



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Diseñar e implementar un sistema de Control Computarizado, que controle y monitoree el CIM de las estaciones de Manufactura Aditiva y Sustractiva, para Prácticas de Manufactura, en el Laboratorio CNC de la ESPE Sede Latacunga

Curipallo Peralvo, Claudio Steven

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Trabajo de Integración Curricular, previo a la obtención del título de ingeniero en Mecatrónica

Ing. Acuña Coello, Fausto Vinicio

24 de Febrero del 2023

Latacunga

Reporte de Verificación de Contenidos

Document Information

Analyzed document	TESIS CURIPALLO STEVEN.pdf (D159252722)
Submitted	2023-02-22 16:23:00
Submitted by	Juan Carlos Altamirano
Submitter email	jc.altamiranoc@uta.edu.ec
Similarity	9%
Analysis address	jc.altamiranoc.uta@analysis.orkund.com

Sources included in the report

SA	UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO / TESIS DIAZ ISRAEL.pdf Document TESIS DIAZ ISRAEL.pdf (D159252754) Submitted by: jc.altamiranoc@uta.edu.ec Receiver: jc.altamiranoc.uta@analysis.orkund.com	 13
SA	UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO / TESIS MATEO - CADENA.pdf Document TESIS MATEO - CADENA.pdf (D158941256) Submitted by: jc.altamiranoc@uta.edu.ec Receiver: jc.altamiranoc.uta@analysis.orkund.com	 9
W	URL: http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/979/1/T-ESPE-012488.pdf Fetched: 2023-02-22 16:25:00	 2
W	URL: http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/258/6/T-ESPE-026209.pdf Fetched: 2023-02-22 16:26:00	 2
W	URL: http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/171/6/T-ESPE-027399.pdf Fetched: 2023-02-22 16:26:00	 2
W	URL: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/134783/memoria-tfg-sandra-amadoriano.pdf Fetched: 2023-02-22 16:26:00	 1



Acuña Coello, Fausto Vinicio

C.C.: 0501510267

Director



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: **“Diseñar e implementar un sistema de control computarizado, que controle y monitoree el CIM de las estaciones de manufactura aditiva y sustractiva, para prácticas de manufactura, en el laboratorio CNC de la ESPE Sede Latacunga”** fue realizado por el señor **Curipallo Peralvo, Claudio Steven**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 22 de febrero del 2023

Acuña Coello, Fausto Vinicio

C.C.: 0501510267

Director



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Curipallo Peralvo, Claudio Steven**, con cédula de ciudadanía n°1805382718, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **“Diseñar e implementar un sistema de control computarizado, que controle y monitoree el CIM de las estaciones de manufactura aditiva y sustractiva, para prácticas de manufactura, en el laboratorio CNC de la ESPE Sede Latacunga”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 22 de febrero de 2023

.....
Curipallo Peralvo, Claudio Steven

C.C.: 1805382718



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Autorización de Publicación

Yo, **Curipallo Peralvo, Claudio Steven**, con cédula de ciudadanía n°1805382718, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **“Diseñar e implementar un sistema de control computarizado, que controle y monitoree el CIM de las estaciones de manufactura aditiva y sustractiva, para prácticas de manufactura, en el laboratorio CNC de la ESPE Sede Latacunga”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Latacunga, 22 de febrero de 2023

.....
Curipallo Peralvo, Claudio Steven

C.C.: 1805382718

Dedicatoria

No me equivoco si digo que esta es la parte más bonita de todo trabajo de titulación. Quiero primero dar gracias al todopoderoso, a nuestro padre celestial, a quien nos cuida, nos protege, nos guía y nos ama. A mi madre espiritual, a mi madre del Guayco, quien me devolvió la vida y ahora le doy las gracias por su infinito amor.

Este trabajo se lo dedico a mi familia, a mi soporte, a mi razón de estar aquí y seguir adelante. A quienes confiaron en mí y me ayudaron a que yo crea en mí.

A mi papi, a quien me enseñó a que soy capaz de todo siempre y cuando esté cerca de Dios. Me enseñó que a veces la vida nos da duros golpes, que se reflejarán en lágrimas y tristezas causando que no pueda continuar, la familia será esa mano extendida para seguir hacia delante. Y me enseñó que yo nací para esto.

A mi mami, a la persona que me acompañó tantas malas noches, que fue mi fortaleza en los duros momentos, en los momentos donde todo eran dudas y tristezas, ella fue mi refugio. A mi mami, que siempre me decía "tú puedes mijo, tú lo vas a lograr".

A mis hermanos, a Alexis, quien con sus ocurrencias me enseñó que la vida siempre tiene un lado positivo, que todo con esfuerzo se logra y que lo último que se pierde es la esperanza. A Ronald, quien, con amor, pero con firmeza me dio lecciones de vida, me ayudó a cambiar y rectificar mis pasos. Y finalmente a Christopher, quien fue una fortaleza única, quien me decía que soy su ejemplo y que de grande quería ser como yo, quien con sus palabras levantaba mis ánimos y me decía "puedo hacerlo".

A mis familiares, quienes siempre me brindaron su apoyo y preocupación. A mi querida abuelita, que, con sus besos, sus abrazos fortalecían mi espíritu.

A mis amigos, quienes compartieron alegrías y tristezas, éxitos y fracasos. Quienes son los hermanos que esta cuna del saber me entregó.

A todos quiero decirles, que este no es un logro personal, no lo logré, sino lo logramos, porque todos con mayor o menor influencia formaron a esta persona.

Desde el fondo del corazón, esto es por ustedes y para ustedes.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por la vida, por su protección y guía. Por cuidarme en los complicados y débiles momentos cuando los temores, dolores e inseguridades se querían apoderar de mí.

Quiero agradecer a mi familia, me faltará una y más vidas para agradecerles por todo. Gracias a ustedes soy lo que soy y estoy aquí. Gracias por enseñarme que soy capaz de todo y que solo depende de mí. Gracias papito, mamita, Alexis, Ronald y Christopher, los amo muchísimo. Gracias por ser mi protección, mi soporte, mi razón de seguir adelante.

Gracias a todas las personas que siempre creyeron en mí, que nunca dudaron de mi potencial y de todo de lo que soy capaz.

Gracias ing. Fausto Acuña, usted que ha sido el guía de todo este trabajo, que nos ha enseñado que todo se debe hacer bien desde el inicio y eso nos evita problemas en el futuro. Que las cosas se hacen bien y si no es así, mejor no la hagamos. Gracias por sus enseñanzas que no solo nos servirán ahora, sino en toda nuestra vida.

Gracias a los ingenieros, ustedes que fueron los guías en nuestro camino. Y en especial a aquellos docentes, que no solo son guías académicos, sino guías de la vida. Que con sus enseñanzas nos preparan para afrontar no solo los problemas académicos sino los problemas que la vida nos presenta.

Gracias a mis amigos, de ustedes me llevo una partecita de su forma de ser, me enseñaron a nunca rendirme y que siempre puedo contar con su apoyo en todo momento. No son amigos del momento son amigos para toda una vida.

Gracias a todos, gracias por que lo que soy ahora se los debo a todos ustedes.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	1
Reporte de Verificación de Contenidos	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría.....	4
Autorización de Publicación.....	5
Dedicatoria	6
Agradecimientos	8
Índice de contenidos.....	9
Índice de tablas	11
Índice de figuras.....	12
Resumen.....	14
Abstract.....	15
Capítulo I:Fundamentación Teórica y Estado del Arte	16
Definición de CIM.....	16
Tipos de Sistema CIM.....	17
Sistema de Control de un CIM.....	18
Trabajos Relacionados	19
<i>Control de una celda de un sistema de manufactura integrada por computador-CIM</i>	<i>19</i>
<i>Laboratorio CIM 2000 de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe (Sangolquí)</i>	<i>22</i>
<i>Construcción un prototipo de almacén automatizado integrado con el CIM MPS500 de Festo.</i>	<i>22</i>
<i>Actualización del PLC de un Sistema de Manufactura Integrada por Computador.....</i>	<i>26</i>
<i>Control supervisorio de un robot manipulador industrial mitsubishi melfa utilizando la plataforma LABVIEW.....</i>	<i>28</i>
<i>Proyectos a nivel Nacional.....</i>	<i>31</i>
<i>Comunicación de sistemas de control basados en el estándar IEC 61499, mediante contenedores para la industria 4.0.</i>	<i>31</i>
Línea base del sistema	32
<i>Manipulador Scrobot- ER- 4pc.....</i>	<i>33</i>
<i>Escáner 3D.....</i>	<i>35</i>
Alternativas de Solución.....	35

<i>Alternativas de Solución para el CIM</i>	35
<i>Selección de la alternativa de solución</i>	36
<i>Alternativas de Solución para el Sistema de Control y Monitoreo del CIM</i>	37
<i>Selección de la alternativa de solución</i>	38
Parámetros de Diseño	39
Capítulo II:Diseño y Selección de componentes.....	40
Diseño de la Red de control.....	40
Diseño de la interfaz de control	42
Selección de Componentes	43
<i>Selección del Computador de Control y Monitoreo</i>	43
Capítulo III:Implementación del proyecto.....	45
Router conexión LAN.....	45
Servidor o Broker MQTT de Mosquitto.....	45
Sistema de Control.....	47
Interfaz de Control y Monitoreo.....	51
Capítulo IV:Pruebas y Resultados.....	58
Pruebas de funcionamiento independiente	58
Pruebas de funcionamiento con el CIM.....	61
Validación de la Hipótesis	66
<i>Validación de la Hipótesis Individual</i>	66
<i>Validación de la hipótesis general</i>	68
Capítulo V:Conclusiones y Recomendaciones	71
Conclusiones	71
Recomendaciones	72
Bibliografía	73
Anexos	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Los 5 niveles de un CIM.....</i>	<i>17</i>
Tabla 2 <i>Selección de alternativa de solución para el desarrollo del CIM</i>	<i>36</i>
Tabla 3 <i>Selección de alternativa de solución para el desarrollo del sistema de control y monitoreo del CIM.....</i>	<i>38</i>
Tabla 4 <i>Criterios evaluados para la selección del computador de control.....</i>	<i>44</i>
Tabla 5 <i>Tópicos de envío y recepción de datos para cada estación.....</i>	<i>50</i>
Tabla 6 <i>Tabla de datos y su descripción.....</i>	<i>55</i>
Tabla 7 <i>Evaluación de los parámetros propuestos para la hipótesis individual</i>	<i>67</i>
Tabla 8 <i>Evaluación de los parámetros de la hipótesis general.....</i>	<i>69</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Diagrama de componentes de un CIM</i>	18
Figura 2	<i>Estructura Mecánica del CIM de la Universidad Tecnológica de Pereira</i>	20
Figura 3	<i>Redes Petri para la programación de la celda integrada a un CIM</i>	21
Figura 4	<i>Estructura Mecánica de la estación del almacenamiento</i>	23
Figura 5	<i>Controlador Robo TX</i>	24
Figura 6	<i>Programación en diagramas de flujo para la estación de almacenaje</i>	25
Figura 7	<i>HMI de control y supervisión de la estación</i>	25
Figura 8	<i>CIM de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica</i>	26
Figura 9	<i>Diagrama en bloques Programa robot</i>	28
Figura 10	<i>Diagrama en bloques herramienta principal LabVIEW</i>	29
Figura 11	<i>Programa desarrollado en LABVIEW para el control del robot</i>	29
Figura 12	<i>Comunicación bilateral entre el servidor y el maestro</i>	30
Figura 13	<i>Programa desarrollado en LABVIEW la recepción de datos del servidor</i>	30
Figura 14	<i>Esquema de los dispositivos y comunicación de los mismos</i>	32
Figura 15	<i>Laboratorio CNC de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” Sede Latacunga</i>	33
Figura 16	<i>Manipulador Scorbot- ER- 4pc</i>	34
Figura 17	<i>Sistema de comunicación del CIM</i>	41
Figura 18	<i>Sistema de comunicación con los tópicos de envío y recepción de datos</i>	41
Figura 19	<i>Diseño general de la interfaz de control y monitoreo dividido en áreas</i>	42
Figura 20	<i>Logo de Mosquito</i>	45
Figura 21	<i>Comando para ejecutar y crear el broker</i>	46
Figura 22	<i>Parámetros de configuración del broker</i>	48
Figura 23	<i>Flat Sequense para desactivar inicialmente los botones</i>	49

Figura 24 <i>Secuencia de funcionamiento de la estación de escaneo, brazo robótico y estación de control</i>	51
Figura 25 <i>Programación del Event del timeout</i>	51
Figura 26 <i>Interfaz de Control y Monitoreo</i>	52
Figura27 <i>Apartado de control de conexión con el broker en la interfaz de control</i>	53
Figura 28 <i>programación de un botón dentro de LabVIEW</i>	54
Figura 29 <i>Activación de los indicadores LED por la comparación de valores enviados al sistema de control y monitoreo</i>	54
Figura 30 <i>Envío del dato por la consola de símbolos del sistema</i>	59
Figura 31 <i>Activación de indicador LED en la interfaz de control y monitoreo cuando es recibido el dato del brazo robótico</i>	59
Figura 32 <i>Ejecución del comando para visualizar los datos enviados al broker</i>	60
Figura 33 <i>Obtención de datos enviados por el sistema de control y monitoreo</i>	61
Figura 34 <i>CIM conformado por la estación de control y monitoreo, de escaneo 3D y brazo robótico</i>	61
Figura 35 <i>Secuencia de funcionamiento de la estación de escaneo 3D con los datos que envía y recibe el sistema de control</i>	62
Figura 36 <i>Activación del indicador LED de “Colocación de pieza en el escaner”</i>	62
Figura 37 <i>Brazo robótico recogiendo la pieza del almacén y colocándola en la estación de escaneo 3D</i>	63
Figura 38 <i>Activación de los indicadores LED de Pieza Posicionada y Brazo en reposo</i>	63
Figura 39 <i>Activación del indicador LED Escaner en Proceso y desactivación del LED Pieza Posicionada</i>	64
Figura 40 <i>Estado de los indicadores LED una vez terminado</i>	65
Figura 41 <i>Brazo Robótico colocando pieza después de ser escaneada</i>	65

Resumen

El presente trabajo trata sobre el desarrollo de un sistema de control computadorizado que controla y monitorea un CIM de manufactura aditiva y sustractiva. Este sistema se comunica con las distintas estaciones del CIM mediante el protocolo MQTT, este permite el intercambio de datos mediante distintos tópicos creados para cada una de las estaciones. Se implementa un Broker o servidor denominado Mosquitto desarrollado por la empresa Eclipse, este será el medio de intercambio de datos entre la estación de control y monitoreo con las distintas estaciones de manufactura. Para el sistema e interfaz de control y monitoreo se utiliza el software LabVIEW. Esta potente herramienta de programación facilita el desarrollo de un sistema de control enlazado a una interfaz, además dispone de programas o VI's para conectarse al broker, enviar y recibir datos. La interfaz está dividida por estaciones y se podrá tanto activar, iniciar y detener procesos como visualizar el estado de las estaciones mediante indicadores LED. Este trabajo además permite ser actualizado en el futuro, además de tener la posibilidad de indexar más estaciones, logrando formar un CIM ya no solo de manufactura aditiva y sustractiva, sino que incorpore otros sistemas, como transporte, clasificación, paletizado, control de calidad, entre otros.

