

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL**

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

TEMA:

“Diseño e implementación de un sistema de medición y supervisión de eficiencia productiva de una máquina FESTO MPS-500 del laboratorio de flexible utilizando TVC.”

AUTOR

Adolfo Alejandro Villacreses Pita

TUTOR

Ing. Byron Lima MSc.

GUAYAQUIL – ECUADOR

2021

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA

Yo, Adolfo Alejandro Villacreses Pita autorizo a la **Universidad Politécnica Salesiana** la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además, se declara que los conceptos y análisis desarrollados y conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.



Adolfo Alejandro Villacreses Pita
Cédula: 0925044208

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Adolfo Alejandro Villacreses Pita**, con documento de identificación No 0925044208, manifestó mi voluntad y ceder a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de grado titulado: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN Y SUPERVISIÓN DE EFICIENCIA PRODUCTIVA DE UNA MÁQUINA FESTO MPS-500 DEL LABORATORIO DE FLEXIBLE UTILIZANDO TVC”** mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de **INGENIERO ELECTRÓNICO**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos antes cedidos.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscrito este documento en el momento que se realiza la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Adolfo Alejandro Villacreses Pita
Cédula: 0925044208

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo Ing., Byron Lima MSc, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN Y SUPERVISIÓN DE EFICIENCIA PRODUCTIVA DE UNA MÁQUINA FESTO MPS-500 DEL LABORATORIO DE FLEXIBLE UTILIZANDO TVC**” realizado por el estudiante **Adolfo Alejandro Villacreses Pita**, con documento de identificación No 0925044208, obteniendo un producto que cumple con los objetivos del diseño de aprobación, informe final y demás requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Guayaquil, 22/02/2021



Ing. Byron Lima MSc.

Docente

C.C: 0921971768

DEDICATORIA

Mi madre, a mi corta de edad de 9 años, me dijo lo siguiente: “Lo único que espero de ti, para tu larga vida, es que seas feliz, sin importa a que te dediques, tu felicidad será siempre mi prioridad”.

A ti, esta cariñosa dedicatoria, TE AMO.

Madre, Padre y Hermanas, ellos son mis héroes reales los cuales día a día me condujeron por el sendero de la honestidad, resiliencia, paciencia y trabajo duro. Sin ustedes ningún logro hubiera sido posible.

A ustedes, dedico este logro.

AGRADECIMIENTO

Por el apoyo, sugerencias, paciencia y motivación otorgada en cada paso de esta tesis, quisiera agradecer a las siguientes personas: Julio Jurado, Byron Lima, Ricardo Pérez y Norma Vera. Sin ustedes este sueño no hubiera sido posible GRACIAS

Adolfo Alejandro Villacreses Pita

RESUMEN

Año	Alumnos	Director de proyecto técnico	Tema de proyecto técnico
2021	Adolfo Alejandro Villacreses Pita	ING. BYRON LIMA, MSc.	Diseño e implementación de un sistema de medición y supervisión de eficiencia productiva de una máquina FESTO MPS-500 del laboratorio de flexible utilizando TVC."

El presente proyecto técnico tiene como objetivo la implementación de un sistema para la medición de la eficiencia operativa y productiva de la máquina MPS-500 del laboratorio de flexible utilizando un PLC M241 y un HMI GTO de la marca Schneider Electric, para adquirir las señales de campo los contactos eléctricos de los sensores que se encuentra repartidos por toda la máquina. El objetivo principal fue elaborar varias rutinas para el análisis de las paradas y de esa forma determinar la eficiencia real de producción de una máquina, con ello plantear mejoras y disminuir los tiempos muertos del proceso.

La idea principal es lograr que los estudiantes comprendan la importancia de una medición de eficiencia productiva en tiempo real en una industria, para establecer el funcionamiento correcto de sus máquinas y de esta manera permita mejorar o generar un cronograma de mantenimiento orientado al mejoramiento continuo de su producción. De esta forma el estudiante de la Universidad Politécnica Salesiana tiene un sistema de pruebas que le permite pulir sus habilidades y conocimientos previamente adquiridos.

Las variables del sistema de control Overall Equipment Effectiveness (OEE) o también llamado Tiempo, Velocidad y Calidad (TVC) son monitoreadas a través de una pantalla gráfica ubicada en la parte superior del tablero de control y a través de un web server que puede abrirse en cualquier computador o equipo Smart con el objetivo de permitir una rápida y fácil visualización de la información.

Palabras claves: PLC M241, HMI, OEE, eficiencia real, mejoramiento continuo, motivos de paradas, medición, sistema.

ABSTRACT

Year	Students	Director of technical project	Technical project theme
2021	Adolfo Alejandro Villacreses Pita	ING. BYRON LIMA, MSc.	"Design and implementation of a production efficiency measurement and supervision system of a FESTO MPS-500 machine from the flexible laboratory using TVC."

The objective of this technical project is the implementation of a system for measuring the operational and productive efficiency of the MPS-500 machine in the flexible laboratory using a PLC M241 and an HMI GTO from the Schneider Electric brand, to acquire the signals of field the electrical contacts of the sensors that are distributed throughout the machine. The main objective was to develop several routines for the analysis of stops and thus determine the real production efficiency of a machine, thereby suggesting improvements and reducing the downtime of the process.

The main idea is to get students to understand the importance of a real-time production efficiency measurement in an industry, to establish the correct operation of their machines and in this way allow to improve or generate a maintenance schedule oriented to the continuous improvement of their production. In this way, the student of the Salesian Polytechnic University has a test system that allows them to polish their previously acquired skills and knowledge. The variables of the Overall Equipment Effectiveness control system or total equipment effectiveness (OEE) or also called Time, Speed, and Quality (TVC) are monitored through a graphic screen located at the top of the control panel and through a web server that can be opened on any computer or Smart device. with the aim of allowing a quick and easy visualization of the information.

Keywords: PLC M241, HMI, OEE, real efficiency, continuous improvement, reasons for shutdowns, measurement, system.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA	II
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN.....	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	15
1. EL PROBLEMA	17
1.1. Descripción del problema.....	17
1.2. Importancia y alcance	18
1.3. Delimitación del problema.....	18
1.3.1. Delimitación temporal	18
1.3.2. Delimitación espacial.....	19
1.3.3. Delimitación académica.....	19
1.4. Objetivos	19
1.4.1. Objetivo general.....	19
1.4.2. Objetivos específicos.....	19
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	20
2.1. Antecedentes	20
2.2. Bases teóricas.....	21
2.2.1. Fabricación flexible.....	21
2.2.2. FMC (Células de fabricación flexible).....	22
2.2.3. FMS (Sistemas de fabricación flexible).....	22
2.2.4. MPS - 500 FMS	23
2.2.5. Automatización industrial.....	32

2.2.6.	Grados de la automatización	32
2.2.7.	Bus de campo.....	33
2.2.8.	Redes industriales	34
2.2.9.	OEE	39
2.2.10.	Disponibilidad	43
2.2.11.	Rendimiento	45
2.2.12.	Calidad	47
2.2.13.	Indicadores para el cálculo OEE.....	49
2.2.14.	Scada y HMI	51
2.1.15.	Historia del PLC.....	53
2.2.16.	PLC S7 300	54
2.2.17.	PLC TM241CE24R.....	54
2.2.18.	Web server	55
2.1.19.	Aplicación OEE.....	56
2.2.19.	Importancia del OEE.....	56
2.1.20.	Beneficios de OEE.....	56
2.1.21.	Smart machine	57
2.1.22.	Inteligencia artificial	57
2.1.23.	Machine Learning	58
3.	MARCO METODOLÓGICO.....	60
3.1.	Informe de programación PLC MPS-500	60
3.2.	Arquitectura de control del sistema OEE.....	61
3.3.	Conexión del PLC- M241	62
3.4.	Conexión HMI	62
3.5.	Configuración del Software	67
3.6.	Tablero de control OEE.....	69
3.6.1.	Construcción del tablero OEE	70

3.6.2.	Instalación y montaje en sitio del tablero OEE	70
3.6.3.	Conexión eléctrica de sensores planta Flexible.....	72
3.7.	Lógica de programación OEE en el procesador.....	72
3.8.	Creación de pantallas interactivas del OEE	77
3.8.1.	Graficas del HMI	78
3.9.	Pantallas del WEB SERVER.....	80
3.9.1.	Web server, simulación de proceso.....	81
4.	RESULTADOS	83
4.1	Análisis Resultado.....	85
CONCLUSIONES		90
RECOMENDACIONES.....		91
BIBLIOGRAFÍA.....		92
ANEXOS.....		97

ÍNDICE TABLA

<i>Tabla 1. Formulas OEE</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 2. Indicadores OEE.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 3. Ejemplos de confiabilidad</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 4. Variables de la lógica del PLC</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 5. Lógica del PLC, variable de TVC, Rendimiento & Disponibilidad ..</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 6. Lógica del PLC, variable de marcha externa de PLC</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 7. Lógica del PLC, variable de animación Luz Esperando</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 8. Variables conexión PLC al HMI</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 9. PLC al HMI variables de RTC.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 10. Variables del PLC al web server</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 11. Placa de máquina</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 12. Resultado primera prueba forzada.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 13. Placa de máquina</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 14. Resultado segunda prueba forzada</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 15. Placa de máquina</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 16. Resultado tercera prueba forzada.....</i>	<i>89</i>

ÍNDICES DE FIGURA

<i>Figura 1. Red Profibus</i>	24
<i>Figura 2. Sistema transportador</i>	25
<i>Figura 3. Estación de distribución</i>	26
<i>Figura 4 Estación de verificación</i>	27
<i>Figura 5. Estación de manipulación I</i>	27
<i>Figura 6. Estación de proceso</i>	28
<i>Figura 7. Estación de visión</i>	29
<i>Figura 8. Estación de robot y ensamblaje</i>	30
<i>Figura 9. Estación de almacén</i>	30
<i>Figura 10. Estación de manipulación II</i>	31
<i>Figura 11. Estación de clasificación</i>	32
<i>Figura 12. Grados de automatización</i>	33
<i>Figura 13 Topología del bus</i>	35
<i>Figura 14 Topología en forma de estrella</i>	36
<i>Figura 15 Topología en forma de árbol</i>	37
<i>Figura 16 Topología en anillo</i>	38
<i>Figura 17 Indicadores OEE</i>	50
<i>Figura 18 Componentes de un sistema de automatización</i>	51
<i>Figura 19 Interfaz HMI</i>	52
<i>Figura 20. Diagrama del sistema HMI</i>	55
<i>Figura 21. Esquema de interconexión entre HMI y el PLC</i>	61
<i>Figura 22. Conexión PLC</i>	62
<i>Figura 23. Conexión HMI</i>	63
<i>Figura 24. Configurador de comunicación</i>	67
<i>Figura 25. Ubicación en el software</i>	68
<i>Figura 26. Variables globales</i>	68
<i>Figura 27. Variables locales del PLC</i>	69
<i>Figura 28. Tablero de control OEE</i>	69
<i>Figura 29 Componentes del tablero</i>	70
<i>Figura 30. Montaje en sitio del tablero OEE</i>	71
<i>Figura 31. Instalación de alimentación eléctrica</i>	71
<i>Figura 32. Conexión eléctrica</i>	72

<i>Figura 33. Lógica de programación</i>	<i>73</i>
<i>Figura 34. Animaciones</i>	<i>73</i>
<i>Figura 35 Configuración para acceso web del Web server.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 36 Escala de tiempo vs producción</i>	<i>74</i>
<i>Figura 37. Bloque nativo de OEE.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 38. FB OEE.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 39. Main</i>	<i>76</i>
<i>Figura 40. Rangos</i>	<i>76</i>
<i>Figura 41. Timers.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 42. Truncar</i>	<i>77</i>
<i>Figura 43. Pantalla de inicio.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 44. Pantalla de supervisión.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 45. Pantalla de selección de motivos de parada.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 46. Pantalla de estadísticas OEE</i>	<i>80</i>
<i>Figura 47. Pantalla del Web Server</i>	<i>81</i>
<i>Figura 48 Web server, simulación de proceso.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 49. Simulación Web server parte 1.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 50. Simulación Web server parte 2.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 51. Simulación Web server resultado de medición en tiempo real. ..</i>	<i>84</i>
<i>Figura 52. Primera prueba forzada</i>	<i>86</i>
<i>Figura 53. Segunda prueba forzada</i>	<i>87</i>
<i>Figura 54. Tercera prueba forzada</i>	<i>88</i>

INTRODUCCIÓN

A finales de los 80 y 90, surgieron una serie de protocolos de comunicación industrial que podían proporcionar un mayor control de los procesos por separado y de las máquinas en general. La desventaja de esta nueva tecnología es que cada fabricante desarrolla protocolos de comunicación que son incompatibles con otros fabricantes. Por tanto, se empezaron a desarrollar protocolos estandarizados basados tanto en comunicación serie (Modbus, AS-i o Profibus) como en paralelo (Profinet o EtherCAT). [1]

Con el desarrollo de la informática aparecen los primeros sistemas de supervisión SCADA (Supervisión, control y adquisición de datos) que permite obtener toda la información sobre el proceso desde una pantalla. Este avance ha permitido a los operarios realizar controles de una forma más visual e intuitiva, eliminando la necesidad de un entrenamiento específico en la máquina y estableciendo lo que se denomina como "nivel de visualización".

En este sentido, La interfaz Hombre - Máquina (HMI) surgió, principalmente ante la necesidad de estandarizar el monitoreo y control de múltiples sistemas remotos, PLC y otros mecanismos de control. El PLC aplica automáticamente el control previamente programado sobre el proceso, pero generalmente se distribuye por toda la planta, lo que dificulta la recopilación de datos manualmente. En contraste el sistema SCADA lo ejecuta automáticamente y el HMI es la interfaz utilizada para el monitoreo y visualización de lo que ejecuta el SCADA.

De esta manera, este tipo de sistemas o protocolos pueden ser utilizados para el control de diferentes indicadores en una máquina entre ellos la eficiencia. En este caso, la eficiencia general de las máquinas y equipos comúnmente llamado OEE, es un indicador de eficiencia que ofrece una medición de que tan cerca están los procesos productivos de una producción óptima. Considerando estas definiciones, el monitoreo de este indicador se ha transformado en un instrumento conveniente para facilitar una identificación

de necesidad de mejoras en las partes del proceso para así, contribuir al incremento de la productividad de las líneas de producción.

Es así como, la presente investigación se plantea el diseño e implementación de un sistema de medición y supervisión de eficiencia productiva de la máquina FESTO MPS-500 utilizando Tiempo, Velocidad y Calidad (TVC), la cual se encuentra en el laboratorio de fabricación flexible de la Universidad Politécnica Salesiana, el mismo cuenta con diversas estaciones que operan con PLC de manera individual. Para ello, se plantea el análisis de la programación actual del proceso para realizar un reporte de diagnóstico de la programación del sistema FESTO MPS 500, para posteriormente implementar herramientas de control, supervisión, adquisición de datos utilizando TVC.

1. EL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

Bajo el contexto de la presente investigación se determina importante la obtención de la eficiencia en los procesos de las maquinarias empleadas para la formación de los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana que cursan los últimos años de la carrera electrónica y afines. En la actualidad, esta institución de educación superior cuenta con un laboratorio de fabricación flexible, controlado por el sistema MPS-500, mismo que es considerado como una estructura compatible, modular y versátil.

Sin embargo, este sistema tiene ya implantado varios años en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana, lo que conlleva a su natural deterioro, lo que genera incertidumbres en su operatividad con relación al rendimiento óptimo que debe presentar, razón por la cual se propone la implementación de módulos didácticos orientados a un sistema de supervisión de eficiencia productiva bajo la utilización del modelo de análisis TVC. Siendo esta una excelente oportunidad educativa para los estudiantes al poder visualizar un módulo distinto al que manejan de forma habitual en sus clases.

Este sistema consta con el empleo de una aplicación empleada para la supervisión y control, sin embargo, esta no ofrece mucho dinamismo o animación, ofrece escasas herramientas en el software actual, el sistema para la supervisión es básico, no presenta una óptima interacción con el usuario además no cuenta con un módulo o sistema que permita al usuario verificaciones de la eficiencia de la máquina. De esta manera, estas características desembocan en un problema de control para los usuarios del sistema debido principalmente a las limitantes que ofrece el sistema MPS-500.

1.2. Importancia y alcance

En la actualidad la carrera de Ingeniería Electrónica que lleva a cabo la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, cuenta con un sistema Computer Integrated Manufacturing (CIM) de la serie MPS-500 en colaboración con la empresa FESTO, el cual se encuentra ubicado e instalado en las infraestructuras perteneciente Laboratorio de Automatización Industrial de la carrera Ingeniería Electrónica. La misma cuenta actualmente con las estaciones operativas de distribución, verificación, ensamble robotizado, manipulación y clasificación, siendo todas integradas por medio de una banda transportadora manteniendo una configuración de carrusel. Es importante considerar que la mayoría del desarrollo con el sistema se realiza en el campo de la programación de PLC's y estructura de los CIM, en la materia sistemas integrados de manufactura.

Como plan estratégico de mejora que maneja internamente la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil desde el periodo anterior, se ha trazado como objetivo reparar y optimizar la infraestructura existente en beneficio de los estudiantes, situación que forma el escenario perfecto para la implementación del módulo de supervisión de eficiencia, brindando la oportunidad a los alumnos de poder aprender sobre un nuevo sistema que ofrece un mejoramiento industrial a las empresas. Siendo este un factor beneficioso para el sistema de cátedra de la universidad direccionando sus esfuerzos para el diseño de este sistema de medición generalizado para el equipo bajo la utilización de la modelo de análisis TVC.

1.3. Delimitación del problema

1.3.1. Delimitación temporal

El proyecto se diseñó e implemento en la ciudad de Guayaquil, Ecuador en el periodo 2019-2021, este lapso es el mismo que se tomó el proceso de titulación, sin embargo, hay que mencionar que existieron factores exógenos que ampliaron el tiempo de desarrollo de la investigación.

1.3.2. Delimitación espacial

El proyecto se llevó a cabo dentro de las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, campus Centenario, específicamente en el laboratorio de fabricación flexible, sin embargo, también se realizaron consultas fuera de las instalaciones a docentes y a expertos en el área.

1.3.3. Delimitación académica

Mediante se implementó este proyecto de titulación se emplearon conocimientos técnicos además de empíricos adquiridos durante los cursos académicos y paracadémicos dictados en el transcurso de la carrera.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de medición y supervisión de eficiencia productiva de la máquina FESTO MPS-500 del laboratorio de flexible utilizando TVC.

1.4.2. Objetivos específicos

- Realizar una revisión bibliográfica sobre las variables de estudio.
- Analizar la programación actual del proceso y realizar un reporte de diagnóstico de la programación del sistema FESTO MPS 500 del laboratorio de flexible.
- Implementar herramientas de control, supervisión, adquisición de datos máquina FESTO MPS-500 del laboratorio de flexible utilizando TVC.
- Evaluar la efectividad de la implementación.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Antecedentes

Debido al entorno extremadamente dinámico y acelerado y la competencia global entre las organizaciones en los últimos años, la demanda de organizaciones de fabricación y mercados globales que cambian rápidamente se ha incrementado, enfocándose en la disminución de costos, mejorar el nivel de productividad y calidad. Razón por la cual se requiere mejorar el desempeño de las empresas y garantizar una entrega que satisfará al cliente. [2]

En este sentido existen diversas filosofías que se esfuerzan por poder utilizar el llamado talento oculto de los equipos poco verídico e ineficaces, teniendo como punto de atención la disminución de la aparición de daños repentinos e inesperados de la máquina que ocasionaban una interrupción en la producción conduciendo a las empresas a un daño económico significativo, que superaban los millones de dólares de manera anual. [3]

Muchas de estas filosofías y metodologías emplean OEE como una medida cuantitativa para poder medir el mejoramiento de los sistemas productivos resultando medir el éxito de diferentes programas de complementación para medir y controlar la eficiencia de los equipos.

Es destacable la cantidad de intentos que realizan las compañías a través del tiempo para mejorar sus procesos de manufactura de esta manera reducir los desperdicios del tiempo, dinero, energía y sobrecarga de las personas que laboran en la empresa. En diversas empresas se ha propuesto el avance de distintos softwares que servirían de ayuda para la conjetura del OEE de una máquina. Es necesario recalcar que el procedimiento de calcular el OEE para los trabajadores puede llegar a tener un manejo no apropiado de la información y el tiempo que toma ejecutar esta actividad es bastante largo,

por ello este tipo de aplicaciones reflejan la ganancia del programa implementado como disminución del tiempo del trabajo, aumentando la confianza de la data y mejorando el acceso a la información para el transcurso de la identificación de las pérdidas existentes.

En el transcurso del tiempo las empresas han buscado diversas formas de contabilizar la eficiencia de sus máquinas con el objetivo de poder identificar y minimizar pérdidas, por lo que no resulta sorprendente que muchas empresas se encuentran mejorando sus estrategias para calcular de forma real eficiencia de sus equipos.

El cálculo del rendimiento de un equipo o una serie de máquinas en el trabajo del movimiento del suelo se representa como una unidad del volumen o peso del material que fue fabricado, transportado, tendido o compactado durante un período de tiempo, que puede ser una hora, un día, etc.

La productividad de las máquinas en un proyecto se puede lograr de tres maneras diferentes, el rendimiento real (basado en la observación de las cantidades producidas por día), lo teórico y práctico (usando fórmulas y observando las máquinas que trabajan en cada actividad) y lo teórico (datos y curvas ya creados por las máquinas de las empresas manufactureras), influenciados por factores que se especifican en los libros técnicos. [4]

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Fabricación flexible

El sistema de fabricación flexible consiste en un grupo de máquinas y equipos auxiliares conectados por sistemas de control y transporte, que pueden fabricar piezas automáticamente [5].

La fabricación flexible ayuda a reducir los costos de producción e inventario y mejora la calidad del producto.

Este tipo de tecnología o sistema se puede dividir en dos segmentos [5].

FMS (sistemas de fabricación flexibles)

FMC (célula de fabricación flexible)

2.2.2. FMC (Células de fabricación flexible)

FMC es un conjunto de componentes eléctricos y mecánicos que ejecutan un proceso específico, o un paso que ejecuta un proceso de fabricación con más elementos eléctricos y mecánicos [6].

