



UNIVERSIDAD POPULAR AUTONOMA
DEL ESTADO DE PUEBLA

Facultad de Ingeniería electrónica
Celda de manufactura teleoperada
Mediante protocolos
de comunicación MQTT

Memoria laboral
para obtener el grado de

Ingeniero en Mecatrónica

Presenta:

Enrique Montejano Vallejo

Asesores:

Dr. José Gilberto Montaña Márquez



UPAEP – Secretaría General

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyła**

Tesis Digitales Restricciones de uso:

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de textos, imágenes, gráficas, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD POPULAR AUTONOMA
DEL ESTADO DE PUEBLA

Facultad de Ingeniería electrónica
Celda de manufactura teleoperada
Mediante protocolos
de comunicación MQTT

Memoria laboral
para obtener el grado de

Ingeniero en Mecatrónica

Presenta:

Enrique Montejano Vallejo

Asesores:

Dr. José Gilberto Montaña Márquez



Puebla, Pue 21 de julio de 2023

Dra. Rosa María Cantón Croda
Decano del Departamento de Ingenierías.

PRESENTE

Por medio de la presente me permito informarle que el trabajo recepcional con el título:

***"Celda de manufactura teleoperada mediante protocolos
de comunicación MQTT"***

Que el alumno:

Enrique Montejano Vallejo
Matricula: 5801613

Elaboró para la realización de su examen profesional en la Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica ha sido concluido a mi entera satisfacción, por lo que no dudo en dar por terminado el trabajo, mismo que cumple con los requisitos establecidos por las autoridades de la Decanatura de Ingenierías de la UPAEP.

Sin más por el momento quedo a sus órdenes para cualquier aclaración o duda.

Atentamente

Dr. José Gilberto Montaña Marquez
Catedrático Facultad de Ingeniería Biónica, Mecatrónica y Aeroespacial

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Él es fuerza, valentía y dedicación que se necesitan para emprender una carrera son el fruto de las personas que impactan y dan ejemplo a nuestra vida. Este trabajo de memoria laboral va dedicada a mis padres y familiares, por el apoyo en mi educación y por ser los que siempre estuvieron conmigo. También, mi principal agradecimiento se dirige a quien ha forjado mi camino y me dirigió por el sendero correcto, a Dios, el que encada paso de la vida me acompaña.

De igual manera quiero agradecer a mis asesores, profesores y personal educativo que fueron mis mentores y guías en cada paso que di. Les agradezco todo el tiempo dedicado para pulir y corregir el presente trabajo.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecer a todos aquellos que se involucraron en mi trabajo, a los investigadores, desarrolladores, amigos, empresas y a la institución educativa, que me permiten crear una aportación más mediante mi experiencia acumulada en el ámbito industrial en estos últimos años. Les agradezco profundamente a todos.

“Para los hombres esto es imposible, pero para Dios todo es posible”

Resumen / Abstract.

En la actualidad los sistemas tele operados, aunque son sistemas relativamente antiguos, actualmente forman parte de modelos industriales modernos, tales como el de la industria 4.0. A su vez dentro de este modelo industrial se anexan tecnologías emergentes como el IoT (Internet de las cosas) y la inteligencia artificial. El propósito de este trabajo de grado es presentar los resultados del desarrollo de una celda de manufactura tele operada, aplicando estos nuevos modelos y tecnologías emergentes.

Este proyecto fue desarrollado en la empresa MIRAI INNOVATION LAB. La celda de manufactura estaba dedicada a un proceso de embazado de grano. Para este proyecto se usó un protocolo de investigación y desarrollo utilizado en la empresa que consta de 3 fases: antecedentes y requerimientos para el proyecto, modelado, simulación y primeras propuestas de prototipo, y por último construcción, pruebas y experimentación del prototipo final.

Al final del proyecto se logró construir un prototipo de la celda de manufactura que cumplía con los requerimientos de la empresa. El sistema es capaz de recibir instrucciones en tiempo real con un corto tiempo de retardo en la respuesta del sistema, todo era controlado mediante una interface gráfica en una aplicación web, también se logró crear un sistema de detección de fallas mediante el uso de sensores piezoeléctricos, los cuales detectaban la presión y las vibraciones de los actuadores del sistema, y mediante el procesamiento de estas señales se puede predecir alguna falla en el sistema. Y cuando esto ocurre se genera un paro de emergencia y se manda un aviso por mensaje de texto y por email, dando un reporte de los actuadores que podrían estar presentando alguna falla.

índice

Capítulo 1: Antecedentes, requerimientos del proceso de investigación y desarrollo

- 1.1 Introducción
- 1.2 Descripción de la empresa
- 1.3 Planteamiento del problema
- 1.4 Justificación
- 1.5 Objetivos
- 1.6 Sujetos, material y método
- 1.7 Grupo de estudio / empresa – cliente pruebas
- 1.8 Viabilidad del proyecto
- 1.9 Organización del estudio
- 1.10 Impacto esperado

Capítulo 2: Antecedentes, estado del arte y del proyecto

- 2.1 Estado del arte y antecedentes del proyecto
- 2.2 La tendencia de la industria 4.0
- 2.3 El papel del modelo IoT
- 2.4 Computing Clouding Y IoT
- 2.5 Internet of Robotic-Things (IoRT)
- 2.6 Descripción general de la arquitectura del proyecto

Capítulo 3: Metodología de investigación y desarrollo, proceso de diseño

- 3.1 Etapa observacional
- 3.2 Etapa de prototipo
- 3.3 Etapa de seguimiento

Capítulo 4: Diseño de prototipo de la celda de manufactura, y proceso de envasado de grano

- 4.1 Proceso de requerimientos del proyecto
- 4.2 Estudio de requerimientos específicos del sistema

- 4.3 Conclusiones y requerimientos generales
- 4.4 Lista de sensores utilizados para el sistema
- 4.5 Lista de actuadores
- 4.6 Eficiencia del modelo propuesto
- 4.7 Prototipo final y estructura en 3D / Reporte técnico

Capítulo 5: Diseño de aplicación web para el control teleoperado

- 5.1 Introducción
- 5.2 Especificaciones técnicas
- 5.3 Seguridad del sistema

Capítulo 6: Resultados y conclusiones: descripción de electrónica y programación de prototipo

- 6.1 Modelo general de automatización
- 6.2 Implementación del modelo IoT
- 6.3 Resultados
- 6.4 Estaciones del sistema
- 6.5 Conexiones de Raspberry
- 6.6 Conexiones de Raspberry

Bibliografías

Anexo 1: Código PLC

Anexo 2: Código MQTT Python

Capítulo 1:

Antecedentes, requerimientos del proceso de investigación y desarrollo

- “Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la
Electricidad y la energía atómica: la voluntad”-

Albert Einstein.

1.1 Introducción

El presente proyecto, llevado a cabo en MIRAI INNOVATION LAB, tiene como objetivo identificar áreas de oportunidad en un entorno adverso de productividad y abordar el problema de escasez de personal en la planta productora de grano del ejército mexicano, ocasionado por la crisis sanitaria del covid-19. Esta situación ha generado dificultades en la capacidad de producción y gestión del tiempo de entrega de productos.

Con el fin de encontrar una solución efectiva, se plantea el uso de los modelos de la industria 4.0, que incluyen el concepto de IoT (Internet of Things) o Internet de las Cosas. Este modelo industrial se basa en la utilización de internet para potenciar la velocidad de productividad, calidad y control en procesos industriales.

En este proyecto, se enfoca en los conceptos y modelos de IoT para el control y monitoreo a través de internet de los sensores y actuadores de una celda envasadora de grano. Además, se busca aprovechar los datos obtenidos de estos sensores y actuadores para generar alarmas automáticas relacionadas con la gestión de producción o fallas en las máquinas.

En este capítulo, se definirán y describirán los detalles de los requerimientos del proyecto de investigación, así como la metodología empleada para llevar a cabo el estudio y diseño del prototipo.

1.2 Descripción de la empresa.

MIRAI INNOVATION LABS es una empresa que se dedica a la investigación y desarrollo de tecnología, enfocada en disciplinas como la inteligencia artificial, sistemas de telecomunicaciones, diseño electrónico, realidad aumentada, Bio impresión, diseño de software y robótica aplicada. El presente proyecto que se describe en este trabajo de grado

fue desarrollado en su totalidad durante el periodo de colaboración profesional con la empresa. En la visión general de la empresa, se plantea que todos los proyectos desarrollados para los clientes cuenten con soluciones y modelos innovadores aplicando las tecnologías como la inteligencia artificial.

1.3 Planteamiento del problema.

El impacto de la pandemia de los últimos años ha generado problemas económicos significativos en todo México, estos daños se distribuyeron por todos los sectores de producción desde el turístico, salud, hasta el sector de producción y manufactura. Esto se debe a los altos niveles de contagios, que se generaron en los sectores donde los trabajadores se encontraban concentrados en grandes grupos, como en el caso de las plantas de producción. Algunos sectores de producción alimentaria industrial sufrieron una caída mensual de aproximadamente -26% y -8%. De igual forma las actividades manufactureras tuvieron desde marzo del 2020 una caída importante de -4.7% con respecto a los meses previos, como resultado de las disrupciones iniciales en las cadenas globales de valor. Sin embargo, este problema fue afectando a los distintos estados y regiones del país de forma distinta; en el estado de Puebla las primeras industrias en verse afectadas fueron las de procesamiento de alimentos y la automotriz, generando pérdidas de empleos y falta de suministros [1]. Uno de estos casos particulares donde la producción fue detenida es la planta de procesamiento de alimentos del ejército mexicano, la cual es proveedora de distintos productos para regiones vulnerables de los distintos estados de la república. Por ello la situación actual coloca a la tecnología y a la innovación como una herramienta necesaria e importante para dar solución a problemas generados por la pandemia en la industria alimentaria, desarrollando proyectos como respuesta específica a estas necesidades. Al mismo tiempo se pretende poder implementar nuevos protocolos de producción que sean más eficientes, y que se adapten a la situación actual.

1.4 Justificación.

Dicho esto, muchas empresas actualmente están enfocando todos sus recursos a desarrollar y adquirir tecnologías que les permitan adaptarse a las nuevas circunstancias mundiales, para

poder seguir produciendo. Por esta razón se realizó y diseño en el presente proyecto una celda de manufactura con sistemas de operación remota, utilizando los nuevos modelos y protocolos de automatización IoT, lo cual facilitará los procesos de producción y permitirá que las plantas sigan operando sin la necesidad de que todos los operarios estén en un mismo lugar. Este sistema ayudará a que las empresas protejan a sus operarios y que su producción se mantenga constante.

1.5 Objetivos.

Objetivo general del proyecto.

Crear un prototipo de una celda de manufactura tele operada, de un proceso de envasado de grano, para poder monitorear y controlar a distancia cada uno de los pasos del proceso de producción mediante una aplicación web simple y didáctica para los usuarios.

Objetivos particulares del proyecto.

1.- Diseñar un prototipo de una celda de manufactura del proceso de embazado de grano

- Hacer el proceso de los requerimientos del sistema de manufactura.
- Realizar estudio y requerimientos del sistema de automatización para el proceso de envasado de grano.
- Analizar y hacer propuestas de los sensores y actuadores que se utilizarán en el sistema.
- Modelar propuestas de elementos mecánicos y estructuras con los datos obtenidos.
- Comparar la eficiencia de los modelos propuestos.
- Diseño de estructura y propuesta de prototipo final en software CAD.

2.- Diseño de aplicación web para el control tele operado.

