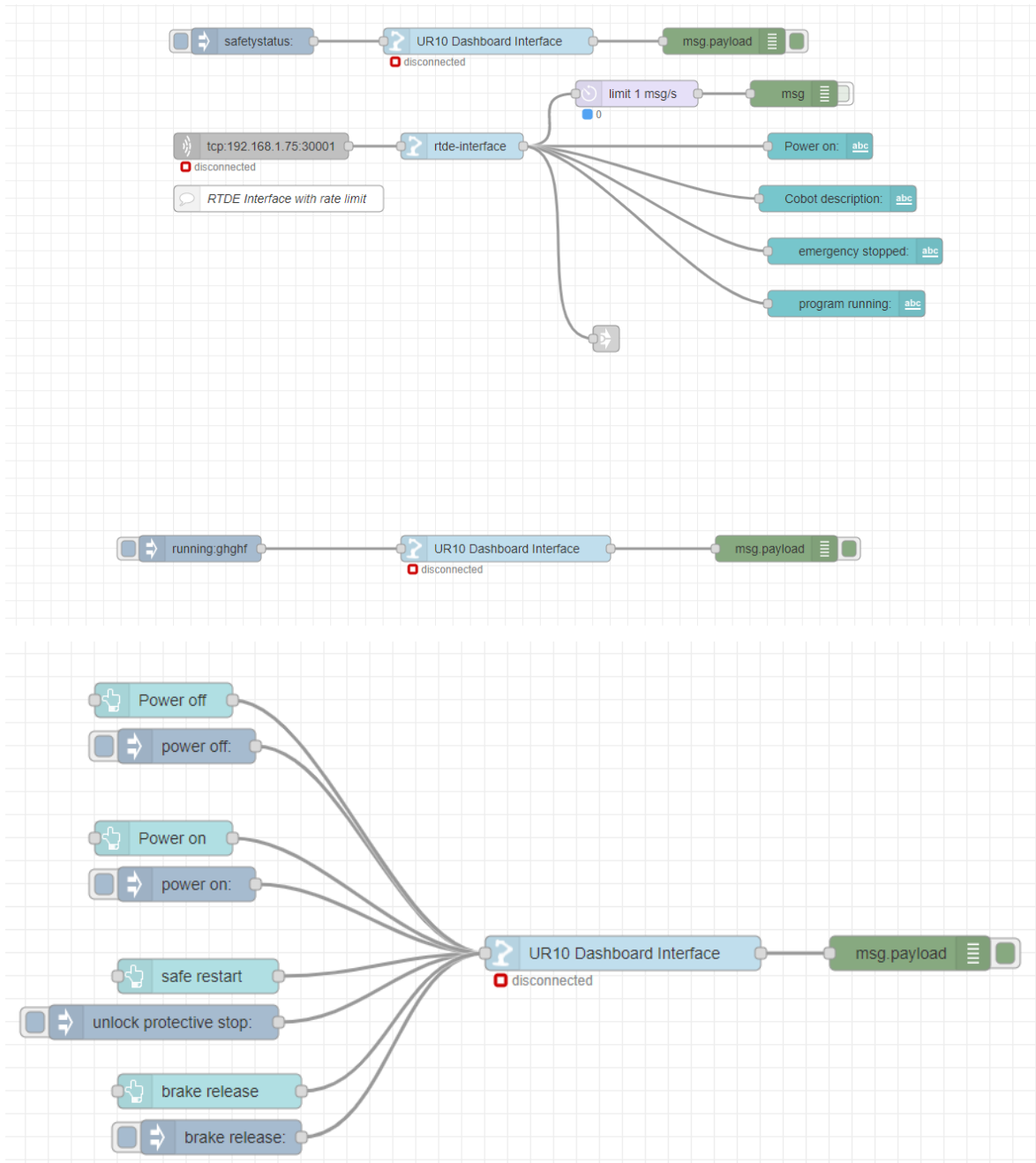


Figura 44 Programación de la forma de comunicación a través del servicio de mensajería instantánea WhatsApp a través de Node-RED. (fuente: propia)

Por último, este programa que se muestra a continuación se realizó para cumplir las tareas básicas de funcionamiento del cobot y tienen un funcionamiento similar al del funcionamiento empleado para indicar las ordenes de coger y dejar la pieza explicadas al comienzo del punto.