Las celdas o módulos pueden estar separados debido a los requisitos o utilidades que el usuario debe proporcionar para el proceso de fabricación solicitado por el usuario.

Las celdas o módulos no están limitados a un solo tipo de proceso y pueden ser acomodados por otros procesos que usan las mismas propiedades físicas.

La combinación de equipos en celdas o módulos le permite realizar tareas básicas como manejo de piezas, perforación, inspección o almacenamiento de piezas. [7].

2.2.3. FMS (Sistemas de fabricación flexible)

Un conjunto de máquinas o equipos de fabricación dedicados a un solo trabajo, proporcionando flexibilidad debido a varias combinaciones con estaciones o módulos operativos simples [8].

Debido a que puede hacer estas combinaciones, puede fabricar piezas o conjuntos utilizando el mismo conjunto de máquinas o equipos.

Todo el sistema es controlado y supervisado por software a través de una computadora o dispositivo de control y supervisión, de modo que varios productos pueden fabricarse en lotes de principio a fin en la línea de proceso [9].

2.2.4. MPS - 500 FMS

El MPS-500 es la máquina de entrenamiento de Festo que puede administrar, comprender y analizar el funcionamiento de cada parte, dispositivo o equipo que comprende el sistema y este proceso incluye ingeniería mecánica, eléctrica y neumática, automatización y redes industriales [10].

El proceso MPS-500 es el siguiente.

Da inicio en la correa con una paleta transportadora. Si el transportador funciona correctamente, la primera estación es la estación de distribución, las piezas que se transportarán se almacenan aquí, y el siguiente paso es la estación de verificación para verificar la altura. Cuando se hace esto, el equipo pasará automáticamente a la siguiente estación o no cumple con los requisitos Decide rechazar la pieza [11].

El sistema de transporte a través de la plataforma transportadora lleva las partes a la siguiente estación, que manipula las partes de la próxima estación llamada estación de procesamiento.

La estación de procesamiento o proceso prueba y perfora la pieza, cuando esto se hace, la pieza se devuelve a la estación de manejo y se lleva al transportador.

Cuando la pieza está en la cinta transportadora, va a la estación de visualización, que toma una fotografía y la compara con la imagen almacenada en la memoria. Si la parte es correcta o incorrecta, enviamos un comando al transportador. Notifica a los robots y estaciones de ensamblaje que las piezas han sido aceptadas o rechazadas.

Estación Si se proporciona esta información, el transportador continuará moviéndose a la estación del robot y ensamblándola, donde se realizarán 2 tareas.

Si la cámara rechaza la pieza, el robot almacena la pieza en el tanque de rechazo de piezas, y cuando la pieza es aprobada, el robot comienza a

ensamblar el cilindro, esperando tener todos los componentes necesarios. Piezas ensambladas en una paleta transportadora [12].

Si la estación de clasificación no funciona y se encuentra una pieza de trabajo después de la estación de almacenamiento, la estación de manejo recoge la pieza del pallet del transportador y la almacena en el traje de esa estación. Cuando se detecta una plataforma transportadora desde la estación de verificación hasta la pieza de trabajo, se emite una alarma de error para indicar que la pieza ha regresado al proceso. Si ocurre tal situación, la pieza de trabajo debe ser retirada y los defectos identificados [12].

La comunicación con el sistema de supervisión y control se realiza a través de una red PROFIBUS.



Figura 1. Red Profibus [13]

2.2.4.1. Sistema transportador

La estación de transporte es un enlace de comunicación entre las estaciones, escucha a todas las estaciones conectadas y les da el comando para llevar a cabo sus acciones respectivas.

El sistema transportador contiene paletas transportadoras codificadas, esto da la oportunidad de averiguar si la paleta tiene una parte en las estaciones de proceso que utilizan sensores ópticos reflectantes.

El sistema regula el transporte de las paletas, es decir, cuando la paleta abandona una estación, espera a que llegue a la siguiente estación para que las paletas restantes puedan moverse, es decir, se mueven una tras otra.

El módulo utiliza una red llamada ASI para interactuar con las entradas y salidas de los dispositivos en la banda y para comunicarse con los otros módulos. El sistema transportador se es el que se muestra en la figura 2.



Figura 2. Sistema transportador [13]

2.2.4.2. Distribución

La función de esta estación es distribuir piezas de trabajo desde el compartimiento de almacenamiento. El tanque de almacenamiento puede contener hasta 8 piezas. El nivel de llenado del tanque es controlado por un sensor que utiliza un haz de luz. Un cilindro de doble efecto presiona las piezas de trabajo para ser distribuidas individualmente.

El módulo cambiador sujeta las piezas de trabajo con una ventosa. Un interruptor de vacío comprueba si se ha recogido una pieza de trabajo. El brazo de la unidad de transferencia, que es impulsado por un accionamiento

giratorio, transfiere la pieza de trabajo desde el punto de transferencia a la siguiente estación [14].



Figura 3. Estación de distribución [13]

2.2.4.3. Verificación

La estación determina las propiedades físicas de la pieza de trabajo utilizada. El módulo de detección utiliza un sensor óptico de proximidad para detectar si la parte no es negra, y un sensor capacitivo detecta cada parte independientemente del color.

El sensor analógico del módulo de medición determina la altura de la pieza. La señal de salida se digitaliza utilizando un comparador con un umbral ajustable. Un cilindro lineal conduce las partes correctas a la siguiente estación y las partes rechazadas van a la resbaladera inferior para contarlas [15].



Figura 4. Estación de verificación [13]

2.2.4.4. Manipulación

El dispositivo de manipulación recoge las piezas con la ayuda de una abrazadera neumática, que está equipada con un sensor óptico. El sensor detecta si una parte está en la abrazadera. Todas las partes son transportadas a la siguiente estación. Encontramos sensores magnéticos en los extremos y en el medio para indicar la posición, y después de que la siguiente estación ha terminado de operar, la pieza se manipula de regreso a la plataforma transportadora en la cinta [15].



Figura 5. Estación de manipulación [13]

2.2.4.5. Proceso

Esta estación se basa en una mesa giratoria sobre la cual se colocan las piezas de trabajo, que se prueban y procesan. El proceso comienza con un sensor capacitivo que detecta si hay una parte para comenzar el ciclo de trabajo. El plato giratorio es accionado por un motor de CC. La posición del plato giratorio se indica mediante un sensor inductivo.

En el siguiente paso, otro sensor capacitivo indica que hay una parte disponible en el plato giratorio. Esto activa un actuador para sostener la pieza de trabajo. Luego se enciende el taladro y se baja para realizar la perforación [15].



Figura 6. Estación de proceso [13]

2.2.4.6. Visión

La cámara toma una foto, comienza a procesar la imagen, luego la pasa primero a escala de grises, convierte la imagen en una señal binaria, que finalmente filtra la imagen. El programa compara la imagen con la imagen almacenada en la memoria. Los datos de piezas aceptadas o rechazadas se envían al sistema transportador.



Figura 7. Estación de visión [13]

2.2.4.7. Robot y ensamblaje

Cuando el sistema transportador envía los datos que recibió de la estación Visión, comienza a funcionar. Si se rechaza la pieza, el robot la mantiene en el contenedor de piezas rechazadas.

Cuando se aprueba la pieza, el robot ejecuta un programa de ensamblaje, toma las piezas en la paleta del transportador y las coloca en el estante. Una vez que el torno está funcionando, el robot agarra la pieza nuevamente, verifica si la pieza no es negra, y cuando se inserta el pistón, selecciona el pistón apropiado. El robot se mueve para levantar el resorte y la tapa. [16]



Figura 8. Estación de robot y ensamblaje [13]

2.2.4.8. Almacén

Cuando el módulo de clasificación no funciona o se encuentra lleno o no existe espacio para descargar las piezas para que no vuelvan al proceso se ponen en funcionamiento.

Tan pronto como la abrazadera está en funcionamiento, agarra la parte en la cinta transportadora y transmite la señal al sensor de barrera de luz (si hay luz en el receptor, esto significa que no hay parte de obstáculo, y si la luz se interrumpe, esto significa que se encuentra un obstáculo), lo que indica que el transportador lo está dando a conocer al almacén para que pueda comenzar a funcionar o no realizar ninguna operación. [17]



Figura 9. Estación de almacén [13]

2.2.4.9. Manipulación

El dispositivo de manejo recupera las piezas usando una abrazadera neumática equipada con un sensor óptico. El sensor indica si la parte está en la abrazadera, todas las partes se transportan a la siguiente estación e indican la posición por medio de sensores magnéticos en los extremos y en el medio después de que la parte está en la siguiente estación y esta estación a ella si el programa se ejecuta, el clip se transporta de vuelta al cinturón sin parte, cuando está lleno, la siguiente estación coloca las piezas en las láminas de su módulo. [18]



Figura 10. Estación de manipulación II [13]

2.2.4.10. Clasificación

Esta estación organiza las piezas de trabajo en 3 láminas. Un sensor óptico detecta las partes insertadas al comienzo de la cinta transportadora. Las propiedades de las partes son sus colores (rojo, negro y plata). Esto es detectado por un sensor óptico y un sensor inductivo. Una vez que se conoce el color respectivo de las partes, se activan cilindros que transportan las partes a sus respectivas correderas. [17]

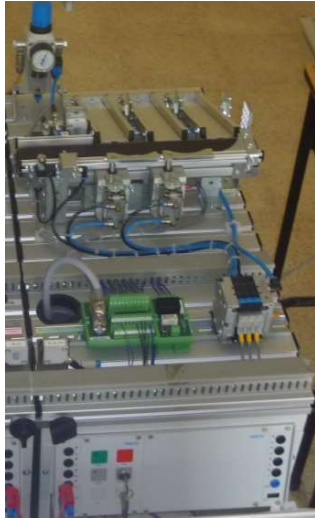


Figura 11. Estación de clasificación [13]

2.2.5. Automatización industrial

En la automatización industrial, los sistemas informáticos que reemplazan el trabajo manual, es decir, lo que hacen las personas, ahora son realizados por máquinas. Esto le permite aumentar la productividad del trabajo, reducir los costos de materiales, aumentar la calidad del producto y mejorar el entorno laboral en el entorno laboral y social. La automatización ayuda a mecanizar procesos. En otras palabras, se proporcionan herramientas a los trabajadores para ayudar con el trabajo físico y mental, para que puedan realizar funciones de supervisión y monitoreo. [19]

2.2.6. Grados de la automatización

El grado de automatización de los procesos industriales consiste en estructuras jerárquicas establecidas en niveles. Determinado por los procedimientos de fabricación asistidos por computadora, este método introduce conceptos y procesos de producción eficientes, como la gestión empresarial, la programación y la planificación del trabajo, de acuerdo con los siguientes principios [20]:

- Planificar de arriba a abajo de la organización jerárquica.

- Implementar una jerarquía de abajo hacia arriba.

En la pirámide de nivel jerárquico, se encuentran 5 niveles [21]:

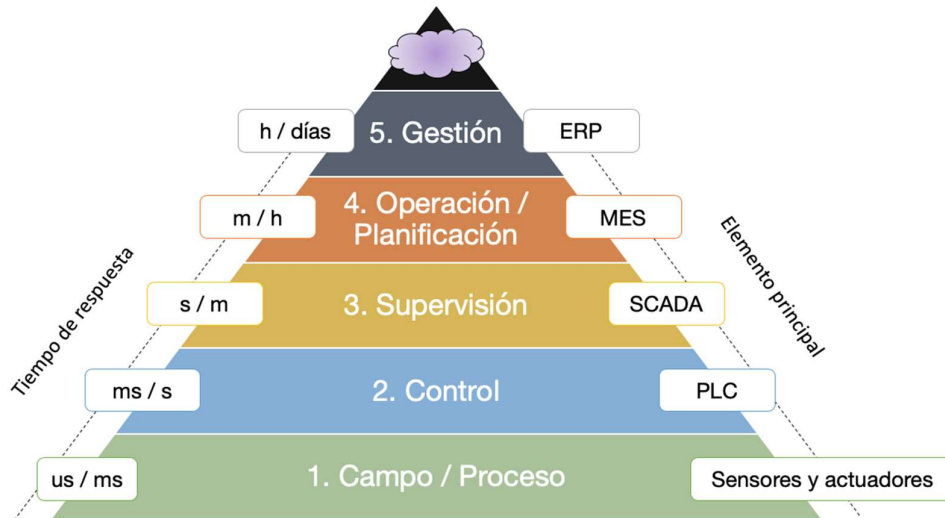


Figura 12. Grados de automatización [22]

Los conceptos básicos de la organización incluyen áreas de control que son robots inteligentes, robots, sensores, actuadores, equipos y máquinas, y consisten en un sistema de control jerárquico y descentralizado que permite la toma de decisiones en las áreas de gestión.

Estos componentes de lógica y control son interacción hombre-máquina, es decir, el sistema de control interactúa con el usuario [21].

2.2.7. Bus de campo

Los buses de campo son un medio de transmitir información (datos) que ayudan con el montaje y la operación de equipos industriales o maquinaria utilizada en el proceso de producción.

El propósito del bus de campo es reemplazar la conexión punto a punto entre dispositivos de campo y elementos de control. [23]

Es especialmente una red digital, multipunto y bidireccional, y está instalada en un bus serie que conecta equipos de campo como actuadores, transductores, sensores, módulos de E / S, variadores de velocidad, PLC, PC, etc.

Cada equipo de campo ingresa información en el sistema de control, convirtiendo el equipo en dispositivos inteligentes, y puede realizar funciones de diagnóstico, control y comunicación a través del bus. [1]

Ventajas de un bus de campo [23]

- Probabilidad para poder conectar equipos de diferentes fabricantes.
- Posibilidad de crecimiento de la red.
- Se reduce masivamente el uso de cable.
- Longitud de operación superior al cableado tradicional, se puede usar repetidores y amplificadores de señal.
- La puesta en servicio se facilita.

Desventajas de un bus de campo [23]

- La inversión inicial es muy alta.
- Necesidad de personal capacitado y que tenga conocimientos superiores.
- Inversión de instrumentos, de equipos de diagnósticos y de configuración.

2.2.8. Redes industriales

Una red es una serie de dispositivos interconectados que pueden enviar y recibir datos. Existen diferentes tipos y arquitecturas de redes, en las que cada una tiene sus ventajas y desventajas sobre la otra, según la aplicación requerida y el medio utilizado.

A través del incremento de la industria, la demanda por mejores redes de comunicaciones industriales aumentó. La mayoría de los fabricantes empezaron a desarrollar soluciones para mejorar la forma de conexión diversos dispositivos [24].

2.2.8.1. Arquitectura en redes

La topología de una red lleva el nombre del formulario de conexión que tienen físicamente sus nodos. [25]

Las topologías más comunes y utilizadas son las siguientes [25]:

- Topología de bus.
- Topología de las estrellas.
- Topología de árbol.
- Topología de anillo.

- **Topología en bus**

Las topologías de este tipo ocupan el mismo canal para comunicar dispositivos o nodos entre sí. En otras palabras, hay un único canal de comunicación, que se denomina red troncal, bus o backbone, que requiere resistencias de terminación en cada extremo de la red [25].

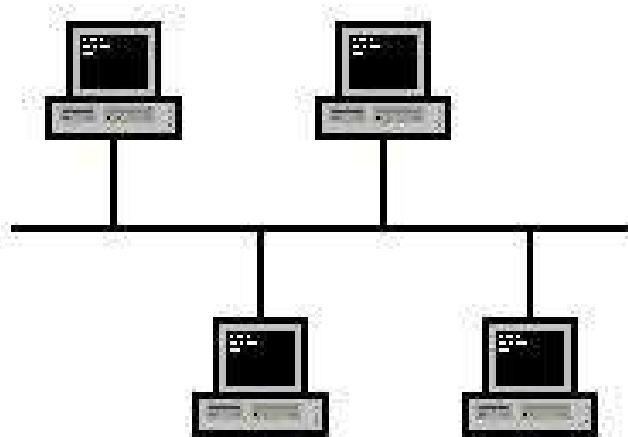


Figura 13. Topología del bus [26]

Ventajas [25]

Los nuevos nodos se pueden conectar fácilmente a la red.

El cableado requiere menos cables que la topología en estrella.

Desventajas [25]

Se requiere resistencia de terminación.

Si se rompe el cable, se pierde toda la comunicación.

Si se pierde la señal de comunicación, es difícil encontrar la causa del problema.

- **Topología en estrella**

La topología en estrella se caracteriza por concentrar datos. En otras palabras, los datos se transmiten a través de un enlace punto a punto desde el dispositivo o nodo al concentrador, y el concentrador realiza todas las funciones de la red. [25]

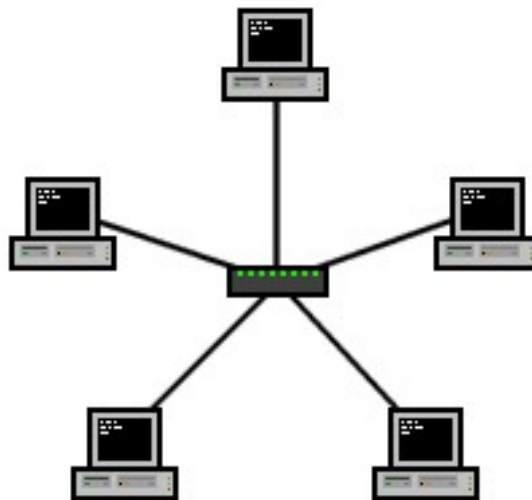


Figura 14. Topología en forma de estrella [26]

Ventajas [25]

Los dispositivos se pueden desconectar de la red sin ningún problema.

Encontrar errores es mucho más fácil debido a la forma física de la topología.

La instalación es más fácil.

Desventajas [25]

- El cableado requiere más cable que la topología del bus.

- La comunicación de red se pierde debido a un problema con el concentrador.
- Se necesita concentradores o hubs.

- **Topología en árbol**

La topología de árbol es un conjunto de propiedades de topología de estrella y topología de bus.

En este tipo de topología, dado que todas las estaciones reciben datos, no importa dónde se transmiten los datos, lo que constituye un inconveniente y, para resolverlos, es necesario proporcionar a la red un dispositivo o herramienta que pueda reconocer los datos. [25]

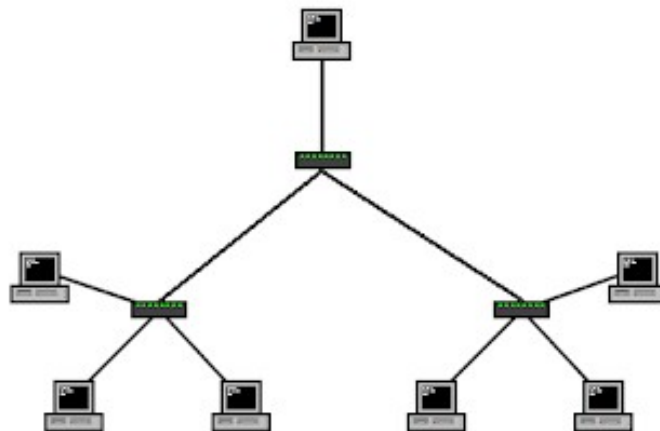


Figura 15. Topología en forma de árbol [26]

Ventajas [25]

- Los segmentos individuales están conectados, punto a punto.
- Puedes resolver fácilmente el problema.
- Fácil expansión de red

Desventajas [25]

- La longitud de cada sección depende del tipo de cable utilizado.

- Se requiere demasiado cable.
- La configuración es mucho más difícil.
- Cuando dos o más estaciones transmiten datos al mismo tiempo, puede haber interferencia entre las señales porque hay un medio de transmisión compartido entre las estaciones.
- Si se pierde la comunicación en la sección principal, toda la red se cae.

2.2.8.2. Topología en anillo

Hay una topología circular. Para pasar la señal a la siguiente estación, donde cada estación tiene un receptor y un transmisor, cada estación tiene una única conexión de entrada y una conexión de salida, por lo que transporta toda la información de la red hasta que toda la información de la red pase a través de cada nodo. La configuración de doble anillo permite enviar y recibir datos en ambas direcciones. [25]

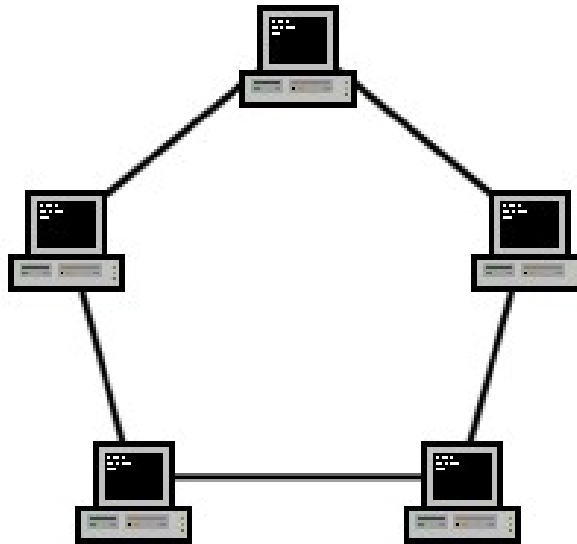


Figura 16. Topología en anillo [26]

Ventajas [25]

- La red proporciona acceso equitativo a todos los dispositivos conectados a la red.
- La red está disponible para muchos usuarios y no afecta el rendimiento.
- Es una arquitectura sólida.

Desventaja [25]

- Presta atención a la longitud del canal.
- A medida que aumenta la red en la estación, la calidad del canal generalmente se degrada.
- Si un canal o estación falla, la comunicación se pierde y es un circuito unidireccional.

2.2.9. OEE

OEE es la abreviatura de Eficacia general del equipo (Overall Equipment Effectiveness) y enseña los porcentajes de efectividad de un equipo o máquina. La desigualdad es la pérdida de tiempo, pérdida de velocidad y pérdida de calidad [27].

La idea OEE se desarrolló como un KPI (Key Performance Indicator) en relación con un programa existente para incrementar una mejora en la producción llamada TPM (Total Productive Maintenance - Management, en español Total Productive Maintenance). La idea principal del programa TPM es disminuir los valores adicionales que se encuentra en un proceso [28].

El indicador OEE es una herramienta integral de evaluación comparativa. Con este indicador, se logra estimar diversos elementos del desarrollo de la producción, como disponibilidad, rendimiento y calidad. También señala adecuadamente la medición del progreso real en 5s, Lean Manufacturing, Kaizen, TPM y Six Sigma.