- Hacer ingeniería de requerimientos para el diseño de la aplicación web
- Hacer propuestas de maquetado para el diseño de la interface de usuario
- Creación de primera propuesta de frontend con JavaScript de la interface de usuario
- Diseño del proceso de backend y de protocolos de comunicación
- Pruebas de la aplicación web

3.- Diseño electrónico y programación del prototipó de la celda

- Hacer un modelo general de automatización del sistema utilizando los conceptos de IoT.
- Diseño de protocolos de comunicación serial usando IoT brokers.
- Diseñar y estructurar la base de datos.
- Creación de diagramas y circuitos electrónicos
- Programación del controlador PLC

4. Evaluar mediante un experimento la efectividad del sistema

- Etapa observacional
- Etapa prototipo
- Etapa seguimiento

Hipótesis del proyecto

¿La celda de manufactura operada mediante los modelos de la industria 4.0, y los conceptos de IoT mantendrá los niveles de producción, aun con bajos recursos humanos operando de forma presencial?

¿Este sistema será capaz de detectar fallas para prevenir averías en los actuadores, accidentes y retrasos en los procesos de producción?

¿Los protocolos de comunicación serial para aplicaciones web, serán lo suficientemente eficientes para generar respuestas con bajos niveles de retardo?

1.6 Sujetos, material y método.

1.- Características del lugar donde se realiza el estudio y diseño de prototipo.

El estudio y el diseño de la celda de manufactura tele operada fue realizado en las instalaciones de MIRAI INNOVATION LABS con sede en la ciudad de Puebla y Osaka, Japón. El proyecto fue elaborado para un cliente (empresa iTeshi y el ejército mexicano); la empresa iTeshi se dedica al desarrollo de equipos industriales para la industria alimentaria, y en el ejército mexicano ahí una sub área de procesamiento y distribución de alimentos.

2.- Diseño.

El proceso de diseño o método de estudio se realizó en tres etapas distintas:

- 1) Etapa observacional
- 2) Etapa prototipo
- 3) Etapa de seguimiento

De forma general en la primera etapa (etapa observacional), está pensada para poder llevar a cabo un proceso de ingeniería de requerimientos, para poder entender todas las necesidades del proyecto y así poder determinar los procesos de automatización necesarios. Así mismo en esta fase se elaboran pruebas piloto con las cuales se pretende medir el sistema automatizado de la celda actual, con la finalidad de ver en acción todas las posibles variables a considerar.

En la etapa prototipo se elaboran un análisis de propuestas para la construcción de un prototipo final. En esta etapa también se realiza un estudio cuasi experimental en el cual se simulan y prueban los distintos prototipos propuestos con la finalidad de evaluar su desempeño y respuesta. Considerando que se adapte al presupuesto y necesidades del cliente.

Finalmente, en la etapa de seguimiento se realiza un estudio longitudinal, en el cual se analizó los datos y señales con respecto al tiempo, generados por el prototipo final, para procesar y evaluar su desempeño y hacer un reporte o detección de fallas automático.

1.7 Grupo de estudio / empresa – cliente pruebas

Para la elaboración de este proyecto los grupos de estudio se abordarán como grupos de pruebas técnicas o de características de distintos casos. Donde se espera trabajar con un grupo de 5 operarios de la empresa, los cuales van a enfrentar distintos tipos de fallos comunes de la celda de manufactura, y como es que estos son detectados y reportados vía remota.

También al finalizar el prototipo se planeó a hacer un procedimiento de seguimiento de usuario mediante la recopilación de datos, para poder mejorar la interfaz de usuario en actualizaciones futuras.

1.8 Viabilidad del proyecto.

1.- Facultad y aspectos éticos del proyecto.

En perspectiva la elaboración de este proyecto de investigación y desarrollo es factible, ya que en él se aborda un problema actual que afecta directamente a la comunidad mexicana y en específico a la poblana, en este contexto de dificultades sanitarias a nivel nacional, podemos observar que las distribuidoras de alimentos del ejército mexicano, con sede en el estado de Puebla, necesitan agilizar sus procesos de producción y procesado de alimentos en la situación actual, sin arriesgar la salud de los operarios, ni comprometer los protocolos de salubridad.

Es importante mencionar que en el estado de Puebla existe una considerable población de personas y familias en condiciones económicas vulnerables, los cuales se verían beneficiados con la implementación de esta tecnología, ya que agilizará el proceso de producción y distribución de alimentos por todo el estado de Puebla.

2.- Recursos humanos y financieros

Los investigadores y desarrolladores que participaron en este proyecto son: Enrique Montejano Vallejo (estudiante de ingeniería mecatrónica) (Desarrollador principal). Posteriormente están los asesores o desarrolladores de investigadores senior de la empresa que son: Dr. Christian Peñaloza (director general de MIRAI, investigador en Universidad de Osaka (Japón)), Maestra Mariana Tepox Cruz (directora regional de MIRAI Puebla), Ing. Sinaí (Desarrollador de MIRAI).

1.9 Organización del estudio

A continuación, se presenta un diagrama de Gantt mediante el cual se expresa todo el proceso de implementación del proyecto a lo largo de 7 meses de investigación y desarrollo, en la línea del tiempo del diagrama las actividades están expresadas de acuerdo al mes en el que se elaboraron. El orden de las actividades se expresa de acuerdo a su nivel de urgencia y complejidad.

Es importante mencionar que en todo el proceso de desarrollo se apego a los protocolos de investigación demandados por los clientes y arbitrados por MIRAI INNOVATION LABS. Este método como se menciona anteriormente, aborda 3 fases de diseño las cuales se dividieron en sub actividades específicas que se describen a continuación.

	Meses							
		Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
	Actividades							
1	Requerimientos del proyecto	■						
2	Requerimientos de automatización	■	■					
3	Clasificación (o enfoque) de necesidades o problemas a resolver.	■	■					
4	Planteamiento de hipótesis	■						
5	Propuesta de sensores y actuadores	■	■					
6	Diseño de estructura y simulación	■	■	■	■			
7	Construcción del prototipo		■	■		■	■	
8	Requerimientos de aplicación web		■	■	■	■	■	
9	Maquetado y prototipos de aplicación		■	■	■	■	■	■
10	Diseño y programación de aplicación frontend		■	■	■	■	■	■
11	Diseño de backend y pruebas finales						■	■

De las actividades 1 a 3 se elaboran y describen los procesos fundamentales del proyecto, y se elabora una ingeniería de requerimientos para detectar las necesidades técnicas de la empresa cliente, así como los problemas fundamentales a resolver por medio del proyecto. En esta etapa es clave para definir una propuesta innovadora al cliente, la cual tiene que ser coherente con las necesidades.

En la actividad 4 se generan preguntas de investigación y diseño, las cuales permiten generar hipótesis para poder hacer estudios y medir la eficiencia del prototipo generado, estas se hicieron en base a las necesidades previamente detectadas en la ingeniería de requerimientos.

De las Actividades 5 a 7 se elaboraron propuestas de prototipo, y se probaron distintos tipos de actuadores y sensores que podía llevar el sistema. Durante estas actividades se realizó un estudio de pruebas y simulaciones para llegar al diseño final, y también se realizaron los diagramas electrónicos, así como la programación de los microcontroladores.

De la actividad 8 a la 11 se levantaron los requerimientos para el diseño de la aplicación web, en estas actividades se dividieron en dos partes. La primera parte fue el diseño frontend el cual consta de la construcción de la interface de usuario, la segunda parte el backend el cual consta del diseño de las comunicaciones a nivel servidor con el frontend.

1.10 Impacto esperado

Con este proyecto no solo se esperó poder cumplir con las necesidades de la empresa cliente, sino que se busca generar un producto innovador que genere un impacto tecnológico, no solo a nivel nacional si no a nivel internacional, es decir, producir tecnología de alto impacto para la industria de alimentos, adaptada a los nuevos modelos industriales (industria 4.0) en respuesta a los problemas de producción generados por la pandemia del covid-19.

Otro de los alcances esperados para este proyecto es poder mantener los mismos niveles de producción en la línea de envasado de grano, manteniendo al margen los costos, y previniendo accidentes y fallas en este proceso de la línea. Asimismo, contribuyendo a proteger la integridad de los operarios manteniendo las medidas de seguridad sanitaria.

También se espera poder generar nuevos protocolos de producción, implementando aplicaciones web para disminuir el costo de diseño de software, y así poder implementar la eficiencia de la aplicación en cualquier tipo de dispositivo que tenga acceso a internet y a los servidores de la empresa. Se espera que este sistema sea compatible con los protocolos de comunicación serial de los PLC utilizados en el proyecto, se planea lograr esto mediante el uso de IoT brokers y manejo de lógica de backend con frameworks como node js, asimismo se busca que el tiempo de respuesta sea lo más corto dentro de los estándares.

Capítulo 2:

Antecedentes, estado del arte y del proyecto

- “Nuestras virtudes y nuestros defectos son inseparables,
como la fuerza y la materia. Cuando se separan,
el hombre deja de existir” –

Nikola Tesla

2.1 Estado del arte y antecedentes del proyecto.

A lo largo de la historia los seres humanos han creado y buscado mejorar los sistemas de comunicación, y todo con el propósito de poder transmitir información más rápido a distancias más largas, con lo cual se optimizarán muchos procesos, con el paso del tiempo los avances científicos en el área de la electrónica de comunicaciones nos han permitido interconectar a todas las personas del planeta. Sin embargo, la tele operación tiene sus orígenes en la industria nuclear, en donde un operario podría manipular y trabajar con sustancias peligrosas desde un lugar seguro, es decir, sin riesgos para su salud. Cabe también destacar que la tele operación fue posible gracias a los avances en el área de control automático, y es importante mencionar que estos avances fueron motivados o impulsados por la industria militar, especialmente durante los periodos de la primera y segunda guerra mundial. Pero no fue a partir de 1947 cuando surgieron trabajos para implementar un esquema completo de tele manipulación, en ese entonces se desarrollaron sistemas con dispositivos sincronizados mecánicamente denominados maestro-esclavo, a los cuales se les acopló retroalimentación de fuerza en 1954 [1].

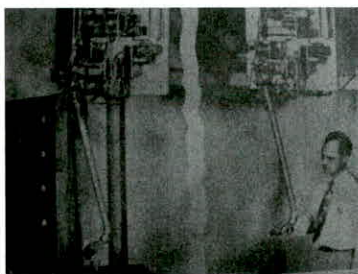


Imagen 1: “Primer sistema de manipulación maestro esclavo”

Durante los años 60 se utilizó esta tecnología por primera vez en la historia en aplicaciones submarinas y espaciales, lo que reveló que en los sistemas creados hasta entonces existía la presencia de retrasos en el control, lo cual genera grandes inestabilidades en los sistemas tele controlados. Desde los primeros años de desarrollo e investigación de la tele operación y la telemetría, la industria nuclear y espacial han sido las principales consumidoras de estas tecnologías. Sin embargo, con el paso de los años se han ido encontrando nuevas aplicaciones en distintos sectores especialmente en las industrias de servicio [1] y en el sector médico.

En las últimas décadas las aplicaciones de la tele operación a los sectores como el médico, espacial y de servicios han permitido el paso de nuevos conceptos como el de IoT (Internet of Things), el cual hace referencia a la interconexión de distintos dispositivos inteligentes para la transmisión y recolección de datos, a los cuales se les puede dar un distinto procesamiento según su aplicación, esta tendencia de interconectar varios dispositivos a través de internet ha permitido crear nuevas aplicaciones y descubrir sectores de oportunidad; como por ejemplo el desarrollo de la domótica la cual consiste en la automatización e integración de dispositivos inteligentes en los hogares, a su vez estos dispositivos (sensores y actuadores) se han hecho cada vez más complejos, dando paso así a la aplicación e integración de otras tecnologías emergentes, tales como la inteligencia artificial o aprendizaje automático, de la cual se derivan otras aplicaciones como el análisis de datos, NLP (Natural Language Processing) y visión artificial entre otras.