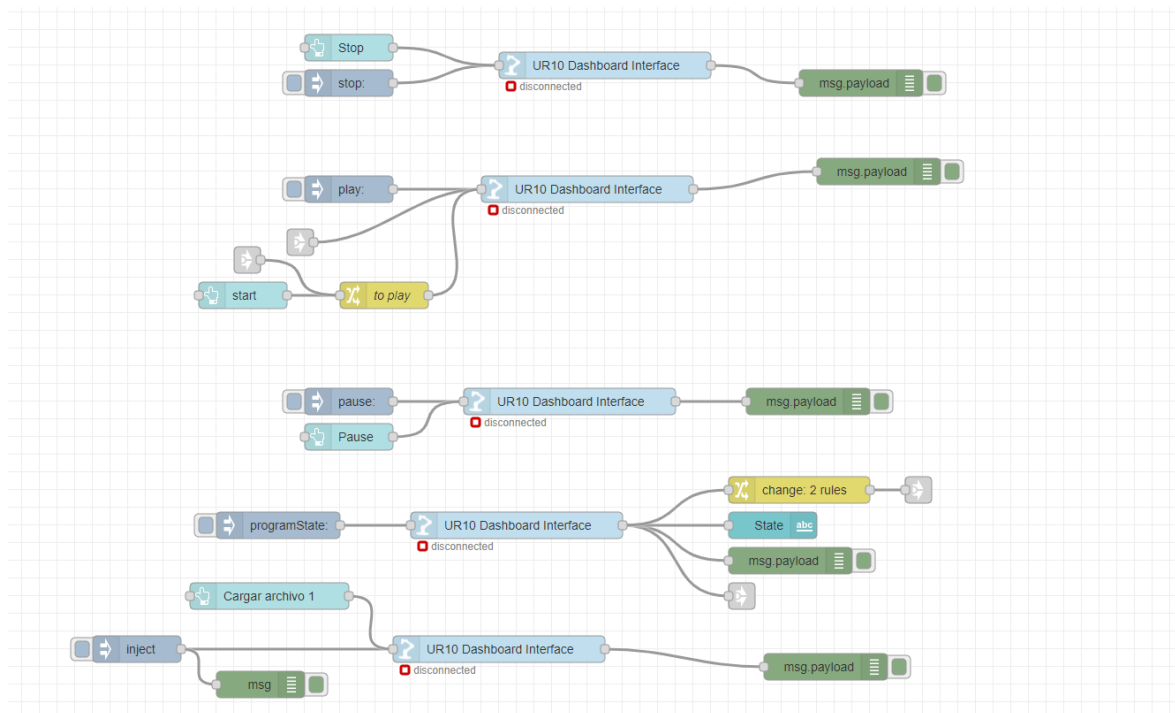


Figura 45 Programación de las acciones de control del brazo robótico a través de Node-RED. (fuente: propia)

6.3 INTERFAZ

La creación de esta interfaz mediante dashboard tiene como objetivo la monitorización del AGV y la posibilidad de actuar de manera remota en el brazo robótico. Esta actuación se puede llevar a cabo tanto dentro de la propia industria como fuera de la misma resolviendo de esta forma una de las problemáticas que tenía la industria en tiempos pasados.

Asimismo, esta interfaz ha sido creada a través de pestañas que nos permiten separar las diferentes acciones que podemos realizar en el cobot.

Las pestañas que dispone nuestra interfaz son: la planificación, el WhatsApp y UR5e. Cada una tiene una funcionalidad distinta que más adelante explicaremos con detalle.

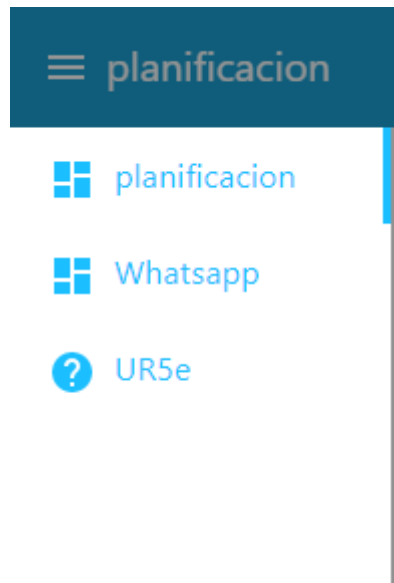


Figura 46 Pestañas de la interfaz. (Fuente: propia).