Palabras clave: Sistema de control y monitoreo, Protocolo MQTT, CIM, LabVIEW

Abstract

The present work deals with the development of a computerized control system that controls and monitors a CIM of additive and subtractive manufacturing. This system communicates with the different CIM stations through the MQTT protocol, this allows the exchange of data through different topics created for each of the stations. A Broker or server called Mosquitto developed by the company Eclipse is implemented, this will be the means of data exchange between the control and monitoring station with the different manufacturing stations. For the control and monitoring system and interface, the LabVIEW software is used. This powerful programming tool facilitates the development of a control system linked to an interface, it also has programs or VI's to connect to the broker, send and receive data. The interface is divided by stations and it will be possible to activate, start and stop processes as well as view the status of the stations by means of LED indicators. This work also allows it to be updated in the future, in addition to having the possibility of indexing more stations, managing to form a CIM that is not only for additive and subtractive manufacturing but also incorporates other systems, such as transportation, classification, palletizing, quality control, among others. others.

Keywords: Control and monitoring system, MQTT protocol, CIM, LabVIEW

Capítulo I

Fundamentación Teórica y Estado del Arte

Definición de CIM

La automatización que tiene como objetivo reducir la intervención humana en todo tipo de procesos, cada vez se involucra en más campos y la industria no es la excepción. La Manufactura se remonta a varios muchos años atrás, esta ha ido evolucionando con el pasar el tiempo hasta llegar a la incorporación de la automatización dentro de sus procesos. Sus avances tecnológicos progresan a pasos agigantados hasta llegar a lo que en la actualidad se le conoce como la Manufactura Integrada por Computador o por sus siglas CIM.

Existe una gran cantidad de definiciones de la Manufactura Integrada por Computador, en este caso se tomará la siguiente: “CIM es una integración celular de una o varias células de manufactura; que permite que los procesos de manufactura sean flexibles, debido a que las máquinas y elementos de proceso se pueden configurar en diferentes Layout de manufactura, dependiente de la producción planificada, que definen un grupo de máquinas para la realización de las diferentes operaciones de una o varias áreas específicas.” (SIGILFREDO ARREGOCÉS C., 2007)

El CIM tiene varios niveles que se presentan en la tabla 1:

Tabla 1

Los 5 niveles de un CIM

Nivel 4	Gestión global de la empresa mediante computadores.
Nivel 3	Gestión automatizada de la producción de la fábrica mediante computadores
Nivel 2	Gestión automatizada de las células mediante autómatas programables y computadores industriales
Nivel 1	Control de máquinas mediante autómatas programables, sistemas de control numérico (CNC).
Nivel 0	Medidas de variables (mediante sensores) y acciones (mediante actuadores)

Nota. Recuperado del libro de (Enrique Mandado Pérez, 2016)

En este caso se llegará hasta el nivel 3, que comprende la gestión automatizada de la producción. Ya que el nivel del control global de una empresa abarca más parámetros como marketing, contabilidad, etc.

Tipos de Sistema CIM

Los CIM se clasifican por sus tipos dentro de los cuales se detallan 4, esto según la (*Revista ElectroIndustria - Manufactura Integrada por Computador (CIM)*, s. f.).

CIM I. Integración funcional y operativa en los subsistemas de operaciones.

CIM II. Integración entre 2 subsistemas, los cuales son Marketing y Operaciones.

CIM III. Integración interna a un determinado nivel de empresa

CIM IV. El tipo más completo y a su vez complejo, debido a que necesita todos los tipos de integración.

Sistema de Control de un CIM

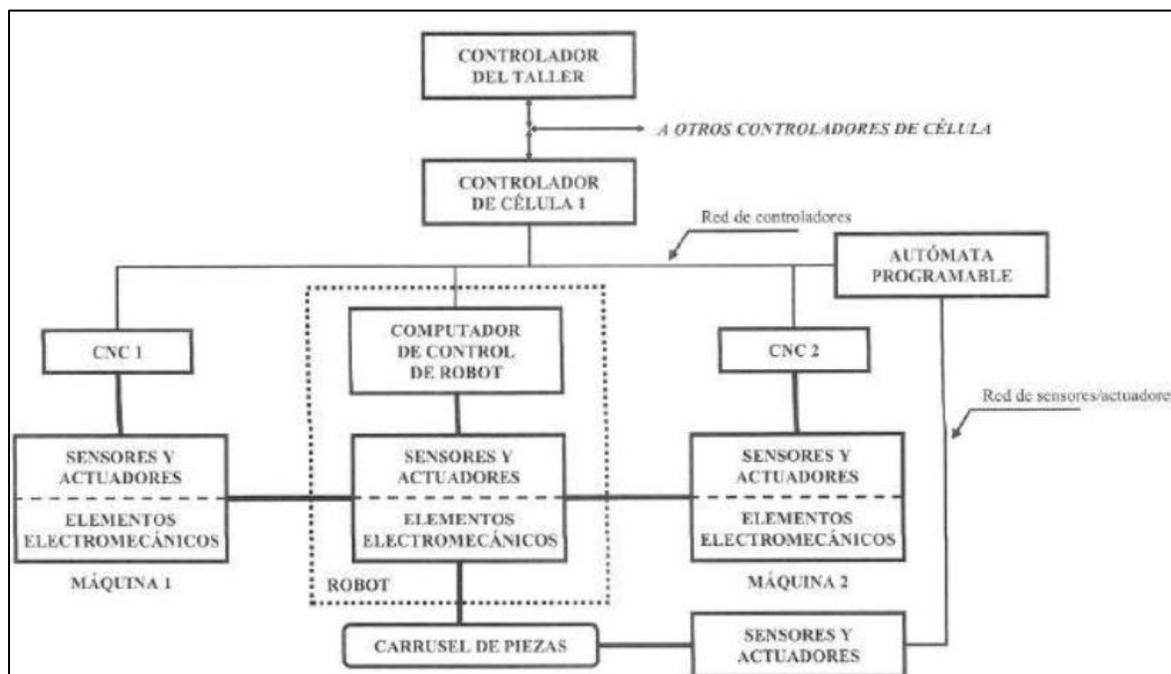
El sistema de control destino para un CIM, debe cumplir las siguientes características:

- Ser un sistema de gestión que asigna cada pieza a la máquina adecuada
- Ser un sistema de planificación y programación de la producción

A continuación, en la figura 1 se presenta un diagrama de los componentes de un sistema de control de un CIM.

Figura 1

Diagrama de componentes de un CIM



Nota. En el gráfico se presenta un diagrama que indica los elementos que componen un ejemplo de CIM, en este caso 2 CNCs y un computador para el control del robot. Recuperado del libro de (Enrique Mandado Pérez, 2016)

Al hablar de la manera en la que se funciona el sistema, las máquinas están compuestas por sensores, actuadores y elementos electromecánicos, como el caso de las CNCs, pero si se trata de un robot, se le añade un computador de control. Estas máquinas estarán controladas u operadas por un controlador, que en este caso se lo define como controlador de la célula. (Enrique Mandado Pérez, 2016)

Trabajos Relacionados

Proyecto a nivel Latinoamericano

A nivel de Latinoamérica, se encontró varios trabajos desarrollos en su mayoría en Colombia y México.

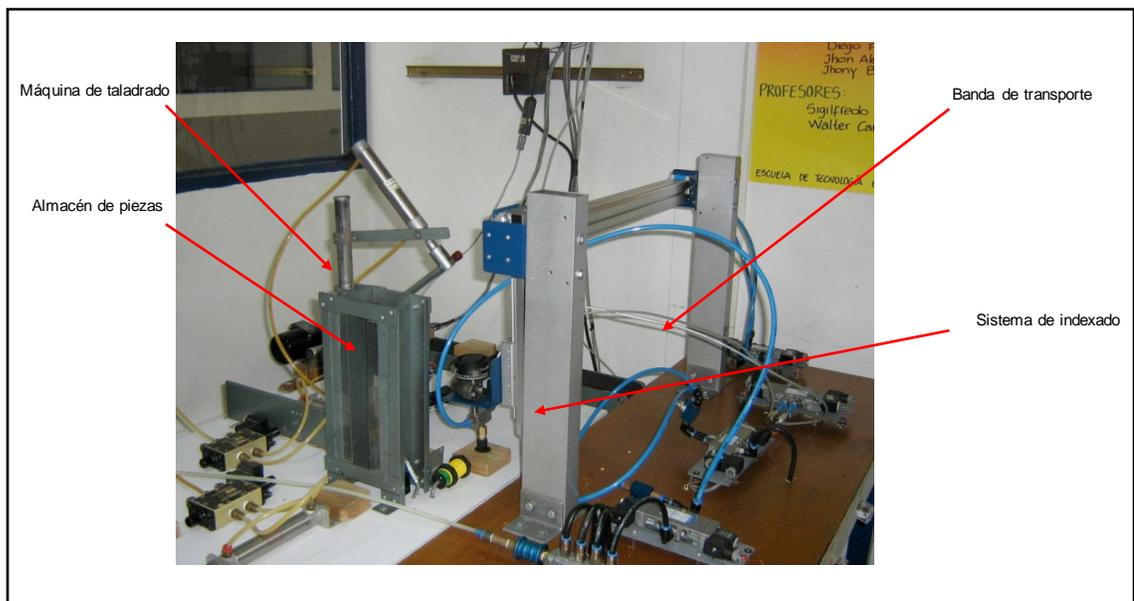
Control de una celda de un sistema de manufactura integrada por computador-CIM

Descripción del CIM

La Universidad Tecnológica de Pereira (Colombia) desarrolló un Control de una celda de un sistema de manufactura integrada por computador-CIM (SIGILFREDO ARREGOCÉS C., 2007). Este está es de nivel 2 ya que se trata de una automatización de una célula mediante autómatas programables. Está conformada por máquina taladradora, un sistema productor, un almacén de piezas y una banda transportadora, como se observa en la figura 2

Figura 2

Estructura Mecánica del CIM de la Universidad Tecnológica de Pereira



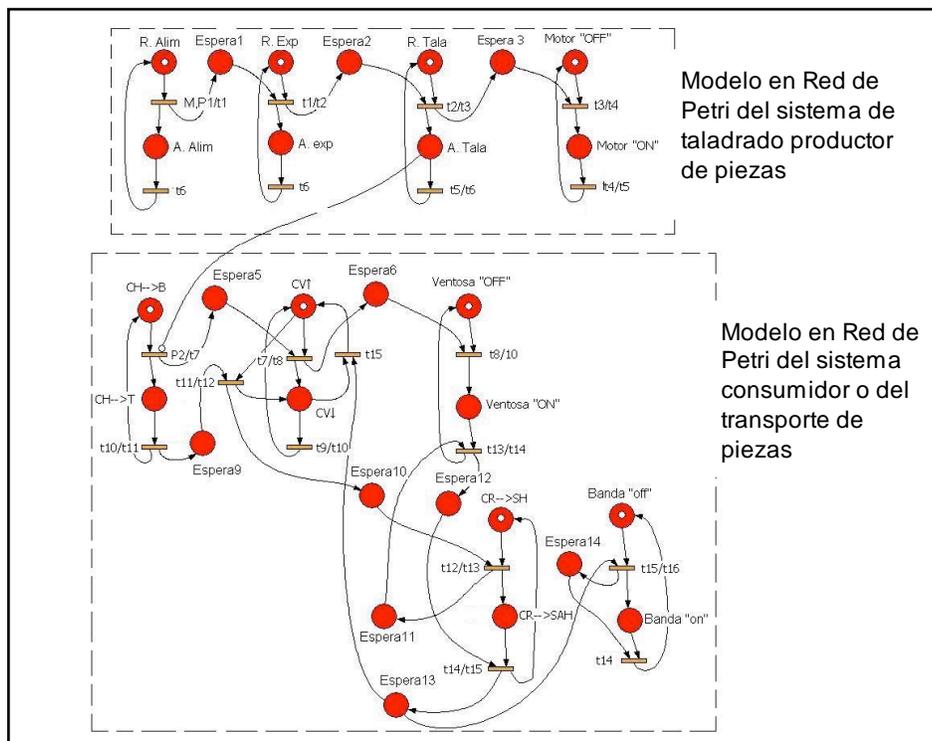
Nota. Tomado de (SIGILFREDO ARREGOCÉS C., 2007)

Sistema de Control del CIM

Para la parte de control utilizaron Redes Petri, estas redes son utilizadas para sistemas de evolución ya sea para eventos en paralelos o concurrentes. Para la creación de las redes, agruparon los procesos en 2 subgrupos. El uno llamado productor de piezas que agrupa el proceso de taladro y el otro grupo llamado consumidor de piezas, este corresponde al proceso de transporte como se puede apreciar en la figura 3 expuesta a continuación.