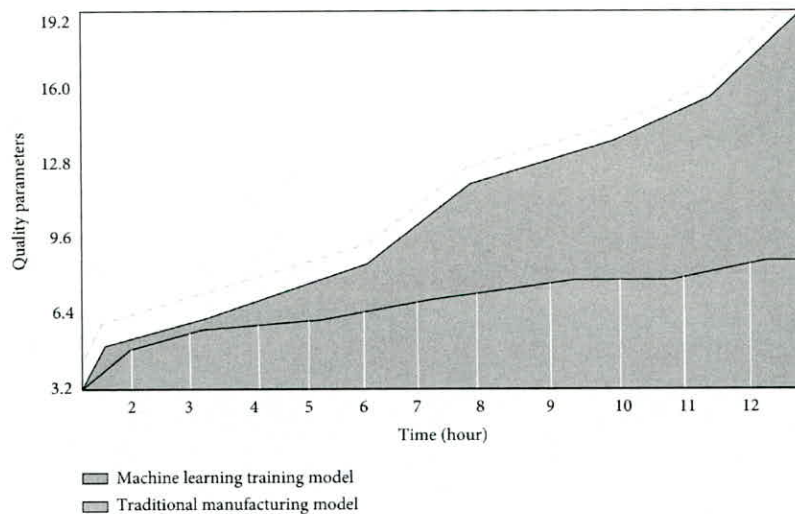
En los últimos años estas tecnologías emergentes se han aplicado al sector industrial, para optimizar y automatizar procesos de manufactura. A esta tendencia se le ha denominado industria 4.0.

2.2 La tendencia de la industria 4.0.

El término industria 4.0 hace referencia a un nuevo modelo de organización y de control de cadena de valor, a través de todo el ciclo de vida de un producto, y a lo largo de todos los sistemas de fabricación apoyados por las tecnologías de la información. Este término se usa de manera generalizada en Europa, pero surgió en Alemania, en definitiva, es la aplicación industrial del modelo de tecnologías emergentes IoT [2]. En forma general se ha afirmado que es la cuarta revolución industrial.

Podemos encontrar actualmente en el contexto industrial algunas empresas que ya aplican estos modelos y métodos para mejorar sus procesos de producción. Por ejemplo, en China existen empresas que investigan y desarrollan nuevos métodos de manufactura de autopartes basándose en la aplicación de modelos de machine learning. Como por ejemplo en los procesos de selección de materiales. Básicamente en estos procesos se plantea utilizar algoritmos de visión artificial, aplicados a sensores ópticos y actuadores, los cuales obtiene datos para hacer la selección de materiales adecuados para la fabricación de las piezas automotrices. Con los datos obtenidos se espera poder entrenar al sistema, para que realice

de manera automática la simulación y selección de materiales, y con ello agilizar los procesos de modelado. Estos modelos aplicados también han permitido agilizar los procesos de producción de autopartes, en el siguiente gráfico obtenido del artículo Research on High-Quality Development of Auto Parts Manufacturing Industry Based on Machine Learning Model, se muestra como los modelos y algoritmos de AI aumentan la eficiencia y calidad de producción en la manufactura de autopartes (# referencia).



Sin embargo, cabe mencionar que, en este estudio, sólo se aplicó un modelo de visión artificial para acortar el tiempo del proceso de control de calidad de selección de material. Además, que este mismo estudio pudiera realizarse con un sistema de obtención de datos menos complejo y costoso, como utilizando sensores de colores o de refracción de luz, con los cuales también se puede detectar la rugosidad y calidad de un material de manera precisa. En este proyecto no se busca solo acortar un proceso, si no que se pretende aplicar, he integrar los modelos de AI y de IoT para automatizar y monitorear un proceso de producción de forma remota.

Es importante mencionar que estos objetivos específicos de desarrollo de sistemas de control y monitoreo con inteligencia artificial, se han llevado a cabo en otros países como Japón, en donde se aplican a sistemas de seguridad industrial, los cuales monitorean los movimientos

de los trabajadores para prevenir accidentes y falta de seguimiento a los protocolos de producción. (#referencia).

Aunque los trabajadores siguen corriendo cierto riesgo debido a que operan directamente las máquinas, por ello una de las propuestas principales de este proyecto es aplicar la tele operación para reducir los riesgos y accidentes al máximo, en cualquier proceso de operación de alto riesgo.

2.3 El papel del modelo IoT

Hoy en día, el concepto de tele operación es muy utilizado en la tecnología básica de consumo, esto se debe al desarrollo continuo de las telecomunicaciones y conexiones a internet, también podemos ver que gracias a los conceptos y modelos de IoT (Internet of Things) o internet de las cosas se han desarrollado nuevas áreas de aplicación, como la domótica o automatización de los hogares por medio de la interconexión de los objetos, como ya se mencionó anteriormente.

En el actual mercado de la domótica, los sistemas más comunes tele operados que podemos ver, son las cámaras de seguridad que se conectan a la red de internet y estas se pueden manipular y observar a través de una aplicación de celular o incluso aplicaciones web de forma directa. Otros de los dispositivos más utilizados en la domótica, que aplican los conceptos de IoT, son los asistentes de voz, los cuales funcionan mediante un software de AI y aplicando algoritmos de procesamiento natural del lenguaje.

2.4 Computing Clouding Y IoT

Actualmente, gracias a que empresas como Microsoft o Amazon han hecho posible que estas tecnologías puedan aplicarse en la vida cotidiana de las personas, por que han abaratado los costos de almacenamiento, procesamiento y gestión de datos en la red. Y con ello han salido nuevas ramas de especialidad profesional como lo es el computing clouding (servicios de computación en la nube), esta se refiere al uso de servidores remotos conectados a internet para almacenar, procesar y administrar datos. Esto permite que prácticamente cualquier persona pueda crear proyectos que involucren tecnologías de IoT, o tele operación de manera muy económica. Los principales servicios de computing clouding son microsoft azure y AWS(amazon web services), para este proyecto se implementó este último servicio.

Es importante mencionar que al funcionar los conceptos de IoT con la robótica nace un concepto formal, el cual es IoRT (Internet of Robotic-Things), este termino se presenta como un concepto que va más allá del Cloud Robotics, donde se hace uso de las características de virtualización del computing clouding y la implementación de los tres servicios (software, plataforma e infraestructura), donde también se integran tecnologías de IoT para mejorar la aplicación de la robótica en la red [].

2.5 Internet of Robotic-Things (IoRT).

Para este proyecto no solo se implementaron modelos de IoT sino también, conceptos de IoRT, cuyas principales características pueden resumirse en tres puntos principales:

- Define las características principales de las tecnologías robóticas que las distingue como una clase única y separada de los objetos IoT (pero que pueden ser complementarios).
- Hace que las principales características de los sistemas robóticos como el movimiento manipulación y autonomía se vean reforzadas por el IoT, además de que mejora los sistemas de retroalimentación.
- El modelo IoRT representa como el IoT se fusiona con la robótica mejorando así las capacidades de detección, inteligencia y localización en un entorno. Así como la reducción de retardos en los procesos de tele manipulación.

2.6 Descripción general de la arquitectura del proyecto.

Analizando los antecedentes de las aplicaciones de la tele operación, se puede concretar que el área de oportunidad de mejora de los sistemas tele operados es el retardo en el tiempo de respuesta del sistema, así como las interfaces de control. Por ello, en este proyecto se implementaron conceptos de desarrollo web, IoT, IoRT y AI para generar una interface a través de una aplicación web, la cual mediante el uso de los servicios de AWS en el diseño backend de la app, pueden mejorar los tiempos de respuesta en el sistema, ya que en este servicio de la nube se pueden implementar diversos IoT brokers y protocolos de comunicación serial como el MQTT, además de que se pueden procesar grandes cantidades de datos a un bajo costo.

También este tipo de servicios tiene integradas herramientas y frameworks multiplataforma de AI, las cuales nos permiten generar y entrenar redes neuronales de forma más fácil y rápida. En la parte del frontend de la app web se usaron herramientas de desarrollo como react js, la cual permite diseñar interfaces frontend de software personalizadas a bajos costos.

Para este proyecto y prototipo se utilizó la arquitectura propuesta por el modelo IoRT, la cual consta de 5 capas distribuidas de la siguiente manera: La capa física de Hardware, la capa de red local, la capa de internet, la capa de infraestructura y por último la capa de aplicación.

Como conclusión el objetivo de esta memoria laboral, es reportar los resultados del desarrollo y construcción del proyecto de investigación “Celdas de manufactura tele operadas” en MIRAI INNOVATION LABS, usando las tecnologías de los modelos de IoT y de la industria 4.0.

A continuación, se presentará el desarrollo del diseño mecatrónico de un subsistema de llenado y sellado de envases, en el cual se implementan los conceptos de la teleoperación bajo el modelo de la industria 4.0. Se describirán los requerimientos y necesidades captadas del proyecto, y se presentarán los resultados de la implementación del prototipo.

En los siguientes capítulos se describirán todas las fases del diseño del proyecto, las actividades, resultados y aportaciones generadas durante su desarrollo. También se explicarán las soluciones utilizadas partiendo de los requerimientos del problema, y se describe a detalle cómo se usaron los modelos de IoT y de IA (inteligencia artificial) para lograr cumplir los objetivos del proyecto.

Capítulo 3:

Metodología de investigación y desarrollo, proceso de diseño

- “En la vida no existe nada que temer,
Solo cosas que comprender” -

Marie Curie

Como se mencionó en el capítulo 1 la metodología que se siguió para el proceso de investigación y desarrollo consta de tres etapas: Etapa observacional, Etapa prototipo y etapa de seguimiento.

3.1 Etapa observacional.

En este proceso se realizaron pruebas piloto donde se pretende medir el ambiente de ejecución de la celda de manufactura, con la finalidad de ver en acción todas las posibles variables a considerar, y de esta manera se realizaron estudios estadísticos para fundamentar el diseño de distintas propuestas de una celda de manufactura.

Durante este proceso de requerimientos se logro determinar que las variables de diseño más significativas de forma general de todo el sistema son: Temperatura del sistema, vibraciones mecánicas de los motores de la banda transportadora, tiempo de retardo en cada instrucción enviada. En la siguiente tabla se presentan todas las variables que se consideraron durante el proyecto.

	Objetivo	Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Escala de Medición
1	Realizar mediciones de las vibraciones de los motores del sistema	Frecuencia e intensidad de vibraciones	Con ella podemos clasificar los rangos de funcionamiento de un motor	Con la frecuencia se puede determinar el punto de fallo de un motor, es decir, a determinadas frecuencias el motor falla	Variable cuantitativa, Independiente, medida en hercios HZ
2	Realizar mediciones de temperatura a los actuadores	Temperatura de actuadores y microprocesadores	Con la temperatura de los actuadores podemos determinar fallos de funcionamiento	Se implementa para predecir fallas en algún actuador del sistema	Variable cuantitativa, independiente, medida grados centígrados.

3	Realizar medidas de todo el sistema	Longitud de carrera de la banda transportadora	Es la distancia de toda la carrera de la celda de manufactura	Se emplea para saber en donde se empieza la carrera, y en donde se debe de hacer el paro de carrera de la banda	Variable cuantitativa, independiente, medida en centímetros.
4	Realizar las mediciones de fuerza para mover los recipientes con el producto	Fuerza requerida para que los actuadores muevan los recipientes y las tapas de los recipientes	Es la fuerza necesaria que emplean los actuadores para generar el proceso de embazado	Esta variable se emplea para calcular la fuerza exacta para el proceso de embace sin que se rompa el producto	Variable cuantitativa, independiente, medida en Newtons (N)
5	Realizar la medición y detección del movimiento del producto	Monitoreo de movimiento	Con la detección del movimiento se puede detectar si existe alguna anomalía con el producto	Se emplea para el monitoreo de la integridad del producto y para el control del sistema	Variable cuantitativa, fotos tomadas por segundo
6	medición del tiempo de embace del sistema	Tiempo de envasado del grano	Medir el tiempo desde el inicio de carrera de la banda transportadora	Se emplea para determinar el número de embaces logrados en el tiempo	Variable, cuantitativa, minutos y segundos
7	Medir el peso de cada frasco para determinar el llenado total del producto	Peso en Kilogramos, que debe llevar cada frasco	Es la cantidad de Producto neto, que debe contener cada baso	Se mide para determinar el llenado exacto de cada frasco en el proceso	Variable cuantitativa, independiente medida en gramos.

