



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL**  
**ESCUELA DE POSGRADOS "ESPOG"**

**MAESTRÍA EN**  
**ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**  
*Resolución: **RPC-SO-09-No.265-2021***

**PROYECTO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE MAGISTER**

<b>Título del proyecto:</b>
Diseño e implementación de una fábrica virtual en 3D controlada por HMI y tablero de control para entrenamiento de operadores.
<b>Línea de Investigación:</b>
Ciencias de la ingeniería y aplicadas a la producción, sociedad y desarrollo sustentable
<b>Campo amplio de conocimiento:</b>
Ingeniería, industria y construcción
<b>Autor:</b>
Edwin Alexander Orbe Cisneros
<b>Tutor:</b>
Wilmer Fabián Albarracín Guarochico

**Quito – Ecuador**

**2023**

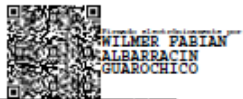
## APROBACIÓN DEL TUTOR



Yo, **Wilmer Fabián Albarracín Guarochico** con C.I: **1713341152** en mi calidad de Tutor del proyecto de investigación titulado: **Diseño e implementación de una fábrica virtual en 3D controlada por HMI y tablero de control para entrenamiento de operadores.**

Elaborado por: **Edwin Alexander Orbe Cisneros**, de C.I: **0401318712**, estudiante de la Maestría: **Electrónica y Automatización**, de la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL (UISRAEL)**, como parte de los requisitos sustanciales con fines de obtener el Título de Magister, me permito declarar que luego de haber orientado, analizado y revisado el trabajo de titulación, lo apruebo en todas sus partes.

Quito D.M., 2 septiembre de 2023



**Firma**

## DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE



Yo, **Edwin Alexander Orbe Cisneros** con C.I: **0401318712**, autor del proyecto de titulación denominado: **Diseño e implementación de una fábrica virtual en 3D controlada por HMI y tablero de control para entrenamiento de operadores**. Previo a la obtención del título de Magister en **Electrónica y Automatización**.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar el respectivo trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica Israel los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor@ del trabajo de titulación, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital como parte del acervo bibliográfico de la Universidad Tecnológica Israel.
3. Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de prosperidad intelectual vigentes.

Quito D.M., 2 de septiembre de 2023



Firmado electrónicamente por  
**EDWIN ALEXANDER  
ORBE CISNEROS**

---

**Firma**

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>APROBACIÓN DEL TUTOR.....</b>	<b>3</b>
<b>DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE .....</b>	<b>3</b>
<b>INFORMACIÓN GENERAL .....</b>	<b>1</b>
Contextualización del tema .....	1
Problema de investigación .....	1
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos.....	2
Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos: .....	3
<b>CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....</b>	<b>3</b>
1.1. Contextualización general del estado del arte.....	3
1.2. Proceso investigativo metodológico.....	6
<b>CAPÍTULO II: PROPUESTA.....</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Fundamentos teóricos aplicados .....</b>	<b>7</b>
1. Introducción.....	7
2. Factory IO .....	8
3. Controlador Lógico Programable (PLC) .....	10
3.1 Tipos de PLC.....	11
4. Lenguajes de programación de PLCs .....	13
4.1 Lenguajes de Alto nivel.....	13
4.2 Lenguajes de bajo nivel .....	14
5. Diagrama GRAFCET .....	15
5.1 Estructuras lógicas principales .....	16
5.2 GRAFCET Estructurado .....	19
<b>2.2 Descripción de la propuesta .....</b>	<b>20</b>
2.2.1 Factory IO.....	20
2.2.2 Diseño de GRAFCET ESTRUCTURADO DE LA FÁBRICA 3D .....	27
2.2.3 Programación del PLC en TIA PORTAL.....	29
2.2.4 Panel de control y HMI .....	32
<b>2.3 Validación de la propuesta.....</b>	<b>34</b>
Perfil de validadores .....	34
Criterios de evaluación .....	35

Resultados de la validación .....	35
<b>2.4 Matriz de articulación.....</b>	<b>1</b>
<b>2.5 Análisis de resultados.....</b>	<b>1</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>3</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>3</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>4</b>
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>1</b>
<b>GRAF CET ESTRUCTURADO – GRACET DE SEGURIDAD – MODOS DE MARCHA – PARADA EN ESTADO DETERMINADO.....</b>	<b>1</b>
<b>ANEXO 2.....</b>	<b>2</b>
<b>GRAF CET ESTRUCTURADO – GRACET DE PRODUCCIÓN.....</b>	<b>2</b>
<b>ANEXO 3.....</b>	<b>3</b>
<b>DIAGRAMA ESQUEMÁTICO – DIAGRAMA DE CONTROL.....</b>	<b>3</b>
<b>ANEXO 4.....</b>	<b>4</b>
<b>DIAGRAMA ESQUEMÁTICO – DIAGRAMA DE FUERZA (BANDA INICIO - FRENTE).....</b>	<b>4</b>
<b>ANEXO 5.....</b>	<b>5</b>
<b>DIAGRAMA ESQUEMÁTICO – DIAGRAMA DE FUERZA (BANDA IZQUIERDA - DERECHA) .....</b>	<b>5</b>
<b>ANEXO 6.....</b>	<b>1</b>
<b>CERTIFICADOS DE VALIDACIÓN DEL PROYECTO .....</b>	<b>1</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Tipos de Investigación (Bernal Torres, 2010).....	6
<b>Tabla 2.</b> Símbolos utilizados en lenguaje Ladder .....	13
<b>Tabla 3</b> Entradas y salidas del sistema .....	21
<b>Tabla 4</b> Descripción de perfil de validadores.....	34
<b>Tabla 5</b> Criterios de evaluación.....	35
<b>Tabla 6</b> Validación del Ing. Luis Laurentino Chiza Segovia. Msc .....	35
<b>Tabla 7</b> Validación del Ing. José Carlos Enríquez Quelal. Msc. ....	36
<b>Tabla 8</b> Validación del Ing. David Fernando Orbea León .....	36
<b>Tabla 9</b> Matriz de articulación .....	45

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> Lógica cableada. Elaboración Propia.....	4
<b>Figura 2</b> Lógica programada con Lenguaje LADDER. Elaboración Propia .....	4
<b>Figura 3</b> Ventana Inicial de Factory IO .....	8
<b>Figura 4</b> Ventana de trabajo en Factory IO. Elaboración Propia.....	9
<b>Figura 5</b> Escenas en Factory IO .....	9
<b>Figura 6</b> Drivers de comunicación con Factory IO .....	10
<b>Figura 7</b> Estructura física de un PLC.....	11
<b>Figura 8</b> PLC tipo compacto .....	12
<b>Figura 9</b> PLC tipo modular.....	12
<b>Figura 10</b> Diagrama de bloque de funciones (Schneider Electric, 2019).....	14
<b>Figura 11</b> Estructura de instrucción en Lenguaje Lista de instrucciones (IL) .....	15
<b>Figura 12</b> Estructura de instrucción Texto Estructurado (ST) .....	15
<b>Figura 13</b> Elementos del diagrama GRAFCET.....	16
<b>Figura 14</b> Divergencia Concurrente (Y) .....	16
<b>Figura 15</b> Divergencia Alternativa (O).....	17
<b>Figura 16</b> Convergencia Concurrente (Y) .....	17
<b>Figura 17</b> Convergencia Alternativa (O).....	18
<b>Figura 18</b> Salto Condicional.....	18
<b>Figura 19</b> Repeticiones.....	19
<b>Figura 20</b> Jerarquía de GRAFCET estructurado .....	20
<b>Figura 21</b> Escena inicial de la fábrica en 3D .....	20
<b>Figura 22</b> Configuración de entradas y salidas en PLCSIM de Factory IO.....	24
<b>Figura 23</b> Fábrica en 3D versión final.....	25
<b>Figura 24</b> Panel de Control en la fábrica en 3D.....	25
<b>Figura 25</b> Vista Frontal de la fábrica en 3D .....	26
<b>Figura 26</b> Vista Aérea de la Fábrica en 3D .....	26
<b>Figura 27</b> GRAFCET de Seguridad (G0).....	27
<b>Figura 28</b> GRAFCET de modos de marcha (G1).....	28
<b>Figura 29</b> GRAFCET DE PARO DE ESTADO DETERMINADO .....	28
<b>Figura 30</b> GRAFCET de producción (G3) .....	29
<b>Figura 31</b> PLC S7 - 1200 y módulos de E/S.....	30
<b>Figura 32</b> Direccionamiento de entradas de PLC en TIA PORTAL.....	30
<b>Figura 33</b> Direccionamiento de salidas de PLC en TIA PORTAL .....	31

<b>Figura 34</b> Bloques de programa en TIA PORTAL .....	31
<b>Figura 35</b> Entradas y salidas físicas - Panel de control .....	32
<b>Figura 36</b> Entradas y salidas virtuales - HMI .....	32
<b>Figura 37</b> Panel de Operador .....	33
<b>Figura 38</b> Interfaz Hombre - Máquina (HMI) .....	33
<b>Figura 39</b> Tiempo del ciclo del CPU del PLC .....	1
<b>Figura 40</b> Consumo de memoria del PLC .....	2
<b>Figura 41</b> Consumo de memoria del CPU del PC local.....	2



## **INFORMACIÓN GENERAL**

### **Contextualización del tema**

Hablando del ámbito industrial y tecnológico, se menciona la industria 4.0 considerada como la cuarta revolución industrial. En esta revolución se integran todos los avances tecnológicos como: Internet de las cosas (IoT), BigData, Inteligencia Artificial, robótica, realidad aumentada, computación en la nube, ciberseguridad, realidad aumentada y simulación de entornos virtuales (Basco et al., 2018). Esta última, la simulación de entornos virtuales es el tema en el que se basa este trabajo. Siendo un área potenciada después de la pandemia sucedida en el año 2020. Ya que permite realizar simulaciones de entornos reales, creando la apariencia de estar en el sitio mismo, controlando los dispositivos y equipos.

Actualmente los entornos virtuales en 3D se encuentran en todos los campos, desde el educativo, industrial, médico, turístico hasta el de los videojuegos. Trayendo consigo más ventajas que desventajas, asociadas a la no presencia física del ser humano en determinado ambiente. Inicialmente esta área de conocimiento se dio en el campo del entretenimiento con los videojuegos de realidad aumentada, posteriormente en la educación, y hoy en día se trabaja en otras áreas más, no mencionadas (Marín-Díaz et al., 2022).