Figura 3

Redes Petri para la programación de la celda integrada a un CIM



Nota. Tomado de (SIGILFREDO ARREGOCÉS C., 2007)

Este es el gráfico de la Red Petri de control con las 2 subredes. El bloque superior al proceso de taladrado que contiene órdenes para encendido y apagado del motor de la herramienta, desplazamiento de las bandas. Etc. El bloque inferior corresponde al proceso de la banda de transporte comprende el encendido de los motores de las bandas y los tiempos de espera entre ellas. (SIGILFREDO ARREGOCÉS C., 2007)

Laboratorio CIM 2000 de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe (Sangolquí)

Descripción del proyecto

La Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” con un objetivo claro de emular labores determinadas en los procesos de manufactura integrada por computador decide instalar un CIM en el año 1995 (Calvache & Lopez, 2009). A este se lo conocía como el CIM 2000 está conformado por varias estaciones, a continuación se enlista todas:

- Estación de control central (CS)
- Estación de almacenamiento y recuperación automático (ST-2000)
- Sistema de fabricación flexible (FMS-2101)
- Sistema de fabricación flexible (FMS-2200)
- Estación de control de proceso (PS-2800)
- Estación de calidad y visión (VI-2000)
- Estaciones de montaje hidráulico robótico (HYD-2800)
- Conveyor

Esta un CIM que para el tiempo en el cual se realizó disponía de una gran cantidad de estaciones. (Aldáz, 2007).

Construcción un prototipo de almacén automatizado integrado con el CIM MPS500 de Festo.

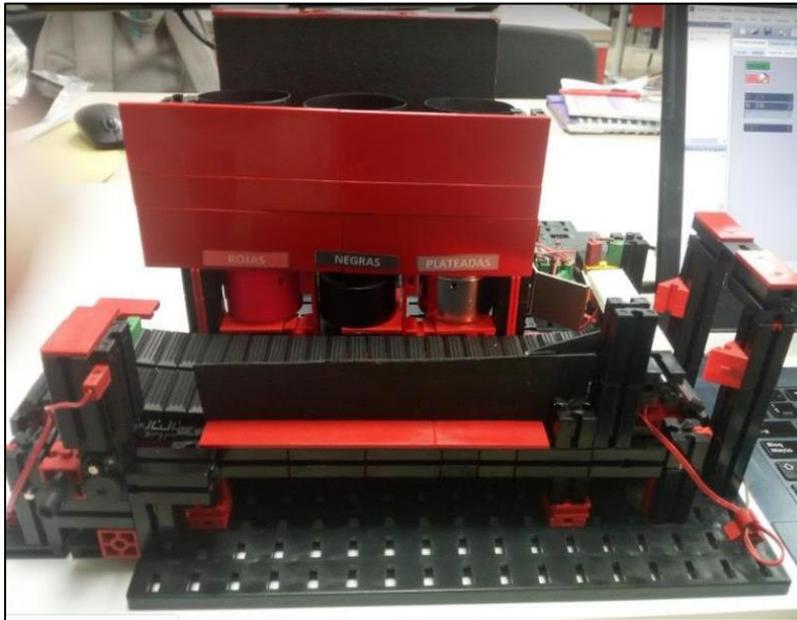
Descripción del CIM

La fundación Universitaria “Los Libertadores” en 2019 construyó un prototipo de almacén automatizado integrado con el CIM MPS500 de Festo (Cortes, 2019). Este proyecto está destinado a crear una estación adicional a un CIM comercial de Festo. Su prototipo final se

presenta en la Figura 4 y almacena 3 tipos de piezas. Al tratarse de control con autómatas programables se trata de un CIM de nivel 1.

Figura 4

Estructura Mecánica de la estación del almacenamiento



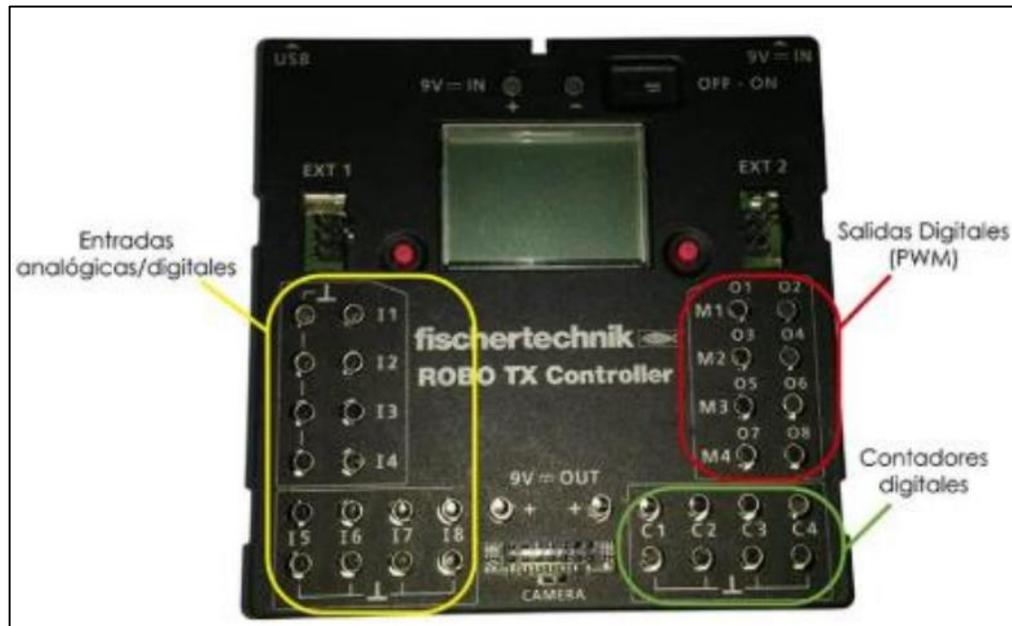
Nota. Tomado de (Cortes, 2019)

Sistema de Control del CIM

Para programar esta estación se utilizó un controlador ROBO TX Controller (Cortes, 2019). Como se observa en la figura 5, es un módulo al que se le puede añadir entradas tanto analógicas, como digitales, salidas y contadores digitales. La elección del tipo de controlador hablado en el proyecto se debe a que tiene un procesador ARM9, que está dedicado para aplicaciones de baja potencia.

Figura 5

Controlador Robo TX

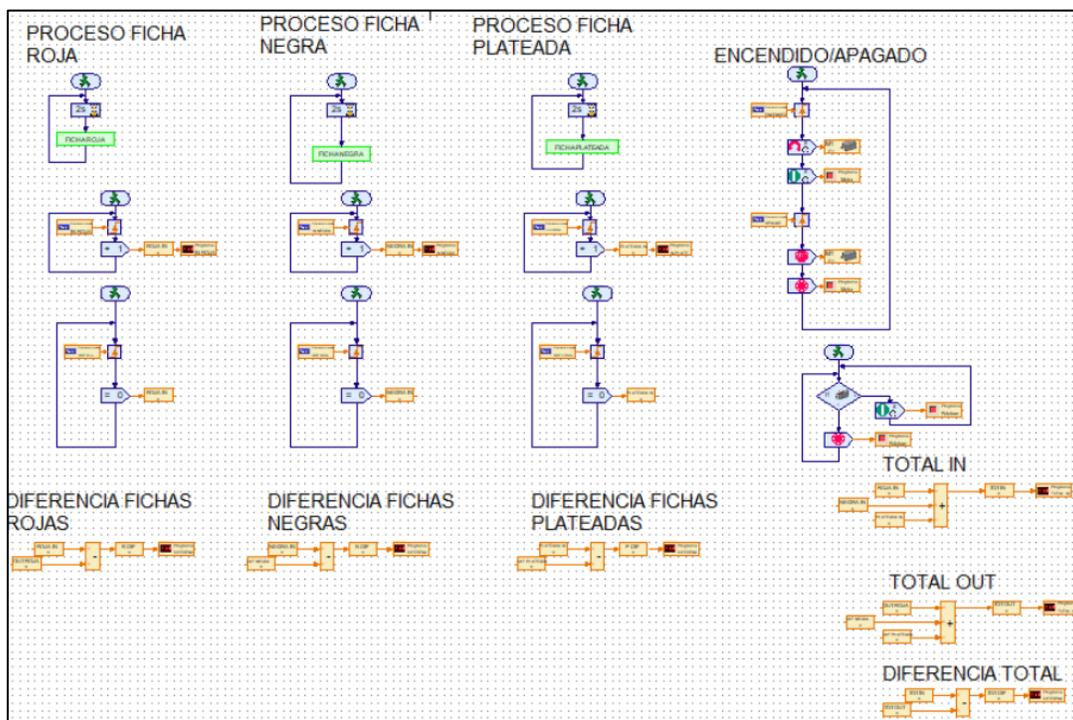


Nota. Tomado de (Cortes, 2019)

Para crear la interfaz de control y la ordenes que recibirá, lo realizaron con el software Robo Pro. El beneficio del mismo es que se puede programar la secuencia de funcionamiento como un diagrama de flujo como se indica en la figura 6, además de permitir realizar un HMI de control y supervisión del proceso que se aprecia en la figura 7.

Figura 6

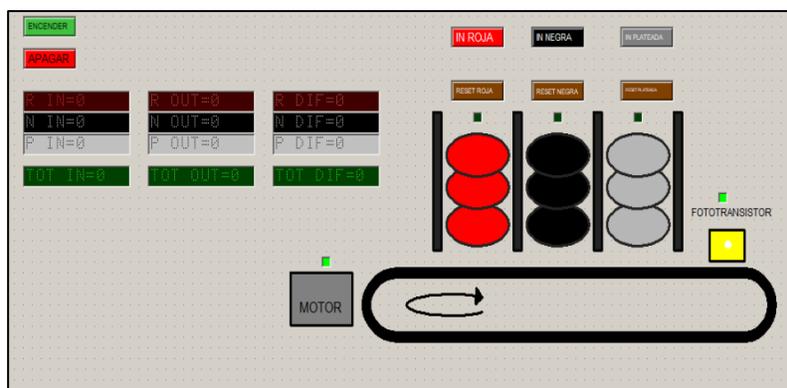
Programación en diagramas de flujo para la estación de almacenaje



Nota. Tomado de (Cortes, 2019)

Figura 7

HMI de control y supervisión de la estación



Nota. Tomado de (Cortes, 2019)

Actualización del PLC de un Sistema de Manufactura Integrada por Computador

Descripción del CIM

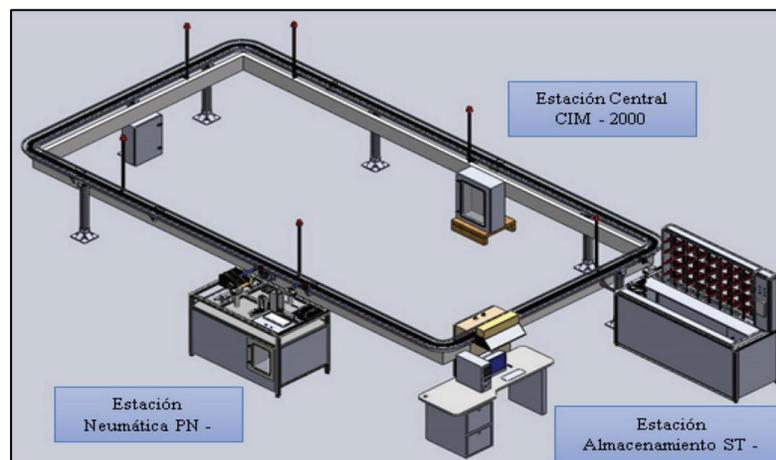
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional (México) desarrolló el proyecto de Actualización del PLC de un Sistema de Manufactura Integrada por Computador (Ivone Cecilia Torres Rodríguez, 2018). El CIM que disponen está conformado 3 estaciones:

- Estación de control central
- Estación de almacenamiento
- Estación neumática

La distribución de este CIM se observa en la figura 8. Para el control del CIM se utiliza tanto autómatas programables y computadores para células de manufactura por lo cual se lo agrupa en un CIM de nivel 2.

Figura 8

CIM de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica



Nota. Tomado de (Ivone Cecilia Torres Rodríguez, 2018)

Sistema de Control del CIM

El control del CIM está dividido por partes, la primera que es la encargada del control total y está compuesto de 3 tres Controladores Lógicos Programables (PLC) de la familia Modicon Compact 984 ya discontinuados, y dos computadoras para la programación y monitoreo del sistema. La segunda parte está destinada para el control de la estación neumática, esta estación es la encargada de alimentar el sistema de manufactura, con base en una orden preparada en la estación central de control CIM-2000, esta área no es la responsable del funcionamiento directo sobre ella, solo es responsable de coordinar el orden de operación entre las estaciones (System, 1994). La última estación que está destinada al almacenamiento de piezas y de material, ubica productos terminados y material no trabajado en sus celdas (System, 1994). Si en algún momento un elemento es llamado a una estación del sistema, y si la estación no está lista, el vagón es almacenado en la celda más cercana y disponible de la estación de almacenamiento.

Los PLC nombrados fueron reemplazados por unos de la marca Allen Bradley. Un CompactLogix 5370 L3 para la estación de control y un CompactLogix 5370 L2 para las estaciones neumática y de almacenamiento, como lo detalla (Ivone Cecilia Torres Rodríguez, 2018).