6.3.1 INTERFAZ DE PROGRAMACIÓN

La interfaz de programación nos permite escoger la posición de la que queremos retirar la pieza, en que posición deseamos dejarla y de qué lado deseamos extraerla. En este caso solo se ha realizado la programación de forma que si cogemos la pieza del lado izquierdo, esta se depositará únicamente en el lado derecho y viceversa.

Por otro lado, en el extremo derecho de la interfaz podemos observar el estado del cobot (Disponible o No disponible) y en caso de no escoger un número del 1 al 9 el programa nos devolverá en esa posición un error y no ejecutará ninguna acción.

programacion

Estado	Disponible
coger*	
1	
<hr/>	
dejar*	
1	
<hr/>	
<input type="checkbox"/> coger del lado (Izquierdo- derecho)	
<div style="display: flex; justify-content: space-around;">ENVIARCANCELAR</div>	

Figura 47 Interfaz de programación. (Fuente: propia)

6.3.2 INTERFAZ DE COMUNICACIÓN CON EL WHATSAPP

La interfaz del WhatsApp nos permite enviar mensajes al usuario de forma manual explicando el estado del cobot y la visualización de los mensajes recibidos por parte del usuario que ordena alguna tarea al cobot de manera remota desde cualquier parte del mundo.

Envío	recepcion
<u>Escribir mensaje whatsapp</u>	mensaje recibido

Figura 48 Interfaz de comunicación con el WhatsApp. (Fuente: propia)

6.3.3 INTERFAZ DE COMUNICACIÓN CON EL COBOT

La interfaz de comunicación con el cobot nos permite llevar a cabo todas las acciones relativas al funcionamiento del cobot, estas vienen detalladas en la imagen que se muestra a continuación donde:

- Reinicio seguro se refiere a la acción de reiniciar el cobot sin la problemática de poder perder datos.
- Liberación de frenos para poder quitar los frenos al robot y poder comenzar a operar con él.
- Parada que nos permite parar el robot en un momento determinado.
- Inicio que sirve para inicializar todas las funciones del robot.
- Pausa que nos permite pausar la acción que este realizando el robot en ese instante.
- Cargar archivo 1 que nos permite cargar un programa determinado para la realización de una determinada tarea.
- Apagado, que como su propio nombre indica, nos permite apagar el robot de forma remota.
- Encendido, que nos permite encender el cobot a distancia.