Para los ingenieros electrónicos especializados en automatización, es común que su entorno laboral y de desarrollo, es el área industrial. Este sector está constituido por estaciones de trabajo (Paletizadora, Control de nivel en depósitos, línea de producción, Pick & Place, entre otros) y componentes mecánicos y electrónicos como es el caso de los sensores, controladores y actuadores. Los cuales deben ser configurados previamente para su operación. Los estudiantes en formación e ingenieros electrónicos mediante entornos virtuales de aprendizaje en 3D, pueden manipular este tipo de herramientas con el afán de complementar su aprendizaje, previo a su operación en entornos reales.

### **Problema de investigación**

Como es de conocimiento público debido a la pandemia del Covid - 19 en el año 2020, las instituciones de educación superior tuvieron que cambiar su modalidad de estudio, de forma presencial a virtual. Viéndose afectados en mayor caso, los estudiantes de carreras técnicas, los cuales necesitan de laboratorios equipados para su proceso de aprendizaje. En este caso particular, los profesionales de la ingeniería son los que se encuentran directamente relacionados con los procesos de innovación tecnológica, económica y social. Tal es esa relación

que después de la pandemia se potenciaron ciertas actividades relacionadas con la cuarta revolución industrial. Entre esas actividades que fueron posibles debido a las necesidades de afrontar el aislamiento por el Covid – 19, se encuentran los simuladores de entornos virtuales, realidad aumentada y el control de procesos remotamente (Díaz-Garay et al., 2021).

En este contexto, el problema en la formación de ingenieros en la pandemia, es la carencia de recursos educativos que permitan el aprendizaje e interacción con las máquinas y dispositivos de los entornos reales, que constituyen la industria.

Los procesos industriales realizados por personal ingenieril requieren ser ejecutados en forma presencial, es decir con el personal técnico interactuando dentro de la planta, lo que ocasiona esta dependencia física entre el ser humano y estos ambientes.

Por lo antes expuesto surge la necesidad de diseñar e implementar una fábrica virtual en 3D controlada por HMI y cuadro de control para entrenamiento de operadores. Tanto para eliminar esa dependencia física hombre – entorno, como para la preparación de los nuevos ingenieros previo a la operación de máquinas y dispositivos reales.

### **Objetivo general**

- Diseñar e implementar una fábrica virtual 3D controlada por HMI y tablero de control para entrenamiento de operadores con TIA PORTAL y FACTORY IO.

### **Objetivos específicos**

- Determinar la estación de trabajo, los sensores, actuadores y controlador PLC con el cual se va a desarrollar la fábrica virtual 3D.
- Diseñar el GRAFCET de funcionamiento para el control y automatización de la fábrica virtual 3D.
- Diseñar el diagrama esquemático del PLC con sus entradas (sensores) y salidas (actuadores).
- Realizar la programación en lenguaje LADDER del PLC en TIA PORTAL, conforme al diseño del GRAFCET.
- Implementar los sensores, actuadores y conexión PLC en el entorno virtual 3D con FACTORY IO.
- Realizar el tablero de control y HMI para administrar y controlar la fábrica virtual 3D.

- Validar resultados mediante pruebas de funcionamiento.

### **Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:**

El presente proyecto está direccionado en la parte educativa y pre profesional, enfocado en lo que respecta al área de industria 4.0 y operadores especializados en la ingeniería electrónica. Aportando con el recurso tecnológico de un simulador en entornos virtuales 3D, para asistir en los métodos de aprendizaje e inserción laboral dentro de los procesos industriales.

Los ingenieros formados en el período de la pandemia COVID – 19, no cuentan con todas las destrezas y habilidades en comparación con las de un ingeniero formado antes del COVID – 19. Motivo por el cual este trabajo permite la capacitación, aprendizaje e interacción pre – directa con los elementos que demandan los procesos industriales (Sensores, controladores PLC, actuadores).

Los beneficiarios directos de este proyecto son los estudiantes de ingenierías en carreras técnicas como: Electrónica, Mecatrónica, Mecánica, Tecnologías de la información. Y, por otro lado, aquellos profesionales que, por motivos ajenos, nunca han tenido contacto directo con ambientes industriales y sus elementos.

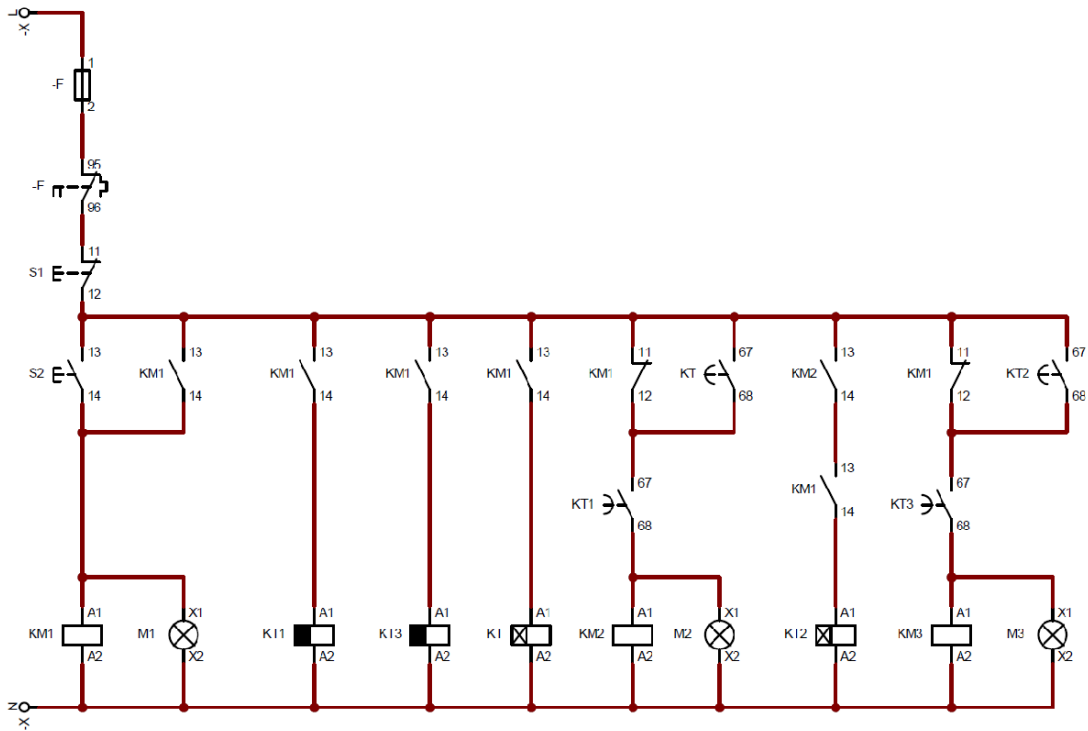
## **CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

### **1.1. Contextualización general del estado del arte**

Partiendo de los dispositivos fundamentales, para la evolución de la automatización de procesos industriales, se habla de los Controladores Lógicos Programables (PLC). Su historia comienza a finales de la década de los sesenta, cuando se comienza a reemplazar la automatización cableada por la automatización programada. En la primera tecnología se utilizaban circuitos de lógica cableada con relés electromecánicos, los cuales incrementaban su complejidad conforme era su escalamiento (incrementar recursos y funciones), y por ende el mantenimiento en estos circuitos era complicado. La segunda, entorno a los PLC, disminuye la complejidad de los primeros, en cuanto a las conexiones físicas, escalabilidad y mantenimiento (Álvarez Pulido, 2004).

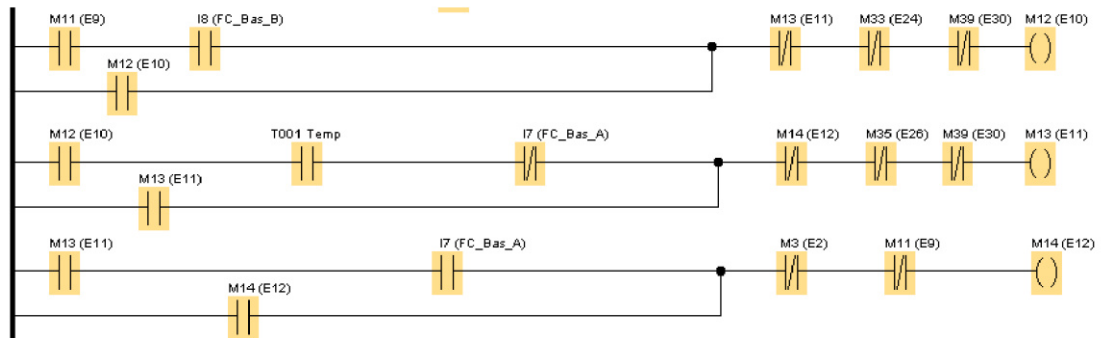
**Figura 1**

*Lógica cableada. Elaboración Propia*



**Figura 2**

*Lógica programada con Lenguaje LADDER. Elaboración Propia*



Posteriormente desde el año de 1970 en adelante, los PLC comienzan su evolución. En cuanto a sus características funcionales en memoria, procesamiento y puertos entrada/salida. La velocidad de procesamiento y los tiempos de programación son factores críticos que se han ido también mejorando con el tiempo. Pero acompañado de esto, puede surgir la duda en el lector, porque los PLC no han podido ser reemplazados por los PC normales. Y es debido a sus características de trabajar en ambientes industriales, los cuales pueden experimentar cambios drásticos en la temperatura, factores de humedad y suciedad en el ambiente, es por ello que los PLC, se les conoce también como computadores industriales (Domingo y Segura, 2018).

La programación de los PLC involucra conocer el entorno que se va automatizar, esto es, que hace el sistema de la planta industrial, como responden los sensores y que tipo de tareas realizan los actuadores. En la mayoría de proyectos de automatización de plantas industriales realizan este paso previo a la programación de PLC.