3.2 Etapa de prototipo.

Para la etapa de prototipado se recurrió al uso de las técnicas ágiles de producción, las cuales son enfoques colaborativos y flexibles para la gestión de proyectos. Estas metodologías de diseño de prototipo se basan en la adaptación constante, la comunicación efectiva entre los

usuarios y los desarrolladores, también considerando la entrega iterativa de resultados. Estas estrategias nos permiten elaborar un prototipo o producto final de manera más eficiente, ya que estas valoran la respuesta rápida al cambio.

Para la elaboración de este proyecto se trabajó con la metodología Scrum, la cual es un marco de trabajo ágil que es comúnmente utilizado para desarrollar proyectos complejos y especialmente utilizado para desarrollar software. Este marco de trabajo fue diseñado para mejorar la productividad y la eficiencia de los equipos, así como para adaptarse a los cambios y a las necesidades de los clientes o el usuario final del prototipo.

La metodología Scrum, el trabajo se mide en iteraciones llamadas “Sprints”, que son periodos fijos y cortos, generalmente de una a cuatro semanas. Cada uno de estos “Sprint” tiene un objetivo específico sobre el prototipo del producto. Esta metodología también cuenta con una serie de artefactos:

- 1.- Backlog del producto: Es una lista de funcionalidades que debe tener el producto final del producto o prototipo, también se añaden las mejoras y correcciones que se le puede añadir al producto.
- 2.- Backlog del sprint: Es una lista seleccionada del Backlog del producto, la cual el equipo de desarrollo se compromete a entregar durante un sprint determinado.
- 3.- Daily Scrum: Son reuniones cortas y diarias, en las que el equipo de desarrollo se sincroniza, comparte el progreso y se sincroniza.
- 4.- Sprint Review: Es una reunión final del sprint en la que el equipo de desarrollo muestra un incremento y avance en el desarrollo del producto, y recibe comentarios y retroalimentación del Product Owner.
- 5.- Retrospectiva del sprint: Es una forma de retroalimentación del equipo, donde se reflexiona sobre el sprint anterior y se buscan oportunidades de mejora para el próximo sprint.

En la etapa prototipo se pretende trabajar en las instalaciones de la empresa Iteshi Puebla para poder evaluar las distintas necesidades de los clientes y de los operarios de la celda de envasado. Así poder generar una lista de posibles prototipos y modelos que se podrían implementar como solución a dichas necesidades, y así poder adaptar cada modelo a dichas

necesidades. Posteriormente se elabora un procedimiento de cuasi experimentación en donde se captan todos los resultados y se escoge un prototipo final para los usuarios el cual será seleccionado adaptándose al presupuesto del cliente y a todas las necesidades de los usuarios finales. Para este aparato se uso el taller de la empresa iteshi para elaborar el ensamblado del prototipo, y también se instaló en las oficinas de mira una computadora que funciona como estación de control vía remota.

3.3 Etapa de seguimiento.

La etapa de seguimiento del proyecto implica monitorear y evaluar el progreso del proyecto en relación con los objetivos establecidos. Durante esta etapa se evalúan cuáles son los objetivos alcanzados en la descripción del cronograma del proyecto, también se elabora la supervisión de los modelos prototipo propuestos, el alcance de estos y la gestión de los riesgos; durante esta ultima etapa se agregó un parámetro más a considerar, el cual es el presupuesto de la empresa cliente.

Posteriormente se recopilan datos y se comparan con los hitos planificados para identificar anomalías en el proyecto y desviaciones, para poder hacer toma de decisiones y acciones correctivas. Además, se realizan informes de avance, reuniones de seguimiento y se mantiene una comunicación constante con el equipo y los usuarios finales. Por último, se plante un periodo de prueba del sistema prototipo, el cual consta de poner el sistema en uso por unas semanas y observar su comportamiento para posteriormente evaluar si es necesario hacer correcciones.

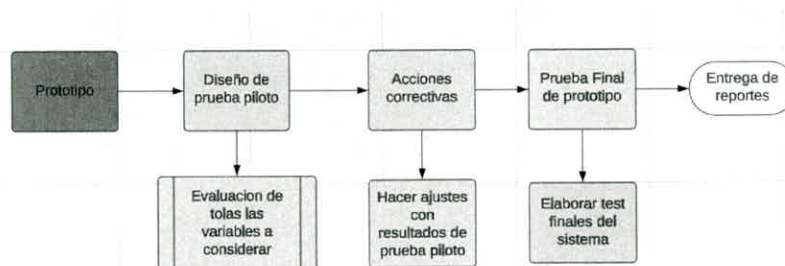


Diagrama de etapa de seguimiento del proyecto

Capítulo 4:

Diseño de prototipo de la celda de manufactura, y proceso de envasado de grano

- “Los grandes descubrimientos se hacen más por intuición que por el conocimiento exacto” -

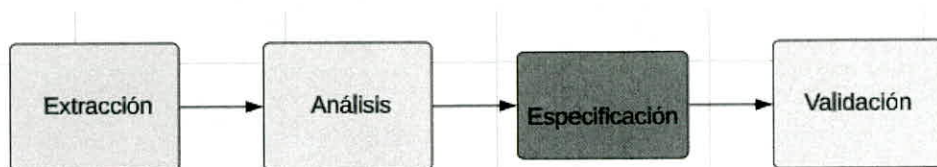
Isaac Newton

4.1 Proceso de requerimientos del proyecto

La etapa de ingeniería de requerimientos desempeña un papel esencial en la producción de software, sin embargo, también es fundamental en el diseño de cualquier proyecto de las ciencias de la ingeniería, ya que en este paso del proyecto se concentra en un aspecto fundamental: La definición de lo que se desea crear, es decir, el objetivo de este procedimiento de requerimientos es generar especificaciones precisas que describan de manera clara, coherente y concisa las necesidades de los usuarios o clientes, tratando de evitar a toda costa ambigüedades. De este modo se busca minimizar los problemas asociados a una mala gestión deficiente de los requerimientos durante el desarrollo del sistema; en este proceso también se deja en claro las posibles estrategias para abordar el problema, así como los desafíos que se pueden llegar a presentar durante el proceso.

Durante la elaboración de este proyecto la forma en la que se abordaron los requerimientos del usuario fue mediante una entrevista directa con el cliente, donde se expusieron los objetivos y necesidades principales del proyecto. También se establecieron las alcances y limitaciones de este, en este paso es cuando se establece el presupuesto económico del cliente, el cual delimita el alcance del proyecto.

Después de la entrevista, se le pidió al cliente ver en acción el sistema y su forma de operación en condiciones normales, durante este procedimiento de estudio observacional se ejecutaron las siguientes acciones para determinar los requerimientos:



1.- Extracción

Esta etapa marca el inicio de cada ciclo. La extracción se refiere a las actividades relacionadas con la identificación de los requisitos del sistema. Durante este proceso, es crucial que la extracción sea eficiente, ya que la satisfacción de las necesidades del cliente determina la aceptación de sistema.

2.- Análisis

Esta acción se basa en la extracción previa realizada, esta fase tiene como propósito descubrir posibles problemas vinculados con los requerimientos del sistema que se han ido identificando durante el proceso. Por lo general, se lleva a cabo un análisis después de haber llevado a cabo un borrador de requerimientos inicial. Durante esta etapa, se revisan los requerimientos, se conceptualiza, se investiga y se intercambian ideas entre los miembros del equipo para comenzar a buscar posibles alternativas y soluciones.

3.- Especificaciones

En esta fase de acción se documenta todos los requerimientos acordados con el cliente, sin dejar espacio a la ambigüedad, con el mayor detalle posible.

Sin embargo, en la realidad de la práctica, esta etapa se va ejecutando con el análisis, se puede decir que la especificación, es tomar todos los pasos anteriores y pasarlos en limpio; todo ello aplicando los análisis anteriores de manera correcta sin ignorar los protocolos de desarrollo y de calidad del cliente, aplicando técnicas estándares de documentación, como los diagramas de flujo descriptivos.

Es importante tomar en cuenta durante el proceso todas las posibles variables de estudio a considerar, ya que estas serán de utilidad a la hora de realizar mediciones y pruebas del desempeño del sistema. En resumen, entre más información de variables obtengamos, más certero será nuestro requerimiento y tendrá menos ambigüedad. Por último, es importante no perder de vista el presupuesto del cliente para el planteamiento de la solución.

4.2 Estudio de requerimientos específicos del sistema.

Anteriormente se describieron las acciones y la metodología detallada que se llevo a cabo para realizar los requerimientos del sistema, a continuación, se describen las especificaciones que se tomaron en cada una de dichas acciones del proceso.

No. Acción	Acción	Información obtenida
1	Extracción: En esta fase se obtuvieron las necesidades del cliente de manera concreta y general	Necesidades entradas: Sistema automático, capas de detectar errores, operación a distancia, monitoreo a distancia, reporte de errores, paros de emergencia, interfaz de usuario multiplataforma
2	Análisis: En esta fase se hace análisis de las necesidades del cliente captadas del primer paso, y se clasifican en nivel de prioridad. Posteriormente se resumen en una sola palabra clave.	Prioridades/Soluciones: -Sistema AI -visión artificial -Sensores (temperatura, vibraciones, movimiento, cámaras) -Actuadores (Neumáticos, motores) -Microcontroladores -computación en la nube
3	Especificaciones: En esta etapa, cada palabra clave obtenida del paso anterior es una idea para implementar una solución, y se le deja muy claro al cliente todos los detalles que involucran a esa idea o solución.	Resumen de la solución: Sistema de aprendizaje automático en el proceso de envasado de grano, controlado a distancia usando modelos de IOT a través de una App web
4	Validación: En esta fase se le describe mediante una simulación y maquetado las ideas propuestas al cliente para que este las confirme y valide	Consideración final: El cliente acepta las ideas, dependiendo del alcance del presupuesto

4.3 Conclusiones y requerimientos generales.

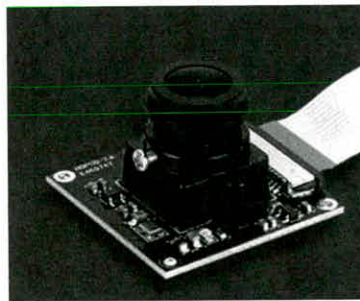
Los requerimientos para controlar una celda de manufactura con modelos de IoT a través de una App web multiplataforma, pueden variar debido a la cantidad de envases producidos por día, ya que el cliente produce según la demanda. Sin embargo, a continuación, se presentan algunos requerimientos generales:

1. **Conectividad:** Es necesario contar con una infraestructura de red sólida que permita la comunicación entre los dispositivos del IoT en la celda de manufactura y la aplicación web.
2. **Sensores y actuadores:** Se requiere la instalación de sensores en la celda de manufactura para recopilar datos relevantes, como temperatura, presión, humedad, nivel de inventario. Asimismo, es importante contar con actuadores que permitan controlar y ajustar los parámetros de la celda, como encendido/apagado de máquina, encendido/apagado del llenado del embace de cristal, control del sistema de sellado por tapas.
3. **Protocolos de comunicación:** Se debe definir los protocolos de comunicación utilizados para la transmisión de datos entre los dispositivos de IoT y la aplicación web. Las mejores opciones para hacer conexiones de tipo bróker incluyen a protocolos como MQTT, HTTP entre otros.
4. **Computación en la nube:** Se debe de contar con un acceso a un servidor con alta capacidad de cómputo, para poder construir grandes bases de datos. Entre más grande sea la base de datos más eficiente es el sistema.
5. **Seguridad:** Se debe de implementar sistemas de seguridad para proteger la integridad y la confidencialidad de los datos transmitidos entre los dispositivos de IoT y aplicación web. Estos pueden incluir atenuación, cifrado de datos y control de acceso.
6. **Desarrollo de aplicación web:** Se requiere de una aplicación web que le permita a los usuarios visualizar los datos de salida de la celda de manufactura, así como poder gestionar su operación y control de forma remota. La aplicación debe ser intuitiva, fácil de usar y que sea compatible con cualquier tipo de navegador.