Para realizar la comunicación, se diseñó una red Local Ethernet tipo estrella, este protocolo más conocido como red Ethernet/IP y es la mejor opción cuando se requiere comunicar PLCs. Además, la tipología estrella permite que solo se necesite un enlace y un puerto de entrada/salida para conectarse a cualquier número de dispositivos

Control supervisorio de un robot manipulador industrial mitsubishi melfa utilizando la plataforma LABVIEW

Descripción del proyecto

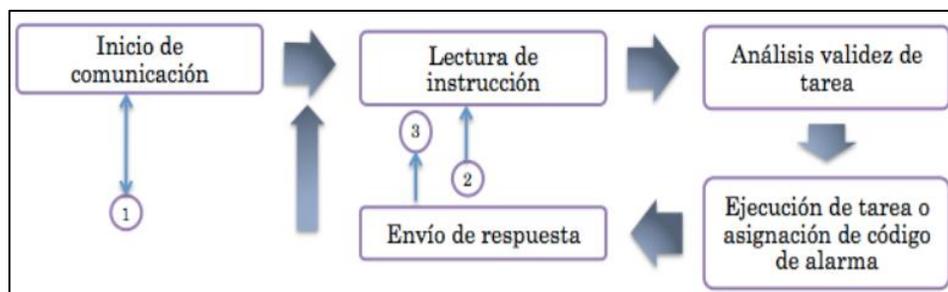
La Pontificia Universidad Javeriana de Colombia dispone del Centro Tecnológico de Automatización Industrial en el cual dispone de una celda de manufactura integrada por un almacén de materia prima y producto terminado, una estación de mecanizado, una banda transportadora y un robot manipulador industrial fabricación Japonesa Mitsubishi MELFA serie RV-2A. (Peña, 2012)

Sistema de Control del CIM

Para el control se desarrolló de dos programas conjuntos de ejecución simultánea, uno en el robot como se observa en la figura 9 y otro un instrumento virtual desarrollado en LabVIEW comunicados vía TCP/IP haciendo uso de las instalaciones actuales en el sistema de manufactura que se presenta en la figura 10.

Figura 9

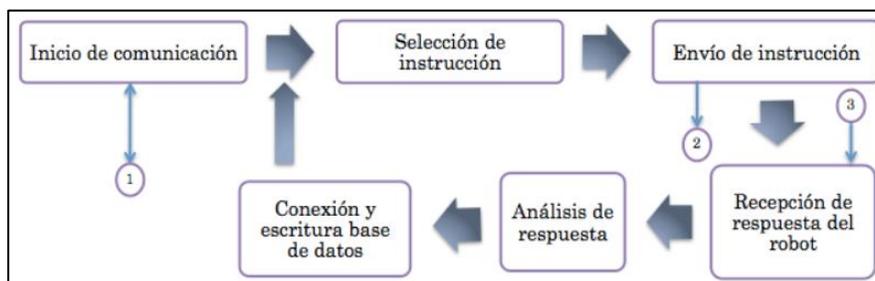
Diagrama en bloques Programa robot



Nota. Tomado de (Peña, 2012)

Figura 10

Diagrama en bloques herramienta principal LabVIEW

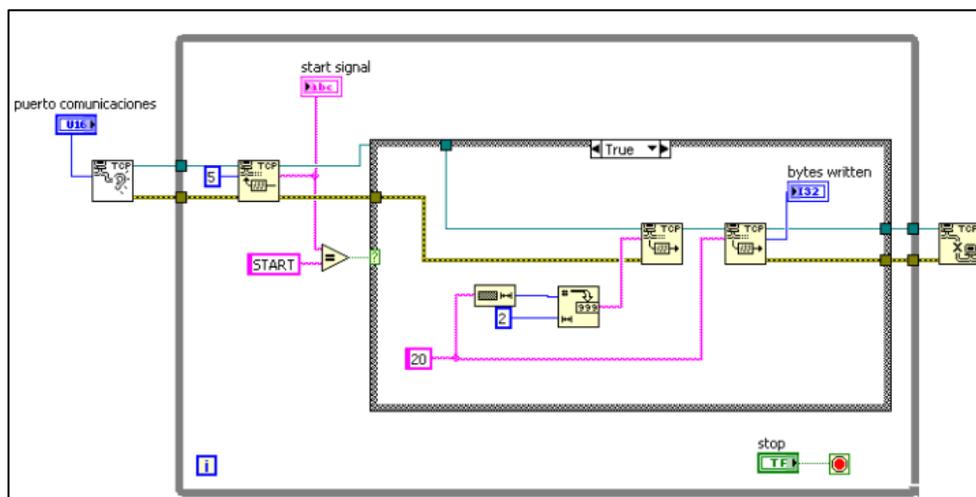


Nota. Tomado de (Peña, 2012)

Primero se desarrolla un servidor en LABVIEW, en cual servirá como nodo de comunicación con los distintos equipos. Después se desarrolla un programa para el control y comunicación con el brazo robótico. La figura 11 nos presenta el programa desarrollado para el brazo robótico

Figura 11

Programa desarrollado en LABVIEW para el control del robot

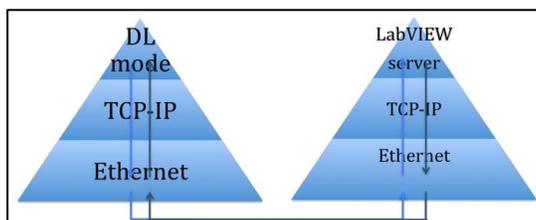


Nota. Tomado de (Peña, 2012)

El tipo de protocolo de comunicación a utilizarse es el TCP/IP ya que se puede realizar el intercambio de datos con los distintos dispositivos. Este es más fácil de apreciarlo en la figura 12.

Figura 12

Comunicación bilateral entre el servidor y el maestro

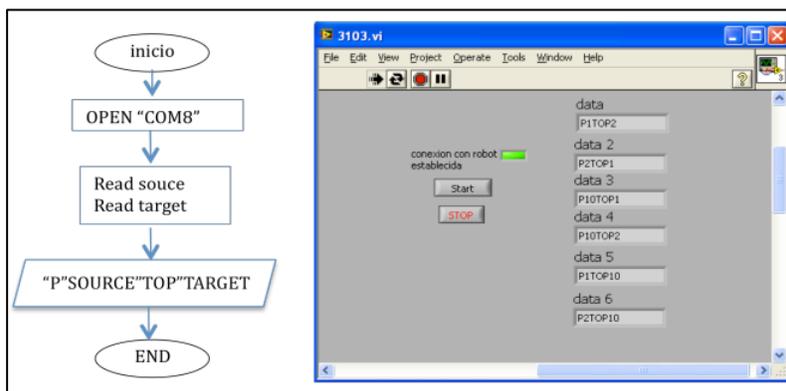


Nota. Tomado de (Peña, 2012)

Ya al tener establecida la comunicación, con un programa en LABVIEW se verifica que existe el envío y recepción de los datos. La figura 13 nos presenta el diagrama de flujo de la comunicación y como recibe los datos enviados al servidor.

Figura 13

Programa desarrollado en LABVIEW la recepción de datos del servidor



Nota. Tomado de (Peña, 2012)

Proyectos a nivel Nacional

Comunicación de sistemas de control basados en el estándar IEC 61499, mediante contenedores para la industria 4.0.

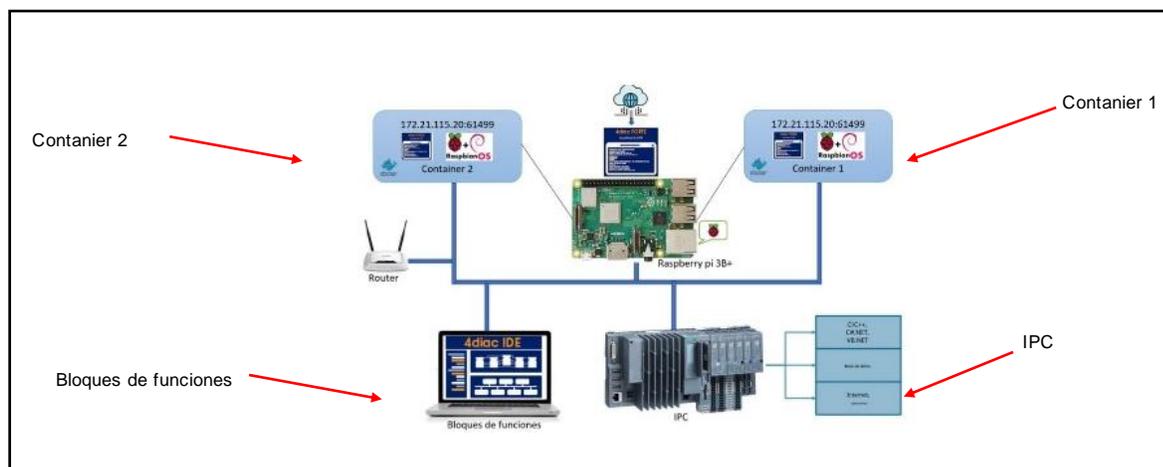
Descripción del proyecto

Un grupo de estudiantes de la Universidad Técnica de Ambato desarrolló un proyecto de comunicación de para el control de sistemas que tiene como base el estándar IEC 61499, funciona a través de contenedores digitales y está destinado a la industria 4.0. Se trata de un sistema compuesto por 4 estaciones, un computador industrial de la marca siemens, una tarjeta de desarrollos raspberry y 2 contenedores que tienen la información de los procesos automatizados, estos dispositivos se los puede observar en la figura 14. Para el sistema de control utilizan el software 4Diac ide.

Como este trabajo está basado en el estandar 61499, les permite tener un sistema de control más robusto, confiable y seguro, además el trabajar con contenedores elimina depender de un controlador lógico, es decir, que, si en algún momento falla o sufre un daño, el proceso continúe.

Figura 14

Esquema de los dispositivos y comunicación de los mismos



Nota. Tomado de (Chimborazo Chugchilan Walter Lizardo, 2022)

Línea base del sistema

El laboratorio CNC de la Universidad de las fuerzas Armadas “ESPE” extensión Latacunga, es un sitio donde los estudiantes de las distintas carreras realizan prácticas de diversas asignaturas relacionadas a los procesos de manufactura, como se puede observar en la figura 15.

Figura 15

Laboratorio CNC de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" Sede Latacunga



Nota: Tomado de (Díaz & Mañay, 2017)

En este lugar también se han desarrollados varios proyectos de titulación. Como punto de partida podemos analizar lo realizado por (Chiliquinga y Jara, 2017) en su trabajo "Diseño e implementación de una celda de manufactura flexible de orden aleatorio y distribución en línea con control de calidad para prácticas de FMS en el Laboratorio de CNC". Ellos desarrollaron esta celda que está controlada por un computador, conectado a un controlador en este caso un Arduino uno y este se encargaría que enviar y recibir señales de los actuadores y sensores respectivamente.

Para el presente trabajo se utilizarán los siguientes equipos disponibles en el laboratorio CNC:

Manipulador Scorbot- ER- 4pc

El laboratorio de CNC dispone de un brazo robótico Scorbot ER-4pc que actualmente en el se encuentra instalado un sistema de suelda y corte. Este brazo robótico será una de las estaciones que conforman el CIM.

Este equipo utiliza el software ScorBase para la programación y control, adicional consta de RobotCell 3D para el diseño, creación y control simulado de células de aplicaciones industriales, su controlador es un microcomputador cuya alimentación es de 24 VCD para la alimentación de los actuadores como los motores, eje 7 y eje 8, una salida de 12 V a 0.1 A Max, 8 puertos de entrada digital y 8 de salida digital 4 de ellos con Relay y 4 de colector abierto, 4 puertos de entradas analógicas y 2 puertos de salidas analógicas y un botón de paro de emergencia (López Aimacaña & Páez Salas, 2021). El modelo del robot se observa en la figura 16.

Figura 16

Manipulador Scrobot- ER- 4pc



Nota. Tomado de (Díaz & Mañay, 2017)

Escáner 3D

El laboratorio de CNC dispone de un escáner 3D con el cuál se puede escanear piezas o elementos de una cierta dimensión. Es un escáner 3D rotativo laser por principio de triangulación. El dispositivo es capaz de interpretar colores y formas obteniendo una resolución de 0.5mm. Su operación puede ser ejecutada en un ambiente entre 6 – 1200 luxes, pero su mejor desempeño se consiguió entre 100 – 120 luxes. Permite la digitalización de solidos con alta precisión.

Con respecto a sistemas computarizados de control y monitoreo de estaciones de manufactura, no se ha encontrado máquinas que dispongan de este sistema.

Alternativas de Solución

Alternativas de Solución para el CIM

Basándome en la información recopilada en (Ivone Cecilia Torres Rodríguez, 2018) y (SIGILFREDO ARREGOCÉS C., 2007) se determina 2 alternativas de solución para el CIM:

1. Alternativa 1 para el CIM: Un sistema CIM de nivel 2 que está específicamente diseñado para el aprendizaje relacionado con los procesos de manufactura. Este está conformado por distintas estaciones de trabajo autónomas e indexadas al CIM. Dispondrá de un sistema manipulación mediante un brazo robótico que se trasladará sobre un riel. Las estaciones estarán ubicadas a lo largo del riel a una distancia determinada para que el manipulador pueda interactuar con las mismas. Como se trata de un CIM de nivel 2 estará controlado por autómatas programables o computadores industriales.
2. Alternativa 2 para el CIM: Basándonos específicamente en el trabajo realizado por (Ivone Cecilia Torres Rodríguez, 2018) se propone un CIM de nivel 2 con un sistema de transporte mediante una banda transportadora que manera rectangular en un ciclo cerrado con las estaciones de manufactura dispuestas en el exterior de la banda. No

dispondrá de un sistema de manipulación general, sino que cada estación tendrá un sistema independiente. Estará controlada por autómatas programables específicamente PLCs tanto para las estaciones de manufactura como para la estación de control.

Selección de la alternativa de solución

Para esta selección de la alternativa de solución para el CIM, se tendrán en cuenta los parámetros necesarios para cumplir con los requerimientos del proyecto, los cuales se detallan a continuación:

- Aprendizaje de los estudiantes
- Sistema de transporte
- Tipo de Controlador
- Distribución de los equipos

Estos parámetros se ponderarán de 1 al 5, siendo 1 Insatisfactorio, 2 Regular, 3 Bueno, 4 Muy bueno y 5 Excelente.