Según (Pérez Olcina, 2021) primero realiza una selección de los sensores y actuadores. Posteriormente el diseño de diagrama GRAFCET (que se explicará más adelante) y finalmente la programación en lenguaje LADDER. En (Contreras Jodra, 2021) se desarrollan algunos ejemplos de entornos virtuales de fábrica en 3D, realizados en el software Factory IO y su integración con la programación LADDER en TIA PORTAL. En (Giménez Delgado, 2021) se denota la metodología a seguir para desarrollar un entorno virtual de una fábrica en 3D, identificando primeramente los sensores y actuadores a utilizar conjuntamente con el PLC, y posteriormente la integración de varias estaciones de trabajo, en donde cada una de ellas cuenta con su propio GRAFCET asociado. En (Vilca Luna y Clavitea Pari, 2022) se habla del entorno virtual de simulación Factory IO, y como puede ser fácilmente configurado como cualquier videojuego, en cuanto a la exploración, movilidad y desempeño en cualquiera de las estaciones de trabajo seleccionadas. Cuando se trabaja con simuladores en la parte de automatización industrial, existen diversos softwares que pueden ser integrados para crear un entorno más robusto y con mayores prestaciones. Tal es el caso de (Salazar Jácome et al., 2022) presentando la automatización de un proceso industrial que integra varios entornos: Factory IO, TIA PORTAL, FluidSIM, KEPServer y NetToPLCSim. No se habla de Factory IO y de TIA PORTAL, ya que serán profundizados más adelante. FluidSIM es un simulador de circuitos neumáticos e hidráulicos que integra todos los componentes y elementos que este tipo de circuitos disponen como: válvulas, cilindros, relés, etc. KEPServer es una plataforma de comunicación que permite el intercambio de datos bidireccional, entre dispositivos y sistemas de automatización, por ende, son muy utilizados cuando se requiere desarrollar redes industriales, entre varios sistemas y PLCs. NetToPLCSim es un software que crea una comunicación virtual TCP/IP, esto es, no es necesario tener el PLC físico, sino simplemente lo hace mediante el simulador S7-PLCSIM de TIA PORTAL. Finalmente, y no menos importante en el trabajo (Cóndor Chuqui, 2019) se habla de la interfaz Hombre – Máquina (HMI), que permite el monitoreo, supervisión y control de un proceso industrial, para lo cual en este trabajo se desarrolla una HMI desde el programa TIA PORTAL.

El estado del arte realizado ayuda a tener un panorama más amplio de lo que se quiere lograr, con el desarrollo de este trabajo. Considerando todos los puntos importantes de cada documento técnico, antes referenciado. La metodología a seguir para cumplir con todos los objetivos planteados se basa en las recomendaciones obtenidas de los trabajos anteriores,

investigados en esta área. Y que permiten elaborar el proceso investigativo metodológico presentado en la siguiente sección.

## 1.2. Proceso investigativo metodológico

El proceso investigativo metodológico viene fundamentado en el estado del arte. Definido como un estudio, cuyo propósito es presentar el estado actual, en alguna área específica del conocimiento. Tales estudios muestran el antes y el presente de un tema en concreto, analizando los principales enfoques y los núcleos problemáticos que se han ido presentado en el camino (Bernal Torres, 2010)

El tipo de investigación adoptado en este trabajo reúne las características de varios tipos de investigación según la tabla 1 (Bernal Torres, 2010).

**Tabla 1.**

*Tipos de Investigación (Bernal Torres, 2010)*

Investigación	Característica
Histórica	Analiza eventos del pasado y busca relacionarlos con otros del presente.
Documental	Analiza información escrita sobre el tema objeto de estudio.
Descriptiva	Reseña rasgos, cualidades o atributos de la población objeto de estudio.
Correlacional	Mide el grado de relación entre variables de la población estudiada.
Explicativa	Da razones del porqué de los fenómenos.
Estudio de caso	Analiza una unidad específica de un universo poblacional.
Seccional	Recoge información del objeto de estudio en oportunidad única.
Longitudinal	Compara datos obtenidos en diferentes oportunidades o momentos de una misma población, con el propósito de evaluar cambios.
Experimental	Analiza el efecto producido por la acción o manipulación de una o más variables independientes sobre una o varias dependientes.

La investigación para el presente proyecto es de tipo documental, el cual analiza información escrita sobre el tema objeto de estudio, esto mediante el estado del arte. La investigación se considera también de tipo estudio de caso, analizando una unidad específica de la automatización industrial, esto es, la creación de un entorno virtual para fábricas 3D. Finalmente, se considera que la investigación es de tipo experimental, debido al efecto producido por variables independientes sobre una o varias dependientes, esto es, en cuanto al manejo y configuración de sensores y observando el comportamiento de los actuadores.

Las técnicas de recolección de la información se basan respecto a las observaciones tomadas de los documentos técnicos recabados en el estado del arte. Considerando todos los puntos importantes y las recomendaciones encontradas.

Finalmente, para evaluar los resultados y determinar que el trabajo cumple con los objetivos planteados, se realizan pruebas de simulación en el entorno de fábrica 3D. Evaluando los tiempos de respuesta conforme el proceso sea manipulado, desde el tablero de control o desde la Interfaz Hombre – Máquina (HMI).

## **CAPÍTULO II: PROPUESTA**

### **2.1 Fundamentos teóricos aplicados**

#### **1. Introducción**

La evolución y desarrollo de la ciencia con la tecnología, se representa en las cuatro revoluciones industriales. De manera que, en cada revolución industrial se muestra una forma de hacer los procesos de manufactura, y posteriormente la revolución siguiente presenta un método mejorado que la anterior (Selva Belén y López, 2016). Hoy en día gracias al desarrollo tecnológico acelerado que se ha tenido, vivimos lo que se conoce como industria 4.0 o cuarta revolución industrial. Es aquí, donde se enfoca la investigación y estudio del presente trabajo.

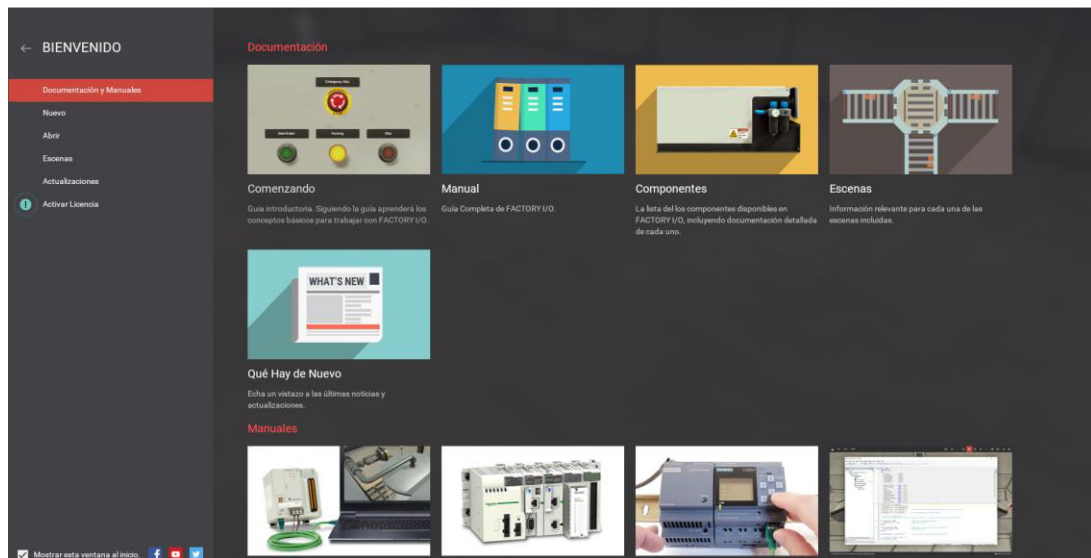
La simulación en entornos virtuales con realidad aumentada, donde no es necesaria la presencia física del ser humano, para la manipulación de objetos, procesos y otras herramientas, en la actualidad es un área que se encuentra en auge y desarrollo. Específicamente hablando de ambientes industriales de automatización y sus elementos, hablaremos del entorno de simulación de fábrica en 3D, Factory IO. De los dispositivos que permiten la automatización de procesos industriales en Factory IO, como es el caso de los controladores lógicos programables (PLC). Y de la interfaz Humano – Máquina (HMI), desde donde se monitorea, controla y supervisa cada tarea de los procesos industriales.

## 2. Factory IO

Factory IO es un software de simulación de fábrica en 3D orientado a procesos industriales de automatización. Su interfaz gráfica es muy parecida a la de los videojuegos. Diseñado para principiantes y expertos en el mundo de la electrónica y automatización, permite construir una fábrica virtual personalizada utilizando una selección de piezas industriales. O también cuenta con escenas inspiradas en aplicaciones industriales típicas (Real Games, 2006 - 2023). La primera ventana que muestra Factory IO, permite crear o abrir una escena existente, de las que vienen instaladas por defecto con el software. Así mismo, proporciona documentación y manuales para familiarizar su uso. En la figura 3 se puede observar la ventana inicial de Factory IO.

**Figura 3**

*Ventana Inicial de Factory IO*

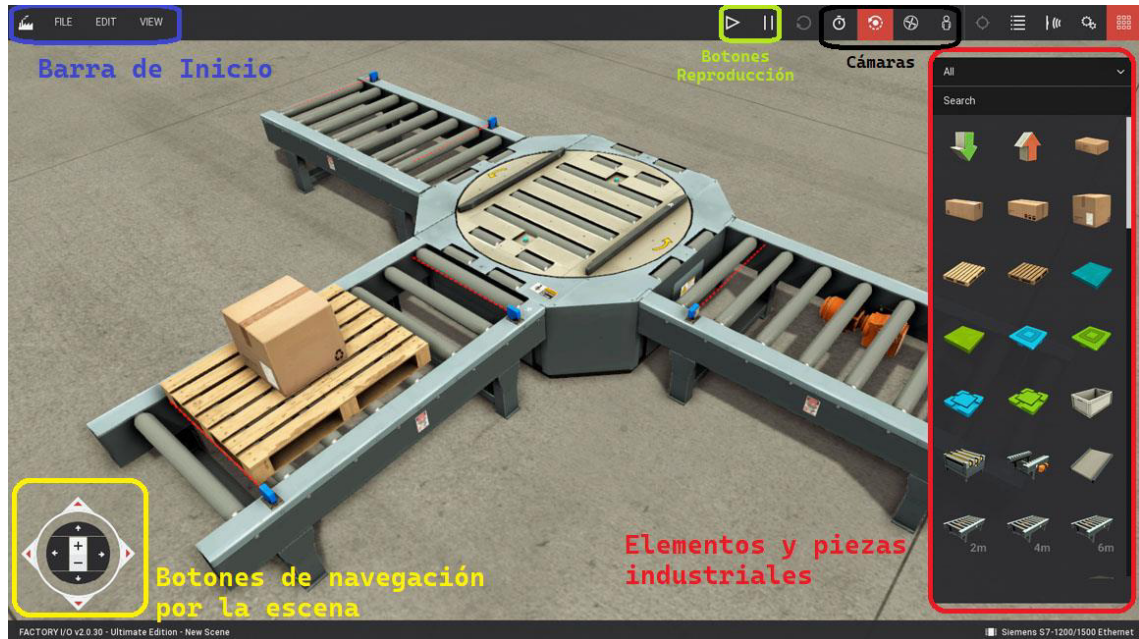


En la ventana de trabajo de Factory IO es donde se encuentran todos los componentes y piezas industriales de la fábrica en 3D. Así por ejemplo, sensores, actuadores, tableros de control y otros elementos, para navegar sobre cada uno de ellos se ofrece los botones de navegación y los diferentes tipos de cámara (orbital, mosca, peatón), los que permiten movilizarse de derecha a izquierda o de arriba hacia abajo y viceversa, dando la sensación de estar físicamente en la fábrica en 3D (véase figura 4).