7. **Análisis de datos:** Es importante contar con un proceso de análisis de datos en la parte del backend de la aplicación web, para extraer información útil proveniente del sistema de sensores y actuadores. Para procesar esta información pueden incluir técnicas de análisis estadístico, aprendizaje automático (machine learning) y visualización de datos.

4.4 Lista de sensores utilizados para el sistema.

- **Sensores de visión:** Para el proyecto se utilizaron cámaras de alta resolución para capturar imágenes y videos de líneas de producción, permitiendo la detección de objetos, monitoreo visual, reconocimiento de patrones de posición de los frascos de grano dentro del sistema. El sensor que se utilizó fue un módulo de cámara del kit de desarrollo Nvidia Jetson Nano.



Modulo de cámara Nvidia Jetson Nano

- **Sensores de proximidad:** En la elaboración del proyecto se utilizaron sensores inductivos resistentes a alta presión, utilizados para detectar la presencia del objeto dentro de la banda transportadora de la celda de manufactura en puntos específicos.



Sensor de proximidad

- **Sensores de fuerza/torque:** Permiten medir la fuerza y el par aplicados durante la operación de manipulación, lo que ayuda en el control preciso de los movimientos de los actuadores.



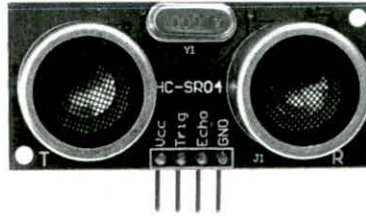
Sensor de fuerza resistivo

- **Sensores de temperatura:** Utilizados para controlar y monitorear la temperatura en diferentes partes de la celda de manufactura, como en los motores de la banda transportadora para evitar posibles sobrecalentamientos que puedan causar fallas en el sistema; y asegurando un ambiente adecuado para los procesos de producción.



Sensor de temperatura k3m

- **Sensores ultrasónicos:** Estos sensores emiten ondas ultrasónicas y miden el tiempo que tardan en recibir el eco de vuelta. En la celda de manufactura se utilizó en la sección de llenado de envase. Al colocarlo en la parte superior del envase, puede determinar la distancia hasta la superficie del grano, y, por lo tanto, estimar el nivel de llenado.



Sensor ultrasónico

- **Sensores de presión:** Un sensor instalado en la última estación de la celda de manufactura, en la parte inferior del envase puede medir la presión ejercida por el grano, y así poder determinar si cada envase cuenta con la cantidad correcta de producto neto (esta se mide en gramos).



Sensor de presión

- **Acelerómetro/sensor de vibración:** Un sensor de vibración es un dispositivo diseñado para medir la intensidad y frecuencia de las vibraciones presentes en un sistema. Estas mediciones son valiosas para identificar diversas anomalías que pueden afectar al funcionamiento de la máquina. Para este proyecto se utilizó un acelerómetro piezoeléctrico, los cuales funcionan según la aceleración que actúa sobre una masa sísmica que ejerce una fuerza sobre los cristales piezoeléctricos, estos luego producen una carga eléctrica proporcional. Estos cristales suelen estar precargados debido que en un aumento o disminución de aceleración provoque un cambio en la carga producida por ellos.



Acelerómetro piezoeléctrico.

4.5 Lista de actuadores:

- **Sistemas de transporte automatizado:** En este proyecto para elaborar el prototipo final se diseñó el sistema de banda transportadora desde cero, es decir se diseñó una estructura que cumplió con las dimensiones proporcionadas por el cliente.
- **Motor:** En el sistema de banda transportadora para los envases de grano no fue necesario manejar sistemas de alto torque, por ello solo se utilizó un solo motor en un solo extremo de la banda transportadora.
- **válvulas y actuadores neumáticos:** Utilizados en la elaboración del prototipo final para controlar el flujo de aire comprimido en la celda de manufactura, permitiendo la apertura, cierre o ajuste preciso de las estaciones de envasado de la celda de manufactura.
- **Actuadores lineales:** Estos permitieron generar movimientos lineales en las estaciones donde pasa el recipiente de envasado, controlando cada proceso con pasos de movimiento precisos.
- **Sistema de paro de emergencia:** Este sistema, hace que toda la celda de manufactura se desactive, en caso de detectar cualquier tipo de anomalía en los parámetros de correcto funcionamiento de los actuadores. Este sistema puede ser activado automáticamente o puede ser activado manualmente a distancia.

4.6 Eficiencia del modelo propuesto.

El problema o limitación del sistema propuesto, es el retardo de retroalimentación en la celda de manufactura, este se refiere a la demora entre la acción realizada por el operador remoto y la respuesta recibida. Esto afecta directamente a la eficiencia y precisión del proceso de fabricación, sin embargo, es muy complicado lograr un control 100% en tiempo real.

Una solución que aplicamos en proyecto que ayudo a disminuir el tiempo de retardo a una cantidad mínima de tiempo, fue mediante la optimización del sistema de comunicación serial, el protocolo MQTT y las tecnologías de servicio de cómputo en la nube (AWS) ayudaron a mejorar el procesamiento de la información, y por lo tanto agilizaron el tiempo de respuesta del sistema.

4.7 Prototipo final y estructura en 3D / Reporte técnico

Como se ha mencionado anteriormente, en el proyecto se ha desarrollado un sistema de producción con la finalidad de incorporar la tecnología de la industria 4.0. Este prototipo está compuesto por tres estaciones de trabajo, como se describe en la siguiente tabla.

No. De estación	Descripción
1	Llenado de envases
2	Colocación de tapas
3	Sellado y tapado

Proceso de operación:

El proceso inicia al presionar el botón de inicio, lo cual activa el motor de la banda a través del Control Lógico Programable (PLC). Luego, el operador coloca el envase sobre la banda, lo que permite su avance. Cuando el envase llega a la primera estación, un sensor detecta su presencia y envía una señal al PLC para detener la banda. Esto permite que el cilindro neumático regrese a su posición original y comience la caída del producto desde la tolva. Una vez que el envase está lleno,

esto es detectado por el sensor ultrasónico, el cilindro avanza, cerrando la tolva, y se vuelve a activar el motor de la banda.

A continuación, se procede a colocar la tapa en el envase mediante el movimiento del mismo frasco. Mientras el envase avanza a través de la estructura de las tapas, estas se van posicionando automáticamente gracias a su diseño. La estructura cuenta con un sistema al final para evitar que la tapa se caiga y asegurarse de que se coloque en la posición correcta.

La etapa final consiste en el sellado y tapado del envase. Cuando el envase alcanza esta fase, es detectado por un sensor láser que envía una señal al PLC para detener nuevamente la banda. Una vez detenida, comienza la operación de los tres cilindros neumáticos ubicados en esta estación.

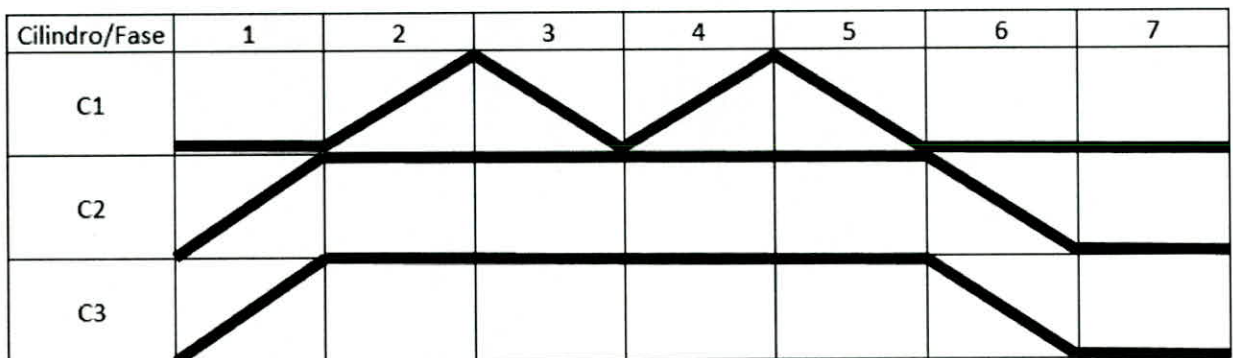
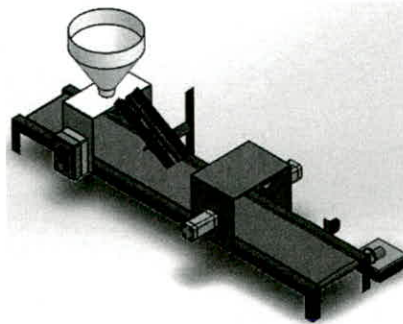


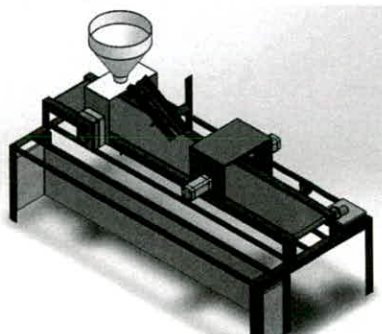
Diagrama de fases del cilindro

El cilindro C1 es responsable de realizar el tapado de los envases, llevando a cabo el proceso dos veces para garantizar que se realice correctamente. Por otro lado, los cilindros C2 y C3 se encargan del estampado del envase. Una vez que se han realizado todos los movimientos mencionados en la tabla 5, la banda vuelve a estar en movimiento y el envase avanza hasta llegar al final de esta. Allí, un sensor detecta que el producto está listo y la banda se detiene para evitar que el envase se caiga. La banda se reanudará cuando el operador retire el producto terminado.

A continuación, se presenta la descripción del diseño en CAD de el sistema, en donde se puede ver la estructura de la banda transportadora y la tolva de vaciado. También se puede apreciar las tres estaciones, la del llenado, colocación de tapa y la de sellado y embazado.



Modelo CAD de banda transportadora



Modelo CAD completo

Capítulo 5:

Diseño de aplicación web para el control teleoperado

- “No he fracasado. Simplemente he encontrado 10,000 maneras que no funcionan.” -

Thomas Edison

5.1 Introducción

A continuación, se despliega en la siguiente lista los requerimientos de la App web, para poder ejercer el control a distancia de la celda de manufactura, para el desarrollo de esta aplicación se utilizaron servidores de AWS y se implementaron IoT Brokers para el manejo de la comunicación de los microprocesadores con las bases de datos y la interfaz de usuario (UI).

1.- Objetivos y requisitos de la aplicación:

En la elaboración de este proyecto, se necesito diseñar una aplicación web que sea capas de conectarse con los microprocesadores del sistema de la celda de manufactura, en este caso una raspberry pi (para el primer prototipo) y una Nvidia Jetson nano para el prototipo final. Posteriormente, se plantea que el microprocesador se conecte a la interfaz de la App web para mandar y recibir información en tiempo real de los sensores y actuadores del sistema.

Se requiere que esta App sea compatible con cualquier tipo de navegador, por ello para desarrollarla se implementaron tecnología backend como PHP, debido a que este lenguaje tiene librerías compatibles con los IoT brokers, que a su vez son compatibles con los protocolos de comunicación MQTT. Se utilizo este protocolo de comunicación, ya que además de ser serial, tiene compatibilidad con los servicios de AWS.