Tabla 2

Selección de alternativa de solución para el desarrollo del CIM

Criterios por evaluar	Alternativa de solución 1	Alternativa de solución 2
Aprendizaje de los estudiantes	5	4
Sistema de transporte	3	3
Tipo de Controlador	5	3
Distribución de los equipos	5	3
Total	18	13

Como resultado de los criterios ponderados en la tabla 2, se determina que la alternativa 1 es la ganadora porque cumplir de mejor manera los parámetros. La justificación en el apartado 1 es que por el tipo de CIM y su forma, es más interactivo la primera opción con respecto a la segunda. En la distribución de los equipos, al analizar las 2 opciones, la primera tiene una mayor ponderación porque optimiza la utilización del espacio. Una de las diferencias más importantes está en el tipo de transporte dentro del CIM, la opción 1 dispone de un manipulador robótico general que se traslada sobre un riel horizontal y la otra, cada estación dispone de un sistema de manipulación con una banda transportadora central, por lo cual es más factible es solo tener un sistema de transporte general con la finalidad reducir complicaciones o complejidades. Este último apartado está relacionado en parte con el sistema de transporte, ya que entre más sistemas de transporte exista, mayor cantidad de controladores se necesitan, además un parámetro implícito es el costo general, por lo cual utilizar computadores en lugar de autómatas programables reduce gastos ya que el laboratorio dispone de varios computadores.

Alternativas de Solución para el Sistema de Control y Monitoreo del CIM

Para el sistema de control y monitoreo se propone las 2 siguientes alternativas de solución:

1. Esta propuesta se toma como referencia el trabajo desarrollado por (Peña, 2012). Por lo cual se propone un sistema comunicación de mediante un protocolo TCP/IP. Con un sistema de control y monitoreo con la utilización de un servidor que será el punto de intercambio de datos entre las distintas estaciones. La programación y el HMI se desarrollará en el software Lab View.
2. Con referencia al trabajo desarrollado por (Ivone Cecilia Torres Rodríguez, 2018), se propone sistema de comunicación mediante ethernet industrial. Para controlar las

estaciones se utilizará un PLC por estación y con un HMI desarrollado en un software un TIA Portal o Intouch.

Selección de la alternativa de solución

Para esta selección de la alternativa de solución para el sistema de control y monitoreo, se tendrán como criterios a evaluar principalmente los que estén relacionados con el sistema de comunicación. Los mismos se detallan a continuación:

- Protocolo de comunicación
- Sistema de Control
- Interfaz de control

Estos parámetros se ponderarán de 1 al 5, siendo 1 Insatisfactorio, 2 Regular, 3 Bueno, 4 Muy bueno y 5 Excelente.

Tabla 3

Selección de alternativa de solución para el desarrollo del sistema de control y monitoreo del CIM

Criterios por evaluar	Alternativa de solución 1	Alternativa de solución 2
Protocolo de comunicación	5	3
Sistema de Control	5	4
Interfaz de control	4	2
Total	14	9

Ya ponderar todos los criterios se determina una alternativa ganadora que se observa en la tabla 3. En el primer apartado la alternativa 1 tiene una ponderación superior ya que el protocolo de comunicación TC/IP permite una mejor comunicación entre equipos que estén

conectados a una red. Con respecto al sistema de control, el primero requiere de computadores que ya dispone el laboratorio mientras que el segundo implica un gasto en la adquisición de autómatas programables, añadiendo que para el control y monitoreo se necesita una pantalla donde se encontrará el HMI. Al tratar el último apartado para el desarrollo del HMI de control, LabVIEW es un software que dispone de muchas herramientas que permitirán el desarrollo de una interfaz de control interactiva para los estudiantes.

Parámetros de Diseño

Para el trabajo realizado se debe tener en consideración los siguientes parámetros para el diseño del sistema de control y monitoreo:

- El router que será el punto de conexión global, debe tener una cantidad suficiente de puertos para enlazar todas las estaciones del CIM
- El servidor debe tener la capacidad de procesar datos booleanos y numéricos
- La computadora de control debe tener el procesador y la memoria adecuada para desarrollar del programa de control y el HMI
- El protocolo de comunicación debe tener una velocidad de envío y recepción de datos lo suficientemente rápida pero confiable para que no exista pérdida de datos

Capítulo II

Diseño y Selección de componentes

Diseño de la Red de control

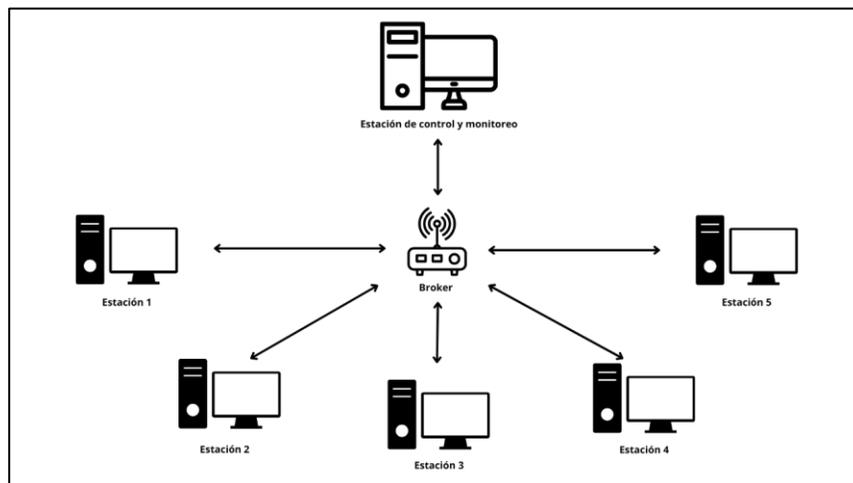
Para el diseño de la red de control, como se determinó anteriormente se utilizará el protocolo de comunicación MQTT. Este protocolo tiene grandes ventajas, pero la principal es que se adapta a una gran cantidad de lenguajes de programación. Esto permite reducir las limitaciones de comunicación con las distintas estaciones del CIM.

La red contará con servidor central o también llamado Broker que funcionará como punto de conexión para el intercambio de datos entre las estaciones de manufactura y la estación de control – monitoreo. Los datos se envían a través de canales de comunicación, en MQTT se los conoce como tópicos a los que se pueden suscribir (recibir información) y publicar (enviar información). Para este trabajo cada estación de manufactura tendrá su tópico, lo que permite tener un mejor control de la información enviada y recibida.

En la figura 17 se indica la manera de comunicación donde el Broker como anteriormente explicado es el punto de conexión entre las distintas estaciones de manufactura y la estación de control – monitoreo.

Figura 17

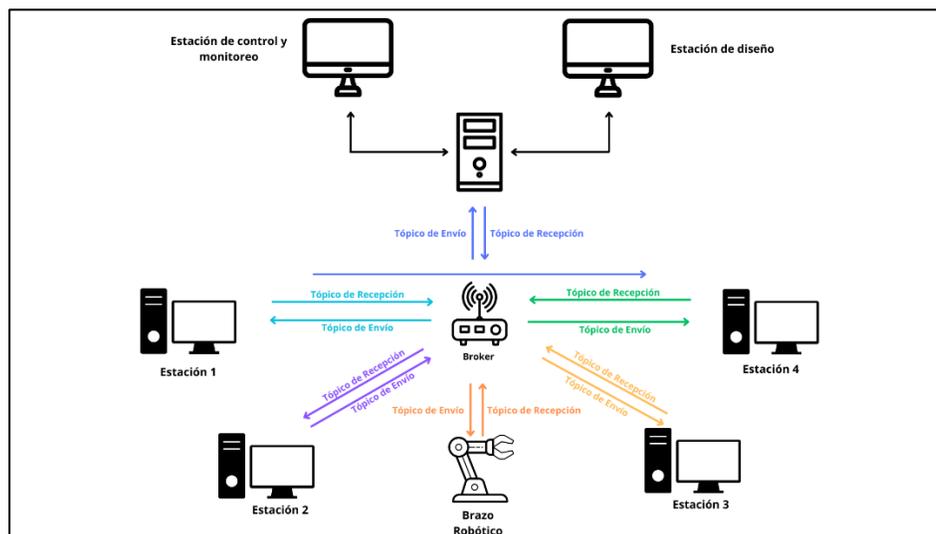
Sistema de comunicación del CIM



Ahora, como se habló anteriormente, existen tópicos para el envío y recepción de datos, aplicando esto a la figura anterior, se tiene como resultado la figura 18, donde se presentan las estaciones con las diferentes tópicos de transporte de dato, además se incorpora el brazo robótico para un acercamiento al diseño propuesto

Figura 18

Sistema de comunicación con los tópicos de envío y recepción de datos



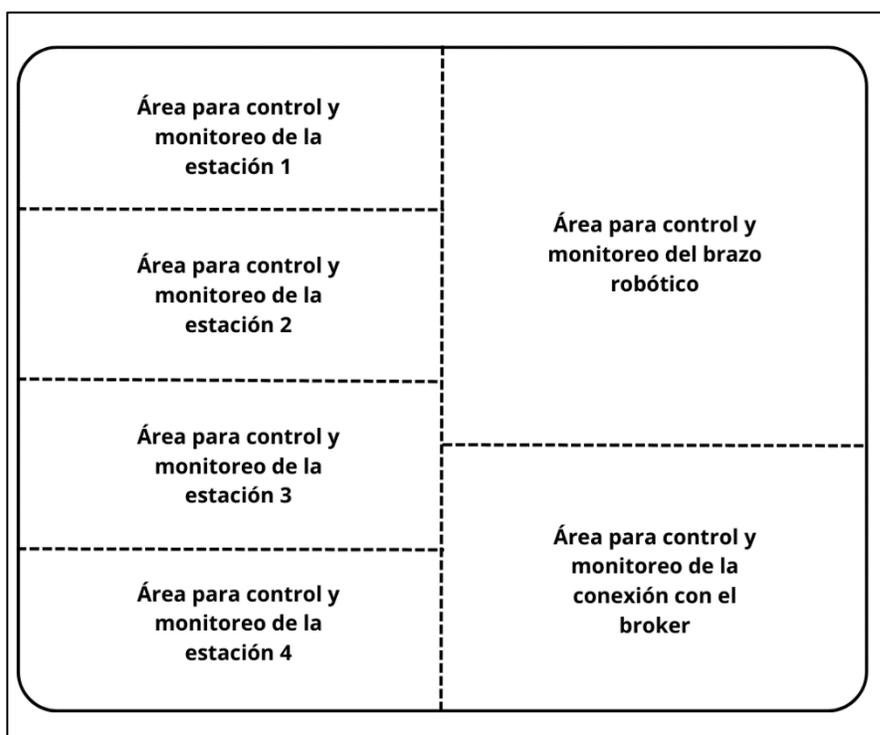
Diseño de la interfaz de control

Para la interfaz de control se utilizará el software LabVIEW. Este software tiene complementos que le permiten trabajar con el protocolo de comunicación MQTT.

Esta interfaz dispondrá de un panel de control y un panel de monitoreo donde se podrá activar las distintas estaciones, observar mediante indicadores led el estado de las mismas. En la figura 19 se muestra la posible distribución de la interfaz de control y monitoreo. Definiendo áreas para cada estación, así como para el brazo robótico y la conexión con el broker.

Figura 19

Diseño general de la interfaz de control y monitoreo dividido en áreas



Selección de Componentes

Para la selección de componentes se evalúa las alternativas con un valor numérica del 1 al 5, representado el 1 un nivel Insatisfactorio, 2 Regular, 3 Bueno, 4 Muy bueno y 5 Excelente. En el caso de este proyecto, se evaluará el siguiente componente:

- Computador de Control y Monitoreo

Selección del Computador de Control y Monitoreo

Para la selección del computador para la estación de control y monitoreo, se tiene en cuenta varios parámetros, que se detallan a continuación:

- Uno de los más importantes es que cumpla con los prerequisites para la instalación del software LabVIEW.
- Debe disponer de una tarjeta de red con conexión WIFI para poder conectarse a la red y comunicarse con el broker.
- Debe tener la capacidad de memoria necesaria para efectuar las 2 ejecutar necesarias, tanto la creación el broker como ejecutar el sistema de control y monitoreo.

Con lo cual se presenta 2 alternativas para la selección del computador, esas alternativas son las siguientes:

- Computador del laboratorio CNC, dentro del laboratorio CNC de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga se encuentra un computador, el cual se utiliza para realizar prácticas y que dispone de los controladores de los proyectos disponibles dentro del laboratorio. Con respecto a sus especificaciones, tiene un procesador i7 de 4° generación con 8 gb de ram, un sistema operativo Windows 7 y no dispone de una tarjeta de red.
- Computador comercial con especificaciones i7 de 4° generación con 4 gb de ram, sistema operativo Windows 10 y dispone de una tarjeta de red con conexión wifi

Tabla 4*Criterios evaluados para la selección del computador de control*

Criterio a evaluar	Alternativa de computador 1	Alternativa de computador 2
Prerrequisitos de LabVIEW	0	5
Disponibilidad de conexión a la red	2	5
Capacidad para ejecutar varios procesos	4	4
Total	6	14

De las calificaciones obtenidas para las 2 alternativas, da como ganadora la 2° ya que sistema de Windows 10, un requisito primordial para la instalación del software LabVIEW, Windows 7 ya no es compatible con este. Además el no disponer de una tarjeta de red con la cual conectarse a la red y al broker, lo limita y no permitiría el desarrollo del proyecto. Finalmente, el último parámetro por su capacidad de memoria ram, las 2 pueden ejecutar procesos de manera simultánea.

Capítulo III

Implementación del proyecto

Router conexión LAN

Como se trató anteriormente, el router es el punto de conexión entre las distintas estaciones. Este se le configura tanto el Nombre de la red como la clave de conexión ya que lo que desea es una red cerrada en la cual solo las estaciones tengan acceso.