**Figura 4**

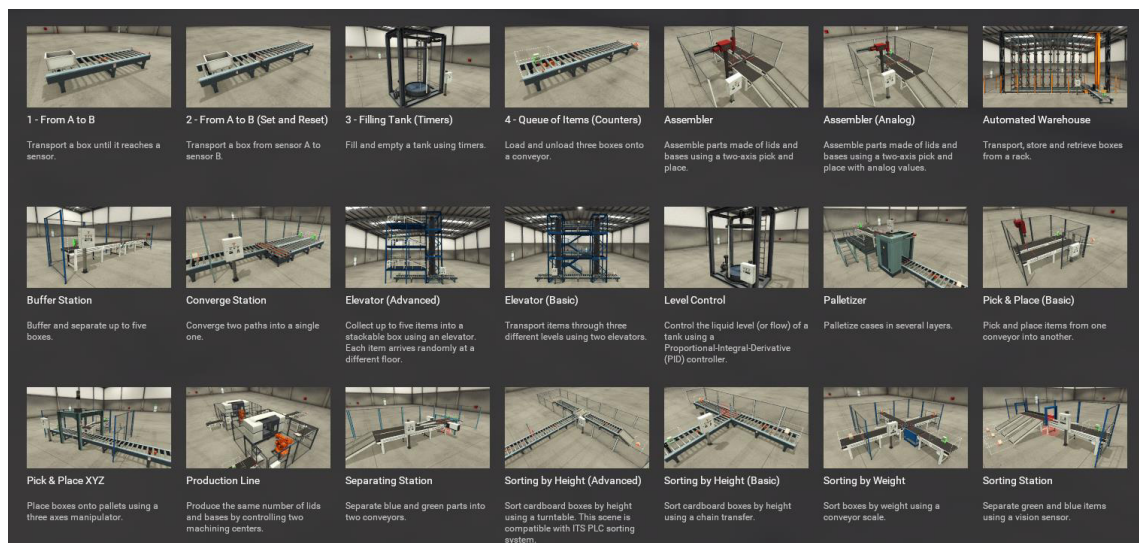
*Ventana de trabajo en Factory IO. Elaboración Propia.*



Adicionalmente como se mencionó con anterioridad, dentro de la interfaz de Factory IO se pueden seleccionar varias escenas de aplicaciones industriales reales. Las mismas que tienen un nivel de dificultad principiante hasta experto. Pero la gran ventaja de este software, es que no solo se puede trabajar con una escena individual, sino que se puede escalar más arriba, integrando varias escenas en forma modular y teniendo la idea de una super fábrica con varios subprocessos.

**Figura 5**

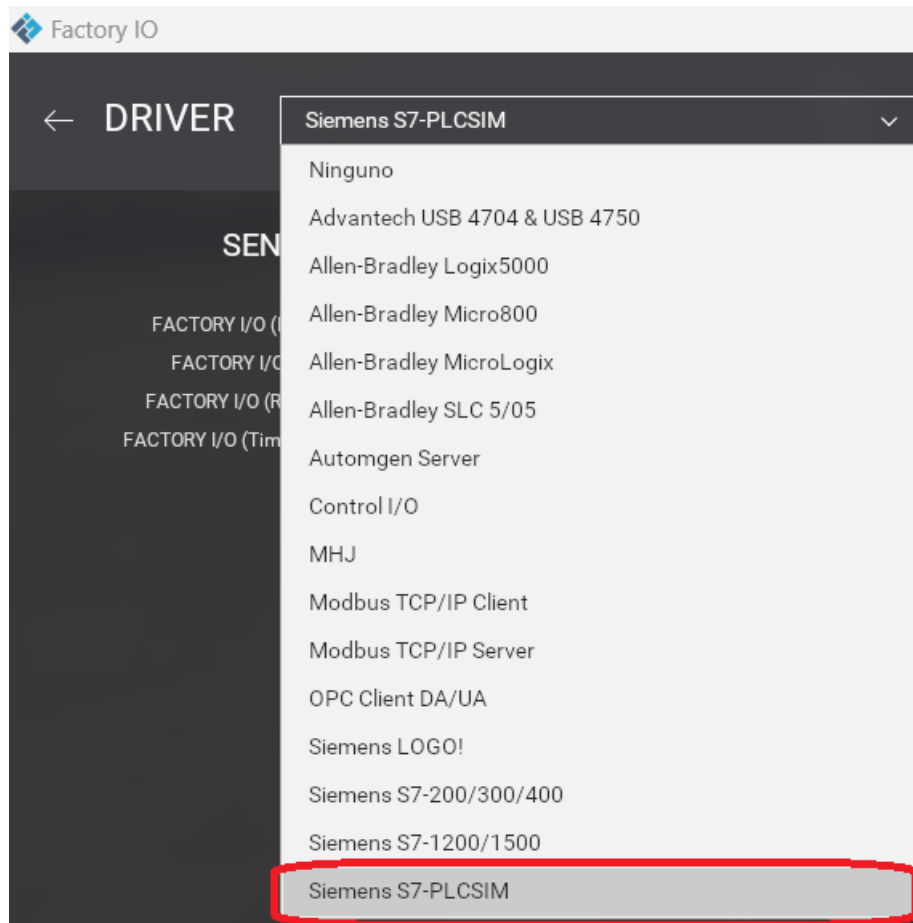
*Escenas en Factory IO*



Por otro lado, en el tema de comunicaciones con los dispositivos de control, Factory IO permite la interacción con PLC's de diferentes marcas, como Siemens, Allen Bradley. Cabe recalcar en este punto, que esta comunicación puede ser física o virtual. Entendiéndose por virtual que no es necesario la presencia de un PLC físico. Para el caso de PLC de la marca siemens se hace uso del controlador virtual Siemens S7 -PLCSIM.

**Figura 6**

*Drivers de comunicación con Factory IO*



### **3. Controlador Lógico Programable (PLC)**

Es un computador utilizado para realizar tareas industriales en el ámbito de la automatización. Los PLC como su nombre lo indica controladores lógicos programables, permiten el control automático y semiautomático de la maquinaria industrial de una fábrica y también de otras piezas mecánicas, mediante la lógica de programación realizada, en algún tipo de lenguaje entendible por el computador industrial (Autycom, 2023).

Profundizando un poco más sobre los PLC, se encuentran constituidos por entradas, salidas y cuentan con memoria interna para almacenar la lógica de programación y otros datos de configuración que se van generando. Adicionalmente, existen otros módulos que actúan en

segundo plano y no de menos importancia, pero que permiten de alguna forma el funcionamiento normal del PLC.

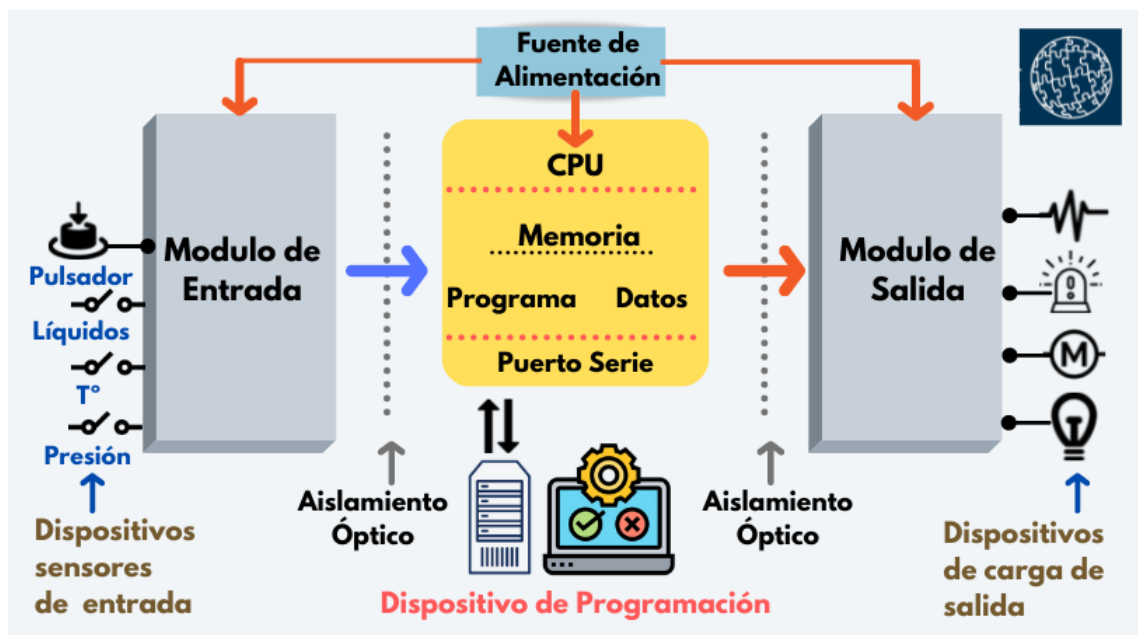
*El módulo de alimentación* es el encargado de proporcionar la energía necesaria a todo el sistema PLC. Internamente convierte la energía de corriente alterna AC en energía de corriente continua DC, con la que funciona el modulo de entrada/salida y CPU. Generalmente el voltaje en DC con el que funcionan los PLC, es de 24V (Sicma21, 2021).

*La unidad central de procesamiento (CPU)* esta constituida por una memoria RAM (almacena programas y datos), una memoria ROM (incluye sistema operativo, controladores y programas de aplicación) y un procesador central (cerebro del PLC, con un microprocesador que ejecuta los procesos y envía los datos hacia los dispositivos de control).