- Disponibilidad: Es el tiempo original del equipo produciendo.
- Rendimiento: Es la producción original del equipo en un tiempo definido.
- Calidad: Es la producción adecuada.

Las fórmulas del OEE son las siguientes [29]:

FORMULAS DEL OEE	
Tiempo Total	Tiempo disponible + Tiempo planteado
Tiempo planteado	Reuniones, comidas, MP
Tiempos disponibles	Tiempo total -Tiempo planteado
Tiempo productivo	Tiempo disponible- Tiempo muerto
Tiempo muerto	Tiempo averías + Tiempo de cambio del producto
Disponible	$\frac{\text{Tiempo productivo}}{\text{Tiempo disponible}}$
Capacidad productiva	Tiempo productivo × Capacidad estándar
Producción Real	Tiempo productivo × Capacidad Real
Eficiencia	$\frac{\text{Produccion real}}{\text{Capacidad productiva}}$
Calidad	$\frac{\text{Produccion real} - \text{unidades defectuosas}}{\text{Produccion total}}$
OEE	Disponibilidad × Eficiencia × Calidad

Tabla 1. Formulas OEE [29]

Juntamente, OEE considera y clasifica los diversos tipos de disminuciones que suelen ocurrir en el transcurso de una producción. Esta lista procede de la misma forma que el TPM, en el que tiene un significado de "Seis grandes pérdidas". Las pérdidas ocasionadas disminuyen el periodo de proceso efectivo y la producción que mayor eficiente que se obtendrá [30].

El valor obtenido de los indicadores OEE contiene una evaluación cualitativa y con especialistas expertos concretan en la posterior enumeración de la tabla [30]:

OEE	Valoración	Descripción
0% - 64 %	Deficiente (inaceptable)	Ocasiona notable disminuciones económicas. Existe un descenso competitividad
65% - 74 %	Regular	Es admisible si está en un proyecto de mejora. Se producen pérdidas económicas. Existe baja competitividad.
75% - 84 %	Aceptable	Debe continuar la mejora para alcanzar una buena valoración. Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja
85% - 94 %	Buena	Entra en valores de clase mundial. Buena competitividad
95% - 100 %	Excelente	Valores de clase mundial. Alta competitividad

Tabla 2.Indicadores OEE [30]

La medición OEE (Global Equipment Efficiency) es un instrumento simple pero fuerte que puede ayudar a lograr información útil sobre el trabajo en progreso. OEE refleja la evolución de la pérdida de la máquina en la documentación para eliminar al operador y facilitar la acción de eliminación.

Los cálculos de OEE generar diariamente información sobre el nivel de eficiencia de una máquina o conjunto de máquinas. También se detecta en qué "seis grandes pérdidas" debe centrarse priorizando los análisis y las soluciones. OEE no solo es un indicador del rendimiento para un sistema de producción, sino que también es un medio significativo para ciertos progresos después de priorizar las pérdidas.

La efectividad del equipo incide principalmente a los operadores de producción. Por lo tanto, para reducir continuamente las pérdidas de eficiencia, deben los primeros en comprender y calcular la OEE y en planificar e implementar mejoras en la máquina.

OEE es una herramienta fácil de usar y suministra información del nivel de efectividad de una máquina o línea de producción en particular a través de lenguajes y definiciones accesibles para todos los operadores y técnicos, y hace referencia a la efectividad de la máquina al máximo absoluto.

En términos de velocidad, disponibilidad y calidad, se centra completamente en la pérdida, multiplicando los tres componentes con la posibilidad de mejora presente, para ser un indicador que refleje la relación entre la fabricación y el objetivo de fabricación en un tiempo concreto.

La información sobre la pérdida puede afectar a OEE, ya que puede iniciar ciertas mejoras centradas en el problema donde se detecta el movimiento del equipo, por lo OEE ayuda a reducir los costos de producción a medida que disminuye el resultado de la erradicación de la pérdida o cualquier mejora se refleja en la evolución de la OEE.

OEE es un indicador confiable ya que los cálculos no pueden verse comprometidos, cuando se establecen estándares, no hay necesidad de proporcionar información errónea. Cada uno de los tres elementos que lo forman se puede cambiar, pero el OEE persiste estable (porque siempre se puede calcular la relación entre piezas obtenidas y piezas buenas de intervalos de tiempo). El equipo de producción solo puede ocultarlo proporcionando la información incorrecta que tiene la mayor pérdida o el impacto deseado de la mejora [28].

2.2.10. Disponibilidad

La merma de tiempo se considera en este caso como el tiempo que la máquina estuvo en producción, pero aún no se realizó, el producto no emerge de la máquina [31]. Las pérdidas serían las siguientes:

Averías (Primera Pérdida): Las averías o fallos repentinos e inesperados reducen el período de producción. El origen de este inconveniente puede ser técnica que se utilizó o la forma organizativa (por ejemplo, mantenimiento deficiente del equipo, mal trabajo de la máquina). OEE tiene en cuenta este tipo de pérdida desde el instante en que aparece el defecto [20].

Esperas (Segunda Pérdida): El período de producción también se disminuye cuando la máquina entra a espera. La máquina consigue pasar a la etapa de espera por varios motivos, por ejemplo, si ha cambiado, mantenido una pausa. En caso de un cambio, la máquina generalmente debe apagarse por un período de tiempo, y la herramienta, los consumibles u otras partes deben cambiarse. La tecnología SMED especifica el tiempo de cambio como el tiempo que existe entre el último producto que salió en excelentes condiciones y el primer producto entregado por el lote anterior. Para tal caso el OEE, sería el tiempo de conversión el instante donde la máquina no elabora el producto. El principal propósito de mantenimiento, la disponibilidad, se logra definir como la seguridad de que el sistema o un componente que ha sido objeto de mantenimiento podrá realizar bien su función en un momento dado. En realidad, la disponibilidad se pronuncia como una proporción del tiempo donde el sistema está activo y preparado para funcionar. Es esto para un sistema que funciona continuamente [20].

Al diseñar equipos y sistemas, se debe equilibrar el costo y la disponibilidad. Todo esto dependerá de la naturaleza de las necesidades del sistema, las personas encargadas del diseño pueden cambiar los niveles de confiabilidad, facilidad y disponibilidad del servicio para reducir los costos a lo largo de su ciclo de vida [20].

Ejemplos de confiabilidad:

Requisitos	Ejemplos
Alta confiabilidad Poca disponibilidad	Generación de electricidad, Tratamiento de agua
Alta disponibilidad	Refinerías de petróleo, Acerías
Alta confiabilidad Alta mantenibilidad	Incineradores hospitalarios
Disponibilidad basa en buena práctica	Procesamiento por etapas
Alta disponibilidad Alta confiabilidad	Sistemas de emergencia, Plataformas petroleras

Tabla 3. Ejemplos de confiabilidad [20]

Elaboración propia basado en “La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento” [32]

La disponibilidad se obtiene como resultado al fraccionar el tiempo donde la máquina estuvo operando (Tiempo de Operación: TO) sería el tiempo donde la máquina habría estado operando. El tiempo que la máquina podría haber estado produciendo (Tiempo Planificado de Producción: TPO) se define como el tiempo total restando los periodos donde estaba planeado producir por razones mantenimientos programados, festivos, legales, almuerzos, etc., llamándose Paradas Planificadas [33]

$$\text{Disponibilidad} = (\text{TO} / \text{TPO}) \times 100 \quad [33]$$

Donde:

TPO= Tiempo Total de trabajo - Tiempo de Paradas Planificadas

TO= TPO - Paradas y/o Averías

La Disponibilidad es el valor que existe entre 0 y 1 por esto se formular en porcentajes [33].

2.2.11. Rendimiento

- ***Pérdidas de Velocidad***

La merma de velocidad significa que la máquina está trabajando, pero no a la velocidad ideal máxima de trabajo [34]. Hay dos tipos de pérdida de velocidad:

Micro paradas (Tercera Pérdida): Si la máquina no funciona a una velocidad constante con interrupciones breves, por las micro paradas y las mermas de velocidad resultantes corrientemente son originadas por pequeños inconvenientes como la obstrucción debido a la captura del sensor de presencia o la cinta transportadora. Estos pequeños problemas pueden reducir significativamente la eficiencia de la máquina.

Velocidad Reducida (Cuarta Pérdida): La velocidad de desaceleración es la resta de la velocidad establecida por la velocidad teórica o de diseño. A veces existe una discrepancia significativa de lo que el técnico considera que sería la velocidad máxima y la velocidad máxima teórica. En varias ocasiones, las tasas de producción se han ralentizado para evadir diferentes pérdidas, como desperfectos de calidad y fallas. Por lo tanto, las pérdidas debidas a la desaceleración se descuidan o subestiman en gran medida.

El rendimiento es el resultado de dividir el trabajo útil de la máquina por la energía que se le ha suministrado o dicho en otros la división de la potencial útil por la potencial total. El trabajo útil de la máquina se logra multiplicando el valor del tiempo de producción por la capacidad de producción nominal de dicha máquina.

Estando en este caso:

Capacidad nominal, "Capacidad de la máquina", "Tiempo de actividad ideal", "Velocidad teórica": Capacidad de la máquina. También se nombra velocidad máxima u óptima, que corresponde en la línea el rendimiento ideal / máquina (máximo / óptimo). Se calcula en unidades / hora. Se puede utilizar un tiempo de ciclo ideal en lugar de utilizar la capacidad nominal.

Tiempo de ciclo ideal, "Tiempo de ciclo ideal", "Tiempo de ciclo teórico": el tiempo de ciclo mínimo que se espera que un proceso se ejecute en condiciones óptimas.

La capacidad nominal o el tiempo ideal por ciclo es lo primero que corresponde establecerse. Esta capacidad la proporciona generalmente el fabricante, pero suele ser una aproximación. Esto se debe a que puede cambiar de forma considerablemente como las circunstancias en las que esté operando la máquina o línea de producción. Por ello es recomendable ejecutar pruebas para establecer el valor real y determinar por cada producto la capacidad nominal (incluido formato y presentación) a partir del cual pueden mostrarse dos casos:

a) Existen información. El valor máximo será especificado en la máquina o línea de producción.

b) No existen información. Se establece valor el correspondiente de las 4 mejores horas de un total de 400 horas de trabajo.

El valor siempre será la referencia del producto final saliente de la línea. Hay que tener en consideración absolutamente todas las mermas de velocidad (breakdowns). Se debe medir el tanto por ciento del ciclo real o la real capacidad con relación al ideal.

Rendimiento = $\text{Tiempo de período ideal} / (\text{tiempo de funcionamiento} / \# \text{ total de unidades})$

Rendimiento= $\# \text{valor Total de unidades} / (\text{tiempo de funcionamiento} \times \text{Velocidad máxima})$.

El rendimiento de la máquina será siempre un número menor que 1 ($0 < R < 1$), para expresarlo como un porcentaje, se multiplica ese valor por 100. Esto

representa el porcentaje completado del trabajo total proporcionado. Una máquina simple permite un rendimiento del 100% debido a que reciben energía mecánica, entregan energía mecánica (no cambian el tipo de energía) y no tienen mecanismo.

El resto de las máquinas convierten un tipo de energía en otro (calor en energía cinética, energía eléctrica, etc.). El rendimiento está lejos del 100% porque la fricción de las piezas y todo el calor no se pueden aprovechar para que pueda ser convertida en energía mecánica en el motor (no es posible con una máquina ideal) [33].

2.2.12. Calidad

La calidad se comienza a perder cuando una máquina hace un mal producto por primera vez. Se pueden distinguir dos formas de pérdidas de calidad [35].

Deshechos (Sacral) (Quinta Pérdida): Los productos que no cumplen con los valores mínimos de calidad, los productos que no cumplen especificaciones pueden venderse inicialmente como productos de baja calidad. El objetivo siempre será "cero defectos".

Un cierto tipo de pérdida de calidad es una pérdida inicial. Estas pérdidas ocurren cuando:

La producción no es estable al inicio de la máquina y la primera pieza no está acorde con las especificaciones de calidad.

Al final de la producción por lotes, el producto se vuelve inestable y no cumple con las especificaciones.

Los productos considerados inadecuados para pedidos de producción se consideran pérdidas.

Este tipo de pérdida generalmente se considera inevitable. Sin embargo, en varias cantidades pueden llegar a generar mayores desperdicios.

Retrabajo (Sexta Pérdida): Las piezas reelaboradas son productos que no lograron cumplir con las especificaciones de calidad al principio, pero se

pueden reprocesar y convertirse en productos de buena calidad. A primera impresión, el producto reelaborado no parece estar malo, ni para el trabajador. Sin embargo, dado que la pieza no cumple con los requisitos de calidad por primera vez, indica una forma de pérdida de calidad (igual que scrap).

Dado que se descubrió que la producción diaria es inconsistente con la necesidad ideal, se necesita mostrar la desviación y encontrar una manera de deshacernos de ella. La diferencia que existe para la situación ideal y la situación actual de obtener las 6 pérdidas principales y aclararse es el inicio para empezar a mejorar [36].

Para la medición de los seis grandes desperdicios, los técnicos pueden concentrarse en la eliminación una vez que son inaceptables.

La mayoría de las industrias utilizan métodos de medición en máquinas de producción; unidades como el tiempo de disponibilidad, los valores de producción y la velocidad de productiva son a menudo el objetivo de las mediciones. Este método es una herramienta útil para aquellos que desean saber qué produce una máquina [37].

De acuerdo con Taguchi [38], la función de pérdida de calidad indica el funcionamiento de los costos utilizados con las desviaciones en la calidad del objetivo. Por lo tanto, los productos no se clasifican simplemente como conformes o no conformes en términos de calidad, sino por la capacidad de determinar el costo de dejar los requisitos exactos del cliente.

En este flujo de ideas, los costos de desviarse de las especificaciones a medidas incluyen:

- Costos por falta de mantenimiento preventivo.
- Costos por reparaciones correctivas.
- Costos asociados por fallas de un mal funcionamiento.
- Costos asociados daños provocados por una pieza defectuosa.
- Costos asociados a logísticas.

Según Taguchi, mientras menos es la variación con respecto al punto de objetivo, mejor será la calidad. A medida que la desviación aumenta del objetivo de especificación, la pérdida aumenta a un ritmo creciente.

La función de la curva que determina la pérdida de calidad es una función cuadrática simple, que está contemplada por las siguientes variables:

$L(x)$ = Función de pérdida de la calidad.

x = Valor de la característica de calidad (observado).

N = Valor nominal de la característica de calidad (Valor objetivo – meta).

k = Constante de proporcionalidad.

El factor de la proporcionalidad que describe una constante relación entre la magnitud del valor de la pérdida y la desviación de las características de calidad. Por lo tanto, a los efectos de la aplicación, la organización debe registrar la pérdida en función de cuánto cuesta la calidad en una unidad, dependiendo de la variación del valor objetivo.

De esta manera, la función es expresada de la siguiente manera:

$$L(x) = \frac{C}{(LES - N)^2} (x - N)^2$$

C = Costo por la desviación en el límite de los requisitos (Pérdida por una unidad producida cerca del límite de especificación).

LES = Límite dado para la especificación superior. [39]

2.2.13. Indicadores para el cálculo OEE

El indicador OEE es calculado a partir de los factores que ya se han descrito: Disponibilidad, Rendimiento y Calidad. Cada porcentaje obtenido es lastrado por diferentes tiempos de producción, donde dicha identificación, es la clave para el mejoramiento de la eficiencia.



Figura 17. Indicadores OEE [40]

- **Disponibilidad**

Teniendo claro el Tiempo Productivo vs Tiempo Disponible, entre un periodo de producción establecido. Este se afecta por las paradas producidas en el proceso de producción como lo pueden ser: inicialización de la maquinaria, cambios, averías y esperas. Entre los principales indicadores para su cálculo se consideran [40]:

- Paros de programación
- Paros programados
- Paros externos

- **Calidad**

Es el cociente de una Buena Producción, que existió en la Producción Real. El porcentaje de calidad se afecta por los retrabajos o piezas defectuosas, existente en una jornada. Entre los principales indicadores para medir la calidad se consideran [40]:

- Recortes generados normales del proceso.
- Desperdicio de material de empaque, antes de producir.

- Desperdicio de materia prima antes de producir.
- Desperdicio de insumos.

- **Rendimiento**

Teniendo en claro la Producción Real, entre la Capacidad Productiva, para un tiempo de producción establecido. El rendimiento se afecta por las micro paradas y la reducción de la velocidad. Entre sus principales indicadores se consideran [40]:

- Análisis de pequeñas paradas.
- La medición de golpes en vacío (Ej. Cuando se mide revoluciones del motor)

2.2.14. Scada y HMI

El sistema de Supervisión, Control y Adquisición SCADA, tiene como propósito la supervisión, control y registro de los datos importantes del proceso de automatización. Los sistemas SCADA pertenecen a la categoría de la Interfaz Humano – Máquina, HMI, puesto que actúan como puente entre el operario y los sucesos físicos en los procesos deseados [41].

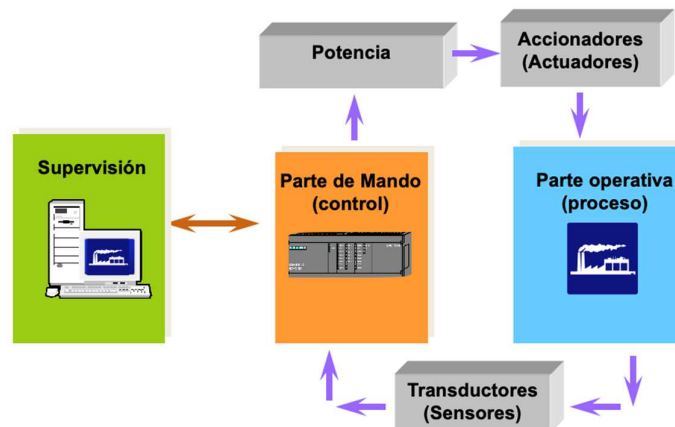


Figura 18. Componentes de un sistema de automatización [22]

El HMI es el medio de comunicación entre el proceso y el operador, un panel sería el instrumento del operador y su herramienta principal, siendo utilizada por los operadores y supervisores de línea para coordinar y controlar los procesos industriales para la fabricación. HMI transforma variables de proceso complejas en información fácil, útil y procesable.

La característica principal de un HMI es mostrar información operativa y procesable en tiempo real y. Otorgan un cuadro de proceso visual que agrega contexto al estado de equipos de campo como motores, válvulas, etc. [41]



Figura 19. Interfaz HMI [42]

Entre sus funciones básicas se destacan:

- Visualizar los datos del proceso.
- Seguimiento de la producción online.
- Supervisión de Key Performance Indicator (KPIs).
- Supervisar los periféricos de la máquina como las entradas y salidas.

Aplicaciones de Scada

Los SCADAs fueron utilizados al principio en el ámbito industrial para controlar los procesos productivos, sin embargo en los últimos años también se han extendido. El sistema Scada funciona bien en diferentes tipos de empresas

porque puede abarcar desde configuraciones simples hasta instalaciones grandes y complejas. [43]

2.1.15. Historia del PLC

El PLC se remonta a finales de la década de 1960, cuando la industria buscó en las nuevas tecnologías electrónicas una solución más eficiente para reemplazar los sistemas de control basados en circuitos eléctricos con relés, interruptores y otros componentes comúnmente utilizados para el control de los sistemas de lógica combinacional. En 1968 GM Hydramatic (la división de transmisión automática de General Motors) emitió una solicitud de propuestas para un reemplazo electrónico de los sistemas cableados de relés. [44]

Ventaja de PLC [45]

Indudablemente la primera ventaja es la reducción del costo de mano de obra, pues al automatizar las tareas, el ser humano comienza a volverse un elemento prescindible.

Su instalación es bastante sencilla, además de ocupar poco espacio y la posibilidad de manejar múltiples equipos de manera simultánea gracias a la automatización.

Existe un mejor monitoreo de los procesos, lo que hace que la detección de fallos se realice rápidamente.

Desventaja de PLC [46]

Sin embargo, no todo es positivo. Uno de los inconvenientes principales a la hora de utilizar dispositivos PLC es que lo ideal es que lo conectemos a una toma de corriente independiente. Esto significa que no es lo mejor conectarlo a una regleta, por ejemplo. Puede que no tengamos un enchufe libre o no esté tan cerca del router como nos gustaría. Es un problema que debemos tener en cuenta. No obstante, hay que indicar que algunas versiones incluyen un enchufe para no tener que prescindir de él.

También puede ocurrir que nuestra instalación eléctrica sea muy antigua. Esto significa que podría haber una merma en la calidad de la señal. Podríamos tener problemas al usar estos dispositivos y lograr obtener la máxima velocidad de Internet, así como una calidad y estabilidad óptimas.

2.2.16. PLC S7 300

Un PLC o Controlador Lógico Programable por sus siglas en inglés, es una computadora que se usa en la ingeniería de automatización industrial, capaz de automatizar los procesos electromecánicos, electroneumáticos, electrohidráulicos, etc. Un PLC se encuentra diseñado para percibir diversas señales de entrada y salida, rangos de temperaturas entre otras.

En este sentido el S7 300 es un PLC desarrollado para soluciones de automatización de gama media. Es un autómatas modular de Totally Integrated Automation, TIA. Este PLC destaca por dar solución a procesos bajos y medios en complejidad. Adicionalmente es un PLC que se mantiene con constantes renovaciones a nivel de procesador [22].

Entre las principales en la cual se puede dar aplicación a este PLC están [22]:

- Procesos de manufactura y máquinas en serie
- Líneas de producción con comunicación PROFINET y PROFIBUS, descentralizadas y centralizados
- Industria variada como la alimenticia, automotriz, empaquetado y hasta de procesado de plásticos.

2.2.17. PLC TM241CE24R

El controlador lógico Modicon M241 es utilizado para controlar máquinas movimiento simple, proporciona la mejor comunicación de su clase con cinco puertos integrados. Además, ofrece una comunicación CANopen avanzada y

capacidades para la arquitectura FieldBus de hasta 63 dispositivos, lo que reduce los costos y el tiempo de instalación [47].

Este PLC es una solución intuitiva para la automatización con todas las características que necesita para crear una máquina rentable. Desde el diseño y desarrollo hasta la puesta en marcha y el mantenimiento, es una solución completa de fabricación de máquinas que es beneficiosa durante la vida útil de una máquina [48].