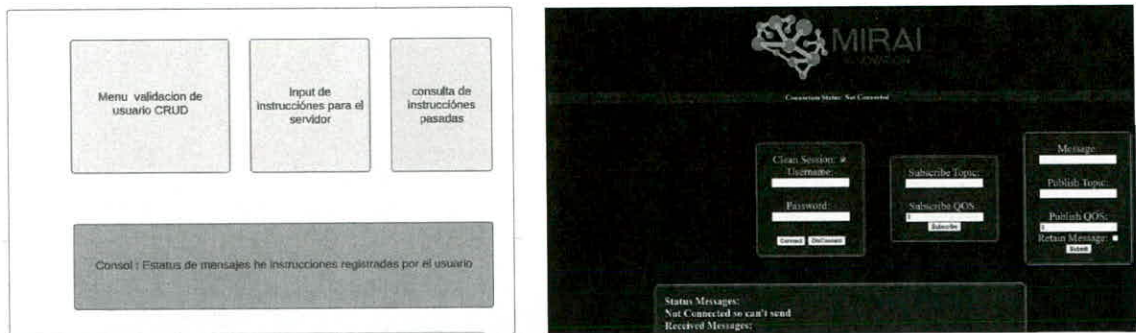
Otro de los aspectos importantes de esta aplicación es que debe tener un sistema de seguridad y validación tipo CRUD (Create, Read, Update, Delete), que por sus siglas en ingles es un sistema de validación y registro de usuarios. Este sistema permite tener un control exacto sobre las personas que entraron al sistema para operar la celda de manufactura, también se registra el numero de operaciones realizadas el tiempo en que fueron ejecutadas.

5.2. Especificaciones técnicas:

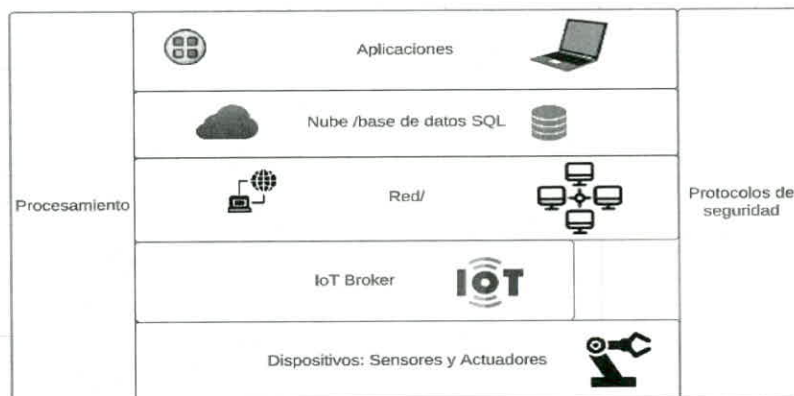
Las Tecnologías usadas para el maquetado de la aplicación fueron html para el maquetado, CSS para los estilos apoyándonos del framework Bootstrap, y para la

programación JavaScript, para el producto final en esta parte se utilizó el framework React Js, todas estas tecnologías solo fueron aplicadas para la parte de fronted.

En la parte del backend o la comunicación con el servidor se implementó la tecnología de PHP, ya que esta es compatible con los IoT brokers disponibles en los servidores de AWS, En el siguiente diagrama se describe la arquitectura frontend y backend la página web.



Descripción de Arquitectura Frontend.

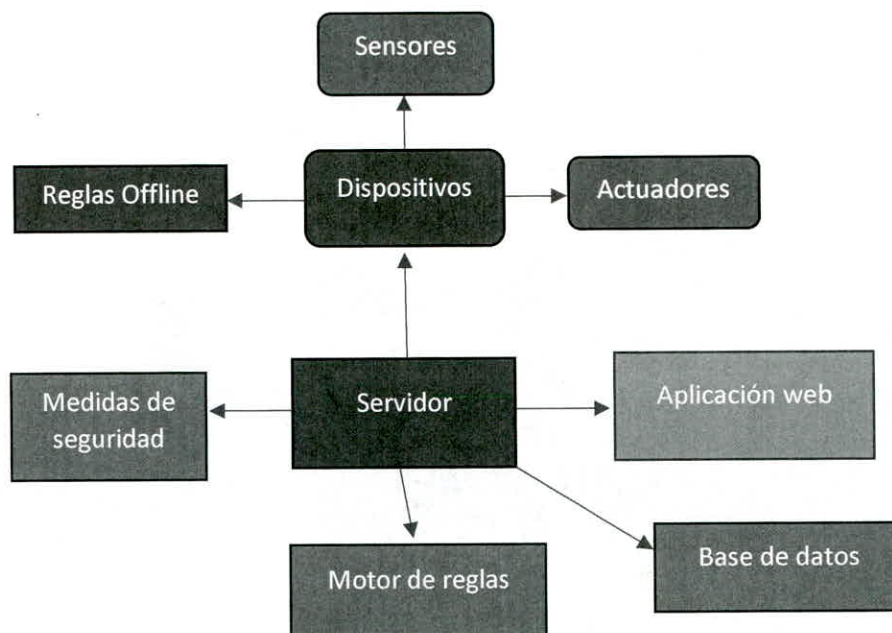


Descripción arquitectura Backend

3.- Comunicación, seguridad y conectividad.

En esta sección del diseño de la aplicación esta relacionada con la parte del backend ya que es una de las partes de la arquitectura anteriormente descrita. Sin

embargo, el sistema de comunicación IoT en si es un intermediario, a este se le denomina broker o el servidor, el cual acepta mensajes publicados por clientes (usuarios) y lo difunde entre los clientes suscritos (dispositivos). En la siguiente imagen se describe la arquitectura del sistema IoT implementado.



Arquitectura IoT.

En esta arquitectura el punto central es el Servidor o broker, que como se mencionó anteriormente recibe mensajes de cliente y los transmite a los suscritos, dentro del servidor es importante las medidas de seguridad para proteger la integridad de los datos, y también establecer reglas de servidor, para que este controle los valores de los datos y en función de estos el sistema actúe o no sobre los dispositivos.

También para la arquitectura se crearon reglas offline, las cuales nos permiten establecer unos parámetros de funcionamiento básico estable, en caso de que la conexión con el servidor llegue a fallar, esto asegura la integridad de la celda de manufactura, y permite que esta siga operando con las funciones más fundamentales, es decir, si se pierde la conexión se perderá momentáneamente

parte del funcionamiento del sistema, pero las partes más importantes seguirán funcionando.

Es importante mencionar que, para integrar los sensores y actuadores al sistema, se utilizó microprocesadores para conectarse al servidor de la aplicación web. Dentro de la interfaz de la página web también se puede activar cada uno de los actuadores y sensores de forma separada y a su vez se tiene acceso a acceso a retener un dato o instrucción enviado por un cliente.

En conclusión, la arquitectura de IoT para el proyecto fue funcional y eficaz para la prevención de fallas, durante el proceso de validación se cumplió con el objetivo de reducir los retardos de control al mínimo y se mantuvo un funcionamiento óptimo del sistema, también es importante mencionar que en el producto final se aplicó un estudio de experiencia de usuario para mejorar el diseño de la interfaz, logrando un producto más atractivo y didáctico para el usuario

Capítulo 6:

Resultados y conclusiones: descripción de electrónica y programación de prototipo

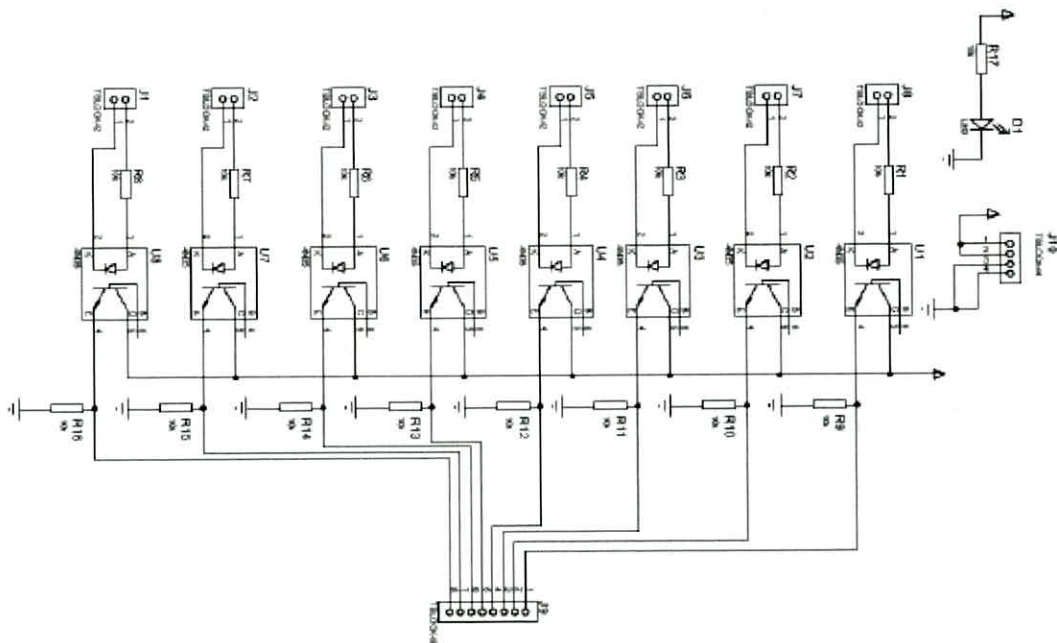
- “La ciencia es una herramienta para entender la naturaleza, no solo una cuestión de resultados y fórmulas.” -

Richard Feynman

6.1 Modelo general de automatización

Como se ha mencionado para este proyecto nos basamos en las propuestas de automatización de la industria 4.0, utilizando los modelos de IoT para poder mejorar la calidad de la automatización del proceso de embazado. En esta sección se describirán todos los aspectos de la electrónica y programación de microcontroladores, así como los resultados que se obtuvieron durante los procesos de prueba.

- Tarjetas del control del sistema: El PLC que controla el sistema está conformado por tres tarjetas electrónicas, de las cuales la de control está encabezada por un PIC16F877. También para manejar las entradas se utilizaron módulos de relevadores.
- Tarjeta de entradas/ Relevadores: Esta tarjeta está conformada por optoacopladores, resistencias, clemas y un diodo led.



Circuito de tarjetas de entradas

- Tarjeta de control: Está conformada por un microcontrolador PIC16F877a, resistencias, cristal de cuarzo, diodos, capacitores, clemas y drivers ULN2803. A esta tarjeta se le adicione un módulo de extensión de conexión de pines.