Servidor o Broker MQTT de Mosquitto

Figura 20

Logo de Mosquitto



La implementación se inicio por el pilar fundamental del proyecto, disponer de un sistema de comunicación entre las distintas estaciones. En este se utilizó el broker gratuito desarrollado por Eclipse llamado Mosquitto. Este broker dispone de algunas características que facilitan al usuario su creación y utilización. Estas se detallan a continuación:

- Su implementación y configuración no son complejas
- Es un servidor ligero por lo cual no tenemos de muchos recursos para que funcione correctamente.

- No existe perdidas de datos en el intercambio de datos.
- Su comunicación puede ser implementado en microcontroladores como computadores

La última característica es muy importante, ya que, al no limitarse de un único tipo de dispositivo, expande las posibilidades para conectar estaciones de diferentes tipos de control.

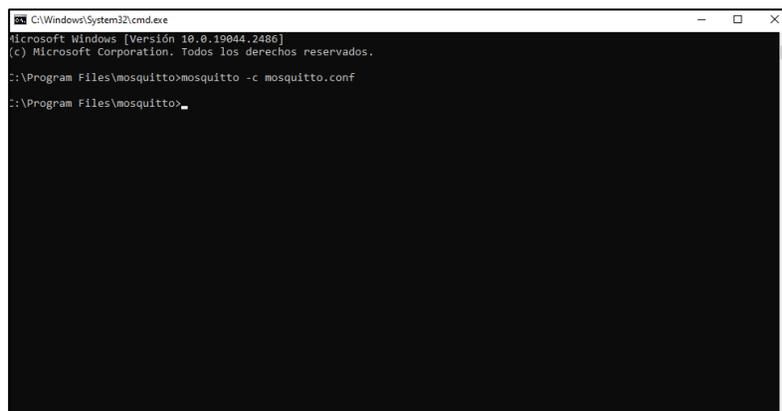
Este broker se lo descarga desde su página web y posteriormente se lo instala. Una vez instalado, se procede a crear el servidor. Para esto se debe abrir la carpeta donde se instaló el software. Si se lo realiza con la configuración predeterminada, se encontrará en la siguiente ruta: C:\Program Files\mosquitto. Ya en la carpeta, mediante la utilización de la ventana de símbolos de sistema se ejecuta el siguiente comando:

```
mosquitto -c mosquitto.conf
```

Este comando indica que se iniciará el servidor de mosquitto con un archivo de configuración definido. Al no presentar ningún problema de conexión, la línea se ejecuta y se obtiene la pantalla definida en la figura 21:

Figura 21

Comando para ejecutar y crear el broker



```
C:\Windows\System32\cmd.exe
Microsoft Windows [Versión 10.0.19044.2486]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Program Files\mosquitto>mosquitto -c mosquitto.conf
C:\Program Files\mosquitto>
```

Una vez creado el broker, se inicializa una nueva ventana de símbolos del sistema. Esta vez con el comando: ipconfig, se identifica cual es el IP del computador donde fue creado el broker.

Esto es sumamente necesario para la configuración de las distintas estaciones que estarán conectadas a la red del CIM.

Sistema de Control

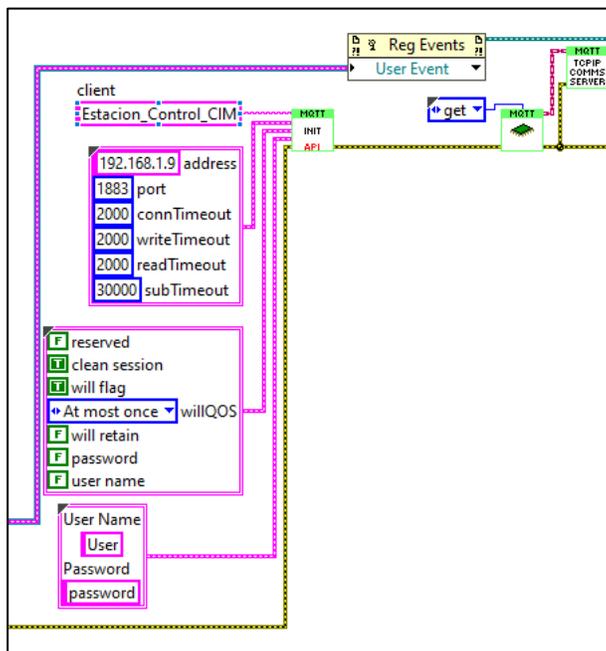
El sistema de control al igual que la interfaz se desarrolla en LabVIEW y funciona mediante el envío y recepción de datos. Estos datos activan acciones dentro del sistema que permiten automatizar procesos, así como botones que envían acciones de manera manual cuando se lo desee.

Lo primero que se realiza, es lograr que la estación se comunique con el broker. Para esto se utiliza subVis desarrollados por la comunidad de LabVIEW, los que permiten realizar acciones como conectarse con el servidor, suscribirse y publicar datos por los diferentes tópicos.

En la figura 22 se indica los parámetros iniciales necesarios para enlazar la estación de control y monitoreo con el broker.

Figura 22

Parámetros de configuración del broker

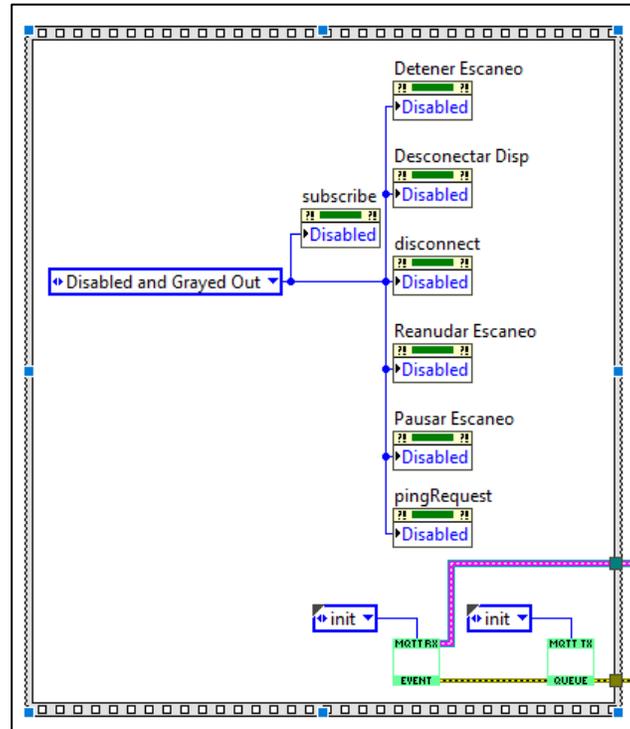


Aquí es el punto donde se indica la IP a la que se conectará la estación, el nombre con el cual se identificará en la red, el puerto de conexión y los tiempos de interrupción, estos son valores los óptimos y recomendados para un correcto funcionamiento, evitando fallos en la comunicación. Finalmente se encuentran las credenciales de seguridad, como se trataba con una red cerrada, este apartado se lo deja con los valores por defecto.

Otra configuración Inicial que se estableció fue que todos los botones de control se encuentren desactivados hasta que el sistema de control establezca una correcta conexión con el broker. Para esto se utiliza una estructura flat sequence donde se define el estado inicial de los botones como se indica en la figura 23

Figura 23

Flat Sequense para desactivar inicialmente los botones



Antes de continuar con el desarrollo del sistema de control y monitoreo se define los diferentes tópicos por los cuales se envían y reciben datos de las estaciones del CIM.

En la tabla 5 se indica los tópicos a utilizarse:

Tabla 5

Tópicos de envío y recepción de datos para cada estación

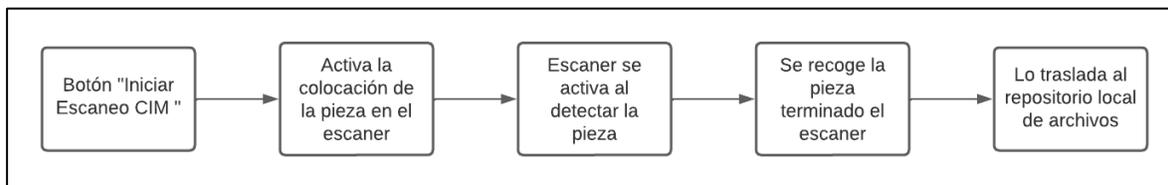
Nombre de la Estación del CIM	Tipo de Tópico	Nombre del Tópico
Estación de Escaneo 3D	Envío	Test
	Recepción	Test1
Brazo Manipulador	Envío	Uref
	Recepción	EstadoScorbot
Estación de Impresión 3D	Envío	ImpresoraEnvio
	Recepción	ImpresoraRecibo
Estación de cortado Láser	Envío	CortadoraEnvio
	Recepción	CortadoraRecibo
Estación de soldadura robotizada	Envío	SoldadorEnvio
	Recepción	SoldadorRecibo

Teniendo en cuenta la tabla anterior, se procede a desarrollar el sistema de control con las distintas estaciones.

A través de diagramas de secuencias se mostrará la forma de funcionamiento de las estaciones. En la figura 24 se indica la secuencia de funcionamiento de la estación de escaneo 3D

Figura 24

Secuencia de funcionamiento de la estación de escaneo, brazo robótico y estación de control

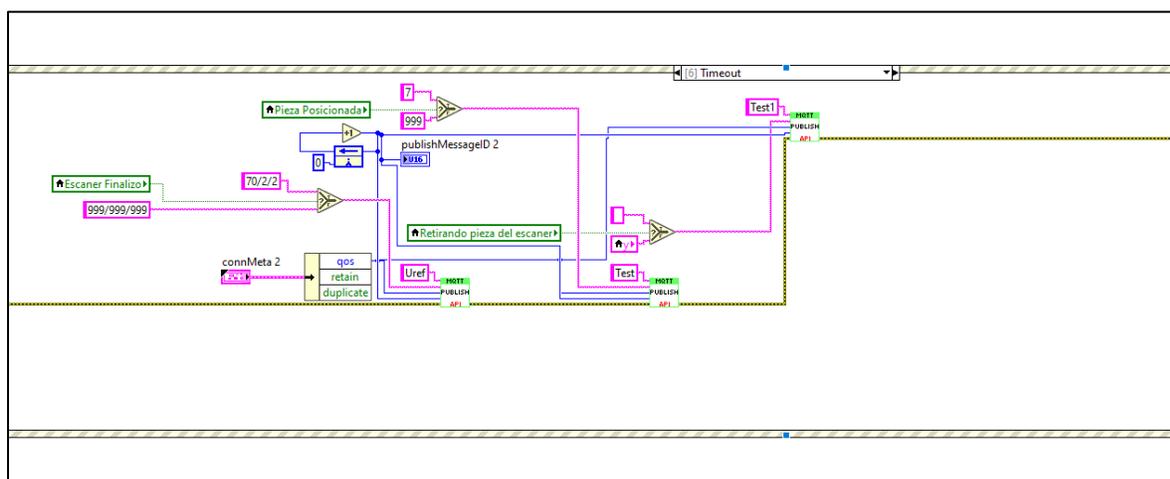


Para realizar esta secuencia dentro LabVIEW, se aplicó primero una estructura While Loop que continuamente esté leyendo los datos recibidos y envíe las acciones deseadas. Además, se utiliza Event Structures para enviar datos solo cuando se active el evento, lo que impide el envío erróneo de datos a las estaciones del CIM.

Además, se añade un evento que recibe un dato que indica el estado de las estaciones cada determinado tiempo. Esto se visualiza en la figura 25.

Figura 25

Programación del Event del timeout



Interfaz de Control y Monitoreo

La interfaz de control es la parte principal del proyecto, por lo cual se desarrolla como se detalló en la parte de diseño, debe tener una interfaz amigable e intuitiva para los estudiantes.

Por lo cual se desarrolló de una manera que el estudiante pueda familiarizarse rápidamente con la interfaz. Como se presentó en la figura 20, se tenía un diseño general de divisiones por áreas y así se lo implementó.

En la figura 26 se muestra la interfaz final desarrollada, en la cual dispone de botones para la activación de las estaciones, indicadores led para conocer el estado actual de las mismas.

Figura 26

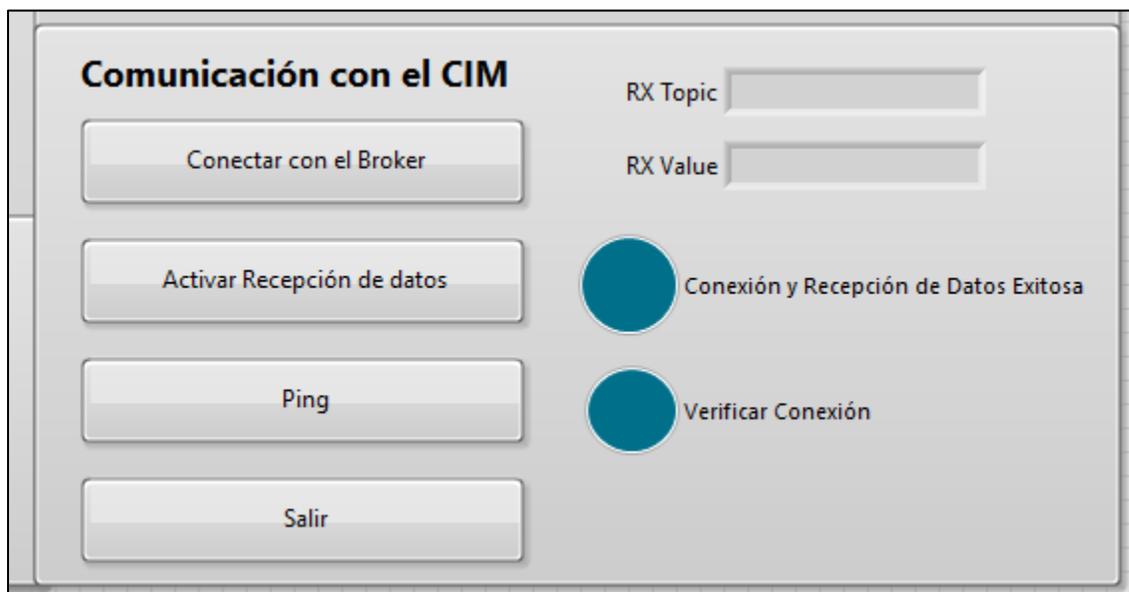
Interfaz de Control y Monitoreo



Uno de los apartados principales es el panel de control de la conexión con el broker, en él se encuentra un LED que nos indica cuando la conexión y la recepción de datos están activas, además dispone de 2 indicadores de datos, para saber a tiempo real que dato se envía y por cual tópico lo hace. La figura 27 detalla de manera más visible este panel.