*El módulo de entrada y salida* permite la comunicación con los dispositivos sensores de entrada (pulsadores de arranque y parada, interruptores, etc.) y los dispositivos de carga de salida (Válvulas, relés, motores, luces indicadoras, etc.).

**Figura 7**

*Estructura física de un PLC.*



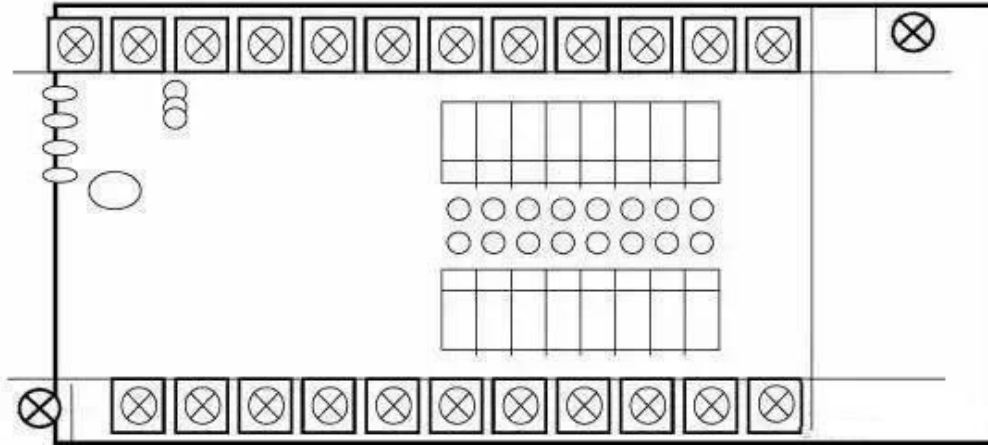
### 3.1 Tipos de PLC

Debido al desarrollo y evolución de los PLC a través de los años, existen diferentes tipos de PLC. Entre los más conocidos se encuentran: tipo compacto, modular.

*PLC tipo compacto:* Este tipo de dispositivo se caracteriza por integrar en un solo chasis todos los módulos como la fuente de alimentación, CPU y las interfaces de entrada/salida (¿Qué es PLC y su clasificación?, 2018).

**Figura 8**

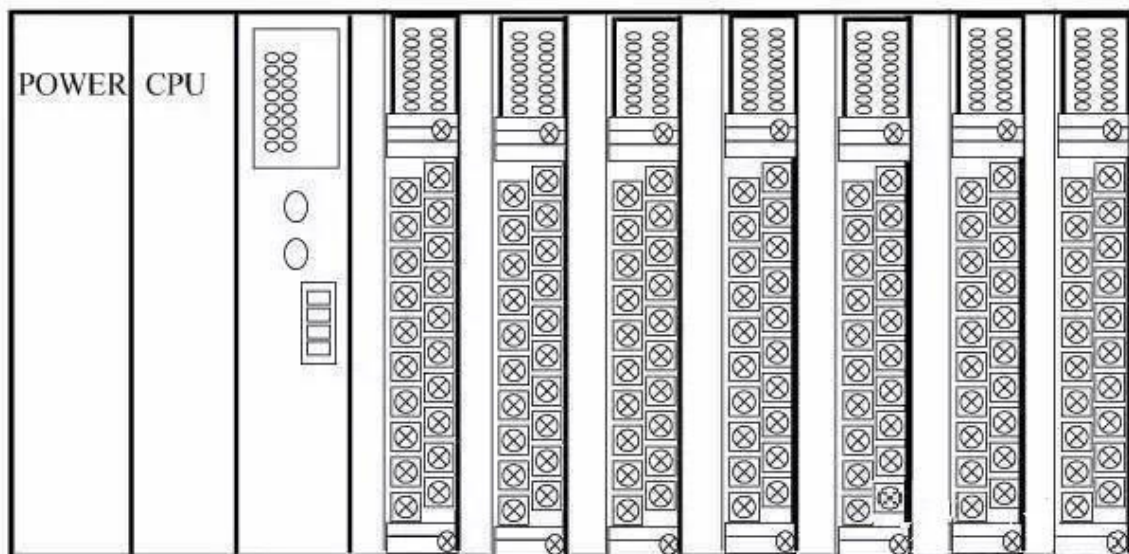
*PLC tipo compacto*



*PLC tipo modular:* En este tipo de PLC cada uno de los componentes como fuente de alimentación, CPU y las interfaces entrada/salida se encuentran separadas por módulos. Se destaca en este tipo de PLC que se puede agregar funcionalidades e incrementar recursos debido a la naturaleza de quitar o aumentar módulos por separado (¿Qué es PLC y su clasificación?, 2018).

**Figura 9**

*PLC tipo modular*



#### 4. Lenguajes de programación de PLCs

Al hablar de los lenguajes de programación es transmitir lo que queremos que las máquinas hagan por nosotros, mediante un lenguaje entendible por estas. En otras palabras, un lenguaje de programación permite traducir un lenguaje natural en lenguaje máquina (Arias Polanco, 2019).

En el campo de los PLCs, cada fabricante se ha encargado de desarrollar varios lenguajes de programación. Estos lenguajes se clasifican en los de bajo nivel y de alto nivel. Los lenguajes de bajo nivel son más de tipo textual y basados en cadenas de caracteres de texto. Mientras que los lenguajes de alto nivel, son más de tipo gráfico, en los que prima el uso de símbolos para el desarrollo de las ordenes de control en los sistemas de automatización.

La norma *IEC 61131-3* desarrollada por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) define dos lenguajes de bajo nivel y dos de alto nivel para la programación industrial con PLCs (Rosero Yugsi, 2009).

##### 4.1 Lenguajes de Alto nivel


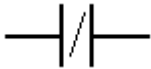
Dentro de la norma IEC 61131-3 los lenguajes gráficos que caen dentro de este grupo son:





- Diagrama Ladder (LD)
- Diagrama de Bloques de Funciones (FBD)

El *diagrama Ladder* de contactos o escalera es uno de los lenguajes más utilizados para la programación de PLCs. Su principal ventaja es que los símbolos están normalizados y usados por todos los fabricantes. Los símbolos más utilizados se encuentran en la tabla 2.

**Tabla 2.**

*Símbolos utilizados en lenguaje Ladder*

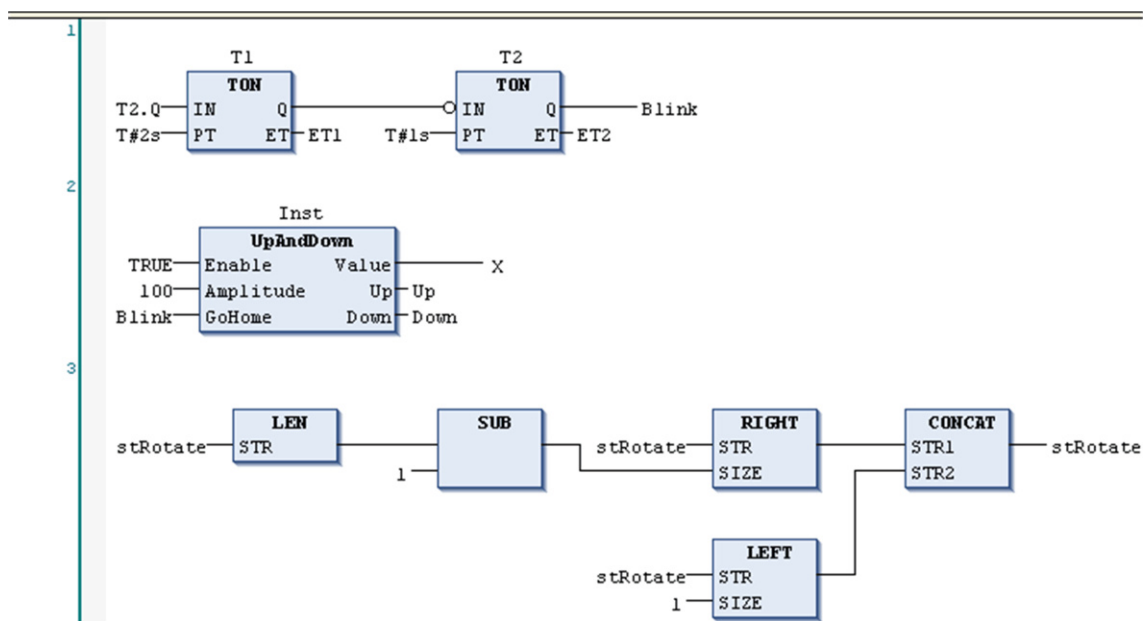
Símbolo	Nombre	Descripción
	Contacto NA	Contacto normalmente abierto, cuando se activa se cierra el contacto. Utilizado para representar una entrada lógica, sea un sensor o pulsador.
	Contacto NC	Contacto normalmente cerrado, cuando se activa se abre el contacto, utilizado para pulsadores de emergencia y paro principalmente.

	Bobina NA	Es una bobina normalmente abierta, cuando se activa tiene un 1 lógico en su salida. Utilizada para representar todo tipo de actuadores.
	Bobina NC	Es una bobina normalmente cerrada, es complementaria a la anterior.
	Bobina SET	Es una bobina utilizada para retener un valor lógico, es decir una vez que se activa, mantiene ese valor, hasta que se presente su bobina complementaria.
	Bobina RESET	Es la bobina complementaria de la anterior, retiene un valor lógico en este caso el 0.

El diagrama de bloques de funciones como su nombre lo indica se basa en bloques que son contenedores de funciones y que albergan la mayor parte de lógica del programa. Es muy utilizado por los especializados o familiarizados con circuitos de compuertas lógicas.

**Figura 10**

Diagrama de bloque de funciones (Schneider Electric, 2019).



## 4.2 Lenguajes de bajo nivel

Los lenguajes de bajo nivel considerados por la norma IEC 61131-3 son:

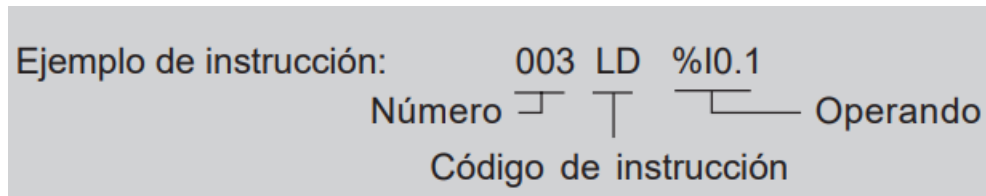
- Lista de instrucciones (IL)

- Texto Estructurado (ST)

La lista de instrucciones es un lenguaje de bajo nivel basado en texto estructurado y parecido a lenguajes de programación como ensamblador. La estructura de este lenguaje contiene un número generado en forma automática, un código de la instrucción a ejecutar y un operando tipo bit o palabra donde se va a realizar la operación.