2.2.18. Web server

Algunos de los autómatas incorporan su propio servidor Web, de modo que se puede acceder a este si se está conectado a la misma red. Dentro del servidor se accede a una página creada por el fabricante a través de la cual se puede monitorizar el estado del autómata, sus variables y mensajes de error. Además, se puede cargar una página definida por el usuario en formato HTML con la que se puede crear un sistema SCADA accesible desde un ordenador, Tablet o Smartphone [41].

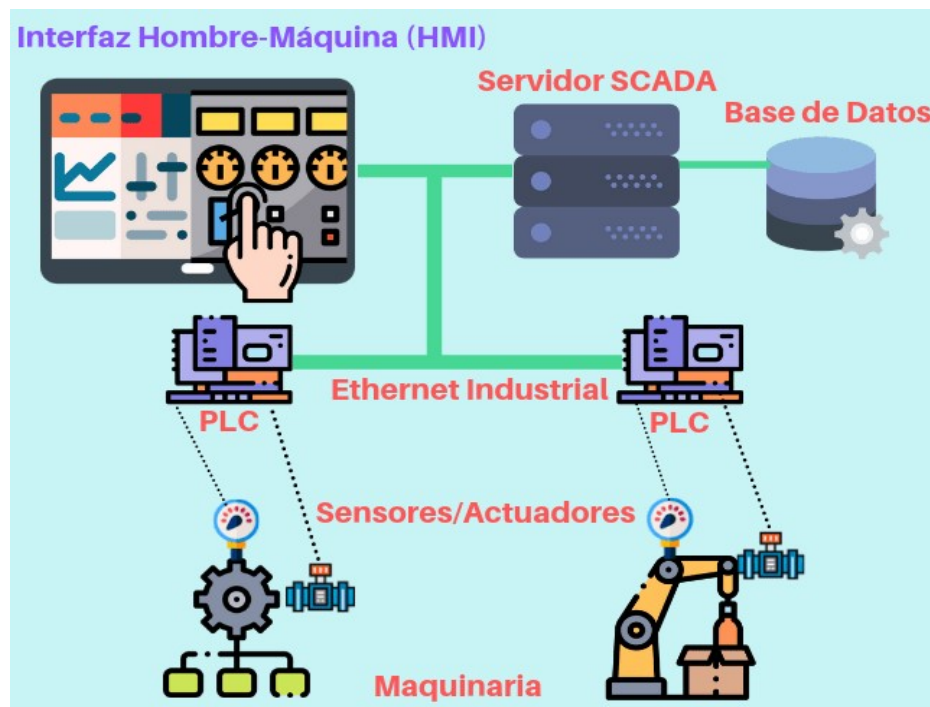


Figura 20. Diagrama del sistema HMI [49]

2.1.19. Aplicación OEE

OEE es una herramienta importante para un usuario de software SCADA. Al estudiar los KPIs, los gerentes de planta pueden determinar qué máquinas o partes del proceso son eslabones débiles. En una máquina, el rendimiento está al 100%, pero la calidad de solo el 54% puede activar una alerta que le diga al gerente de la planta que están fuera de su objetivo. La evaluación del OEE en el software SCADA puede ayudar al operador a visualizar los resultados. Si el rendimiento es del 80% y la calidad aumenta al 99%, podría ser una buena idea reducir ligeramente la producción para obtener un producto mejor. Al leer el tablero de OEE cuando un operador de máquina está operando la máquina en comparación con otro operador, los supervisores pueden determinar qué operadores están produciendo más y cuáles necesitan capacitación adicional. [50]

2.2.19. Importancia del OEE

El fabricante de maquinaria deber diseñar y programar su máquina para mejorar este OEE. Por ejemplo, un punto importante es conseguir cambios de formato rápidos con el fin de conseguir un menor tiempo de máquina parada. En una industria donde cada vez se fabrican series más cortas, un cambio de formato importante es una de las claves.

Otro aspecto es disponer de un HMI muy intuitivo y en caso de alarma que la información sea clara y precisa, esto ayuda a localizar y solventar las alarmas de máquina lo antes posible. Añadir funciones de mantenimiento predictivo ayudará a minimizar paradas no programadas. [51]

2.1.20. Beneficios de OEE

EL operario puede visualizar los indicadores de OEE en todo momento mediante el panel HMI de la máquina para comprobar el porcentaje de disponibilidad y monitorizar la eficiencia global de los equipos.

El módulo OEE de cada máquina recoge los datos de su productividad y su disponibilidad y muestra en tiempo real el porcentaje de eficiencia de la instalación con relación al tiempo de operación.

Los datos sobre disponibilidad o la falta de ella, por incidencias, averías o falta de producto, por ejemplo, permiten identificar los problemas de eficiencia en la línea de ensacado para su mejora continua. [52]

2.1.21. Smart machine

Las máquinas inteligentes evolucionarán de forma que su nivel de inteligencia permita tener más planificación predictiva, pudiendo adaptarse de forma más flexible a las cambiantes necesidades de negocio. De hecho, el término máquina inteligente o “Smart machine” define a un tipo de maquinaria conectada, que es más flexible, eficiente y segura, con capacidad de responder rápidamente a las nuevas demandas y de colaborar de forma intuitiva con los usuarios. Una máquina inteligente es también capaz de participar en las prácticas de mantenimiento predictivo y reducir al mínimo su propio impacto medioambiental y el coste total de propiedad. El desarrollo de una máquina inteligente está influenciado por tres factores principales: la tecnología de consumo, las tendencias del mercado y las demandas de los usuarios finales. [53]

2.1.22. Inteligencia artificial

La inteligencia artificial (IA) es el intento de imitar la inteligencia humana usando un robot, o un software. Pero es un concepto muy vago, porque existen muchas ramificaciones. Stuart Russell y Peter Norvig diferenciaron cuatro tipos, en 2009: sistemas que piensan como humanos, como por ejemplo las redes neuronales artificiales. Sistemas que actúan como humanos, como los robots. Sistemas que usan la lógica racional, como los sistemas expertos, y sistemas que actúan racionalmente, como los agentes inteligentes. [54]

Ventajas de la inteligencia artificial [55]

- En primer lugar, a través de la inteligencia artificial se reducen los errores humanos. Las máquinas son más precisas y menos susceptibles a errores externos.
- Se puede emplear desde el ámbito sanitario, hasta en el sector de la aviación o de los transportes, etc.
- De tal forma que una máquina aprovecha al máximo el rendimiento, siendo capaz de llevar a cabo varias tareas al mismo tiempo, y dejando de lado las funciones innecesarias. Por ejemplo, los coches autónomos.

Desventajas de la inteligencia artificial [56]

- La inversión en Inteligencia Artificial es muy elevada al tratarse de máquinas complejas con un alto coste en mantenimiento y reparación.
- Para poder implantar proyectos de IA debe contarse con profesionales que estén familiarizados con la materia.
- La sustitución de humanos por máquinas está llevando a muchas personas al desempleo a gran escala.
- Es cierto que la eficacia es mayor, pero no son humanos, carecen de sentimientos, lo que a veces puede ser peligroso ya que no conocen ninguna barrera moral.
- Las máquinas no piensan, trabajan bajo parámetros, por lo que la capacidad creativa permanece ausente.

2.1.23. Machine Learning

El Machine Learning es una disciplina del campo de la Inteligencia Artificial que, a través de algoritmos, dota a los ordenadores de la capacidad de identificar patrones en datos masivos para hacer predicciones. Este

aprendizaje permite a los computadores realizar tareas específicas de forma autónoma, es decir, sin necesidad de ser programados.

El término se utilizó por primera vez en 1959. Sin embargo, ha ganado relevancia en los últimos años debido al aumento de la capacidad de computación y al boom de los datos. Las técnicas de aprendizaje automático son, de hecho, una parte fundamental del Big Data. [57]

Beneficio de machine learning

Los algoritmos de machine learning conlleva a una mejora gradualmente la instrucción con la intención de reducir la aparición de posibles errores. Desde el punto de vista estadístico, aumentando el intervalo de confianza de las deducciones hechas. Para esto se combinan los aprendizajes supervisados por humanos con aquellos en el que el propio ordenador encuentra los patrones de conducta que le llevarán a definir las relaciones. [58]

Ejemplos y aplicaciones del Machine Learning [59]

- La detección de rostro en las cámaras móviles, cada vez son más los smartphones que integran este tipo de tecnología.
- Los buscadores de navegadores se valen del Machine Learning para mejorar los resultados y sugerencias en la búsqueda.
- El antispam de los correos, mediante el uso de etiquetas.
- Los antivirus con la detección de software malicioso.
- Las predicciones y pronósticos mediante la recolección de datos de los usuarios se pueden recomendar y sugerir otros productos.

3. MARCO METODOLÓGICO

La metodología que se utilizará en el desarrollo de esta investigación estará enmarcada en el tipo de campo, es decir, donde se emplearán métodos y técnicas que permitirán obtener datos de fuentes primarias sobre las variables de investigación relacionadas. En este sentido, se considera un enfoque mixto debido a que la información recabada considera datos cualitativos y cuantitativos del objeto de estudio. De esta manera, la investigación se determina como experimental, dada la prosecución de los objetivos establecidos.

En este orden metódico, se considera un abordaje de métodos centrados en la síntesis y el análisis para el escenario de investigación que contemplen la observación del manejo de la máquina y su desenvolvimiento. Por consiguiente, se aplicarán las técnicas de recolección de datos a través de observación directa y del análisis de la máquina, sus operaciones, entradas y salidas del sistema, de forma que faciliten el conocimiento de factores e indicadores para tener en cuenta para la obtención de los resultados.

3.1. Informe de programación PLC MPS-500

Previo a la creación del sistema a implementarse, se hace necesario el análisis de la programación actual de los procesos del sistema FESTO MPS 500 del laboratorio de flexible, con la finalidad de obtener un diagnóstico que permita comprobar la viabilidad de implementación del nuevo sistema

De esta manera, se ejecutó un análisis del programa del PLC s7300 de la máquina MPS-500 del laboratorio de flexible donde se revisaron los siguientes puntos:

- **Las variables del sistema y su correcta utilización para el ahorro de memoria del procesador:** Efectivamente la creación de las

variables fue generadas correctamente y pensadas en el ahorro de memoria del equipo.

- **Memoria del procesador:** La memoria del procesador está a un 70% de su capacidad permitiendo el ingreso de lógicas nuevas de programación si fuera necesario, con esto es posible ampliar el proceso de ser necesario.
- **Bucles en las rutinas:** Se llevó a cabo la revisión de la existencia de bucles o rutinas innecesarias en los procesos del programa de la máquina. Como resultado no se encontraron bucles o rutinas que no tuvieran una razón fundamentada por el proceso.
- **Lógica de control:** En el análisis de la lógica de control se encontró que el programa es viable para interconectarnos con el PLC para el control del OEE sin que existiera algún conflicto en la operación.

De esta forma, se pudo comprobar la factibilidad de la implementación del sistema propuesto, considerando a que no se encontraron conflictos para la interconexión del PLC.

3.2. Arquitectura de control del sistema OEE

Para la arquitectura de control del sistema OEE se lleva a cabo una interconexión de comunicación entre el HMI y el PLC M241 analizador del OEE', por medio del Ethernet/IP y el PLC M24, este es conectado a través de entradas/salidas digitales al controlador S7-300 como se observa a continuación:

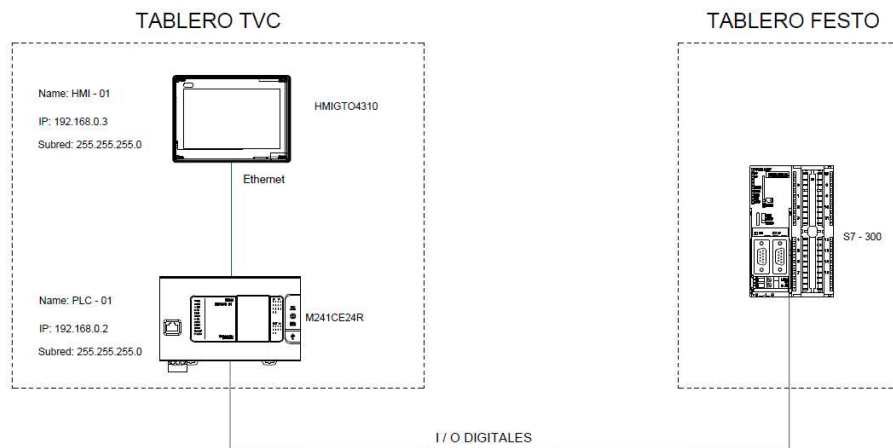


Figura 21. Esquema de interconexión entre HMI y el PLC [13]

3.3. Conexión del PLC- M241

El PLC que se usó para fabricar esta solución es el TM241CE24T el cual tiene varios puertos de comunicación y facilidades para su intercomunicación con equipos de otros fabricantes esto lo hace un excelente equipo para la solución de análisis de eficiencia productiva de máquinas, por motivo que se puede adaptar fácilmente a máquinas antiguas como nuevas.



Figura 22. Conexión PLC

Como observamos en la figura 22 utilizamos el puerto Ethernet / IP para comunicarse con el HMI, este puerto nos permite generar una comunicación determinística con equipos de campo de control y monitoreo, logrando generar una alta disponibilidad de las funciones de los equipos de control y seguridad en sus operaciones de control. El fabricante del M241 nombra a esta tecnología I/O scanner.

3.4. Conexión HMI

Como se observa en la figura 23 el HMI está siendo conectado por uno de sus puertos de comunicación, Ethernet/IP, el cual nos permite hacer una comunicación más fluida con el PLC de manera sencilla de gestionar y de realizar mantenimiento. Las variables del HMI se transmiten por mensajería implícita gracias a configuraciones internas que tiene el software de programación como podrán observar en la figura 22, esto permite que la operación con el usuario sea rápida y eficiente.



Figura 23. Conexión HMI

En las siguientes tablas se podrán observar las variables de la:

- Lógica del PLC
- PLC al HMI
- PLC al Web server

Nombre Variable	Tipo de variable
CTU_1	REAL
Aux1_DivCero	REAL
Aux_Cv1	REAL
Aux1_Rendimiento	CTU
AUX1_GT	BLINK
AUX1_LE	CTU
Aux1_OEE	REAL
Aux2_Rendimiento	REAL
TRUNCAR_REAL_0	BOOL
Aux2_Calidad	REAL
TRUNCAR_REAL_1	REAL
TRUNCAR_REAL_2	REAL
Aux1_Disponibilidad	BOOL
TRUNCAR_REAL_3	BOOL
Aux2_OEE	REAL
FB_Scaling_0	REAL
FB_Scaling_1	TRUNCAR_REAL
FB_Scaling_2	TRUNCAR_REAL
FB_Scaling_3	REAL
Aux1_Men_Rechazos	FB_Scaling
MODBUS_OEE AT %MW1	REAL
MODBUS_DISP AT %MW3	REAL

MODBUS_CAL AT %MW4	REAL
REAL01	FB_Scaling
REAL02	FB_Scaling
REAL03	REAL
BOO	WORD
MODBUS_OEE AT %MW1	WORD
MODBUS_DISP AT %MW3	WORD
MODBUS_CAL AT %MW4	WORD
REAL01	REAL
REAL02	REAL
REAL03	REAL
BOO	BOOL
Aux_Men_Rechazos	INT
Aux_Men_Parciales	WORD
Aux_Reset_Ctu	BOOL
Aux_Men_Totales	WORD
Aux1_Enable_Simu	BOOL
Aux_Reset	BOOL
BOOL001	BOOL
REAL001	REAL
INT001	INT
MINIMA	INT
SET_PESO	REAL
HIST	REAL
A_ESTATUS_OK	BOOL
A_CANTIDAD	INT
Aux_Time	TIME
BLINK_0	BLINK
Aux_VarCero	REAL
qWs_Tapa9	BOOL
qWs_Tapa3	BOOL
RTC_GetMonth	UINT
RTC_GetYDay	UINT
RTC_GetDayWeek	UINT
RTC_GetMilSecond	UINT
RTC_GetSecond	UINT
RTC_GetMinute	UINT
RTC_GetDay	UINT
RTC_GetYear	UINT

RTC_GetHour	UINT
LOG_JA	BOOL
LOG_JB	BOOL
LOG_JC	BOOL
MOTIVO_PARADA_JA	STRING (255)
MOTIVO_PARADA_JB	STRING (255)
MOTIVO_PARADA_JC	STRING (255)
RTC_FECHA_ARRANQUE	STRING (255)
RTC_TIEMPO_ARRANQUE	STRING (255)
RTC_FECHA_PARADA	STRING (255)
RTC_TIEMPO_PARADA	STRING (255)
TIEMPO_PRO_JA	STRING (255)
TIEMPO_PAR_JA	STRING (255)
TIEMPO_PRO_JB	STRING (255)
TIEMPO_PAR_JB	STRING (255)
TIEMPO_PRO_JC	STRING (255)
TIEMPO_PAR_JC	STRING (255)
TIEMPO_PRO_S	STRING (255)
TIEMPO_PAR_S	STRING (255)

Tabla 4. Variables de la lógica del PLC

Nombre Variable	Tipo de variable
TVC_S	STRING (255)
RENDIMIENTO_S	STRING (255)
DISP_S	STRING (255)
IN_MARCHA_PLC_SIEMENS	BOOL
M_IN_MARCHA_PLC_SIEMENS	BOOL
M_IN_REGISTRADORA	BOOL
M_CONT_PIQUEOS_REG	BOOL

Tabla 5. Lógica del PLC, variable de TVC, Rendimiento & Disponibilidad

Nombre Variable	Tipo de variable
M_MARCHA_PLC_JA	BOOL
M_MARCHA_PLC_JB	BOOL
M_MARCHA_PLC_JC	BOOL
M_MOT_PARADA	BOOL

Tabla 6. Lógica del PLC, variable de marcha externa de PLC

Nombre Variable	Tipo de variable
ANI_M_L_ESPERA_JA	BOOL
ANI_M_L_ESPERA_JB	BOOL
ANI_M_L_ESPERA_JC	BOOL
HOR_PRO_REAL_JA	REAL
HOR_PRO_REAL_JB	REAL
HOR_PRO_REAL_JC	REAL
RTC_JORNADA_A	BOOL
RTC_JORNADA_B	BOOL
RTC_JORNADA_C	BOOL
RTC_JORNADA_A_AUX	BOOL
RTC_JORNADA_C_AUX	BOOL

Tabla 7. Lógica del PLC, variable de animación Luz Esperando

Nombre Variable	Tipo de variable
qHmi_Horometro_Par	STRING
qHmi_OEE	REAL
qHmi_Disponibilidad	REAL
qHmi_Rendimiento	REAL
qHmi_Calidad	REAL
iHmi_Enable_Simu	BOOL
iHmi_Rechazos	BOOL
iHmi_Inicio_Turno	BOOL

Tabla 8. Variables conexión PLC al HMI

Nombre Variable	Tipo de variable
HMI_START_T_A	BOOL
HMI_START_T_B	BOOL
HMI_START_T_C	BOOL
HMI_START_T_A	BOOL
HMI_START_T_B	BOOL
HMI_START_T_C	BOOL

Tabla 9. PLC al HMI variables de RTC

Nombre Variable	Tipo de variable
qWs_Tapa9	BOOL
qWs_Tapa3	BOOL
DATO_WS	WSTRING
DATOS_2_WS	WSTRING
WEB_HAB_B4	BOOL
WEB_HAB_B3	BOOL
WEB_HAB_B2	BOOL
WEB_HAB_B1	BOOL
qWs_Rendimiento_Grafccircular	REAL
qWs_Calidad_Grafccircular	TRUNCAR_REAL
qWs_Disponibilidad_Grafccircular	TRUNCAR_REAL
qWs_OEE_Grafccircular	REAL
qWs_Men_Parciales	FB_Scaling

Tabla 10. Variables del PLC al web server

3.5. Configuración del Software

Como se observa en la figura 22 está el configurador de comunicación I/O Scanner, el cual sirve para generar una comunicación más segura entre equipos de control y monitoreo en procesos automatizados.

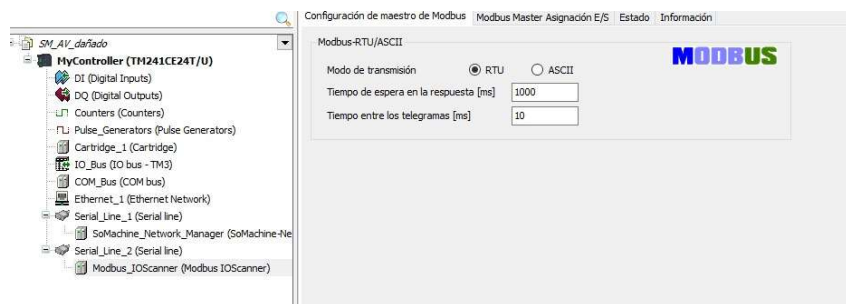


Figura 24. Configurador de comunicación

En la figura 25 se muestra la ubicación en el software de programación del PLC (So Machine V4.3) donde se configura las variables que se comunicaran por I/O scanner, en este sitio se colocan los parámetros de tiempo, longitud y los valores necesarios para generar un determinismo en la comunicación, esto nos ayuda a generar alarmas o acciones en la lógica del proceso si la comunicación llegara a fallar, logrando que el proceso global operativo de la máquina sea altamente seguro para el ser humano.

Nombre	Tipo de acceso	Desencadenador	Desplazamiento READ	Longitud	Tratamiento de errores	Desplazamiento WRITE	Longitud	Comentario
Chan...	Read Holding Re...	CYCLIC, t=100ms	16#0000	1	Conservar el último valor			

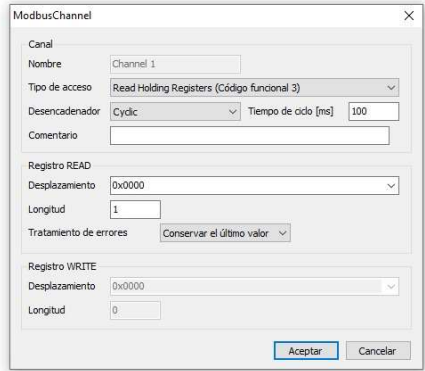


Figura 25. Ubicación en el software

Las variables globales son importantes para la intercomunicación del PLC con periféricos externos enfocados en la interacción hombre - máquina, dichas variables para el desarrollo de cálculos del programa usa la memoria ROM del PLC, se utilizan principalmente para comunicaciones con HMI, Web Server y Scadas, en el desarrollo del programa OEE nos ayuda conectar las variables de control y monitoreo que maneja el operario sobre la máquina, como indicar los motivos de parada y visualizar sus avances de producción en KPI enfocados en eficiencia de producción.