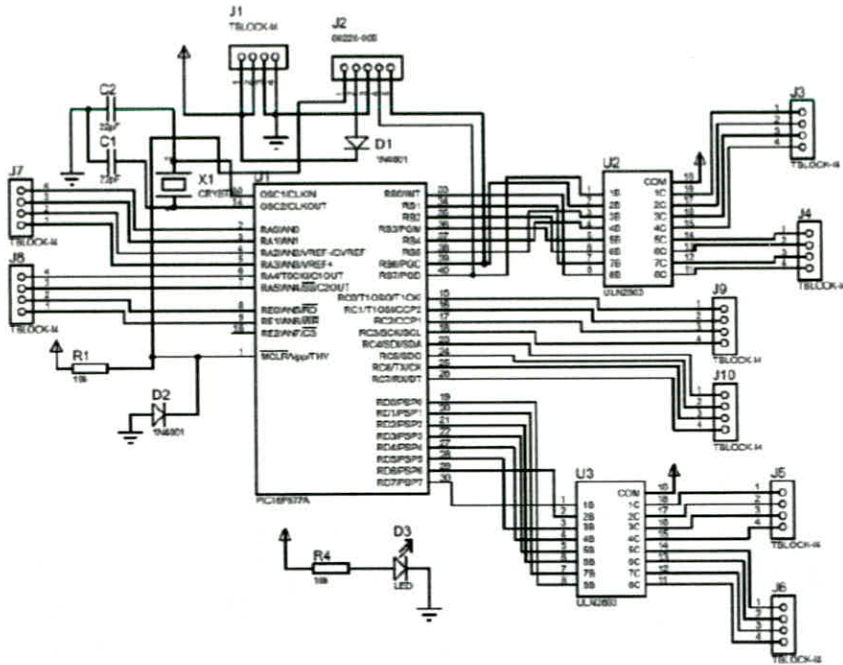
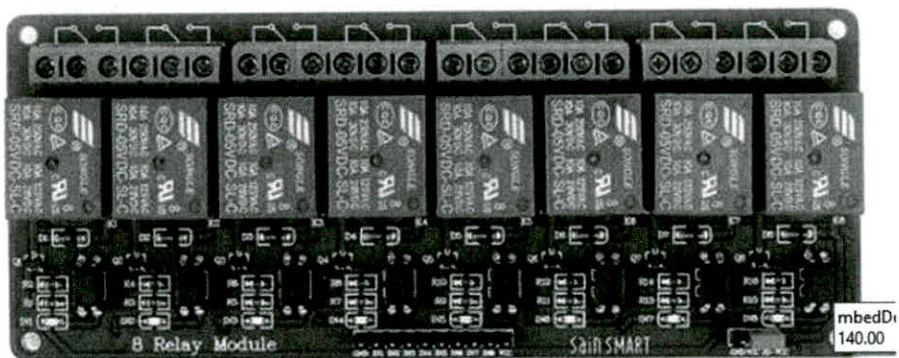


Diagrama de la tarjeta de control

- Tarjetas de salida con relevadores: Se trata de un modulo de relevadores optoacopladores, los cuales trabajan con voltajes de 5 Vcc.



Tarjeta de salidas de relevadores optoacopladores

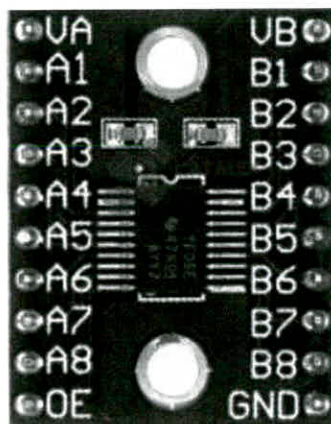
Para la programación de sistema se utilizo el software Step7 y se respetaron los ciclos de movimiento anteriormente planeados de los actuadores, para este caso se implementaron los lenguajes LADDER Y KOP.

La tarjeta de entrada se alimento con 5 Vcc y el rango en el que puede operar una señal es de 5 – 30 Vcc, esto se debe al uso de los optoacopladores y así no causar daños al microcontrolador, en casos de trabajar con voltaje mayor a 5 V.

En el caso de la tarjeta de salidas se utiliza los contactos de cada uno de los relés para poder activar cada uno de los actuadores del sistema.

6.2 Implementación del modelo IoT

Para poder implementar el control a distancia he interconectar toda la electrónica al microprocesador, que es el que se conecta a la red de internet, y para poder implementar la comunicación entre distintos tipos de lógica que maneja la Raspberry se utilizaron 2 módulos TXS0108e (level shifter) los cuales son drivers bidireccionales de 8 canales ttl 3.5 a 5V.



Modulo TXS0108e

El módulo level shifter, lo que hace es adaptar los diferentes voltajes que manejan los microcontroladores, es decir, el microcontrolador manda y recibe señales lógicas de 5V, mientras que las raspberry manda y recibe voltajes de 3.3 V. Entonces este modulo funciona como un conversor para mandar poder recibir volates de 5 V del

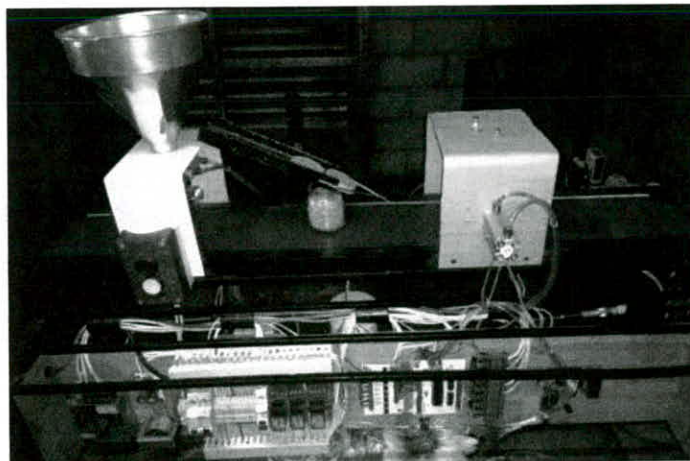
microcontrolador y transformarlos a 3.3V para mandarlos al microprocesador y viceversa.

6.3 Resultados.

El proyecto trabaja con 4 diferentes voltajes:

- 127 VCA. Se utiliza para alimentar las fuentes de poder, así como el compresor de aire.
- 24 VCC. Se utiliza para la alimentación de los sensores, electroválvulas y relevadores.
- 12 VCC. Se utiliza para la alimentación del motor que mueve la banda.
- 5 VCC. Se utiliza para la alimentación de las 3 tarjetas que conforman el PLC y para la Raspberry.

Para la construcción del prototipo se elaboro una estructura de acero en ángulo, donde todas las partes fueron soldadas, también se utilizo lámina soldada a la estructura para las 3 estaciones de trabajo.



Sistema de envasado automatizado

En la figura anterior se muestra el sistema del prototipo construido en su totalidad, para poder entender mejor el funcionamiento se puede consultar el diagrama de flujo del sistema que se encuentra en los anexos.

6.4 Estaciones del sistema

- Primera estación: Esta estación es la del llenado, so compone por la tolva, un cilindro y un sensor capacitivo.



Estación de llenado

- La segunda estación es en donde se colocan las tapas, únicamente se componen de estructuras y las tapas se van deslizando y colocando en los frascos por gravedad. Por medio de una cámara es en donde se monitorea si la tapa fue bien colocada en el envase.



Estación para colocar tapas

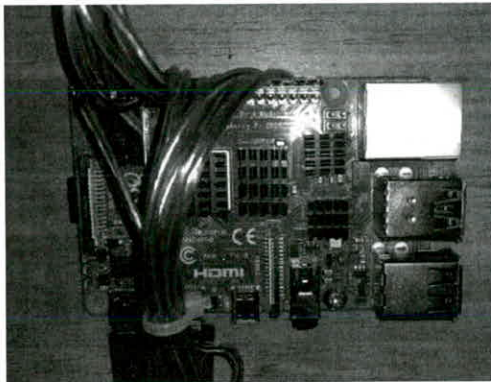
- La tercera etapa es la estación de sellado y tapado, la cual se compone de dos cilindros neumáticos de doble efecto a los laterales para el sellado, un cilindro de doble efecto en la parte superior, un cilindro doble efecto en la parte superior para el tapado y un sensor de fuerza.



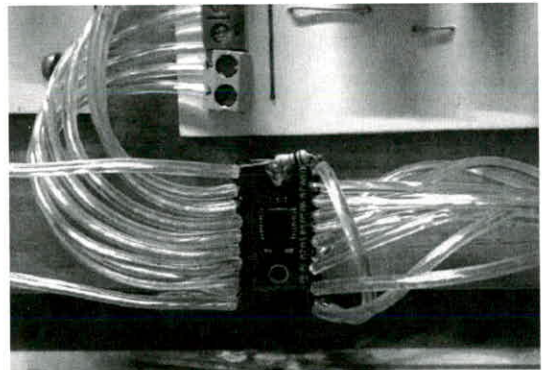
Estación de tapado y sellado

6.5 Conexiones de Raspberry.

A continuación se describe como se elaboró la conexión de raspberry pi para la implementación del modelo IoT, la cual se integra al sistema recibiendo señales del PLC y también mandándolas.



Raspberry Pi 4



Conexión Modulo level shifter

El modulo se utilizó para adaptar los voltajes de la raspberry con la de los controladores, se necesita que el pin OE del shifter se le conecte una resistencia en configuración pull down de 10 K Ω , así como necesita alimentarse con los 2 diferentes voltajes de los controladores.

En el siguiente diagrama se muestran las conexiones del módulo level shifter. Los pines B1- B8 es donde se encontraron los 5v del PLC y los pines A1-A8 son los de 3.3 v que van a la raspberry.

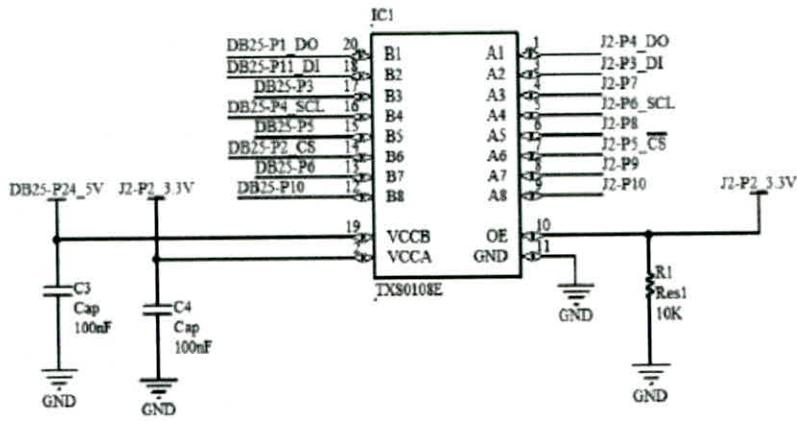


Diagrama de conexiones del modulo y Raspberry.

6.6 Conclusión.

Los nuevos modelos de automatización de producción de la industria 4.0 están creciendo cada vez más en el mundo, ya que podemos ver sus aplicaciones en la industria alimentaria hasta la industria de dispositivos médicos, la cual esta en constante crecimiento. Esta clase de modelos también los vemos reflejados en nuestro día a día, en nuestros hogares con la domótica, y hasta con los dispositivos inteligentes que usamos para trabajar.

La incorporación de la tecnología IoT y los principios de la industria 4.0 en la celda de manufactura ha permitido una supervisión y control remoto preciso y en tiempo real de cada etapa del proceso de envasado. La integración de sensores ha facilitado la recopilación continua de datos relevantes, brindando una visibilidad completa del estado de la celda y su rendimiento operativo.

Los resultados obtenidos han dejado en claro que la combinación de la teleoperación y las tecnologías de la industria 4.0 ofrece un potencial significativo para mejorar la eficiencia y productividad de los procesos industriales. La reducción

de tiempos de inactividad, la optimización de recursos y la disminución de errores han resultado en una mayor rentabilidad y competitividad para las organizaciones.

En conclusión, la celda de manufactura teleoperada del proceso de envasado de grano aplicando los modelos de IoT ha logrado cumplir de manera satisfactoria los objetivos del proyecto. Los resultados obtenidos respaldan la viabilidad y ventajas de esta solución en el proceso de envasado de grano, y su potencial se puede reflejar como referente para mejorar la eficiencia de procesos de fabricación similares.

También podemos decir, que la celda de manufactura teleoperada de este proyecto se posiciona como una valiosa herramienta para optimizar la producción y alcanzar nuevos niveles de eficiencia en el envasado de grano, sentando un precedente en la búsqueda de soluciones innovadoras en el ámbito industrial.

Referencias.