**Figura 11**

*Estructura de instrucción en Lenguaje Lista de instrucciones (IL)*



Texto Estructurado es un lenguaje de programación parecido a Pascal o C. Por ende, su sintaxis acepta elementos bien estructurados como ciclos repetitivos o funciones condicionales.

**Figura 12**

*Estructura de instrucción Texto Estructurado (ST)*

```
IF Manual AND Alarm THEN
    Level = Manual_Level;
    Mixer = Start AND NOT Reset
ELSE IF Other_Mode THEN
    Level = Max_level;
ELSE
    Level = (Level_Indic X100)/Scale;
END IF;
```

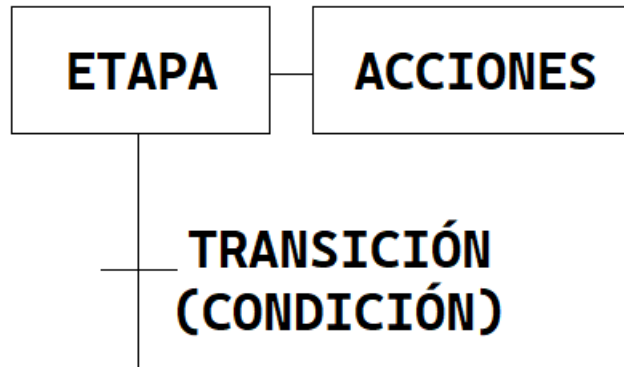
## 5. Diagrama GRAFCET

Otro de los lenguajes que no se mencionó pero que dentro de la automatización con PLCs es muy utilizado es el GRAFCET. Término que es el acrónimo tanto de Graph Fonctionnel de Commande Etape-Transition (grafo funcional de control etapa-transición) y de graphe du groupe AFCET (gráfico del grupo AFCET) (San Segundo, 2020).

El diagrama GRAFCET asocia muy bien las relaciones causa /efecto entre las entradas y salidas respectivas, de un sistema automático. Básicamente el diagrama GRAFCET esta constituido por la sucesión de varias etapas separadas por transiciones, en cada etapa se producen acciones sobre las salidas del sistema de automatización. Cada transición esta relacionada con una condición, que de cumplirse permite la transferencia en el sistema automático, de una etapa anterior a una siguiente.

**Figura 13**

*Elementos del diagrama GRAFCET*



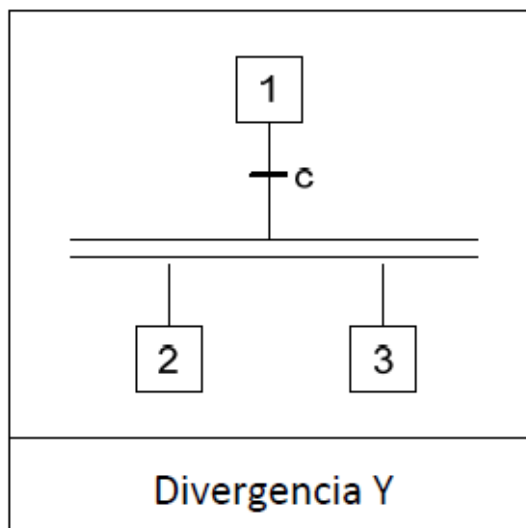
### 5.1 Estructuras lógicas principales

En el diseño de automatismos mediante GRAFCET, pueden surgir varios problemas si no se conocen correctamente las estructuras lógicas de este diagrama. Conforme otros lenguajes de programación de PLCs contienen sus formas de representación, en GRAFCET no es la excepción y también maneja su propia estructura para funciones lógicas OR, AND y sus variantes. Se pueden identificar seis estructuras lógicas fundamentales (San Segundo, 2020).

- *Divergencia concurrente (Y)*: Expresa un punto de sincronismo representado mediante dos líneas horizontales, que separan la etapa anterior y las etapas que se ejecutarán simultáneamente si se cumple la condición.

**Figura 14**

*Divergencia Concurrente (Y)*

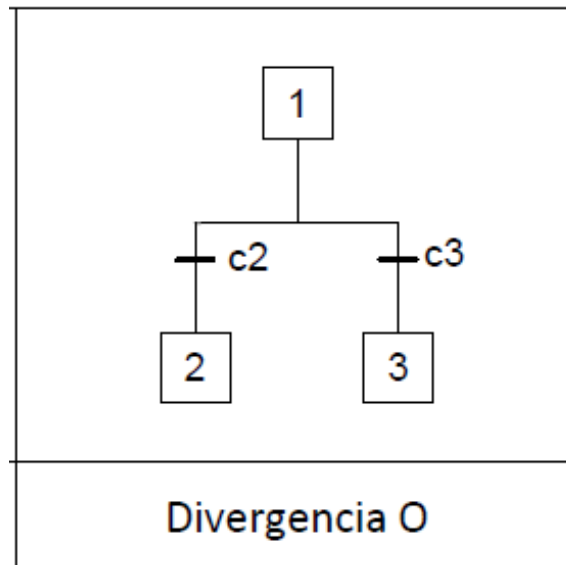




- *Divergencia Alternativa (O)*: Es muy utilizada en el diseño de automatismos, ya que dispone de varias alternativas de acción según sea la condición, partiendo de una sola etapa.

**Figura 15**

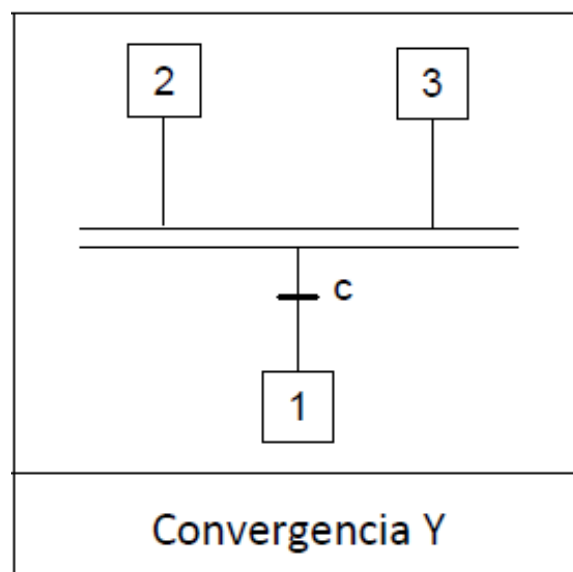
*Divergencia Alternativa (O)*



- *Convergencia Concurrente (Y)*: Expresa un punto de sincronismo mediante dos líneas horizontales. Dos etapas concurrentes finalizan y se sincronizan en una única etapa final.

**Figura 16**

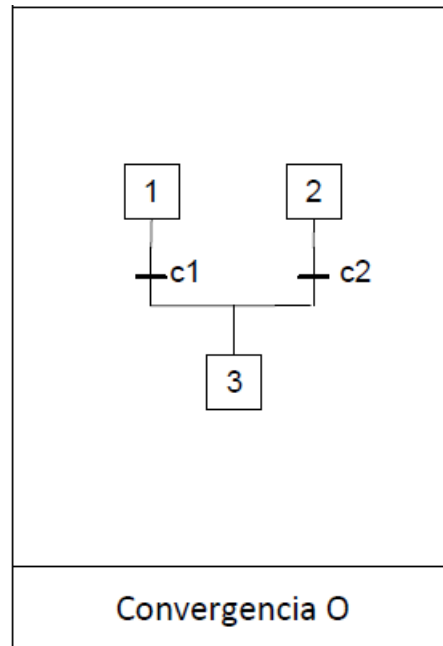
*Convergencia Concurrente (Y)*



- *Convergencia Alternativa (O)*: esta estructura permite llegar a una etapa final única desde diferentes etapas y condiciones.<sup>8</sup>

**Figura 17**

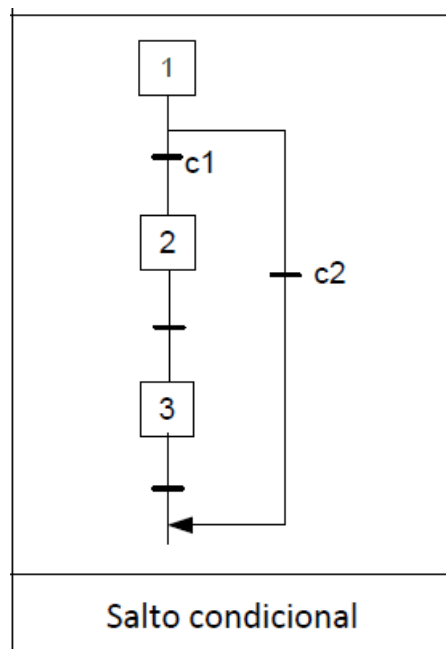
*Convergencia Alternativa (O)*



- Saltos condicionales: Es un caso particular de la divergencia alternativa (O), ya que de una etapa se pueden llegar a dos etapas posteriores con diferentes condiciones.

**Figura 18**

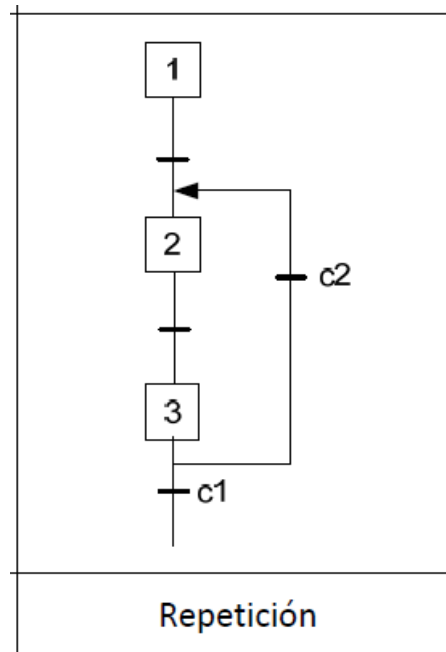
*Salto Condicional*



- Repeticiones: Esta estructura es otro caso de la divergencia alternativa (O), con la variante que una de las alternativas es una etapa anterior de las que le precede.