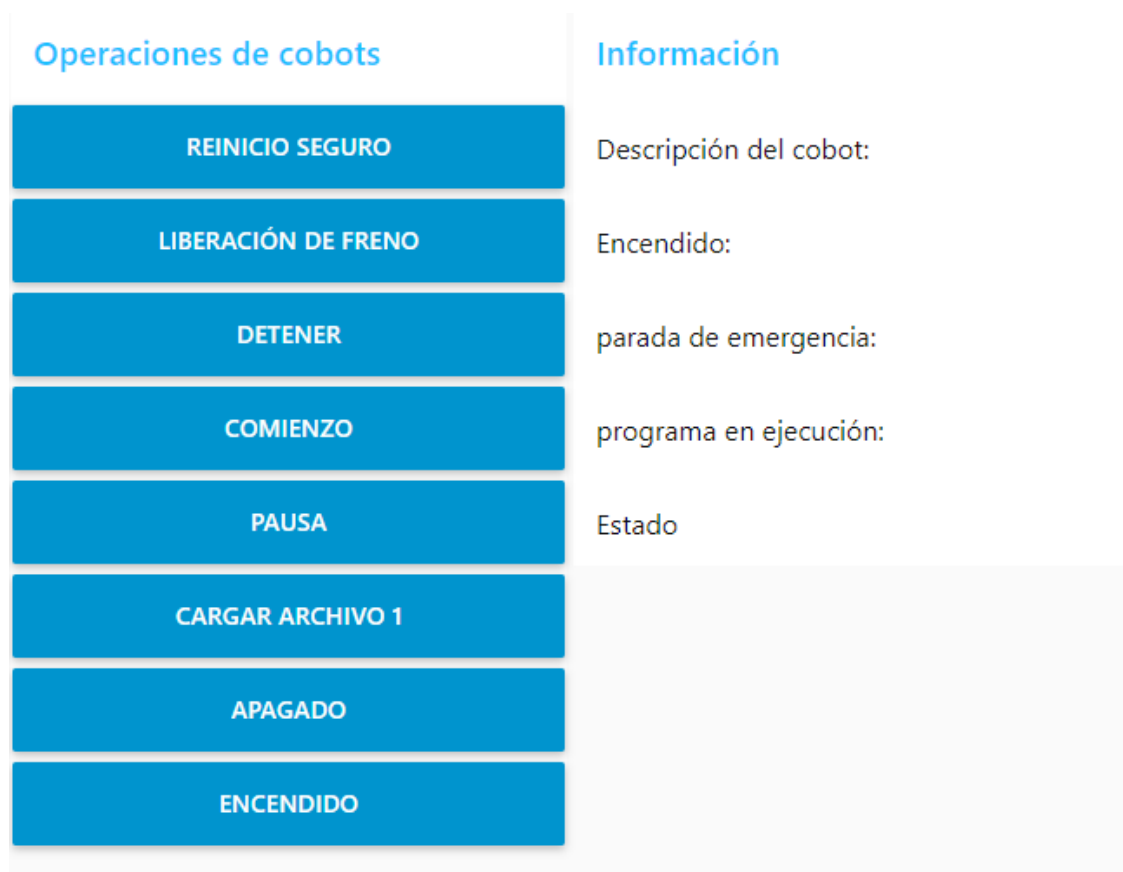


Figura 49 Interfaz de comunicación con el cobot. (Fuente: propia)

7 Conclusiones

El presente trabajo fin de master, se logra crear un entorno de experimentación basado en el paradigma de la industria 4.0 y el Smart Manufacturing.

La implementación de una arquitectura de comunicaciones permite comunicar todos los dispositivos y servicios. La plataforma de internet industrial posibilita la escalabilidad de la red a la vez que la flexibilidad y ciberseguridad tan características en las comunicaciones industriales.

Para ello se ha desarrollado un novedoso sistema de control de un brazo robótico integrando numerosas funciones e interacciones que permiten la comunicación directa entre el hombre y la máquina.

La creación de una interfaz de usuario capaz de realizar acciones en un robot de forma automática y con una experiencia de usuario que mejora a las existentes en el mercado actual, dejando abierta la posibilidad de incorporar nuevos avances que permita a la interfaz ser líder en el mercado actual.

La creación de un sistema de comunicaciones novedoso, mediante el empleo de una aplicación de mensajería instantánea WhatsApp para favorecer las comunicaciones industriales fuera del entorno industrial, con un nivel de seguridad elevado, disminuyendo la brecha existente en las comunicaciones dentro de la planta con el exterior de la industria, consiguiendo de este modo la integración total de sistemas industriales con sistemas o protocolos no industriales.

En definitiva, se ha creado un nuevo entorno desde el que se es capaz de crear e implementar nuevas tecnologías para los nuevos retos que presenta la nueva era de la industria manufacturera. Por tanto, se ha cumplido con todos los objetivos que se han mencionado al principio de este trabajo.

7.1 HITOS FUTUROS

Asimismo, como futuros proyectos de ampliación de este se podrían estudiar la incorporación de un sistema AGV que permitan al propio brazo robótico operar de forma autónoma, integrando un sistema RFID para que el mismo pueda realizar una distinción efectiva entre objetos, dando así lugar a un entorno colaborativo mucho más industrial de la smart manufacturing.