	Ambito	Nombre	Dirección	Tipo de datos	Inicialización	Comentario
95	VAR_GLOBAL	M_L_ESPERA_JA		BOOL		Marca para la activación de luz Ambar de esperando
96	VAR_GLOBAL	M_L_ESPERA_JB		BOOL		
97	VAR_GLOBAL	M_L_ESPERA_JC		BOOL		
98	VAR_GLOBAL	M_L_PRODUCIENDO_JA		BOOL		Marca para la activación de luz Verde de produciendo
99	VAR_GLOBAL	M_L_PRODUCIENDO_JB		BOOL		
100	VAR_GLOBAL	M_L_PRODUCIENDO_JC		BOOL		
101	VAR_GLOBAL	ANI_M_L_ESPERA_JA		BOOL		Variable dde animación Luz Esperando
102	VAR_GLOBAL	ANI_M_L_ESPERA_JB		BOOL		
103	VAR_GLOBAL	ANI_M_L_ESPERA_JC		BOOL		
104	VAR_GLOBAL	HOR_PRO_REAL_JA		REAL		
105	VAR_GLOBAL	HOR_PRO_REAL_JB		REAL		
106	VAR_GLOBAL	HOR_PRO_REAL_JC		REAL		
107	VAR_GLOBAL	RTC_JORNADA_A		BOOL		Variables de RTC - CUANDO SE ACTIVAN DESDE EL HMI , SE EJECUTA EL DATA LOG
108	VAR_GLOBAL	RTC_JORNADA_B		BOOL		NO UTILIZADA
109	VAR_GLOBAL	RTC_JORNADA_C		BOOL		
110	VAR_GLOBAL	RTC_JORNADA_A_AUX		BOOL		
111	VAR_GLOBAL	RTC_JORNADA_C_AUX		BOOL		
112	VAR_GLOBAL	LOG_HOR_PAR_JA		STRING		Variables para DataLog - Horas & Minutos -JA/JB
113	VAR_GLOBAL	LOG_MIN_PAR_JA		STRING		
114	VAR_GLOBAL	LOG_HOR_PAR_JB		STRING		
115	VAR_GLOBAL	LOG_MIN_PAR_JB		STRING		
116	VAR_GLOBAL	LOG_HOR_PAR_JC		STRING		
117	VAR_GLOBAL	LOG_MIN_PAR_JC		STRING		
118	VAR_GLOBAL	HOR_HOT_PAR_INT_HUL_JA		INT		
119	VAR_GLOBAL	HOR_HOT_PAR_INT_HUL_JB		INT		
120	VAR_GLOBAL	HOR_HOT_PAR_INT_HUL_JC		INT		
121	VAR_GLOBAL	SUP_DE_TURNOS_S		STRING(255)		
122	VAR_GLOBAL	CANT_SACOS_S		STRING(255)		
123	VAR_GLOBAL	TOTAL_KG_S		STRING(255)		

Figura 26. Variables globales

Las variables locales del PLC son importantes para la interacción de lógicas de programación sin ocupar memoria ROM del PLC ayudando a su eficiencia de cálculo, ya que para las operaciones solo ocupa la memoria RAM del PLC. El programa desarrollado para la medición de eficiencia OEE están encargadas de ayudar a los cálculos en línea de la velocidad, calidad, rendimiento y eficiencia operativa, en bloques de tiempos, contadores, sumadores y cálculos generales.

	Ámbito	Nombre	Dirección	Tipo de datos	Inicialización	Comentario	Atributos
1	VAR	SM_Timers_FB_0		SM_Timers_FB			
2	VAR	hmi_PPreparacion		BOOL		VARIALES DE ENTRADAS Y SALIDAS QUE VIEN... ESDE EL WEB SERVER O HMI PARA LOGICA OEE	
3	VAR	hmi_PElectrica		BOOL			
4	VAR	hmi_PMecanica		BOOL			
5	VAR	hmi_PDescanso		BOOL			
6	VAR	hmi_PSOP		BOOL			
7	VAR	qhmi_Luz_Produciendo		BOOL			
8	VAR	qhmi_ParadaNoSelec		BOOL			
9	VAR	qhmi_Luz_PPreparacion		BOOL			
0	VAR	qhmi_Min_PPreparacion		INT			
1	VAR	qhmi_Cant_PPreparacion		WORD			
2	VAR	qhmi_Luz_PElectrica		BOOL			
3	VAR	qhmi_Min_PElectrica		INT			
4	VAR	qhmi_Cant_PElectrica		WORD			
5	VAR	qhmi_Luz_PMecanica		BOOL			
6	VAR	qhmi_Min_PMecanica		INT			
7	VAR	qhmi_Cant_PMecanica		WORD			
8	VAR	qhmi_Luz_PDescanso		BOOL			
9	VAR	qhmi_Min_PDescanso		INT			
0	VAR	qhmi_Cant_PDescanso		WORD			
1	VAR	qhmi_Luz_PSOP		BOOL			
2	VAR	qhmi_Min_PSOP		INT			
3	VAR	qhmi_Cant_PSOP		WORD			
4	VAR	qhmi_Luz_Esperando		BOOL			

Figura 27. Variables locales del PLC

3.6. Tablero de control OEE

El tablero OEE está encargado de la recolección de todas las señales de entrada y salidas de productos, tiempos muertos, motivos de paradas y datos de operación de la máquina Flex, a través de las entradas digitales del PLC M241 y el HMI, para su posterior almacenamiento y procesamiento generando el análisis de eficiencia en tiempo real.



Figura 28. Tablero de control OEE [13]

3.6.1. Construcción del tablero OEE

El tablero está constituido por diversos componentes orientados al control y a la protección eléctrica, los cuales se detallan a continuación:

- PLC M241
- HMI – GTO de 7”
- Relé tipo bornera
- Breaker riel din para protección de los equipos de control
- Tablero Galvanizado IP55, 80 x 60 x 25

Los equipos fueron ensamblados dentro de un tablero galvanizado IP55, considerando que este ofrece protección contra polvo y agua. Posteriormente se conectaron de forma eléctrica para su correcto funcionamiento.



Figura 29. Componentes del tablero [13]

3.6.2. Instalación y montaje en sitio del tablero OEE

Una vez culminada la construcción del tablero OEE, se procedió con su instalación en un lugar cercano a la máquina FESTO del laboratorio Flexible.



Figura 30. Montaje en sitio del tablero OEE [13]

Posteriormente se procedió a la instalación de la canaleta para la alimentación eléctrica del tablero de control OEE y para el conducto del cableado de control entre el tablero OEE y los tableros de la máquina.



Figura 31. Instalación de alimentación eléctrica [13]

Se conectaron cables de control para adquirir las señales de los sensores de la máquina flexible en una salida auxiliar que tienen los relés, los cuales son activados por los sensores, de esa forma se duplican las señales de los sensores y son dirigidas hasta el tablero TVC, sin afectar eléctricamente el control del PLC de la máquina Flexible.

3.6.3. Conexión eléctrica de sensores planta Flexible

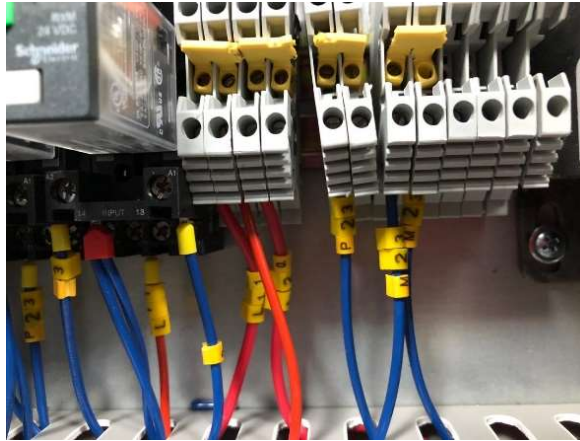


Figura 32. Conexión eléctrica [13]

Para la conexión eléctrica de sensores se procede a detectar todas las señales eléctricas de los sensores de control del sistema Flexible, luego son duplicadas las señales a través de los relés que son activados por los sensores. Los sensores son conectados en uno de los contactos NO libres de los relés, que son cables de control que pasan por canalización hasta el tablero OEE y se conectan en sus entradas digitales del PLC M241.

3.7. Lógica de programación OEE en el procesador

1.Imagen. - En la imagen a continuación se puede visualizar del lado izquierdo el árbol de proyecto donde se encuentra el detalle del hardware de los elementos que constituyen el PLC. Del lado derecho se hallan opciones de dispositivos de campo u otros controladores que se podrían configurar para la comunicación con el PLC.

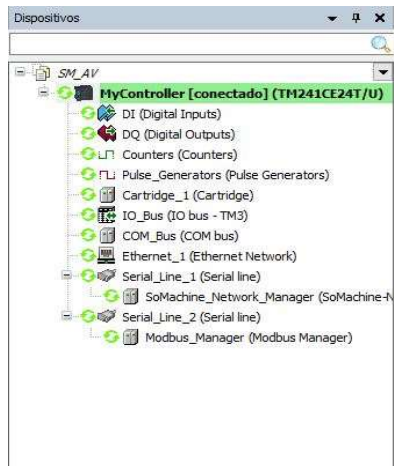


Figura 33. Lógica de programación

2. Animaciones. - Su desarrollo está enfocado a crear una interfaz más intuitiva e interactiva con el usuario final; los colores, valores y formas de los objetos cambian en tiempo real acorde a las condiciones programadas.

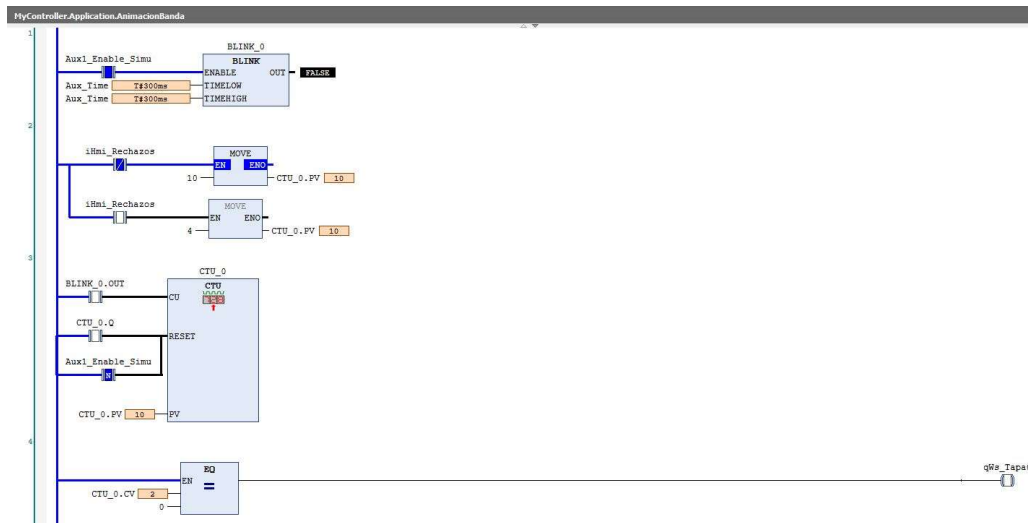


Figura 34. Animaciones

3. Configuración para acceso web del Web server. - Esta configuración permita visualizar al Web server a través de un explorador con html5, además aquí se selecciona la pantalla que servirá como pantalla de bienvenida o pantalla principal del web server. En este caso para acceder al web server se debe utilizar la siguiente dirección: <http://192.168.0.31:8080/webvisu.htm>

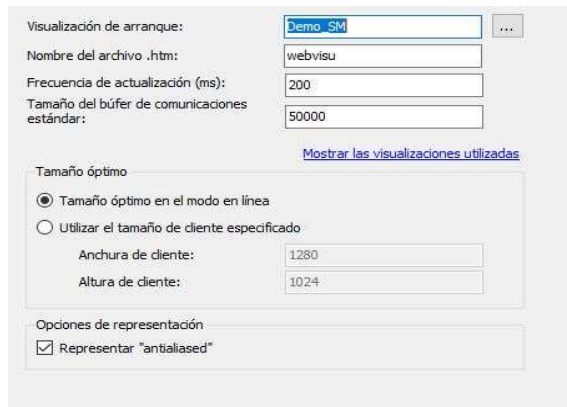


Figura 35 Configuración para acceso web del Web server

4. Escala de tiempo vs producción. - Existe un escalador configurado inversamente proporcional para crear una relación entre la velocidad de producción ingresada en el web server vs el tiempo de la tapa dentro de la banda, es decir, a mayor velocidad de producción menor será el tiempo de la tapa sobre la banda.

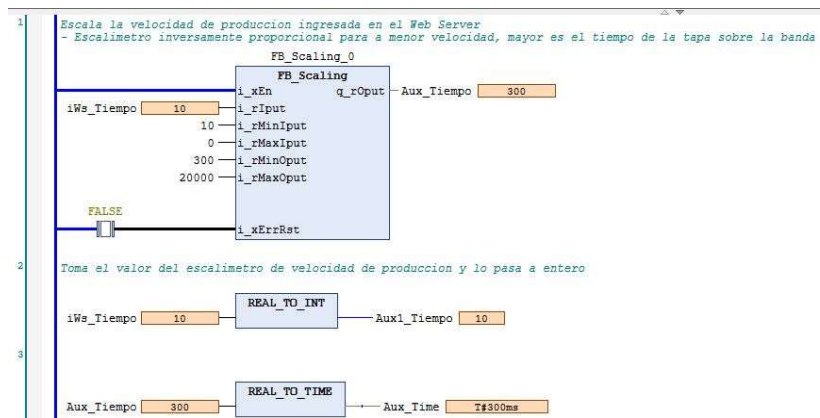


Figura 36. Escala de tiempo vs producción

5.- Bloque nativo de OEE. - Este bloque permite que contabilizar las paradas independientemente, cada una de ellas con su respectivos tiempos y contadores, además, posee una función para totalizar los tiempos de producción y parada de la máquina, también cuenta con indicadores del estatus actual máquina y los KPIs del OEE de una máquina.

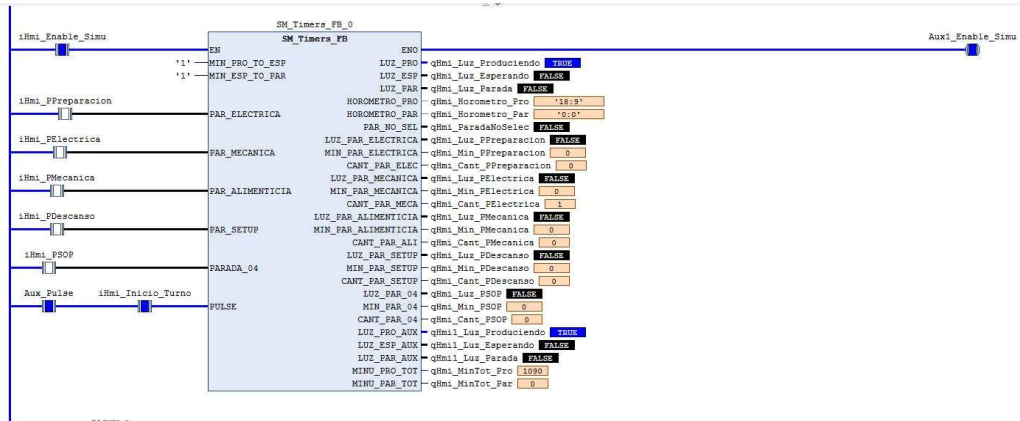


Figura 37. Bloque nativo de OEE

6.- **FB OEE.** - Dentro del bloque funcional del OEE se encuentran las diferentes operaciones matemáticas necesarias para generar los KPIs.

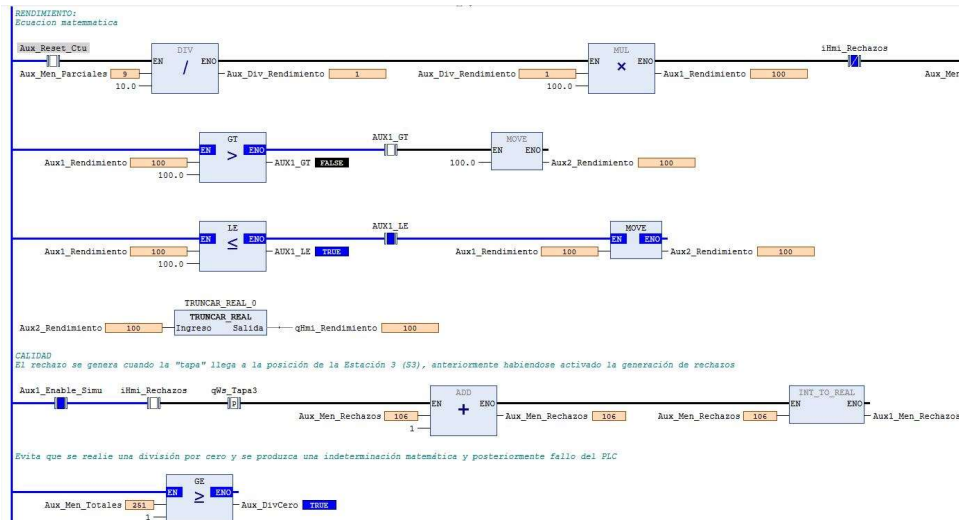


Figura 38. FB OEE

7. **Main.** - Al momento de habilitar la simulación desde el web Server, los contadores de piezas se reinician y habilita la simulación del proceso.

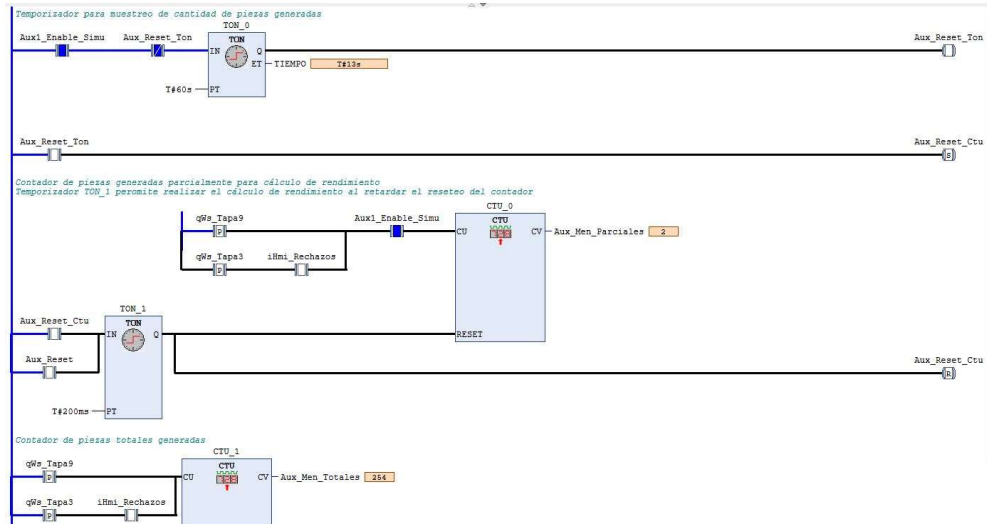


Figura 39. Main

8.- Rangos. - De acuerdo con las magnitudes del OEE, se asigna un rango determinado: inaceptable, regular, aceptable, excelente; estos rangos no son fijos y dependerán en gran medida de la región donde se realice la medición.

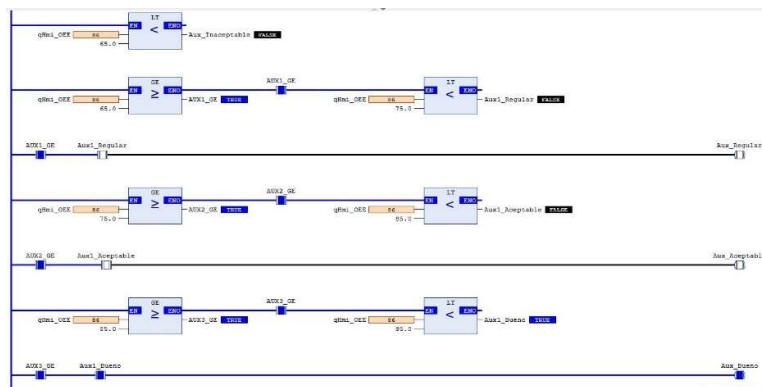


Figura 40. Rangos

9. Timers. - En el objeto de visualización del web server no es posible asignar una variable tipo Time, por este motivo, es necesario realizar una conversión de todas las variables de este formato a una variable STRING. Primeramente, se realiza una conversión de INT a STRING de manera individual de las horas, minutos y segundos, una vez hecho esto, se procede a realizar una concatenación para compactar esta información en una sola variable.

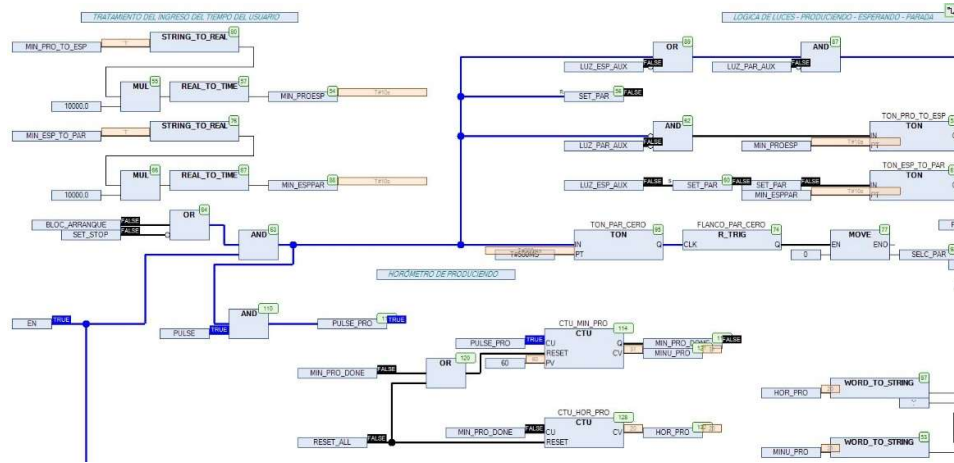


Figura 41. Timers

10. Truncar. - Al momento de realizar una operación matemática entre 2 variables tipo REAL, el resultado podría generar una variable REAL con muchos decimales innecesarios, para solucionar esto hacemos un arreglo matemático para acortar sus decimos únicamente a uno.

```

1 var_aux 10000 := REAL_TO_INT(Ingreso 100 * 100); // 44.875 truncated to 449, se redondea.
2
3 Salida 100 := var_aux 10000 / 100.0; // 4.49 , salida de nueva variable REAL acortada. RETURN

```

Figura 42. Truncar

3.8. Creación de pantallas interactivas del OEE

Para la interacción con el sistema OEE se contempló el desarrollo de dos tipos de interfaz de comunicación HMI, la primera es una pantalla que está ubicada en la puerta frontal del tablero de control OEE, donde reposarán gráficas orientadas al control operativo del sistema, éstas a su vez serán controladas por el operario de turno. El segundo HMI será WEB y las gráficas reposarán dentro del PLC M241 y estarán orientadas al manejo de reportes y control gerencial del proceso.