Figura27

Apartado de control de conexión con el broker en la interfaz de control

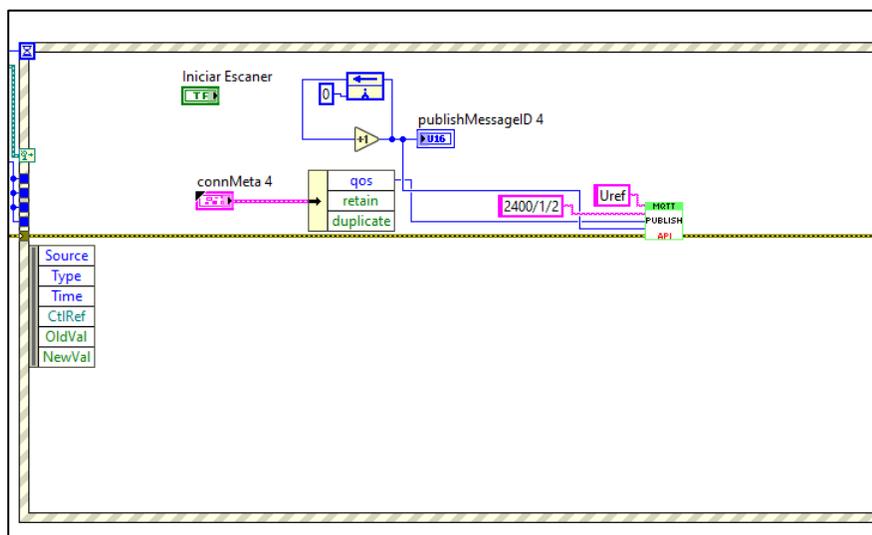


Ahora, al hablar de las estaciones, es fácil identificar que la estación que utiliza más espacio en la interfaz es el brazo robótico, ya que es aquel interactúa con todas las estaciones y es esencial el estado actual del mismo. Pero además de visualizar su estado. Dispone de un slider para activar el 6° eje del mismo y trasladarlo hasta un punto deseado entre 0 y 2.4 m.

Todos estos botones e indicadores LED, están conectados a distintas bloques del programa, que en el caso de los botones, al presionarlos ejecutan un evento. Un ejemplo es la programación del botón para iniciar el escaneo como se visualiza en la figura 28

Figura 28

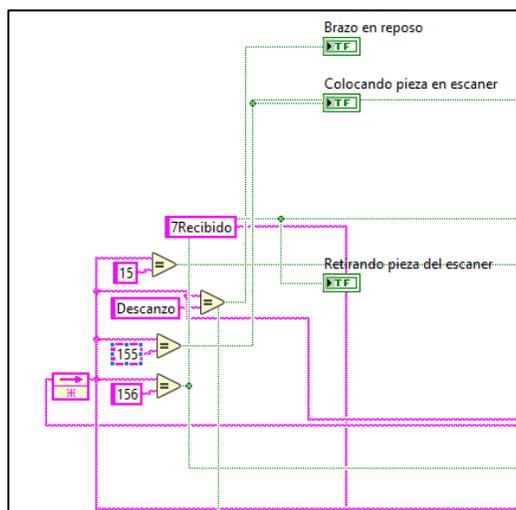
programación de un botón dentro de LabVIEW



Por otro lado el caso de los indicadores LED se activan al recibir un dato en cada uno de los tópicos definidos. En la figura 29 se visualiza los condicionantes que clasifican los LEDs por tópicos y por el dato recibido

Figura 29

Activación de los indicadores LED por la comparación de valores enviados al sistema de control y monitoreo



Nuevamente como se visualiza en la figura 29 cada dato corresponde a una acción ya se para activar una acción o saber el estado de una estación. Para este trabajo se define los datos presentados en la tabla 6 que tienen una función dentro del sistema

Tabla 6

Tabla de datos y su descripción

Tópico	Tipo de Tópico	Dato	Interpretación del dato
Uref	Envío	2400/1/2	Señal de activación al brazo robótico para recoger la pieza del almacén y colocarla en la estación de escaneo 3D
Uref	Envío	70/2/2	Señal de activación al brazo robótico para que recoja la pieza de la estación de escaneo 3D y la coloque en el almacén de piezas
Uref	Envío	#/0/1	Dato de posición enviado brazo robótico para desplazarse sobre su 6° eje. El # es el valor de la distancia enviado, un valor definido en el slider de 0 a 2.4 m
Uref	Envío	10/10/10	Señal de orden al brazo robótico de moverse al home definido
Test	Envío	7	Señal de inicio de escaneo

Tópico	Tipo de Tópico	Dato	Interpretación del dato
			enviado a la estación de escaneo 3D
EstadoScorbot	Recepción	Descanzo	Señal del brazo robótico que indica que está en estado de reposo
EstadoScorbot	Recepción	Moviendo	Señal del brazo robótico que indica que está moviéndose
EstadoScorbot	Recepción	155	Señal del brazo robótico que indica que está colocando una pieza en la estación de Escaneo 3D
EstadoScorbot	Recepción	156	Señal del brazo robótico que indica que está retirando una pieza en la estación de Escaneo 3D
EstadoScorbot	Recepción	15	Señal del brazo robótico que indica que la pieza se encuentra correctamente posicionada en la estación de escaneo 3D
Test1	Recepción	7Recibido	Señal de la estación de escaneo 3D que indica que el proceso de escaneo se inició correctamente
Test1	Recepción	EscaneoFin	Señal de la estación de escaneo 3D que indica que el proceso de

Tópico	Tipo de Tópico	Dato	Interpretación del dato
			escaneo finalizó

La finalidad de crear varios tópicos es la de clasificar los mensajes e impedir una errónea activación.

Para finalizar, algunas estaciones guardarán archivos y para aquellas que trabajen con una computadora, como se trabaja en una red local, se crea una carpeta de archivos compartidos para la transferencia de archivos.

Capítulo IV

Pruebas y Resultados

Una vez ya implementado todo el sistema de control y monitoreo, se procede a realizar 2 tipos de pruebas, pruebas de funcionamiento independiente y pruebas con las estaciones del CIM.

Pruebas de funcionamiento independiente

Lo primero que se realiza es comprobar que el sistema de control se conecte de manera correcta con el broker y que exista una comunicación bilateral entre el servidor y la estación de control principal.

En este caso como no se dispone de las estaciones, se emula el envío de datos desde una consola de símbolos del sistema. Una vez ya creado el broker y ejecutado el sistema de control y monitoreo, se envía datos ejecutando el siguiente comando:

```
Mosquitto_pub -h IP del broker -t tópico -m mensaje
```

Se cambia los parámetros predeterminados por los que utilizados en este trabajo. Como los tópicos y datos determinados en la tabla 6, procede a emular el envío y recepción de datos.

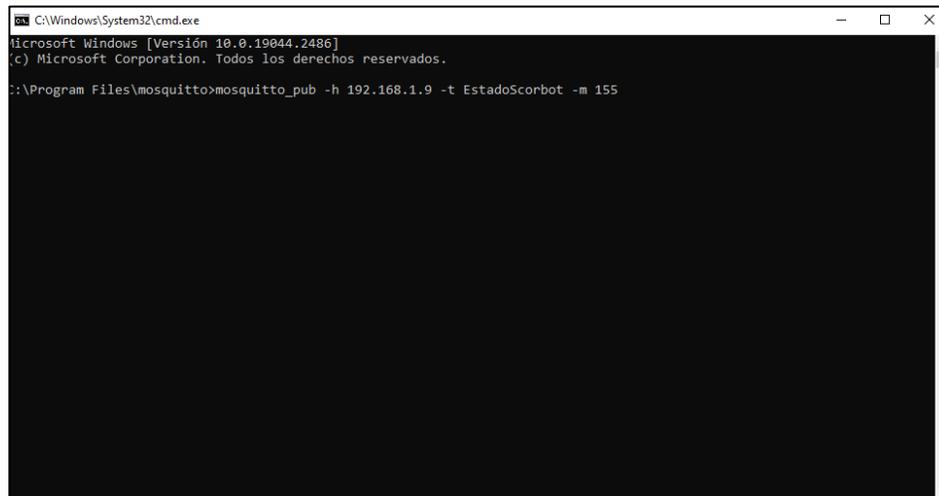
Al ejecutar el comando `mosquitto_pub -h 192.168.1.9 -t EstadoScorbot -m 155`, se emulará el envío de un dato desde el brazo robótico que indica que está recogiendo la pieza del almacén y colocándola en la estación de escaneo 3D.

En la figura 30 se observa el comando a enviar de la consola de símbolos del sistema y en la figura 31 se puede observar la activación del indicador LED en la interfaz de control

Envío de dato desde la consola de símbolos de sistema, emulando el envío de un dato del brazo robótico

Figura 30

Envío del dato por la consola de símbolos del sistema



```
C:\Windows\System32\cmd.exe
Microsoft Windows [Versión 10.0.19044.2486]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Program Files\mosquito>mosquito_pub -h 192.168.1.9 -t EstadoScorbot -m 155
```

Figura 31

Activación de indicador LED en la interfaz de control y monitoreo cuando es recibido el dato del brazo robótico



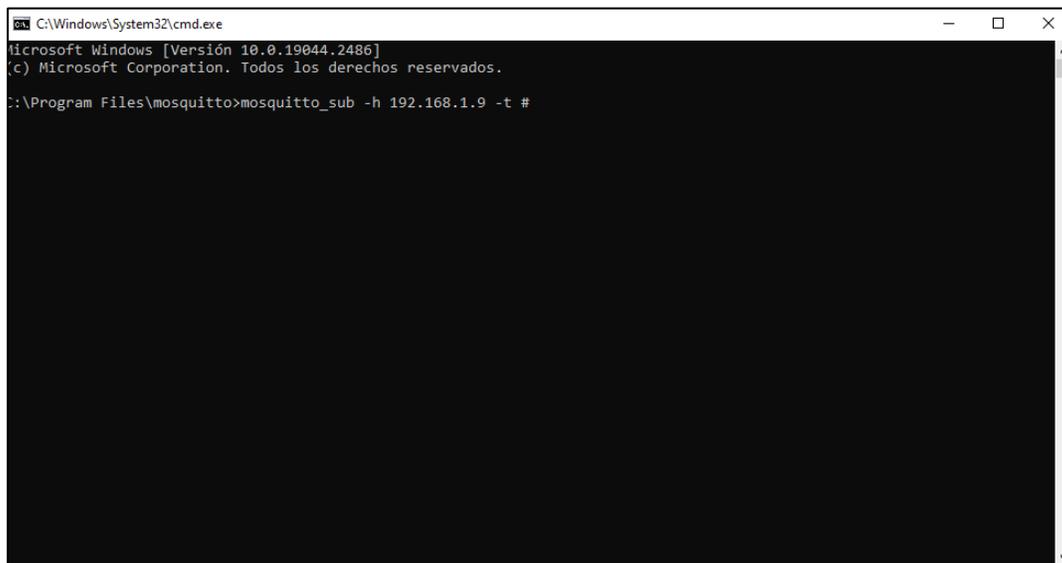
Para verificar el envío de datos desde el sistema de control y monitoreo, se inicializa otra consola de símbolos del sistema. En esta se ejecuta el siguiente comando:

```
mosquitto_sub -h IP del broker -t tópico
```

Como en el caso anterior se cambia los datos predeterminados por los datos utilizados en este trabajo. Además en el apartado de tópico si se desea recibir todos los mensajes enviados a nivel general se escribe el símbolo #. Por lo cual se ejecuta para este caso el comando que se visualiza en la figura 32

Figura 32

Ejecución del comando para visualizar los datos enviados al broker



```
C:\Windows\System32\cmd.exe
Microsoft Windows [Versión 10.0.19044.2486]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.
C:\Program Files\mosquitto>mosquitto_sub -h 192.168.1.9 -t #
```

Ya ejecutado el comando, se procede a enviar un dato desde la interfaz de control y monitoreo. Al presionar el botón de “Moverse a Home”, se enviará el valor de 10/10/10 y ese valor se visualizará en la pantalla de la consola de símbolos del sistema como se visualiza en la figura 33

Figura 33

Obtención de datos enviados por el sistema de control y monitoreo

**Pruebas de funcionamiento con el CIM**

Para el desarrollo de las pruebas con el CIM, se tiene en cuenta las estaciones disponibles, en este caso la estación de escaneo 3D y el brazo robótico como se observa en la figura 34.

Figura 34

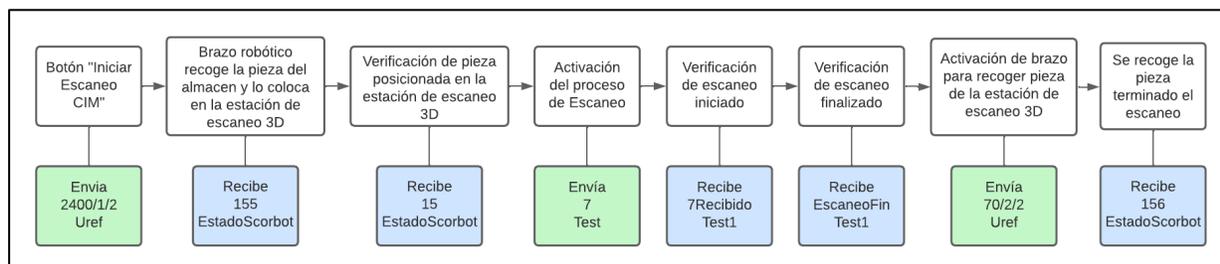
CIM conformado por la estación de control y monitoreo, de escaneo 3D y brazo robótico



Se procede a enviar un dato que activar la secuencia establecida para el inicio del escaneo. La figura 35 muestra el flujo de los datos.