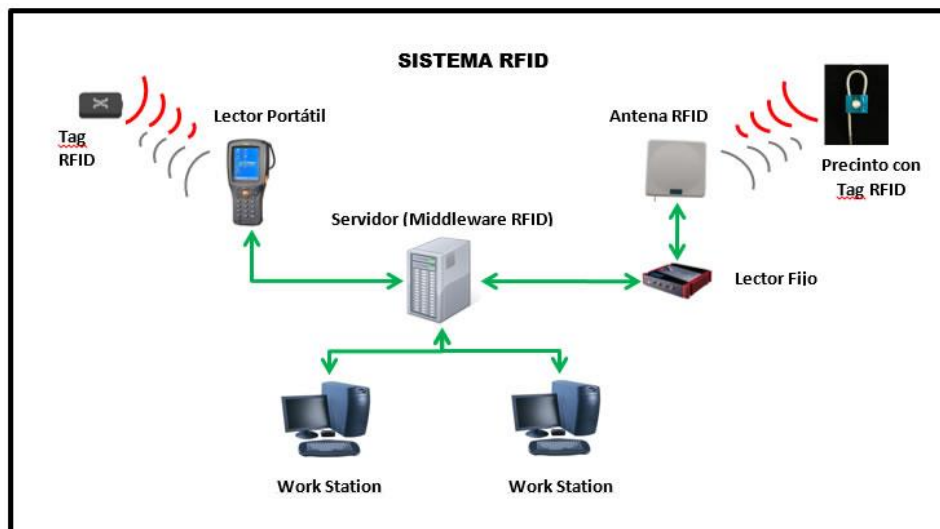


Figura 50 Funcionamiento del sistema RFID para una posible incorporación futura. (Fuente; dymsolperu.com)

Otra de las posibles incorporaciones a este proyecto podría ser la programación efectiva del robot para permitir mayor cantidad de movimientos como puedan ser:

- Movimiento giratorio del brazo robótico para la recogida de piezas que no puedan ser cogidas perpendicularmente.
- Posibilitar al brazo robótico el coger y descargar el producto en el mismo lado.

Asimismo, también se le podría dotar de una cámara que, asociada con una red neuronal para la identificación de objetos, permita al propio brazo robótico seleccionar que movimientos y hacia donde desplazar las piezas de manera totalmente autónoma.

Lista de referencias

- [1] Popkova, E. G., Ragulina, Y. V., & Bogoviz, A. V. (2019). Fundamental Differences of Transition to Industry 4.0 from Previous Industrial Revolutions. *Studies in Systems, Decision and Control*, 169, 21-29. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94310-7_3
- [2] The First Industrial Revolution - P. M. Deane, Phyllis M. Deane - Google Libros. (n.d.). Retrieved February 19, 2022, from https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=eMBG_soDdNoC&oi=fnd&pg=PA1&dq=first+industrial+revolution&ots=t3KQ9BPCwK&sig=nMaTIwfe4W9EjmYGRc0C4FEZyS4#v=onepage&q=first industrial revolution&f=false
- [3] The Second Industrial Revolution has Brought Modern Social and Economic Developments - Munich Personal RePEc Archive. (n.d.). Retrieved February 19, 2022, from <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/98209/>
- [4] Rosenberg, N. (1998). The Role of Electricity in Industrial Development. *The Energy Journal*, 19(2), 7-24. <https://doi.org/10.5547/ISSN0195-6574-EJ-VOL19-NO2-2>
- [5] Coluccia, D. (2012). The Second Industrial Revolution (late 1800s and early 1900s). *Corporate Management in a Knowledge-Based Economy*, 52-64. https://doi.org/10.1057/9780230355453_4
- [6] Smith, B. L. (2001). The Third Industrial Revolution: Policymaking for the Internet. *Columbia Science and Technology Law Review*, 3. Retrieved from <https://heinonline.org/HOL/Page?handle=hein.journals/cstlr3&id=1&div=&collection=>
- [7] Xu, M., David, J. M., & Kim, S. H. (2018). The Fourth Industrial Revolution: Opportunities and Challenges. *International Journal of Financial Research*, 9(2). <https://doi.org/10.5430/ijfr.v9n2p90>
- [8] Cumincad : CUMINCAD Papers : Paper ecaadesigradi2019_495:Digital Technologies in Latin American Architecture - A Literature Review from the