3.8.1. Graficas del HMI

Estas gráficas están enfocadas a la recolección de información del proceso, como la información del operario de turno, motivos de paradas, eventualidades vistas en la producción, además de permitir que el operario pueda saber que tan cerca está de cumplir los objetivos de producción.

Pantalla de inicio: La pantalla de inicio está orientada a funcionar como protector de pantalla cuando el sistema deja de ser operado por un largo período de tiempo o cuando está recién encendido.



Figura 43. Pantalla de inicio

Pantalla de supervisión: Esta pantalla se muestra después de dar inicio al proceso de la máquina flexible e indica el estatus de la máquina: si está en producción, en espera o en parada. De igual manera, a través de ella se puede ver el desempeño actual de la máquina flexible vs la producción teórica. De esa forma, el operario siempre sabrá si está cumpliendo los objetivos de producción.

También se muestra un contador de las paradas que se han desarrollado en el transcurso del turno de producción, separadas en 4 motivos de paradas:

- Parada por preparación

- Parada Eléctrica
- Parada Mecánica
- Parada por Descanso



Figura 44. Pantalla de supervisión

Pantalla de selección de motivos de parada: Esta pantalla se muestra en el HMI automáticamente cuando ocurre una parada de producción en la máquina flexible de cualquier tipo. Para que el proceso se renueve es necesario que el operario asigne el tiempo que la máquina ha estado parada a uno de los motivos de parada que se muestran en la figura a continuación, de no ser así, la máquina flexible no se pone en marcha.



Figura 45. Pantalla de selección de motivos de parada

Pantalla de estadísticas OEE: En esta pantalla se muestra el estatus de los KPI que mide el tablero de control OEE de la máquina flexible, de esa forma el operario puede ver en tiempo real que tan eficiente ha sido su operación en el transcurso de su turno.



Figura 46. *Pantalla de estadísticas OEE*

3.9. Pantallas del WEB SERVER

Aquí se pueden visualizar los indicadores claves del proceso, como por ejemplo el estatus: produciendo, esperando o parada; y los valores de rendimiento, calidad y disponibilidad.

Cuando exista una parada y posterior se necesite volver a arrancar la máquina, primero se debe seleccionar el motivo de parada o la máquina no se activará. En este caso los colores de las luces tienen los siguientes significados:

- Luz verde encendida. - Máquina funcionando
- Luz amarilla encendida. - Máquina esperando
- Luz roja encendida parpadeando. - Máquina parada, no se ha seleccionado motivo de parada.

- Luz roja encendida. - Máquina parada, ya se seleccionó el motivo de parada.
- Luz roja y amarilla parpadeando. - Se ha presionado el botón de marcha de la máquina, pero no se ha seleccionado el motivo de parada, es necesario seleccionar un motivo de parada para poder habilitar la marcha de la máquina.

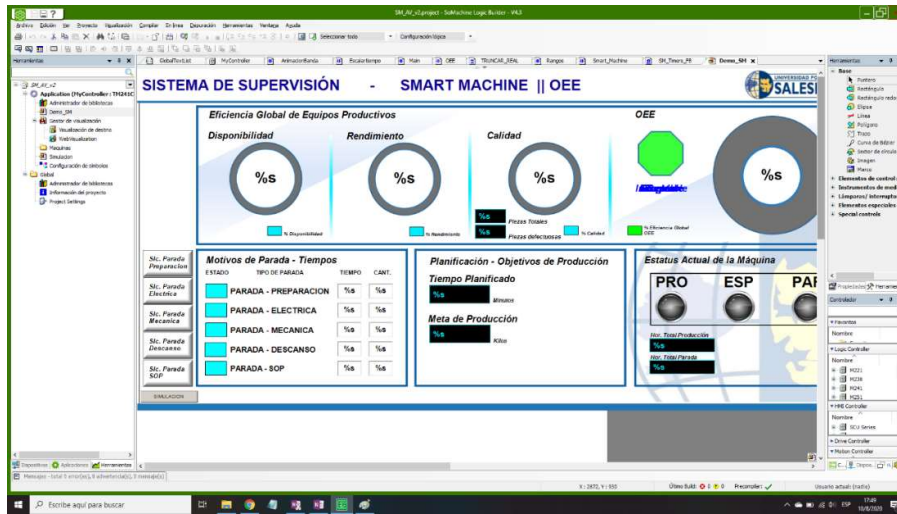


Figura 47. Pantalla del Web Server

Nota: Si la máquina se detuvo por un tiempo inferior a 60 segundos, tiempo que dura el modo esperando, y se vuelve a presionar marcha, inmediatamente se regresa al modo de funcionando y esta micro parada no será contabilizada.

3.9.1. Web server, simulación de proceso

Esta pantalla ofrece las siguientes opciones:

1. Click en ON/OFF.
2. Click, Iniciar turno
3. Ir a la pantalla de “Smart machine” y escoger un motivo de parada puesto a que previo a haber activado la marcha de la máquina, está estuvo detenida. Una vez seleccionado el motivo de parada la máquina comenzará un funcionamiento.
4. En la izquierda inferior se ubica una slider que permite seleccionar la velocidad de producción, es decir, la cantidad de tapas por minuto que se

necesitan. Adicionalmente existe un botón con el cual es posible simular la detección de una tapa que no cumple el estándar de calidad y será procesado como un rechazo, esta no será contabilizada en el total de tapas correctas.

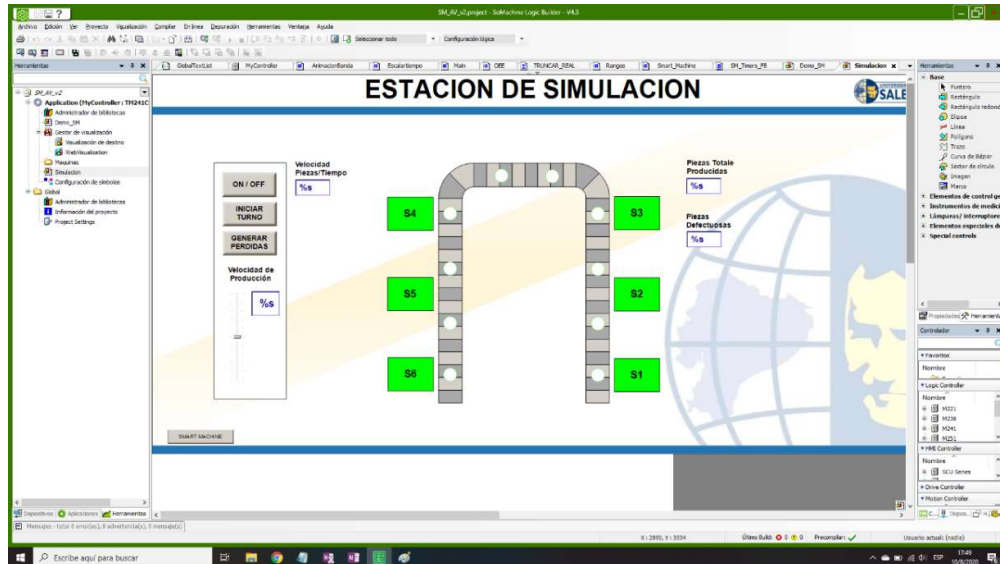


Figura 48. Web server, simulación de proceso.

4. RESULTADOS

Mediante la culminación del este proyecto de titulación, se obtuvo como resultado un módulo eficiente que permite medir de manera asertiva la eficiencia productiva de estas máquinas.

Para observar y comprobar los resultados de la funcionalidad de medición de eficiencia productiva y el impacto que tendría en el aprendizaje del estudiante. Se realizó una pantalla orientada a la simulación donde el estudiante podrá hacer modificaciones rápidas en las velocidades de producción y generar fallas de producción.



Figura 49. Simulación Web server parte 1.

En este caso se simuló a una velocidad productiva de 5 piezas por minuto, y se generó una falla en la producción que llevaba 31 piezas defectuosas al momento del corte.

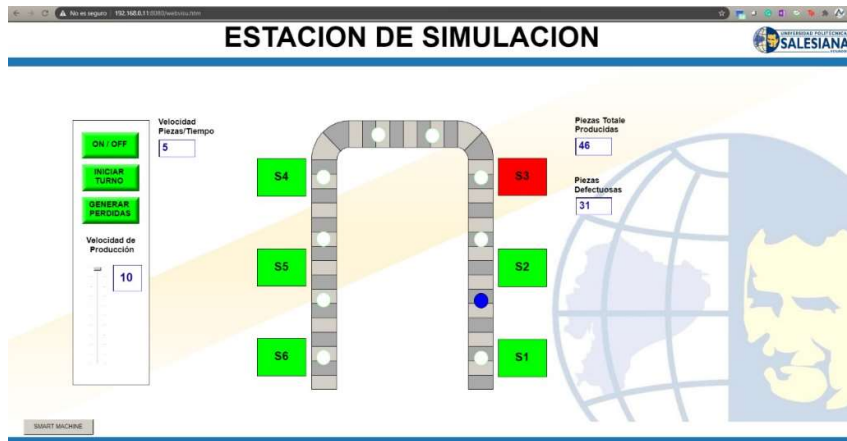


Figura 50. Simulación Web server parte 2.

Dicha simulación genero cambios en línea de la medición de la eficiencia de la máquina, dando los siguientes resultados al momento de corte:

- Disponibilidad 100%
- Rendimiento 40%
- Calidad 95%
- OEE 80%

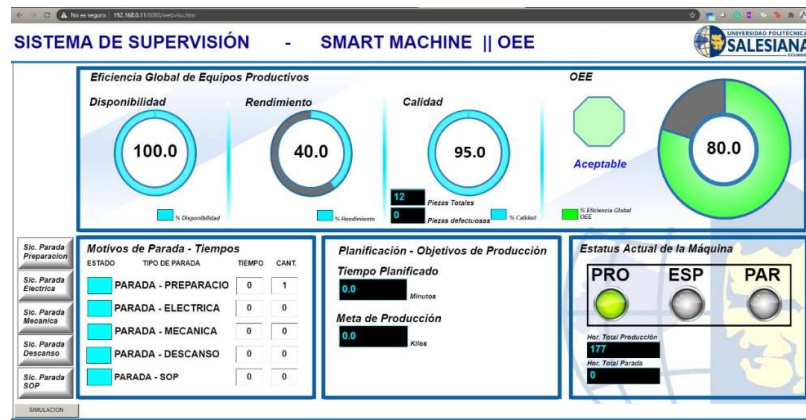


Figura 51. Simulación Web server resultado de medición en tiempo real.

Se ha determinado que al utilizar la simulación cumplen con su función principal, que es generar un análisis exacto de la eficiencia productiva de una máquina, en este caso la MPS-500.

Aun teniendo buenos resultados en la simulación, es importante destacar que los buenos resultados dependerán mucho de la correcta operación del equipo, además hay que tener en cuenta que las mediciones reales se darán en cortes de turnos de mínimo 1 hora. Sin embargo, para simulación se puede realizar los cortes de turno cada 5 minutos.

4.1 Análisis Resultado.

Se realizó un análisis de resultado con una prueba estándar sin forzar el cambio de la velocidad como se observa en la figura 51 y tres simulaciones estándares de la máquina forzando el cambio de velocidades y producción de tapas con fallas, para analizar la correcta operación del software de análisis de eficiencia operativo y de la máquina como se observa en la figura (52,53,54).

El tiempo ha sido modificado internamente en el programa para que 1 minuto sea 1 hora y lograr la ejecución de más pruebas con una correcta linealización de las variables respecto al tiempo.

Primera prueba forzando el cambio de velocidades:

Se establece como valores de teóricos de producción de la máquina los siguientes:

PLACA DE MÁQUINA	
VELOCIDAD NOMINAL	12 TAPAS POR HORA
RENDIMIENTO	100%
CALIDAD	100%
TIEMPO	100%
TVC / OEE	100%

Tabla 11.Placa de máquina

Luego de esperar 74 segundos = 74 minutos, el resultado de los KPI son los siguientes:

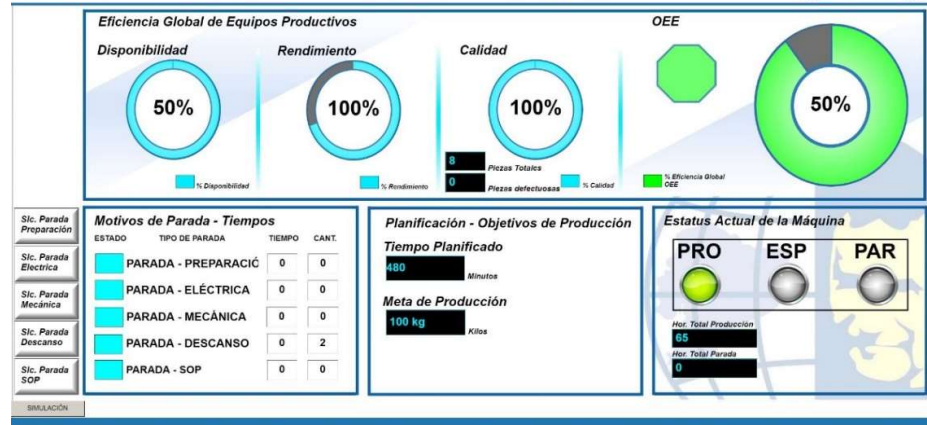


Figura 52. Primera prueba forzada

EJEMPLO 1	
VELOCIDAD	6 TAPAS POR HORA
RENDIMIENTO	50%
CALIDAD	100%
TIEMPO	100%
TVC / OEE	50%

Tabla 12. Resultado primera prueba forzada

Como se observa en la figura 52 y la tabla 12, el TVC está al 50%, si la velocidad productiva se mantiene con esa tendencia en toda la jornada la meta de producción del día será ampliamente afectada, llegando como máximo a al 50% de la meta, ya que aún no se registra productos dañados, si al final de la producción resultaran productos defectuosos y se continuara con esta tendencia la producción del día sería inferior al 50%.

Segunda prueba forzando el cambio de velocidades:

Se establece como valores de teóricos de producción de la máquina los siguientes:

PLACA DE MÁQUINA	
VELOCIDAD NOMINAL	12 TAPAS POR HORA
RENDIMIENTO	100%
CALIDAD	100%
TIEMPO	100%
TVC / OEE	100%

Tabla 13.Placa de máquina

Luego de esperar 142 segundos = 142 minutos y 8 minutos = 8 horas de paradas distribuidas entre preparación y descanso, el resultado de los KPI son los siguientes:

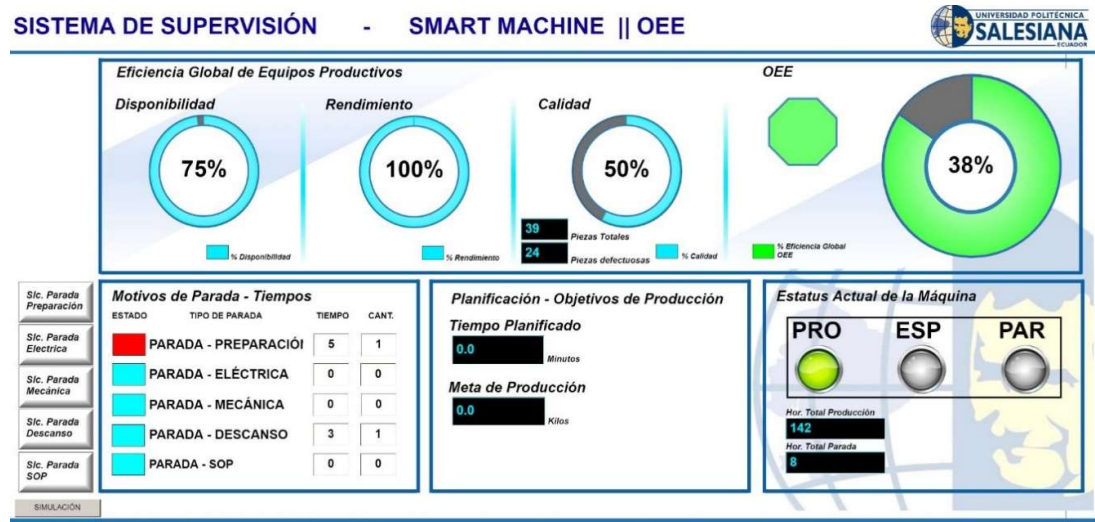


Figura 53.Segunda prueba forzada

EJEMPLO 2	
VELOCIDAD	9 TAPAS POR HORA
RENDIMIENTO	75%
CALIDAD	100%
TIEMPO	50%
TVC / OEE	38%

Tabla 14.Resultado segunda prueba forzada

Como se observa en la figura 53 y la tabla 14, el rendimiento está a un 75%, pero por las paradas alargadas que tuvo la máquina para su arranque y cambio de operario, la eficiencia productiva está a un 38% en el momento de la muestra, si la máquina no tiene alguna parada adicional la eficiencia productiva podrá mejorar significativamente, pero si se mantiene el tiempo de operación a un 50% de su capacidad podría bajar a valores menores del 20% haciendo que la producción del día caiga a pérdida para la empresa.

Tercera prueba forzando el cambio de velocidades:

Se establece como valores de teóricos de producción de la máquina los siguientes:

PLACA DE MÁQUINA	
VELOCIDAD NOMINAL	12 TAPAS POR HORA
RENDIMIENTO	100%
CALIDAD	100%
TIEMPO	100%
TVC / OEE	100%

Tabla 15.Placa de máquina

Luego de esperar 64 segundos = 64 minutos y 0 minutos = 0 horas de paradas, el resultado de los KPI son los siguientes:

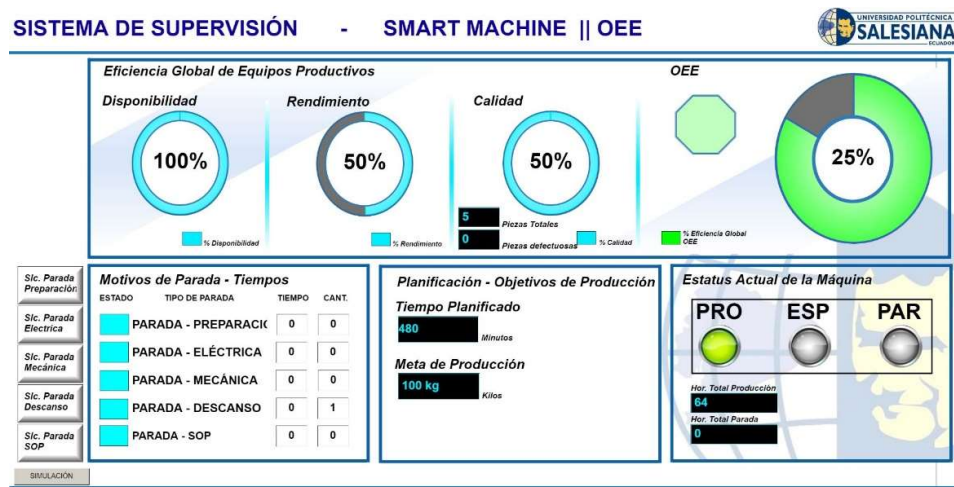


Figura 54. Tercera prueba forzada

EJEMPLO 3	
VELOCIDAD	12 TAPAS POR HORA
RENDIMIENTO	100%
CALIDAD	50%
TIEMPO	50%
TVC / OEE	25%

Tabla 16. Resultado tercera prueba forzada

En este caso no ha existido ninguna parada no planificada por ende el tiempo de producción no se ha visto afectado, la velocidad productiva tampoco se ha visto afectada, pero si la calidad, la mitad de la producción hasta el levantamiento de esta muestra está saliendo defectuoso, esto es lo que hace que el rendimiento y calidad estén al 50% como lo ven en la imagen y la tabla, haciendo que la eficiencia productiva este al 25%, esto muestra que la máquina tienen un problema de mantenimiento, y debe ser para de inmediato para su reparación, si la máquina sigue operando en esta situación las pérdidas de producción serán altas y la máquina podría descomponerse más.

CONCLUSIONES

La revisión bibliográfica permitió identificar los principales percances en cuanto a la disponibilidad, rendimiento y calidad en la eficiencia de cualquier sistema o proceso, se establece la importancia de verificar datos en tiempo real a fin de generar un análisis al instante y realizar las medidas correctivas necesarias con el objetivo de mitigar efectos negativos en la eficiencia.

En el análisis sobre los procesos actuales del sistema FESTO MPS 500 del laboratorio de flexible se determinó que las variables del sistema fueron generadas correctamente y pensadas para el ahorro de memoria del procesador. Además, dicha memoria se encontraba al 70 % de capacidad, lo cual permitía el ingreso de nuevas lógicas de programación. Por otro lado, en análisis se pudo determinar que no existían bucles o rutinas innecesarias del programa, esto sumado a que no se encontró conflicto con la lógica de operación, permitió comprobar la viabilidad del sistema propuesto.

Se evidencia que al implementar el diseño de medición OEE, se obtiene un sistema que permite el control supervisión y adquisición de datos de la máquina FESTO MPS-500. Este método ofrece la interacción del procedimiento OEE con el usuario, a través de un interfaz de comunicación HMI, el cual muestra las pantallas de los procesos que se pueden emplear en el sistema, dando como resultado un módulo eficiente que permite medir de manera asertiva la eficiencia productiva de estas máquinas.