**Figura 19**

*Repeticiones*



## 5.2 GRAFCET Estructurado

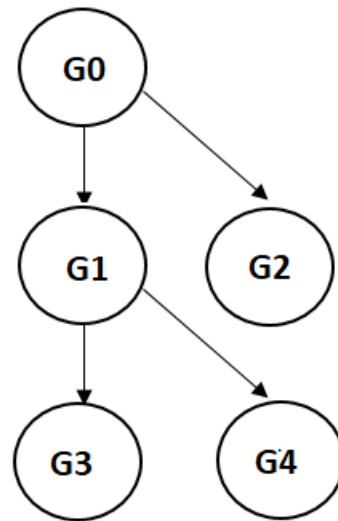
Generalmente existen automatismos en los cuales se deben considerar varios estados de funcionamiento, como paradas de emergencia, paros determinados y fin de ciclo, modo automático, semiautomático y manual. Para considerar todos estos detalles es casi imposible o una tarea complicada si se lo realiza con un diseño de GRAFCET normal (Gil Aparicio, 2017).

Para lo cual se considera el *GRAFCET ESTRUCTURADO* que permite subdividir la lógica de funcionamiento en varios GRAFCET según sea la necesidad.

- GRAFCET DE SEGURIDAD (G0)
- MODOS DE MARCHA (G1)
- PARO ESTADO DETERMINADO (G2)
- PARO FIN DE CICLO (G3)
- PRODUCCIÓN NORMAL (G4)

**Figura 20**

*Jerarquía de GRAFCET estructurado*



## 2.2 Descripción de la propuesta

### 2.2.1 Factory IO

El entorno virtual donde se aloja la fábrica en 3D a ser automatizada, es Factory IO. Si bien dentro de este software de simulación existen entornos ya creados, se prefiere dar un valor extra importante al trabajo de titulación. Creando una escena desde cero y agregando cada uno de los componentes de la simulación del entorno.

**Figura 21**

*Escena inicial de la fábrica en 3D*



Básicamente la fábrica en 3D, está conformada por cuatro bandas transportadoras, designadas como: **BAND\_INICIO**, **BAND\_FRENTE**, **BAND\_DER** y **BAND\_IZQ**. Las cuales transportan las cajas desde un lugar de inicio **ENTRADA\_CAJAS** hasta un lugar de destino. Considerando que existen tres lugares de destino designados como: **SALIDA\_CAJASF**, **SALIDA\_CAJASD** y **SALIDA\_CAJASI**.

Para el tema de saber la ubicación de las cajas en todo el proceso de clasificación se incluyen sensores difusos, que detectan objetos en función de su superficie, color y material. Estos sensores se ubican en varios puntos de las cuatro bandas transportadoras y se les ha denominado: **SEN\_INICIO**, **SEN\_INGIRAR**, **SEN\_FRENTE**, **SEN\_DERECHA**, **SEN\_IZQUIERDA**. Y otros sensores ubicados en las salidas de las cajas denominados: **SEN\_FRE\_FIN**, **SEN\_DER\_FIN**, **SEN\_IZQ\_FIN**.

Entre otros elementos que no se ha nombrado anteriormente se especifica en la tabla 3 con más detalle e información. Indicando las entradas y salidas que tiene el sistema y su direccionamiento respecto al PLC.

**Tabla 3**

*Entradas y salidas del sistema*

Símbolo	Dirección	Descripción	Tipo
SEN_INICIO	I10.0	Sensor ubicado al inicio de la banda transportadora denominada BAND_INICIAL	Entrada Digital
SEN_INGIRAR	I10.1	Sensor ubicado antes del motor giratorio	
SEN_FRENTE	I10.2	Sensor ubicado al inicio de la banda transportadora denominada BAND_FRENTE	
SEN_IZQUIERDA	I10.3	Sensor ubicado al inicio de la banda transportadora denominada BAND_IZQUIERDA	
SEN_DERECHA	I10.4	Sensor ubicado al inicio de la banda transportadora denominada BAND_DERECHA	

SEN_FRE_FIN	I10.5	Sensor ubicado en la salida de la banda transportadora BAND_FRENTE	
SEN_IZQ_FIN	I10.6	Sensor ubicado en la salida de la banda transportadora BAND_IZQ	
SEN_DER_FIN	I10.7	Sensor ubicado en la salida de la banda transportadora BAND_DER	
EMERGENCIA	I11.0	Pulsador NA para poner el sistema en estado de emergencia	
INICIO	I11.1	Pulsador NA para poner el sistema en arranque	
PARO	I11.2	Pulsador NA para poner el sistema en pausa determinada.	
TERMINAR	I11.3	Pulsador NA para reestablecer el sistema después de un estado de emergencia	
AUTOMÁTICO	I11.4	PULSADOR NA para poner el sistema en modo automático	
MANUAL	I11.5	PULSADOR NA para poner el sistema en modo manual	
IZQUIERDA	I11.6	PULSADOR NA para enviar las cajas a la banda izquierda en modo manual	
DERECHA	I11.7	PULSADOR NA para enviar las cajas a la banda derecha en modo manual	
BAND_INICIO	Q10.0	Banda transportadora desde donde salen las cajas	Salida digital

BAND_DER	Q10.1	Banda transportadora de la derecha
BAND_IZQ	Q10.2	Banda transportadora de la izquierda
BAND_FRENTE	Q10.3	Banda transportadora del frente
MOTOR_GIRAR	Q10.4	Motor giratorio direcciona las cajas hacia las diferentes bandas transportadoras de destino.
ROD_DER	Q10.5	Rodillo que gira hacia la derecha
ROD_IZQ	Q10.6	Rodillo que gira hacia la derecha
SALIDA_CAJASD	Q10.7	Salida de cajas a la derecha
SALIDA_CAJASF	Q11.0	Salida de cajas al frente
SALIDA_CAJASI	Q11.1	Salida de cajas a la izquierda
L_EMER	Q11.2	Luz de emergencia
L_INICIO	Q11.3	Luz de arranque del sistema
L_PARE	Q11.4	Luz de paro en estado determinado del sistema
L_MANUAL	Q11.5	Luz de modo manual del sistema
L_AUTOMATICO	Q11.6	Luz de modo automático del sistema
ENTRADA_CAJAS	Q11.7	Entrada de cajas

En la configuración de drivers en Factory IO, se selecciona la opción **Siemens S7 – PLCSIM**, ya que no se cuenta con el PLC físico. Una vez seleccionado el driver indicado se puede observar en la configuración del PLCSIM, las entradas y salidas.

**Figura 22**

*Configuración de entradas y salidas en PLCSIM de Factory IO*

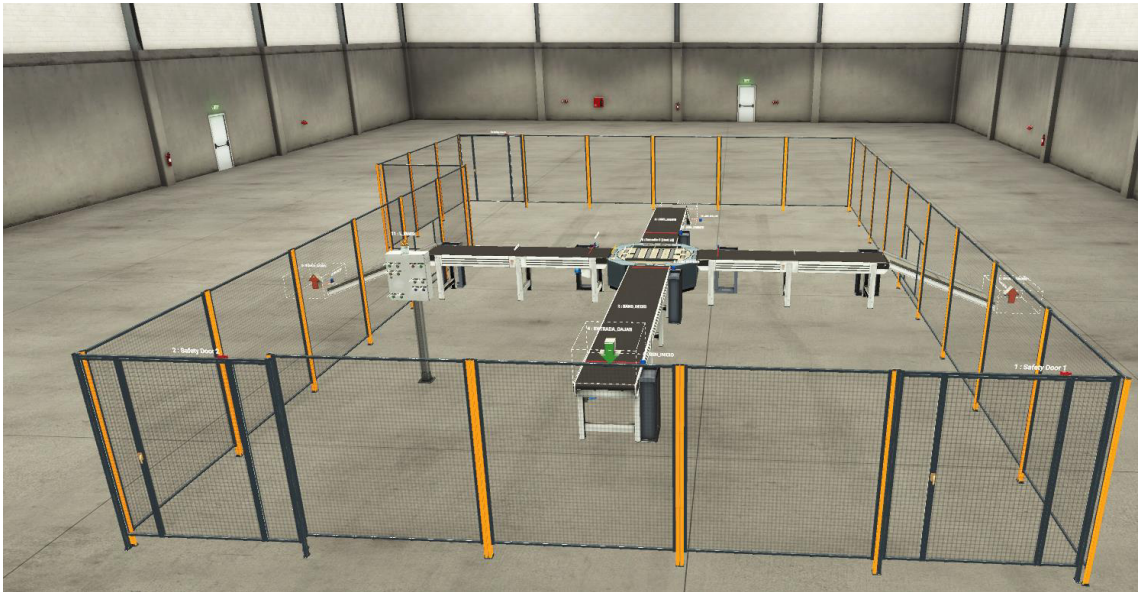
SEN_INICIO	%I10.0	%Q10.0	BAND_INICIO
SEN_INGIRAR	%I10.1	%Q10.1	BAND_DER
SEN_FRENTE	%I10.2	%Q10.2	BAND_IJZQ
SEN_IZQUIERDA	%I10.3	%Q10.3	BAND_FRENTE
SEN_DERECHA	%I10.4	%Q10.4	MOTOR_GIRAR
SEN_FRE_FIN	%I10.5	%Q10.5	ROD_DER
SEN_IJZQ_FIN	%I10.6	%Q10.6	ROD_IJZQ
SEN_DER_FIN	%I10.7	%Q10.7	SALIDA_CAJASD
EMERGENCIA	%I11.0	%Q11.0	SALIDA_CAJASF
INICIO	%I11.1	%Q11.1	SALIDA_CAJASI
PARO	%I11.2	%Q11.2	L_EMER
TERMINAR	%I11.3	%Q11.3	L_INICIO
AUTOMATICO	%I11.4	%Q11.4	L_PARE
MANUAL	%I11.5	%Q11.5	L_MANUAL
IZQUIERDA	%I11.6	%Q11.6	L_AUTOMATICO
DERECHA	%I11.7	%Q11.7	ENTRADA_CAJAS
	%ID30	%QD30	
	%ID34	%QD34	
	%ID38	%QD38	
	%ID42	%QD42	
	%ID46	%QD46	
	%ID50	%QD50	
	%ID54	%QD54	
	%ID58	%QD58	

La fábrica en 3D totalmente diseñada se encuentra cercada con mallas, para simular la restricción en el acceso a personas no autorizadas a la fábrica. El panel de control permite la operación de todo el sistema de la fábrica en modo automático o manual. Así como poner el sistema en un estado de emergencia para simular un estado anormal en la fábrica.