Third to the Fourth Industrial Revolution. (n.d.). Retrieved February 19, 2022, from http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/2015+dave=2:/Show?ecaadesigradi2019_495

- [9] Lee, J., & Lee, K. (2021). Is the fourth industrial revolution a continuation of the third industrial revolution or something new under the sun? Analyzing technological regimes using US patent data. *Industrial and Corporate Change*, 30(1), 137-159. <https://doi.org/10.1093/ICC/DTAA059>
- [10] Dash, D., Farooq, R., Panda, J. S., & Sandhyavani, K. V. (2019). Internet of Things (IoT): The New Paradigm of HRM and Skill Development in the Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0).
- [11] Sánchez, B. B., Alcarria, R., Sánchez-De-Rivera, D., & Sánchez-Picot, Á. (2016). Enhancing process control in industry 4.0 scenarios using Cyber-Physical systems. *Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications*, 7(4), 41-64. <https://doi.org/10.22667/JOWUA.2016.12.31.041>
- [12] Lele, A. (2019). Industry 4.0. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 132, 205-215. https://doi.org/10.1007/978-981-13-3384-2_13
- [13] Mohamed, M. (2018). Challenges and Benefits of Industry 4.0: an overview. *International Journal of Supply and Operations Management*, 5(3), 256-265. <https://doi.org/10.22034/2018.3.7>
- [14] Albers, A., Gladysz, B., Pinner, T., Butenko, V., & Stürmlinger, T. (2016). Procedure for Defining the System of Objectives in the Initial Phase of an Industry 4.0 Project Focusing on Intelligent Quality Control Systems. *Procedia CIRP*, 52, 262-267. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2016.07.067>
- [15] Kopetz, H. (2011). Internet of Things. 307-323. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8237-7_13
- [16] Ashton, K. (2010). RELA TED C ONTENT RFID-Powered Handhelds Guide Visitors at Shanghai Expo Despite Sluggish Growth, Taiwan's RFID Industry Remains Committed Mobile RTLS Tracks Health-care Efficiency RFID Journal LIVE! 2010 Report, Part 2 That "Internet of Things" Thing. That "Internet of

- Things” Thing-RFID Journal. Retrieved from <http://www.rfidjournal.com/article/print/4986>
- [17] Services and Key Technologies of the Internet of Things. (n.d.). Retrieved February 19, 2022, from <http://zte.magtechjournal.com/CN/Y2010/V8/I2/26>
- [18] Li, B., & Yu, J. (2011). Research and application on the smart home based on component technologies and Internet of Things. *Procedia Engineering*, 15, 2087-2092. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2011.08.390>
- [19] Cyber-physical Systems. (2009).
- [20] CEEOL - Article Detail. (n.d.). Retrieved February 19, 2022, from <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=816595>
- [21] Proctor, A., & Sherwood, P. M. A. (2002). Data analysis techniques in x-ray photoelectron spectroscopy. *Analytical Chemistry*, 54(1), 13-19. <https://doi.org/10.1021/AC00238A008>
- [22] Tashakkori, A., & Teddlie, C. (2015). *SAGE Handbook of Mixed Methods in Social & Behavioral Research*. SAGE Handbook of Mixed Methods in Social & Behavioral Research. <https://doi.org/10.4135/9781506335193>
- [23] *Spatial Data Analysis: Models, Methods and Techniques* - Manfred M. Fischer, Jinfeng Wang - Google Libros. (n.d.). Retrieved February 19, 2022, from <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Pa6q0muVIRYC&oi=fnd&pg=PR3&dq=DATA+ANALYSIS+TECHNIQUES&ots=Kuhq2UKrbb&sig=SNPKpxmQPVo poljB8G8djVFWetQ#v=onepage&q=DATA ANALYSIS TECHNIQUES&f=false>
- [24] *Cloud computing: retos y oportunidades* - Google Libros. (n.d.). Retrieved February 19, 2022, from https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=_fTJXVjOD90C&oi=fnd&pg=PA5&dq=cloud+computing&ots=6IKLNtH0hM&sig=04or8-Zp1wSOqWWjRpMZT4E_3kl#v=onepage&q=cloud computing&f=false
- [25] Iorga, M., Feldman, L., Barton, R., Martin, M. J., Goren, N., & Mahmoudi, C. (2018). Fog computing conceptual model.