Al evaluar la efectividad de la implementación en una simulación bajo un escenario optimista en cuanto al rendimiento de las máquinas FESTO MPS-500, se logró determinar que la simulación cumple con su función principal, que es generar un análisis exacto de la eficiencia productiva de una máquina.

Gracias a esto se llega a la conclusión de mayor relevancia que es, el gran impacto que conlleva la medición en tiempo real de la productividad de las máquinas de producción, ya que nos genera un ahorro no solo en tiempo y en dinero sino que también como sociedad nos ayuda, porque logramos reducir

el impacto ambiental drásticamente, si todos los procesos de fabricación apuntaran a mejorar su eficiencia productiva, seguramente podríamos producir lo mismo con el 60% del CO2 que enviamos al ambiente en la actualidad.

RECOMENDACIONES

Se recomienda apagar el equipo cuando se va a realizar cualquier tipo de mantenimiento al tablero de control OEE o aun ajuste de los cables de control para los sensores de la máquina MPS-500.

Es necesario verificar que todas las señales estén llegando de forma correcta de la máquina MPS-500 al tablero de control OEE cada seis meses.

El módulo OEE no debe ser apagado mientras se está haciendo una práctica donde el PLC central falle, ya que perdería la capacidad de adquirir datos y el análisis de productividad sería incorrecto.

Es recomendado vaciar cada 3 meses la memoria SD que está en el equipo para que no se sobrescriba la información almacenada de la producción.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. A. Salazar, «Buses de campo y protocolos en redes industriales,» Univesidad de Manizales, 2011.
- [2] G. Milan, B. Saciloto, F. Larentis y D. De Toni, «Las estrategias de precios y el desempeño de las empresas,» *evista Eletrônica de Administração*, vol. 22, nº 2, pp. 419-452, 2016.
- [3] M. Rojas, L. Jaimes y M. Valencia, «Efectividad, eficacia y eficiencia en equipos de trabajo,» *Revista espacios*, vol. 39, nº 06, p. 11, 2018.
- [4] M. Duarte y G. Ricci, «EFICIENCIA GENERAL DEL EQUIPO-OEE: EL IMPACTO DE JIDOKA.,» *INOVAE-Revista de Ingeniería, Arquitectura e Innovación Tecnológica*, vol. 4, nº 1, pp. 1-10, 2017.
- [5] J. Parra, Simulación de un sistema de fabricación flexible avanzado, Madrid, 2019.
- [6] P. Romero, Montaje y mantenimiento de líneas automatizadas, Madrid, 2018.
- [7] J. Pardo, Repercusión de las disposiciones sobre flexibilidad, Madrid, 2018.
- [8] J. Heizer y . Render, Principios de administración de operaciones, Madrid, 2019.
- [9] C. Fúquene, Evolución de un sistema de manufactura flexible (FMS), Buenos Aires, 2018.
- [10] G. Baca, Introducción a la Ingeniería Industrial, México, 2018.
- [11] S. Kalpakjian y . R. Schmid, Manufactura, ingeniería y tecnología, Berlin, 2019.

- [12] Z. Torres, Planeación y Control Industrial, Madrid, 2018.
- [13] Universidad Politecnica Salesiana Sede Guayaquil, UPS, Guayaquil, 2020.
- [14] D. A. A. LUZURIAGA, «DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE ELECTROFLUIDOS PARA LA ESCUELA POLITÉCNICA EJERCITO,» ESCUELA POLITÉCNICA EJERCITO, SANGOLQUÍ, 2009.
- [15] J. Colomer, «Estudio de los sensores para la detección de los obstáculos programables,» UOC, España, 2018.
- [16] H. R. C. Juárez, «Estación de ensamblaje con robot RV-3SB, con cámara para control de la calidad.,» Manufactura Integrada por Computadora, 2015.
- [17] I. B. Navarro, «Automatización de una línea de montaje con cinta transportadora,» Universidad Publica Navarra, Pamplona, 2018.
- [18] G. Fernandez, «Sensores magnéticos e inductivos,» Universidad Autonoma del Estado Hidalgo, Pachuca, 2005.
- [19] A. Saunders, «El impacto de la tecnología en el crecimiento y el empleo,» Open Mind BBVA, Canada, 2018.
- [20] E. Córdoba, Automatización y repotenciación tecnológica del proceso, México, 2018.
- [21] E. Mandado, Automatas programables y sistemas de automatización, Madrid, 2018.
- [22] A. Brunete, «Mundo de la automatización industrial y de los sistemas secuenciales.,» Bookdown, Madrid, 2020.
- [23] L. M. Jiménez, Redes de comunicaciones industriales, Madrid, 2018.
- [24] M. Gandhi, «¿Qué son las redes industriales?,» AUYCOM, Queretano, 27 de noviembre.
- [25] P. Orellana, «Topologías de Red,» google sites.
- [26] E. R. C. Morales, «TOPOLOGÍA Y ARQUITECTURA DE RED,» 2013.

- [27] D. Stamatis, *The OEE Primer: Understanding Overall Equipment*, México, 2017.
- [28] M. Greiner, *Overall Equipment Effectiveness (OEE)*, Madrid, 2018.
- [29] A. Ahmad, *Total Productive Maintenance For Organisational Effectiveness*, Berlin, 2018.
- [30] R. Gulati y . Smith, *Maintenance and Reliability Best Practices*, México, 2018.
- [31] . K. Mark Wetherill, *OEE at Work: A Practice Guide to Managing Overall Equipment*, México, 2017.
- [32] D. Mesa, Y. Ortiz y M. Pinzón, «LA CONFIABILIDAD, LA DISPONIBILIDAD Y LA MANTENIBILIDAD, DISCIPLINAS,» *Scientia et Technica*, nº 30, pp. 155-160, 2006.
- [33] Gestion-calidad cosulting, «Overall Equipment Effectiveness,» 2016.
- [34] R. Hansen, *Overall Equipment Effectiveness*, Madrid, 2018.
- [35] J. F. Flores, *Medición de la efectividad de la cadena de suministro*, México, 2018.
- [36] J. A. O'Sullivan y . Nick, *Transformational Guide to OEE: Advanced Shop Floor Management*, México, 2018.
- [37] A. Koch, *Overall Equipment Effectiveness OEE Templates: Blank Sheets*, México, 2018.
- [38] G. Taguchi, *The Mahalanobis-Taguchi strategy: A pattern technology system*, New york: John Wiley & Sons, 2002, 2020.
- [39] S. C. Serrano, «Los costes de calidad como estrategia empresarial en las empresas certificadas en la norma ISO 9000 de la CV,» Universidad de Valencia, Valecia, 2003.
- [40] J. BERGANZO, «Cálculo del OEE Avanzado,» *Sistema OEE*, España, 2019.
- [41] E. P. López, «Los sistemas SCADA en la automatización industrial,» Universidad Costa Rica, Costa Rica, 2015.
- [42] Shneider Electric, «HMIGTO4310,» Shneider Electric S.A, Colombia, 2003.

- [43] WEG, «Qué es SCADA, aplicaciones y beneficios,» autrial, 2019.
- [44] c. l. programables, «PLC: Controlador Lógico Programable,» blogspot, 2018.
- [45] fabricantes-maquinaria-industrial, «Ventajas y Desventajas de los PLC (Controlador Lógico Programable),» Maquiclick.
- [46] testdevelocidad, «PLC: cómo funcionan, ventajas y desventajas,» testdevelocidad, 2020.
- [47] Schneider Electric, «Controladores lógicos Modicon M241 y M251,» Schneider Electric España, S.A, Barcelona, 2014.
- [48] J. E. B. Sotomayor, «Automatizacion y puesta en marcha de maquina inyectora Redd 100 plastico ecuatorianos S.A.,» UPS, Guayaquil, 2013.
- [49] Aula21, «¿Qué es un HMI? Para qué sirve la Interfaz Hombre-Máquina,» Centro de informacion tecnica para industria, Barcelona, 2021.
- [50] L. Castañeda, «¿Por qué tener una aplicación OEE?,» LogigBus, 2020.
- [51] Blog autonomatas, «Porque es importante el OEE de tu máquina,» InfoPlc, 2019.
- [52] TMI, «Módulo de medición de rendimiento,» AMEC.
- [53] O. Garrido, «Entendiendo cómo las “Smart Machines” están modelando el futuro,» Schneider, 2016.
- [54] J. A. P. Estapé, «Inteligencia artificial: qué es, cómo funciona y para qué se está utilizando,» CH, 2019.
- [55] Kaisen networks, «Inteligencia Artificial: ventajas y desventajas,» Kaisen networks, 2019.
- [56] winecta, «Ventajas y desventajas de la Inteligencia Artificial,» winecta, 2020.
- [57] IBERDROLA, «QUÉ ES EL 'MACHINE LEARNING',» IBERDROLA.
- [58] Smart panel, «Incrementa los beneficios con machine learning prediction,» La farola.

- [59] J. Valencia, «Deep Learning & Machine Learning,» Doopler.
- [60] Revista de Robots, «Empresas de Robótica y Automatización Industrial en Córdoba,» *Revista de Robots*, 2020.

ANEXOS

Anexo 1 :

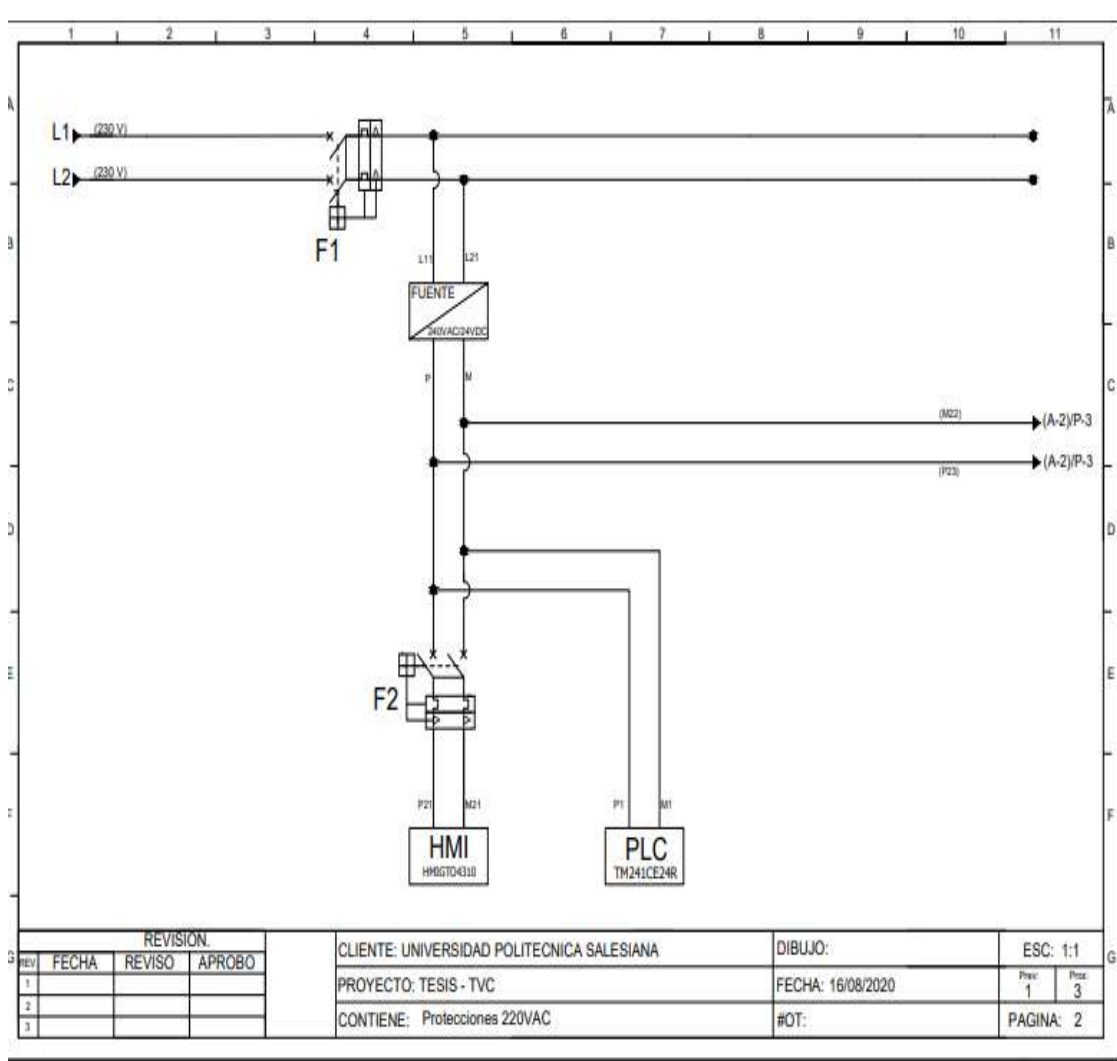


Figura 55.Plano Eléctrico.

Anexo 2:

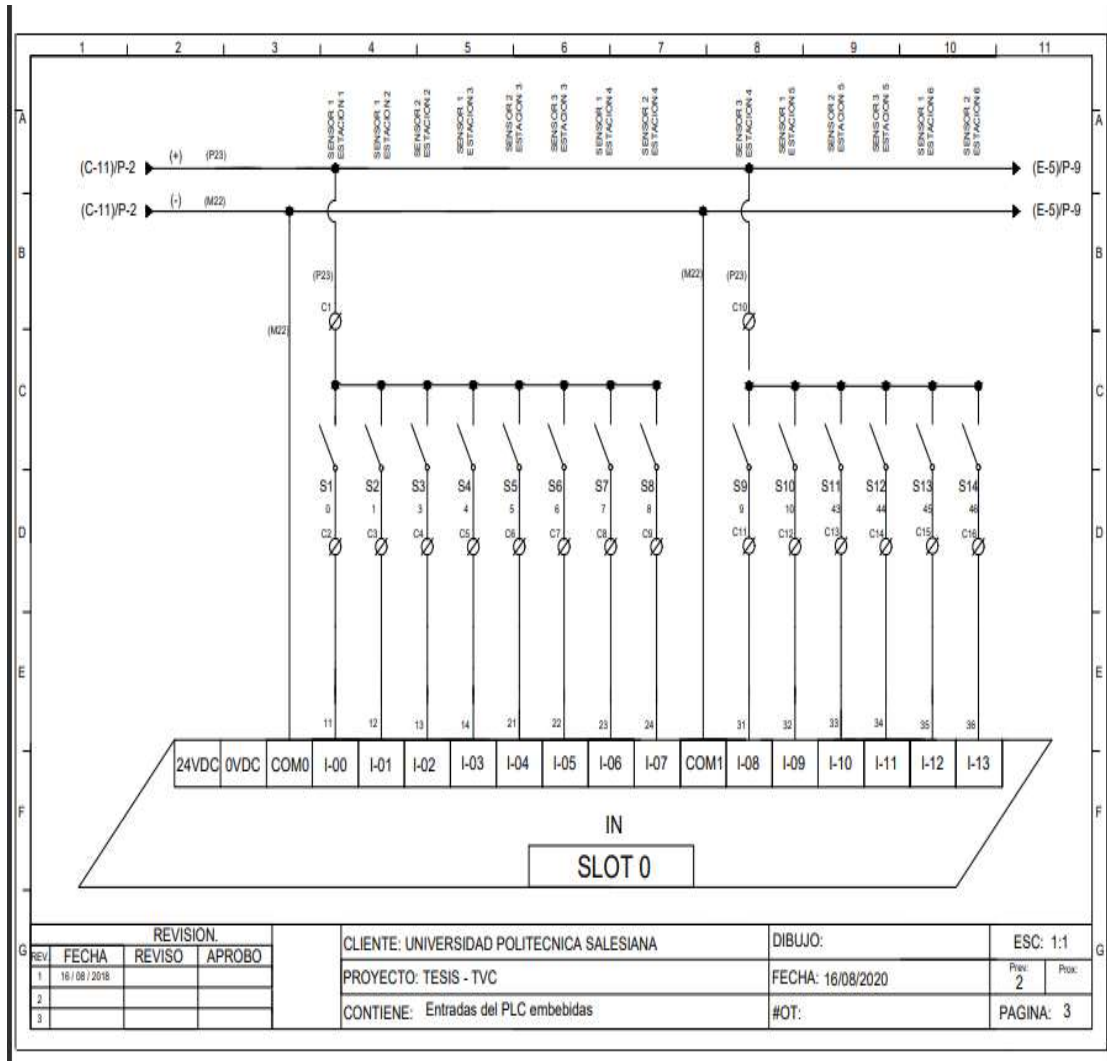


Figura 56.Plano eléctrico

Anexo 3:

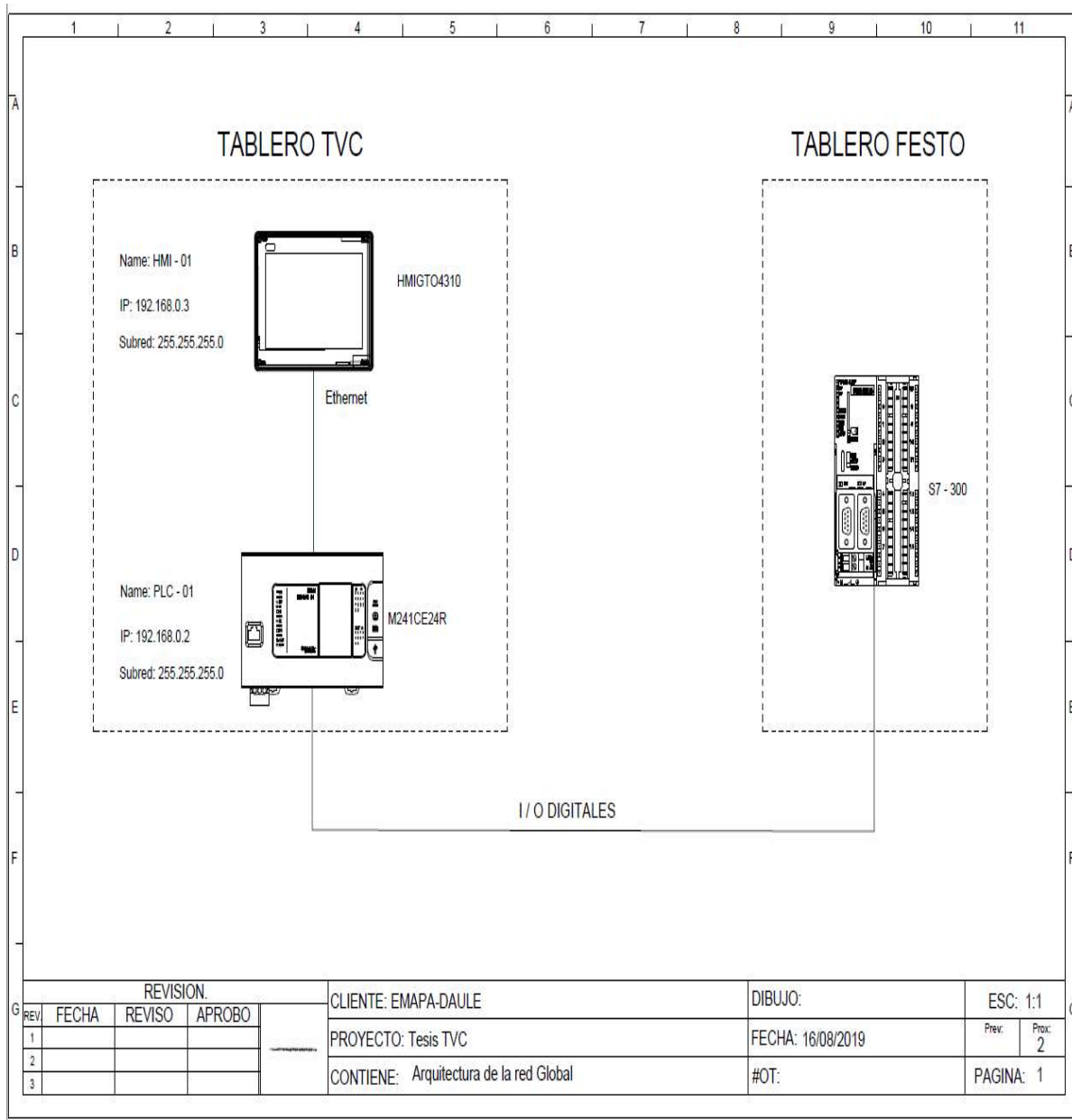


Figura 57.Plano eléctrico

Anexo 4:

Totally Integrated Automation Portal							
RedGlobal13-01_V13_SP1_V15 / PLC_01SAAR [CPU 314C-2 DP] / Bloques de programa							
Main [OB1]							
Main Propiedades							
General							
Nombre	Main	Número	1	Tipo	OB	Idioma	SCL
Información							
Título	"Main Program Sweep (Cycle)"	Autor		Comentario		Familia	
Versión	0.1	ID personalizada					
Variable							
Nombre				Tipo de datos	Valor predet.		
Temp							
OB1_EV_CLASS				Byte			
OB1_SCAN_1				Byte			
OB1_PRIORITY				Byte			
OB1_OB_NUMBR				Byte			
OB1_RESERVED_1				Byte			
OB1_RESERVED_2				Byte			
OB1_PREV_CYCLE				Int			
OB1_MIN_CYCLE				Int			
OB1_MAX_CYCLE				Int			
OB1_DATE_TIME				Date_And_Time			
Constant							
<pre> 0001 0002 //***** 0003 //Modo almacenar y recuperar 0004 // 0005 // boton fisico 0006 IF ("RESET"=true AND "RD3".MFBReset01=false) 0007 // boton virtual 0008 OR ("AlmacenaRecuperaButtoScada"=true AND "RD3".MFBResetScada01=false) 0009 AND "RD3".bloqueoRecuperar=false THEN 0010 0011 "RD3".ModoAlmacenar:=true; 0012 "RD3".ModoRecuperar:=false; 0013 "RD3".BloqueoAlmacenar:=false; 0014 0015 END_IF; 0016 "RD3".MFBReset01="RESET"; //poner boton fisico 0017 "RD3".MFBResetScada01="AlmacenaRecuperaButtoScada"; //poner boton scada 0018 0019 0020 0021 // boton fisico 0022 IF ("RESET"=false AND "RD3".MFBReset01=true) 0023 // boton virtual 0024 OR ("AlmacenaRecuperaButtoScada"=false AND "RD3".MFBResetScada01=true) THEN 0025 "RD3".BloqueoAlmacenar:=true; 0026 END_IF; 0027 "RD3".MFBReset01="RESET"; //poner boton fisico 0028 "RD3".MFBResetScada01="AlmacenaRecuperaButtoScada"; //poner boton scada 0029 0030 0031 0032 IF ("RD3".BloqueoAlmacenar=true AND "RD3".MFBAlmacenar01=false) 0033 OR ("RD3".ModoRecuperar=false AND "RD3".MFBRecuperar01=true) THEN 0034 "RD3".bloqueoRecuperar:=true; 0035 0036 0037 END_IF; 0038 "RD3".MFBAlmacenar01="RD3".BloqueoAlmacenar; 0039 "RD3".MFBRecuperar01="RD3".ModoRecuperar; 0040 0041 0042 IF "RD3".BloqueoAlmacenar=true 0043 // boton fisico 0044 AND (!"RESET"=true AND "RD3".MFBReset02=false) 0045 // boton scada 0046 OR ("AlmacenaRecuperaButtoScada"=true AND "RD3".MFBResetScada02=false) THEN 0047 0048 "RD3".ModoAlmacenar:=false; 0049 "RD3".ModoRecuperar:=true; 0050 "RD3".bloqueoRecuperar:=false; 0051 END_IF; 0052 "RD3".MFBReset02="RESET"; 0053 "RD3".MFBResetScada02="AlmacenaRecuperaButtoScada"; 0054 0055 0056 IF "RD3".ModoAlmacenar=true AND "RD3".MFBAlmacenar02=false THEN 0057 0058 "RD3".LuzQ2:=true; </pre>							