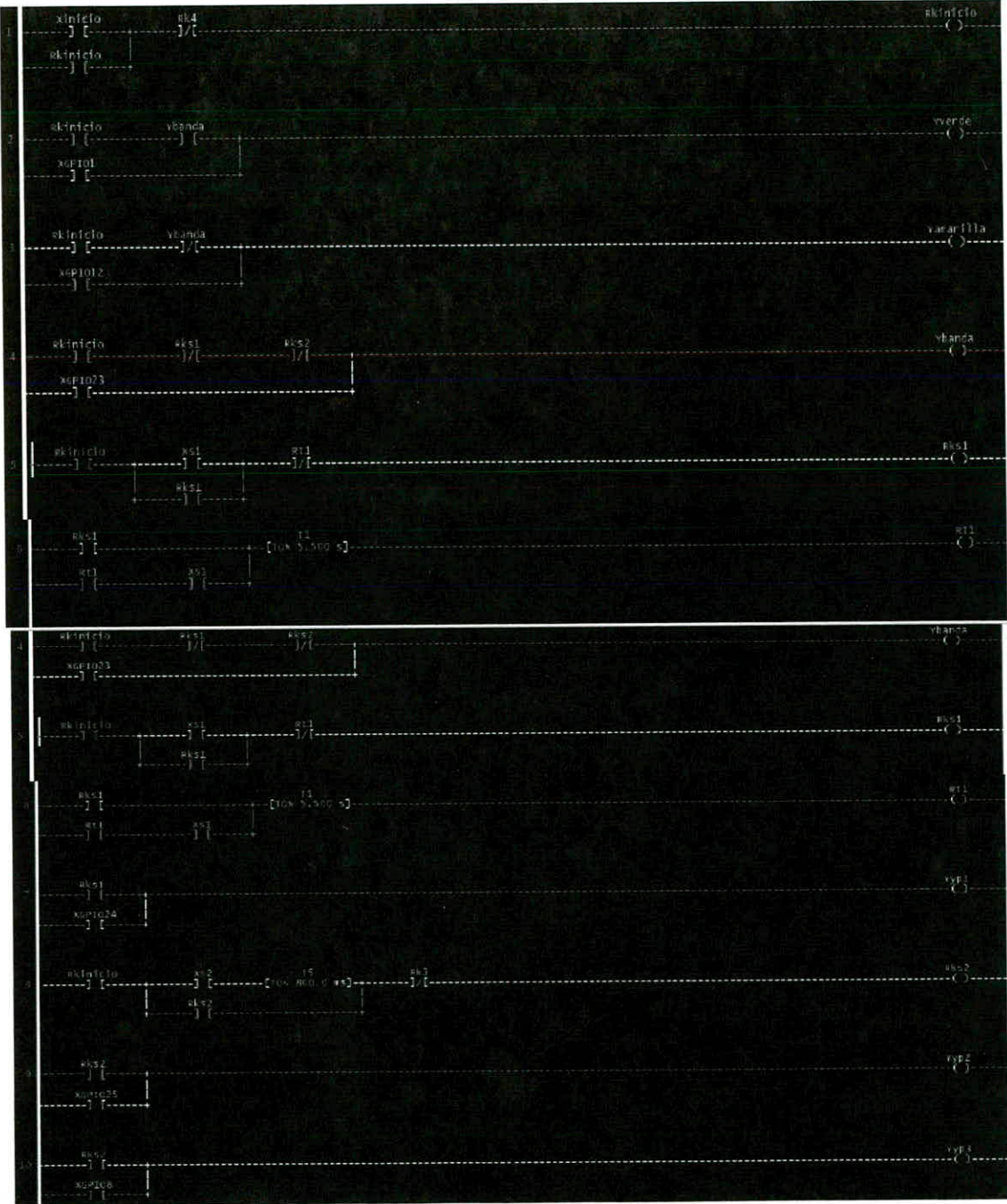
- [1] (Coloque aquí los nombres de los autores si están disponibles). Título del artículo o documento. Nombre de la revista (si corresponde). Año de publicación (si está disponible); Volumen (Número si está disponible). [Fecha de acceso]. Disponible en: URL.
- [2] (Coloque aquí los nombres de los autores si están disponibles). Título del artículo. Nombre de la revista. Año de publicación; Volumen (Número): Página inicial-Página final. DOI (si está disponible) o URL.
- [3] J. L. d. V. Román, «Industria 4.0: la transformación digital de la industria,» Universidad de Deusto, España, 2016.
- [4] R. C. Ramírez, «La industria 4.0,» Centro de estudios sociales y de opinión pública, México, 2019.
- [5] M. Casalet, La digitalización industrial: un camino hacia la gobernanza colaborativa, Santiago: Comisión económica para América Latina y el Caribe, 2018.
- [6] M. B. Andrés, Internet de las cosas, Madrid, España: Reus, 2018.
- [7] L. Joyanes, INDUSTRIA 4.0 La cuarta revolución industrial, Barcelona: Alfaomega, 2017.
- [8] F. Mosconi, The new European industrial policy: Global competitiveness and the manufacturing renaissance, Londres, Inglaterra: Routledge, 2015.
- [9] L. Joyanes, Cibersociedad. Los retos sociales ante un nuevo mundo digital, Barcelona: McGraw-Hill, 1997.
- [10] T. B. Losada, «La industria 4.0: Aplicaciones e implicaciones,» Universidad de Sevilla, Sevilla, 2017.
- [11] Fanuc, «ZDT (Zero Down Time,» Fanuc, 2020. [En línea]. Available: <https://www.fanuc.co.jp/en/product/robot/function/zdt.html>. [Último acceso: 25 Noviembre 2020].

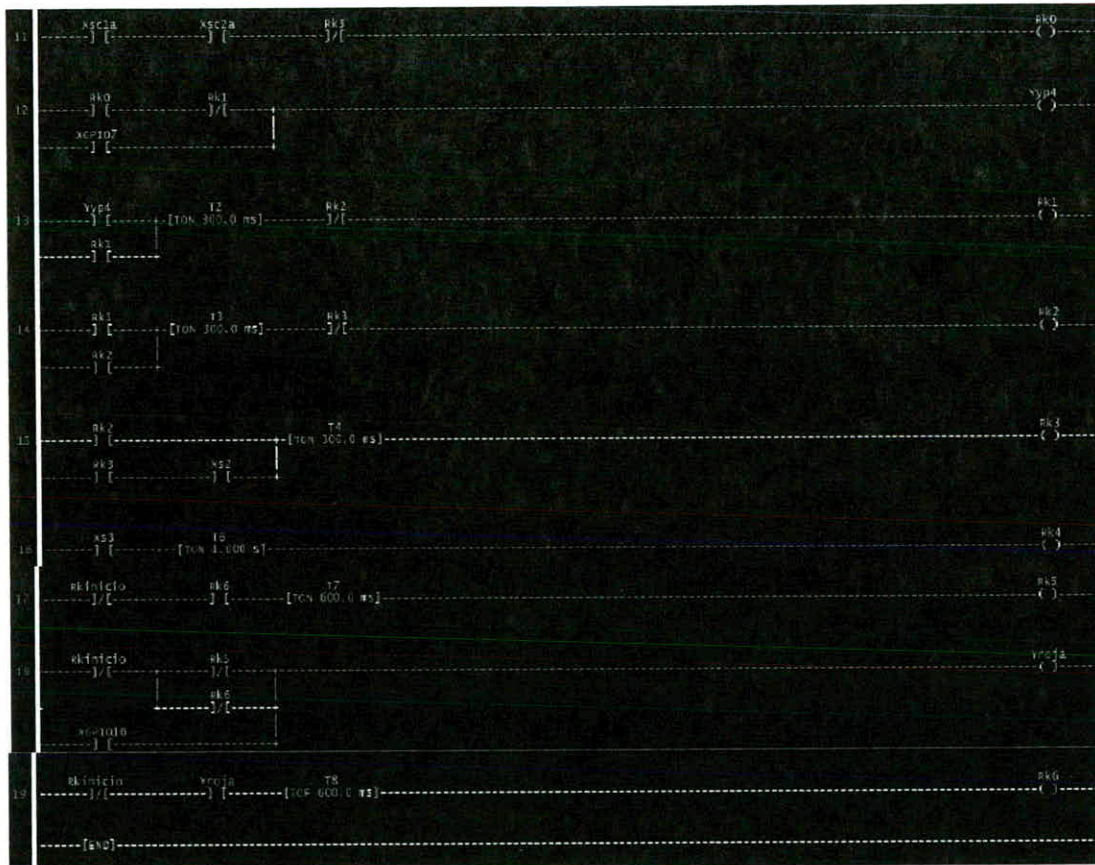
[12] Siemens, «Mindsphere,» Siemens, 2020. [En línea]. Available: <https://new.siemens.com/es/es/productos/software/mindsphere.html>. [Último acceso: 25 Noviembre 2020].

[13] L. Joyanes, Big Data. El análisis de los grandes volúmenes de datos, Barcelona: Alfaomega, 2014.

Anexo 1: Código del proyecto.

- Código de programación de tarjeta de control





- Código implementando MQTT en raspberry:

```
import paho.mqtt.client as mqtt #import the client
import RPi.GPIO as g
import serial
import time
#####
#Inicializacion de variables para control de GPIO
g.setmode(g.BCM)
g.setup(14, g.OUT)
g.setup(15, g.OUT)
g.setup(18, g.OUT)
g.setup(23, g.OUT)
g.setup(24, g.OUT)
g.setup(25, g.OUT)

g.setup(8, g.OUT)
g.setup(7, g.OUT)
g.setup(1, g.OUT)
g.setup(12, g.OUT)
g.setup(16, g.OUT)
g.setup(20, g.OUT)
g.setup(21, g.OUT)
```

```
#arduinoserial=serial.Serial('/dev/ttyACM0', 9600)
```

Definición de funciones:

```
#Definicion de Funciones
```

```
def on_connect(client, userdata, flags, rc): #Creamos la funcion 'on_connect', esto es lo que hace el programa despues de conectarse al broker
```

```
print("Connected with result code " +str(rc))
```

```
client.subscribe("MiraiInnovation/+") #Suscrito al topico MiraiInnovation/ con subtopico PWM
```

```
#client.publish("MiraiInnovation/Sensors", "List of commands: stop, reset, start, banda")
```

```
def on_message(client, userdata, msg): #Creamos la funcion 'on_message', esta funcion se activa cada vez que llega un mensaje nuevo
```

```
msg.payload=msg.payload.decode("utf-8")
```

```
print(msg.topic+ " " +str(msg.payload))
```

```
mess=msg.payload
```

```
if mess=='x':
```

```
print("Shutting down program...")
```

```
p.stop()
```

```
client.disconnect()
```

```
elif mess=='stop':
```

```
g.output(14, g.HIGH)
```

```
time.sleep(5)
```

```
g.output(14, g.LOW)
```

```
elif mess=='start':
```

```
g.output(15, g.HIGH)
```

```
time.sleep(5)
```

```
g.output(15, g.LOW)
```

```
elif mess=='reset':
```

```
g.output(18, g.HIGH)
```

```
time.sleep(5)
```

```
g.output(18, g.LOW)
```

```
elif mess=='banda':
```

```
g.output(23, g.HIGH)
```

```
time.sleep(5)
```

```
g.output(23, g.LOW)
```

```
elif mess=='actuador 1':
```

```
g.output(24, g.HIGH)
```

```
time.sleep(5)
```

```
g.output(24, g.LOW)
```

```
elif mess=='actuador 2':
```

```
g.output(25, g.HIGH)
```

```
time.sleep(5)
```

```
g.output(25, g.LOW)
```

```
elif mess=='actuador 3':
```

```
g.output(8, g.HIGH)
```

```
time.sleep(5)
```

```
g.output(8, g.LOW)
```

```
elif mess=='actuador 4':
```

```
g.output(7, g.HIGH)
time.sleep(5)
g.output(7, g.LOW)

elif mess =='actuador 5':
g.output(1, g.HIGH)
time.sleep(5)
g.output(1, g.LOW)
elif mess =='actuador 6':
g.output(12, g.HIGH)
time.sleep(5)
g.output(12, g.LOW)
##Inicia proceso
elif mess =='actuador 7':
g.output(16, g.HIGH)
time.sleep(25)
g.output(16, g.LOW)
elif mess =='actuador 8':
g.output(20, g.HIGH)
time.sleep(5)
g.output(20, g.LOW)
elif mess =='actuador 9':
g.output(21, g.HIGH)
time.sleep(5)
g.output(21, g.LOW)
```