<https://doi.org/10.6028/NIST.SP.500-325>

- [26] Khan, W. Z., Ahmed, E., Hakak, S., Yaqoob, I., & Ahmed, A. (2019). Edge computing: A survey. *Future Generation Computer Systems*, 97, 219-235. <https://doi.org/10.1016/J.FUTURE.2019.02.050>
- [27] *Cybersecurity: What Everyone Needs to Know* - Peter W. Singer, Allan Friedman - Google Libros. (n.d.). Retrieved February 19, 2022, from https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=f_lyDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=P1&dq=cybersecurity&ots=Dno0SNCAqk&sig=1DVD0buaoifwDHUL-jKTGjwXqCo#v=onepage&q=cybersecurity&f=false
- [28] *Social Engineering and the Social Sciences in China, 1919-1949* - Yung-chen Chiang - Google Libros. (n.d.). Retrieved February 19, 2022, from <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=IRQFRG808JYC&oi=fnd&pg=PR12&dq=social+engineering&ots=mHLZacRlhC&sig=5kdI4cPioYnHVbp7hx0GXVMqu6A#v=onepage&q=social+engineering&f=false>
- [29] *ACM: Digital Library: Communications of the ACM*. (n.d.). Retrieved February 19, 2022, from https://dl.acm.org/doi/fullHtml/10.1145/1290958.1290968?casa_token=WuWFDxCVZTAAAAAA:ikgovM14Wak8cPK9yxcfxoClWg7smlZU3GEB99xoearQVAOnev4xQA_9Xkx1GFgJ1NmchsO-eq4
- [30] Bilar, D. (2007). Opcodes as predictor for malware. *International Journal of Electronic Security and Digital Forensics*, 1(2), 156-168. <https://doi.org/10.1504/IJESDF.2007.016865>
- [31] *Industrial Organizations and Health* - Google Libros. (n.d.). Retrieved February 19, 2022, from <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=RSYf3uP2QqMC&oi=fnd&pg=PA20&dq=industrial+environment&ots=4cvAkv8TlF&sig=46dK8g2YBs50njJIY9MSYNC5ffo#v=onepage&q=industrial+environment&f=false>
- [32] Li, J., Qiu, J. J., Zhou, Y., Wen, S., Dou, K. Q., & Li, Q. (2020). Study on the reference architecture and assessment framework of industrial internet platform. *IEEE Access*, 8, 164950-164971.

<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3021719>

- [33] Chai, X., Hou, B., Zou, P., Zeng, J., & Zhou, J. (2018). INDICS: An Industrial Internet Platform; INDICS: An Industrial Internet Platform. <https://doi.org/10.1109/SmartWorld.2018.00307>
- [34] Menon, K., Kärkkäinen, H., & Wuest, T. (2017). Role of Openness in Industrial Internet Platform Providers' Strategy. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 517, 92-105. https://doi.org/10.1007/978-3-319-72905-3_9
- [35] Singh, M. (2015). Secure MQTT for Internet of Things (IoT); Secure MQTT for Internet of Things (IoT). <https://doi.org/10.1109/CSNT.2015.16>
- [36] La. (n.d.). PROTOCOLOS TCP/IP DE INTERNET INTERNET: DEL USO MILITAR AL USO CIVIL. Retrieved from <http://www.revista.unam.mx/vol.5/num8/art51/art51.htm>
- [37] Forouzan, B. A. (2003). TCP/IP protocol suite. 942.
- [38] Peshkin, M. A., Colgate, J. E., Wannasuphoprasit, W., Moore, C. A., Gillespie, R. B., & Akella, P. (2001). Cobot Architecture. In *IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS AND AUTOMATION* (Vol. 17). <https://doi.org/10.1109/70.954751>
- [39] Wannasuphoprasit, W., Gillespie, R. B., Colgate, J. E., & Peshkin, M. A. (1997). Cobot Control.
- [40] Zaatari, S. El, Marei, M., Li, W., & Usman, Z. (2019). Cobot programming for collaborative industrial tasks: An overview. *Robotics and Autonomous Systems*, 116, 162-180. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2019.03.003>
- [41] Chen, S., Cisco, T. Z., & Shi, W. (2017). Fog Computing. Retrieved from www.computer.org/subscribe/.
- [42] Ultra-Small Industrial Box PC Features. (n.d.). Retrieved from <https://tegacomindustrial.es/>
- [43] Tabaa, M., Chouri, B., Saadaoui, S., & Alami, K. (2018). Industrial Communication based on Modbus and Node-RED. *Procedia Computer*