Figura 58.Líneas de programación

Fuente: Autor

Totally Integrated Automation Portal		
<pre> 0059 0060 END_IF; 0061 "BD3".MFFMAlmacenar02:="BD3".ModoAlmacenar; 0062 0063 IF "BD3".ModoAlmacenar=true THEN 0064 "BD3".Almacenar:=true; 0065 //*****transmision profibus modo almacenamiento 0066 "TSaar-Master-Almacena-601":=true; 0067 ELSE 0068 "BD3".Almacenar:=false; 0069 //*****transmision profibus modo almacenamiento 0070 "TSaar-Master-Almacena-601":=false; 0071 END_IF; 0072 0073 IF "BD3".ModoRecuperar=true AND "BD3".MFFMRecuperar02=false THEN 0074 "BD3".LuzQ2:=false; 0075 0076 END_IF; 0077 "BD3".MFFMRecuperar02:="BD3".ModoRecuperar; 0078 0079 IF "BD3".ModoRecuperar=true THEN 0080 "BD3".Recuperar:=true; 0081 //*****transmision profibus modo recuperacion 0082 "TSaar-Master-Recupera-602":=true; 0083 ELSE 0084 "BD3".Recuperar:=false; 0085 //*****transmision profibus modo recuperacion 0086 "TSaar-Master-Recupera-602":=false; 0087 END_IF; 0088 0089 //activacion de marca de luz Q2 0090 IF "BD3".LuzQ2=true THEN 0091 "I_SFSC2":=true; 0092 ELSE 0093 "I_SFSC2":=false; 0094 END_IF; 0095 0096 //***** 0097 0098 IF (("START"=true AND "BD4".MFFStart01=false) 0099 // boton virtual 0100 OR ("AutoManualButtonScada"=true AND "BD4".MFFResetScada01=false)) 0101 AND "BD4".bloqueManual=false THEN 0102 0103 "BD4".ModoAutomatico:=true; 0104 "BD4".ModoManual:=false; 0105 "BD4".bloqueAutomatico:=false; 0106 0107 END_IF; 0108 "BD4".MFFStart01:="START"; //poner boton fisico 0109 "BD4".MFFResetScada01:="AutoManualButtonScada"; //poner boton scada 0110 0111 0112 // boton fisico 0113 IF ("START"=false AND "BD4".MFFStart01=true) 0114 // boton virtual 0115 OR ("AutoManualButtonScada"=false AND "BD4".MFFResetScada01=true) THEN 0116 0117 "BD4".bloqueAutomatico:=true; 0118 0119 END_IF; 0120 "BD4".MFFStart01:="START"; //poner boton fisico 0121 "BD4".MFFResetScada01:="AutoManualButtonScada"; //poner boton scada 0122 0123 0124 IF ("BD4".bloqueAutomatico=true AND "BD4".MFFMAuto01=false) 0125 OR ("BD4".ModoManual=false AND "BD4".MFFMManual01=true) THEN 0126 0127 "BD4".bloqueManual:=true; 0128 0129 END_IF; 0130 "BD4".MFFMAuto01:="BD4".bloqueAutomatico; 0131 "BD4".MFFMManual01:="BD4".ModoManual; 0132 0133 0134 IF "BD4".bloqueAutomatico=true 0135 // boton fisico 0136 AND ("START"=true AND "BD4".MFFStart02=false) 0137 // boton scada 0138 OR ("AutoManualButtonScada"=true AND "BD4".MFFResetScada02=false)) THEN 0139 0140 "BD4".ModoAutomatico:=false; 0141 "BD4".ModoManual:=true; 0142 "BD4".bloqueManual:=false; 0143 END_IF; 0144 "BD4".MFFStart02:="START"; 0145 "BD4".MFFResetScada02:="AutoManualButtonScada"; 0146 </pre>		

Figura 59.Líneas programación

Fuente: Autor

Anexo 5:

Totally Integrated Automation Portal					
RedGlobal13-01_V13_SP1_V15 / PLC_04HandlingB [CPU 313C-2 DP] / Bloques de programa					
Main [OB1]					
Main Propiedades					
General					
Nombre	Main	Número	1	Tipo	OB
Numeración	Automático				
Información					
Título	"Main Program Sweep (Cycle)"	Autor		Comentario	
Versión	0.1	ID personalizada		Familia	
Nombre					
Temp		Tipo de datos		Valor predet.	
OB1_EV_CLASS		Byte			
OB1_SCAN_1		Byte			
OB1_PRIORITY		Byte			
OB1_OB_NUMBR		Byte			
OB1_RESERVED_1		Byte			
OB1_RESERVED_2		Byte			
OB1_PREV_CYCLE		Byte			
OB1_MIN_CYCLE		Int			
OB1_MAX_CYCLE		Int			
OB1_DATE_TIME		Date_And_Time			
Constant					
Segmento 2:					
Segmento 3: Inicio mediante Start físico o de SCADA					
Inicio mediante Start físico o de SCADA					
Segmento 4: Prepara el brazo para enviandolo hacia la banda donde se encuentra el pallet para ubicarlo en posicion para que pueda sujetar la pieza					
Segmento 5:					

Figura 60. Líneas de programación

Fuente: Autor

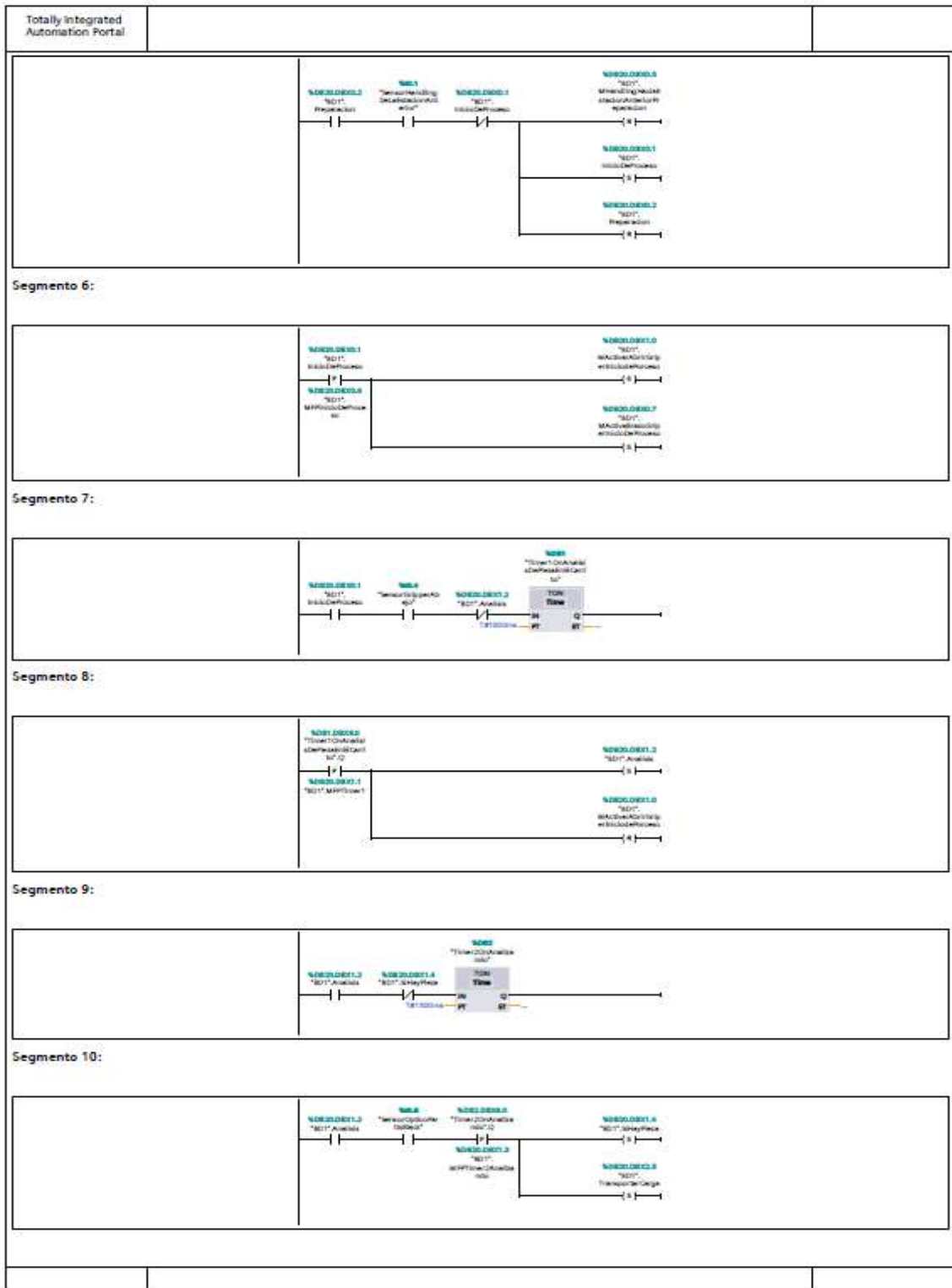


Figura 61. Líneas de programación

Anexo 6:

Product data sheet Characteristics

HMIGTO4310
advanced touchscreen panel 640 x 480 pixels
VGA- 7.5" - TFT - 96 MB



Main

Range of product	Harmony GTO
Product or component type	Advanced touchscreen panel
Display colour	65536 colours
Display size	7.5 inch
Supply	External source
Operating system	Harmony
Battery type	Lithium battery for internal RAM, autonomy: 100 days, charging time = 5 day(s), battery life = 10 year(s)

Complementary

Terminal type	Touchscreen display
Display type	Backlit colour TFT LCD
Display resolution	640 x 480 pixels VGA
Touch sensitive zone	1024 x 1024
Touch panel	Resistive film, 1000000 cycles
Backlight lifespan	50000 hours white at 25 °C
Brightness	16 levels - control by touch panel 16 levels - control by software
Character font	Korean Taiwanese (traditional Chinese) Japanese (ANIK, Kanji) ASCII Chinese (simplified Chinese)
[Us] rated supply voltage	24 V DC
Supply voltage limits	19.2...28.8 V
Inrush current	30 A
Maximum power consumption in W	8 W when power is not supplied to external devices 5 W when backlight is OFF 5.5 W when backlight is dimmed

Dec 4, 2020

Life is On | Schneider
Electric

1

Disclaimer: This documentation is not intended as a substitute for a manufacturer and is not to be used for determining suitability or reliability of these products for specific user applications.

Figura 62.Data Sheet del HMI del tablero Smart Machine / OEE

12 W

Local signalling	Status LED green, steady for offline Status LED green, steady for operating Status LED orange, flashing for software starting up Status LED red, steady for power supply (ON) Status LED clear, faded for power supply (OFF) COM2 LED yellow, steady for data is being transmitted COM2 LED yellow, faded for no data transmission SD card LED green, steady for card is inserted SD card LED green, faded for card is not inserted or is not being accessed
Software designation	Vijeo Designer configuration software -> V6.1
Memory description	Flash EPROM, 96 MB
Data backed up	512 kB internal RAM (SRAM)
Data storage equipment	SD card, <= 32 GB SDHC card, <= 32 GB
Downloadable protocols	Schneider Electric Modicon Modbus Schneider Electric Modicon Uni-TE Schneider Electric Modicon Modbus Plus Schneider Electric Modicon FIPWAY Mitsubishi Meisec third party protocols Omron Sysmac third party protocols Rockwell Automation Allen-Bradley third party protocols Siemens Simatic third party protocols Schneider Electric Modicon Modbus TCP
Integrated connection type	COM1 serial link SUB-D 9, interface: RS232C, transmission rate: 2400...115200 bps COM2 serial link RJ45, interface: RS485, transmission rate: 2400...115200 bps COM2 serial link RJ45, interface: RS485, transmission rate: 187.5 kbps compatible with Siemens MPI Ethernet RJ45, interface: 10BASE-T/100BASE-TX Ethernet RJ45, interface: IEEE 802.3 USB 2.0 type A USB 2.0 type mini B
Product mounting	Flush mounting
Fixing mode	By 4 screw clamps
Front material	PPT
Enclosure material	PPT
Type of cooling	Natural convection
Width	218 mm
Height	173 mm
Depth	60 mm
Net weight	1.2 kg

Environment

Standards	EN 61131-2 IEC 61000-6-2 UL 508
Product certifications	CE CULus KCC C-Tick
Ambient air temperature for operation	0...55 °C
Ambient air temperature for storage	-20...60 °C
Relative humidity	10...90 % without condensation
Operating altitude	< 2000 m
IP degree of protection	IP20 (rear panel) conforming to IEC 60529 IP65 (front panel) conforming to IEC 60529
NEMA degree of protection	NEMA 4X front panel (indoor use)
Shock resistance	147 m/s ² 3 chocks in each direction X, Y and Z conforming to EN/IEC 61131-2
Vibration resistance	3.5 mm (f = 5...9 Hz) - X, Y, Z directions for 10 cycles (approx. 100 min) - conforming to EN/IEC 61131-2 1 gn (f = 9...160 Hz) - X, Y, Z directions for 10 cycles (approx. 100 min) - conforming to EN/IEC 61131-2
Resistance to electrostatic discharge	6 kV contact discharge conforming to IEC 61000-4-2 level 3

Anexo 7:

Product data sheet Characteristics

TM241CE24R controller M241 24 IO relay Ethernet



Main

Range of product	Modicon M241
Product or component type	Logic controller
[Us] rated supply voltage	100...240 V AC
Discrete input number	14, discrete input 8 fast input conforming to IEC 61131-2 Type 1
Discrete output type	Relay Transistor
Discrete output number	6 relay 4 transistor 4 fast output
Discrete output voltage	5...125 V DC for relay output 5...250 V AC for relay output 24 V DC for transistor output
Discrete output current	2 A for relay output (Q4...Q8) 0.1 A for fast output (PTO mode) (TR0...TR3) 0.5 A for transistor output (TR0...TR3)

Complementary

Discrete I/O number	24
Maximum number of I/O expansion module	7 (local) 14 (remote)
Supply voltage limits	85...264 V
Network frequency	50/60 Hz
Discrete input logic	Sink or source
Discrete input voltage	24 V
Discrete input voltage type	DC
Voltage state 1 guaranteed	≥ 15 V for input
Voltage state 0 guaranteed	≤ 5 V for input
Discrete input current	5 mA for input
Input impedance	4.7 kOhm for input
Response time	60 μ s turn-on, I0...I13 terminal(s) for input

Disclaimer: This documentation is not intended as a substitute for and is not to be used for determining suitability or reliability of these products in specific user applications.

Dec 4, 2020

Lib 6.0h | Schneider
Electric

1

Figura 63.Datasheet PLC

r

	OPC UA server DNS client
Local signalling	1 LED (green) for PWR 1 LED (green) for RUN 1 LED (red) for module error (ERR) 1 LED (red) for I/O error (I/O) 1 LED (green) for SD card access (SD) 1 LED (red) for BAT 1 LED (green) for SL1 1 LED (green) for SL2 1 LED (red) for bus fault on TM4 (TM4) 1 LED per channel (green) for I/O state 1 LED (green) for Ethernet port activity
Electrical connection	removable screw terminal block for inputs and outputs (pitch 5.08 mm) removable screw terminal block for connecting the 24 V DC power supply (pitch 5.08 mm)
Maximum cable distance between devices	Unshielded cable: <60 m for input Shielded cable: <10 m for fast input Unshielded cable: <60 m for output Shielded cable: <3 m for fast output
Insulation	Between supply and internal logic at 600 V AC Non-insulated between supply and ground
Marking	CE
Sensor power supply	24 V DC at 400 mA supplied by the controller
Surge withstand	2 kV power lines (AC) common mode conforming to EN/IEC 61000-4-6 2 kV relay output common mode conforming to EN/IEC 61000-4-6 1 kV shielded cable common mode conforming to EN/IEC 61000-4-6 1 kV power lines (AC) differential mode conforming to EN/IEC 61000-4-6 1 kV relay output differential mode conforming to EN/IEC 61000-4-6 1 kV input common mode conforming to EN/IEC 61000-4-6 1 kV transistor output common mode conforming to EN/IEC 61000-4-6
Web services	Web server
Maximum number of connections	8 Modbus server 8 SoMachine protocol 10 web server 4 FTP server 16 Ethernet/IP target 8 Modbus client
Number of slave	64 Modbus TCP: 16 Ethernet/IP:
Cycle time	10 ms 16 Ethernes/IP 64 ms 64 Modbus TCP
Mounting support	Top hat type TH36-16 rail conforming to IEC 60716 Top hat type TH36-7.6 rail conforming to IEC 60716 plate or panel with fixing kit
Height	90 mm
Depth	95 mm
Width	160 mm
Net weight	0.63 kg
Environment	
Standards	ANSI/ISA 12-12-01 CSA C22.2 No 142 CSA C22.2 No 213 EN/IEC 61131-2:2007 Marine specification (LR, ABS, DNV, GL) UL 1604 UL 608
Product certifications	RCM CSA IACS E10 CULus
Resistance to electrostatic discharge	8 kV in air conforming to EN/IEC 61000-4-2 4 kV on contact conforming to EN/IEC 61000-4-2
Resistance to electromagnetic fields	10 V/m 80 MHz...1 GHz conforming to EN/IEC 61000-4-3 3 V/m 1.4 GHz...2 GHz conforming to EN/IEC 61000-4-3 1 V/m 2 GHz...3 GHz conforming to EN/IEC 61000-4-3

Figura 64.Datasheet de PLC

Resistance to fast transients	2 kV (power lines) conforming to EN/IEC 61000-4-4 2 kV (relay output) conforming to EN/IEC 61000-4-4 1 kV (Ethernet line) conforming to EN/IEC 61000-4-4 1 kV (serial link) conforming to EN/IEC 61000-4-4 1 kV (input) conforming to EN/IEC 61000-4-4 1 kV (transistor output) conforming to EN/IEC 61000-4-4
Resistance to conducted disturbances	10 V 0.15...80 MHz conforming to EN/IEC 61000-4-6 3 V 0.1...80 MHz conforming to Marine specification (LR, ABS, DNV, GL) 10 V spot frequency (2, 3, 4, 6.2, 8.2, 12.6, 16.6, 18.8, 22, 26 MHz) conforming to Marine specification (LR, ABS, DNV, GL)
Electromagnetic emission	Conducted emissions - test level: 120...69 dB μ V/m QP (power lines) at 10...160 kHz conforming to EN/IEC 66011 Conducted emissions - test level: 63 dB μ V/m QP (power lines) at 1.5...30 MHz conforming to EN/IEC 66011 Conducted emissions - test level: 79 dB μ V/m QP/65 dB μ V/m AV (power lines) at 0.16...0.5 MHz conforming to EN/IEC 66011 Conducted emissions - test level: 73 dB μ V/m QP/60 dB μ V/m AV (power lines) at 0.5...300 MHz conforming to EN/IEC 66011 Radiated emissions - test level: 40 dB μ V/m QP class A (10 m) at 30...230 MHz conforming to EN/IEC 66011 Conducted emissions - test level: 79...63 dB μ V/m QP (power lines) at 160...1600 kHz conforming to EN/IEC 66011 Radiated emissions - test level: 47 dB μ V/m QP class A (10 m) at 230...1000 MHz conforming to EN/IEC 66011
Immunity to microbreaks	10 ms
Ambient air temperature for operation	-10...60 °C (vertical installation) -10...65 °C (horizontal installation)
Ambient air temperature for storage	-25...70 °C
Relative humidity	10...96 %, without condensation (in operation) 10...96 %, without condensation (in storage)
IP degree of protection	IP20 with protective cover in place
Pollution degree	2
Operating altitude	0...2000 m
Storage altitude	0...3000 m
Vibration resistance	3.6 mm at 5...8.4 Hz on symmetrical rail 3 gn at 8.4...160 Hz on symmetrical rail 3.6 mm at 5...8.4 Hz on panel mounting 3 gn at 8.4...160 Hz on panel mounting
Shock resistance	16 gn for 11 ms

Packing Units

Package 1 Weight	606.000 g
Package 1 Height	128.000 mm
Package 1 width	114.600 mm
Package 1 Length	186.000 mm

Offer Sustainability

Sustainable offer status	Green Premium product
REACH Regulation	REACH Declaration
EU RoHS Directive	Pro-active compliance (Product out of EU RoHS legal scope) EU RoHS Declaration
Mercury free	Yes
RoHS exemption information	Yes
China RoHS Regulation	China RoHS declaration
Environmental Disclosure	Product Environmental Profile
Circularity Profile	End of Life Information
WEEE	The product must be disposed on European Union markets following specific waste collection and never end up in rubbish bins
PVC free	Yes

Figura 65. Data sheet del PLC / M241 del tablero de Smart Machine - OEE