Figura 35

Secuencia de funcionamiento de la estación de escaneo 3D con los datos que envía y recibe el sistema de control



Ahora se lo realiza en el CIM implementado. Al presionar el botón se envía el valor al brazo robótico y este a su vez envía un dato de confirmación de movimiento. Esto se puede visualizar en la figura 36 y figura 37

Figura 36

Activación del indicador LED de "Colocación de pieza en el escaner"



Figura 37

Brazo robótico recogiendo la pieza del almacén y colocándola en la estación de escaneo 3D



Colocada la pieza, se activará el indicador LED de “Pieza Posicionada” como se observa en la figura 38

Figura 38

Activación de los indicadores LED de Pieza Posicionada y Brazo en reposo



Con la pieza ya posicionada, la estación de escaneo 3D iniciará su proceso de escaneo 3D y el brazo estará en reposo hasta que le envíe otra orden de ejecución. Esto se visualiza en la figura 39

Figura 39

Activación del indicador LED Escaner en Proceso y desactivación del LED Pieza Posicionada.



Una vez culminado el escaneo, la estación de escaneo 3D envía un dato indicando que terminó, por lo cual el brazo se acercará a la estación a retirar la pieza. En la figura 40 se indica el estado de la interfaz de control y monitoreo, por otro lado la figura 41 muestra al brazo robótico colocando la pieza en el almacén después de ser escaneada.

Figura 40

Estado de los indicadores LED una vez terminado



Figura 41

Brazo Robótico colocando pieza después de ser escaneada



Validación de la Hipótesis

Validación de la Hipótesis Individual

Para el presente trabajo se planteó la siguiente hipótesis:

Mediante el diseño e implementación de un sistema de control computarizado se podrá controlar y monitorear las distintas estaciones de Manufactura Aditiva y Sustractiva para Prácticas de Manufactura en el Laboratorio CNC de la ESPE Sede Latacunga.

Del cual se determinó una variable independiente y una dependiente, la independiente describe la acción mediante la cual se cumple la dependiente.

Variable Independiente: Diseño e implementación de un sistema de control computarizado

Variable Dependiente: Controlar y monitorear las distintas estaciones de Manufactura Aditiva y Sustractiva para Prácticas de Manufactura en el Laboratorio CNC de la ESPE Sede Latacunga.

Metodología de validación

Para validar la hipótesis, se utilizará el método del análisis de índices. Se plantea la hipótesis nula y una hipótesis alternativa, mediante encuestas se obtiene los índices que validarán o rechazarán la hipótesis, a continuación, se presentan las 2 hipótesis planteadas.

Hipótesis Nula (H0): Mediante el diseño e implementación de un sistema de control computarizado no se podrá controlar y monitorear las distintas estaciones de Manufactura Aditiva y Sustractiva para Prácticas de Manufactura en el Laboratorio CNC de la ESPE Sede Latacunga.

Hipótesis Alternativa (H1): Mediante el diseño e implementación de un sistema de control computarizado se podrá controlar y monitorear las distintas estaciones de Manufactura Aditiva y Sustractiva para Prácticas de Manufactura en el Laboratorio CNC de la ESPE Sede Latacunga

Aplicación de la metodología de validación

Para validar o rechazar la hipótesis nula se realizó una encuesta a estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” sede Latacunga. En dicha encuesta cada pregunta está relacionado con un parámetro de evaluación, estos se presentan a continuación:

- Interfaz amigable e intuitiva
- Configuración sencilla
- Control sobre las distintas estaciones

Estos parámetros fueron evaluados y obteniendo los resultados en la tabla 7, la cual además compara estos índices con las hipótesis anteriormente planteadas.

Tabla 7

Evaluación de los parámetros propuestos para la hipótesis individual

Parámetro	Índice de H1	Índice de H0	H1>H0
Interfaz amigable e intuitiva	97,8%	2,2%	Si cumple
Configuración sencilla	97,8%	2,2%	Si cumple
Control sobre las distintas estaciones	100%	0%	Si cumple

Con el resultado de esos índices, se concluye que, para la mayoría de ellos, el sistema de control y monitoreo del CIM tiene una interfaz amigable e intuitiva, que posee una configuración sencilla y que este puede ejercer un control sobre las otras estaciones.

Por lo cual estos índices determinan que se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1), es decir que, **mediante el diseño e implementación de un sistema de control computarizado si se podrá controlar y monitorear las distintas estaciones de Manufactura Aditiva y Sustractiva para Prácticas de Manufactura en el Laboratorio CNC de la ESPE Sede Latacunga**

Validación de la hipótesis general

Y para el macroproyecto se planteó la siguiente hipótesis:

Mediante el diseño e implementación de un Sistema de Manufactura Integrada por Computador CIM con 4 estaciones de Manufactura Aditiva y Sustractiva se podrá realizar Prácticas de Manufactura, en el Laboratorio CNC de la ESPE Sede Latacunga.

De esta hipótesis se extrae tanto la variable independiente como la dependiente.

Variable independiente: Diseño e implementación de un Sistema de Manufactura Integrada por Computador CIM con 4 estaciones de Manufactura Aditiva y Sustractiva

Variable dependiente: Realizar Prácticas de Manufactura, en el Laboratorio CNC de la ESPE Sede Latacunga.

Metodología de validación

Se aplica la misma metodología que en el caso anterior, por lo cual se plantea la hipótesis nula y la hipótesis alternativa para el macroproyecto, estas se presentan a continuación:

Hipótesis Nula (H0): Mediante el diseño e implementación de un Sistema de Manufactura Integrada por Computador CIM con 4 estaciones de Manufactura Aditiva y Sustractiva, no se podrá realizar Prácticas de Manufactura, en el Laboratorio CNC de la ESPE Sede Latacunga.

Hipótesis Alternativa (H1): Mediante el diseño e implementación de un Sistema de Manufactura Integrada por Computador CIM con 4 estaciones de Manufactura Aditiva y Sustractiva, no se podrá realizar Prácticas de Manufactura, en el Laboratorio CNC de la ESPE Sede Latacunga.

Se validará o rechazará la hipótesis con el mismo método que anteriormente. En este caso los parámetros implícitos dentro de las preguntas fueron:

- Facilidad para utilizar el CIM
- Alto nivel de aprendizaje
- Interés en realizar futuras prácticas

El resultado de los parámetros evaluados se presenta en la tabla 8, obteniendo los índices para su comparación.

Tabla 8

Evaluación de los parámetros de la hipótesis general

Parámetro	Índice de H1	Índice de H0	H1>H0
Facilidad para utilizar el CIM	100%	0%	Si Cumple
Alto nivel de aprendizaje	97,8%	2,2%	Si Cumple
Interés en realizar futuras prácticas	100%	0%	Si Cumple

Con los índices obtenidos se determina que el nivel de aceptación por los estudiantes es alto. Interpretándolo, se puede decir que el CIM desarrollado tiene la característica de facilidad en su utilización, además que adquirieron un alto nivel de aprendizaje cuando interactuaron con él y finalmente que desearían realizar futuras prácticas.

Estos índices además nos permiten concluir que se rechaza la hipótesis nula (H0) y se valida la hipótesis alternativa (H1). Concluyendo que, **mediante el diseño e implementación de un Sistema de Manufactura Integrada por Computador CIM con 4 estaciones de Manufactura Aditiva y Sustractiva, si se podrá realizar Prácticas de Manufactura, en el Laboratorio CNC de la ESPE Sede Latacunga.**

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- El estudio del estado del arte permitió que se tenga un conocimiento sobre los proyectos relacionados, el hecho de conocer como lo implementaron, sus parámetros de diseño y protocolos de comunicación.
- El análisis de las alternativas de solución determinó la mejor vía para desarrollo del proyecto, determinando sus parámetros base.
- Desarrollar un correcto diseño de la interfaz de control y monitoreo permite que el estudiante pueda interactuar con este, sin ninguna complicación
- El diseñar un sistema de intercambio de datos mediante tópicos, permitió que se clasifique la información y que a su vez no exista perdidas de datos entre estaciones.
- Gracias a un correcto procedimiento de desarrollo, el CIM se puede implementó de una manera progresiva, corrigiendo errores y optimizando procesos.
- El operar el sistema de control y monitoreo permitió implementar medidas de mejoramiento tanto en la programación como en la interfaz.
- El desarrollo de las guías de laboratorio sirvió como un instrumento de retroalimentación, además, determinando cuáles son los puntos clave del desarrollo del proyecto.

Recomendaciones

- Todas las estaciones trabajan con una conexión wifi por lo cual es recomendable colocar el router en una posición que todas las estaciones tengan un nivel de intensidad aceptable, esto para evitar pérdidas de datos o desconexión de la red.
- Se debe comprobar que siempre que a la red se la defina como privada, eso proporciona mayor fiabilidad a la red y evita futuros problemas de comunicación.
- Siempre se debe tener una medición de prevención de saturación de datos, ya que, si se satura el buffer de intercambio de datos, no se podrán enviar más.

Bibliografía

- Aldáz, M. (2007). • *Análisis de Técnicas de Control en el Espacio de Estado e Implementación de Sensores Virtuales para la Estación de Control de Procesos del CIM 2000 ESPE*. Obtenido de • *Análisis de Técnicas de Control en el Espacio de Estado e Implementación de Sensores Virtuales para la Estación de Control de Procesos del CIM 2000 ESPE*: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2265/1/T-ESPE-025242.pdf>
- Arregocés C., S., & Cano R., W. d. (2007). Control de una celda de un sistema de manufactura integrada por computador - CIM. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 168-172.
- Benitez, J. (2005). *Implementación de la Estación de Visión Artificial y Control de Calidad del Laboratorio CIM 2000: VI 2005*. Obtenido de *Implementación de la Estación de Visión Artificial y Control de Calidad del Laboratorio CIM 2000: VI 2005*: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/979/1/T-ESPE-012488.pdf>
- Calvache, E., & Lopez, G. (2009). *Automatización de la Estación Neumática PN-2800 del Laboratorio C.I.M. 2000 mediante la Plataforma Compactlogix de Allen Bradley*. Obtenido de *Automatización de la Estación Neumática PN-2800 del Laboratorio C.I.M. 2000 mediante la Plataforma Compactlogix de Allen Bradley*: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/258/6/T-ESPE-026209.pdf>
- Cortes, L. F. (2019). *Prototipo de Almacén Automatizado Integrado con el CIM*. Bogotá: Fundación Universitaria Los Libertadores.
- Diaz, G., & Mañay, E. (2017). *Diseño e implementación de una celda de manufactura flexible de orden aleatorio y distribución en línea mediante robot articulado para prácticas de FMS en el laboratorio de CNC*. Obtenido de *Diseño e implementación de una celda de manufactura flexible de orden aleatorio y distribución en línea mediante robot articulado para prácticas de FMS en el laboratorio de CNC*.: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/11965/1/T-ESPEL-MEC-0090.pdf>
- Enrique Mandado Pérez, J. M. (2016). *Autómatas Programables y Sistemas de Automatización*. Vigo: Instituto de Electrónica Aplicada.
- Eras, W., & Arguero, D. (2010). *Incorporación de la tecnología CompactLogix de Allen Bradley a la Estación de Control de Procesos PS-2800 del CIM 2000*. Obtenido de *Incorporación de la tecnología CompactLogix de Allen Bradley a la Estación de Control de Procesos PS-2800 del CIM 2000*.: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/171/6/T-ESPE-027399.pdf>
- Ivone Cecilia Torres Rodríguez, P. F. (2018). *Actualización del PLC de un Sistema de Manufactura Integrada por Computador*. Colombia: Instituto Politécnico Nacional.

- Larico, M., Paucar, F., & Herrera, C. (2018). *Sistema de Manufactura Reconfigurables*. Obtenido de Sistema de Manufactura Reconfigurables:
<https://es.scribd.com/document/394551384/APLICACIONES-AL-CIM>
- López, T., & Páez, F. (2021). *Diseño e implementación de un sistema interactivo para suelda y corte robotizado multifunción, usando tecnología inverter en un Scorbot ER-4U del laboratorio de CNC de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga*. Obtenido de Diseño e implementación de un sistema interactivo para suelda y corte robotizado multifunción, usando tecnología inverter en un Scorbot ER-4U del laboratorio de CNC de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga:
<file:///C:/Users/DELL/Downloads/Suelda.pdf>
- Navarro, C. (2010). *Sistemas de ejecucion de manufactura en la ejecucion integrada por computador*. Obtenido de
https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/918/digital_19599.pdf?isAllowed=y&sequence=1
- Ortiz, J. M., Guzmán, M. D., & Casanova, O. L. (2019). *Sistemas de manufactura*. Obtenido de Sistemas de manufactura:
<https://libros.uat.edu.mx/index.php/librosuat/catalog/download/193/163/475-1?inline=1>
- Peña, D. F. (2012). *Control Supervisorio de un robot Manipulador Industrial Melfa utilizando la plataforma LABVIEW*. Bogotá: Pontifica Universidad Javeriana.
- SIGILFREDO ARREGOCÉS C., W. D. (2007). *CONTROL DE UNA CELDA DE UN SISTEMA DE MANUFACTURA INTEGRADA POR COMPUTADOR-CIM*. Pereira.
- UNAD. (s.f.). *Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD de Colombia* . Obtenido de Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD de Colombia :
<https://estudios.unad.edu.co/componente-practico-ebti/escenarios-remotos-ecbti/laboratorio-cim-manufactura-integrada-por-computador?showall=1>

Anexos