- Science, 130, 583-588. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2018.04.107>
- [44] Ferencz, K., Domokos, J., Jubileumi, X., Konferencia, K., & Domokos, J. (2020). Using Node-RED platform in an industrial environment IoT Sensor Data Acquisition and Storage System Using Raspberry Pi and Apache Cassandra View project Using Node-RED platform in an industrial environment. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/339596157>
- [45] Ahmadpanah, M. M., Balliu, M., Hedin, D., Olsson, L. E., & Sabelfeld, A. (2021). Securing Node-RED Applications. Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 13066 LNCS, 1-21. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91631-2_1
- [46] Krishnamurthi, R. (2018). Teaching Methodology for IoT Workshop Course Using Node-RED; Teaching Methodology for IoT Workshop Course Using Node-RED.
- [47] Mishra, B., & Kertesz, A. (2020). The use of MQTT in M2M and IoT systems: A survey. IEEE Access, 8, 201071-201086. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3035849>
- [48] Kashyap, M., Sharma, V., & Gupta, N. (2018). Taking MQTT and NodeMcu to IOT: Communication in Internet of Things. Procedia Computer Science, 132, 1611-1618. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2018.05.126>
- [49] Tantitharanukul, N., Osathanunkul, K., Hantrakul, K., & Khoenkaw, P. (2017). MQTT-Topics Management System for Sharing of Open Data. <https://doi.org/10.1109/ICDAMT.2017.7904935>
- [50] Koziolk, H., Grüner, S., & Rückert, J. (2020). A Comparison of MQTT Brokers for Distributed IoT Edge Computing. Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 12292 LNCS, 352-368. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58923-3_23
- [51] Khujamatov, H., Reypnazarov, E., Khasanov, D., & Akhmedov, N. (2021). IoT,

- IIoT, and Cyber-Physical Systems Integration. *Advances in Science, Technology and Innovation*, 31-50. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66222-6_3
- [52] . (2018). <https://doi.org/10.1109/MCOM.2018.1701177>
- [53] Chi, H., Aderibigbe, T., & Granville, B. C. (2018). A Framework for IoT Data Acquisition and Forensics Analysis; A Framework for IoT Data Acquisition and Forensics Analysis. In *2018 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*. <https://doi.org/10.1109/BigData.2018.8622019>
- [54] Patel, K. K., Patel, S. M., & Scholar, P. G. (2016). Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges. *International Journal of Engineering Science and Computing*. Retrieved from <http://ijesc.org/>
- [55] Berte, D.-R. (n.d.). Defining the IoT. <https://doi.org/10.2478/picbe-2018-0013>
- [56] Asemani, M., Abdollahei, F., & Jabbari, F. (2019). Understanding IoT Platforms: Towards a comprehensive definition and main characteristic description; Understanding IoT Platforms: Towards a comprehensive definition and main characteristic description. In *2019 5th International Conference on Web Research (ICWR)*.
- [57] Marsh, P. (2017). The New Industrial Revolution. <https://doi.org/10.12987/9780300191745>
- [58] Kiel, D., Müller, J. M., Arnold, C., & Voigt, K. I. (2021). Sustainable industrial value creation: Benefits and challenges of industry 4.0. *Digital Disruptive Innovation*, 231-270. https://doi.org/10.1142/9781786347602_0009
- [59] Sehrawat, D., & Gill, N. S. (2019). Smart Sensors: Analysis of Different Types of IoT Sensors; Smart Sensors: Analysis of Different Types of IoT Sensors. In *2019 3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)*.
- [60] Masood, T., & Sonntag, P. (2020). Industry 4.0: Adoption challenges and

benefits for SMEs. Computers in Industry, 121, 103261.
<https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103261>