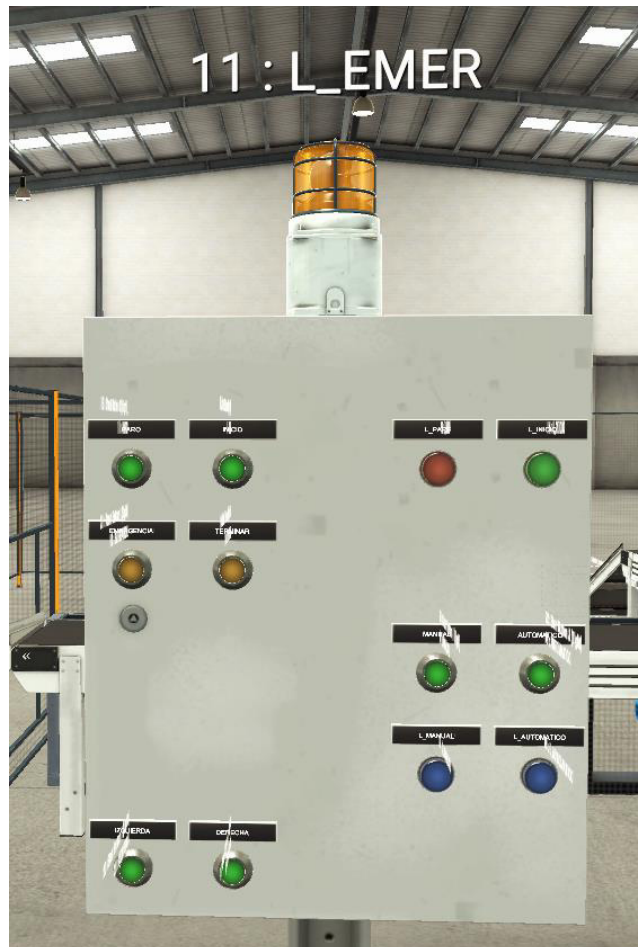
**Figura 23**

*Fábrica en 3D versión final*



**Figura 24**

*Panel de Control en la fábrica en 3D*



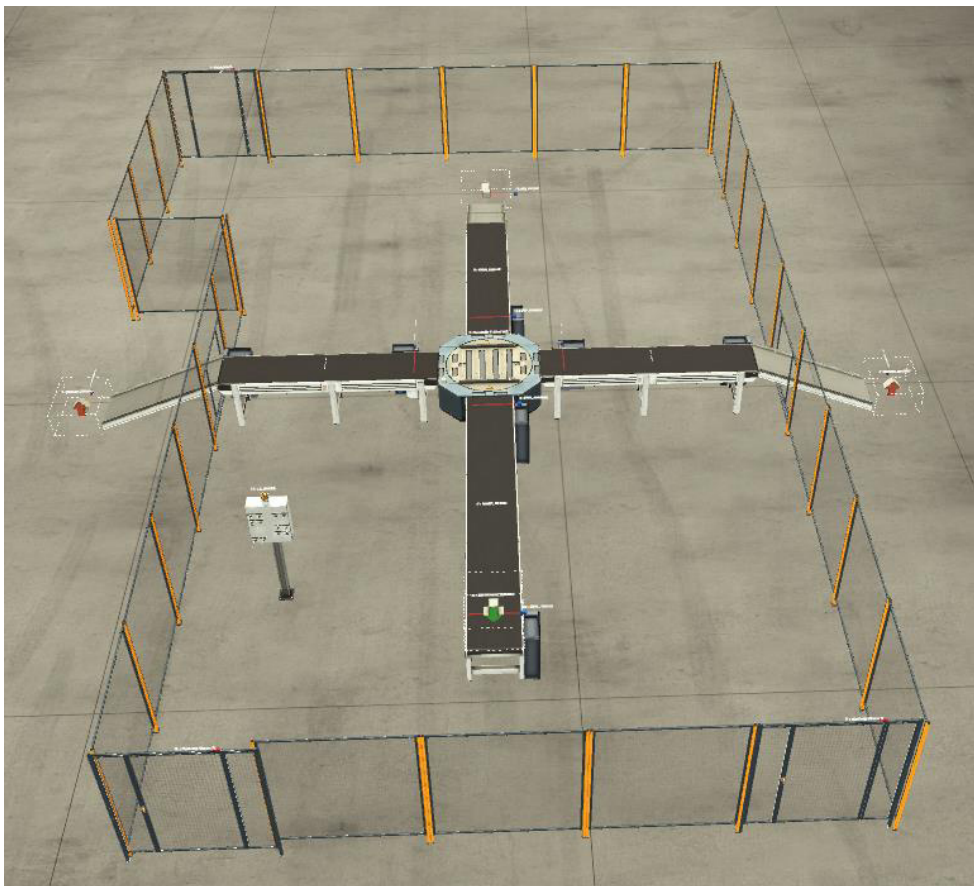
**Figura 25**

*Vista Frontal de la fábrica en 3D*



**Figura 26**

*Vista Aérea de la Fábrica en 3D*



### 2.2.2 Diseño de GRAFCET ESTRUCTURADO DE LA FÁBRICA 3D

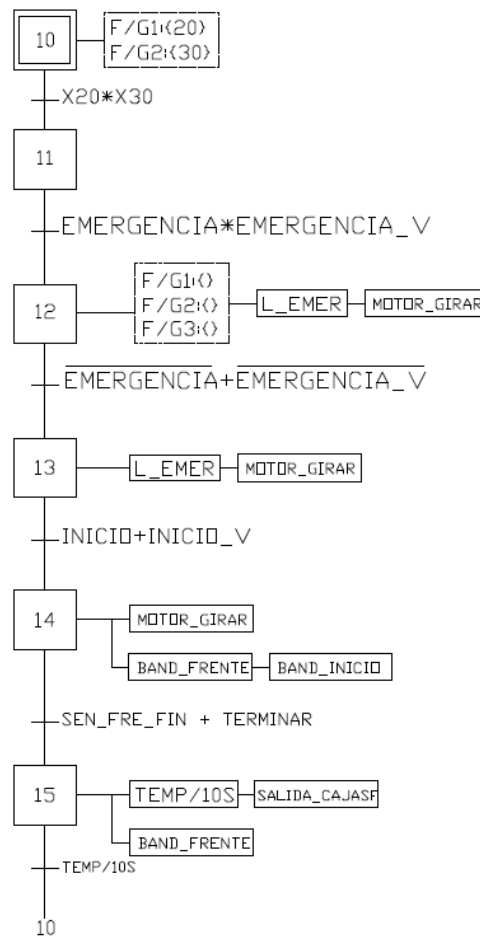
La fábrica 3D diseñada en este trabajo tiene por objetivo la clasificación de cajas en tres lugares de destino, simulando estados reales de funcionamiento como es el modo automático y manual, o el estado de emergencia y paro determinado. Para facilitar el diseño automatizado de la fábrica se hace uso de GRAFCET ESTRUCTURADO (Burgos, Alvarez, Iriondo, & Sarachaga, 2020). Teniendo cuatro GRAFCET diferentes:

**GRAFCET DE SEGURIDAD (G0):** Este GRAFCET es el de mayor predominio sobre los demás GRAFCET. Desde este GRAFCET se configura el estado de emergencia para simular una situación de anomalía en la fábrica. Si el estado de Emergencia se activa todos los demás GRAFCET dejan de funcionar sea el estado en el que se encuentren.

**Figura 27**

*GRAFCET de Seguridad (G0)*

GRAFCET DE SEGURIDAD (G0)



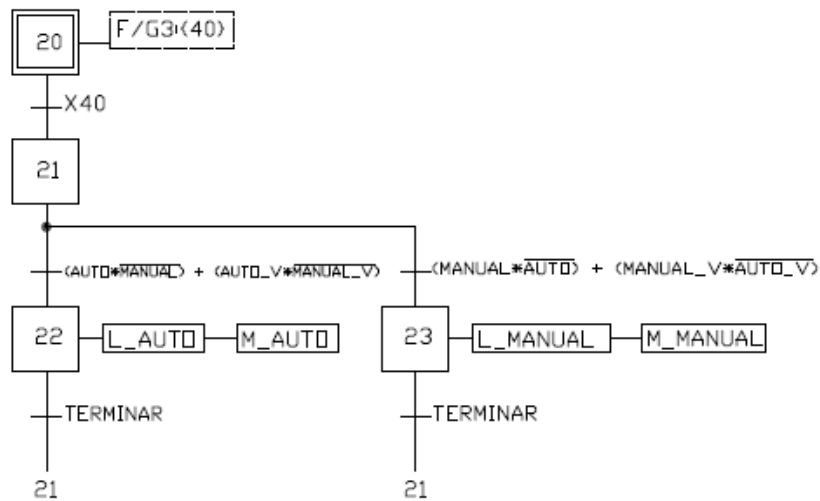
**GRAFCET DE MODOS DE MARCHA (G1):** En el GRAFCET modos de marcha se presentan el modo manual y automático. Cuando el operario selecciona el modo manual puede seleccionar

si las cajas van a la salida de la derecha o de la izquierda. Mientras que si el sistema se encuentra en modo automático las cajas irán por la salida de frente.

**Figura 28**

*GRAF CET de modos de marcha (G1)*

GRAF CET DE MODOS DE MARCHA (G1)

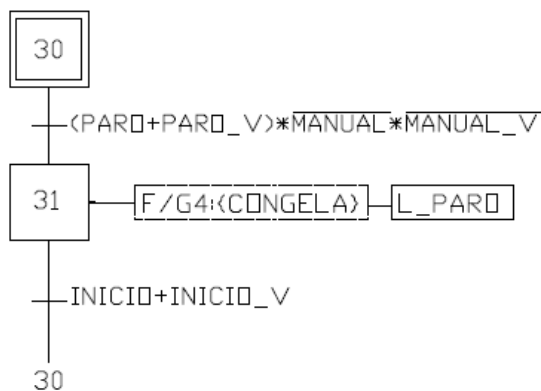


*GRAF CET DE PARO DE ESTADO DETERMINADO (G2):* En este GRAFCET se encuentra la lógica para detener el proceso momentáneamente y ponerlo en marcha una vez el operario lo accione, desde el estado en que se encontró antes de ponerlo en pausa. Es importante mencionar que para poner al sistema en paro determinado, debe de encontrarse configurado en el modo automático, ya que en el modo manual el operario es quien tiene el control total del sistema.

**Figura 29**

*GRAF CET DE PARO DE ESTADO DETERMINADO*

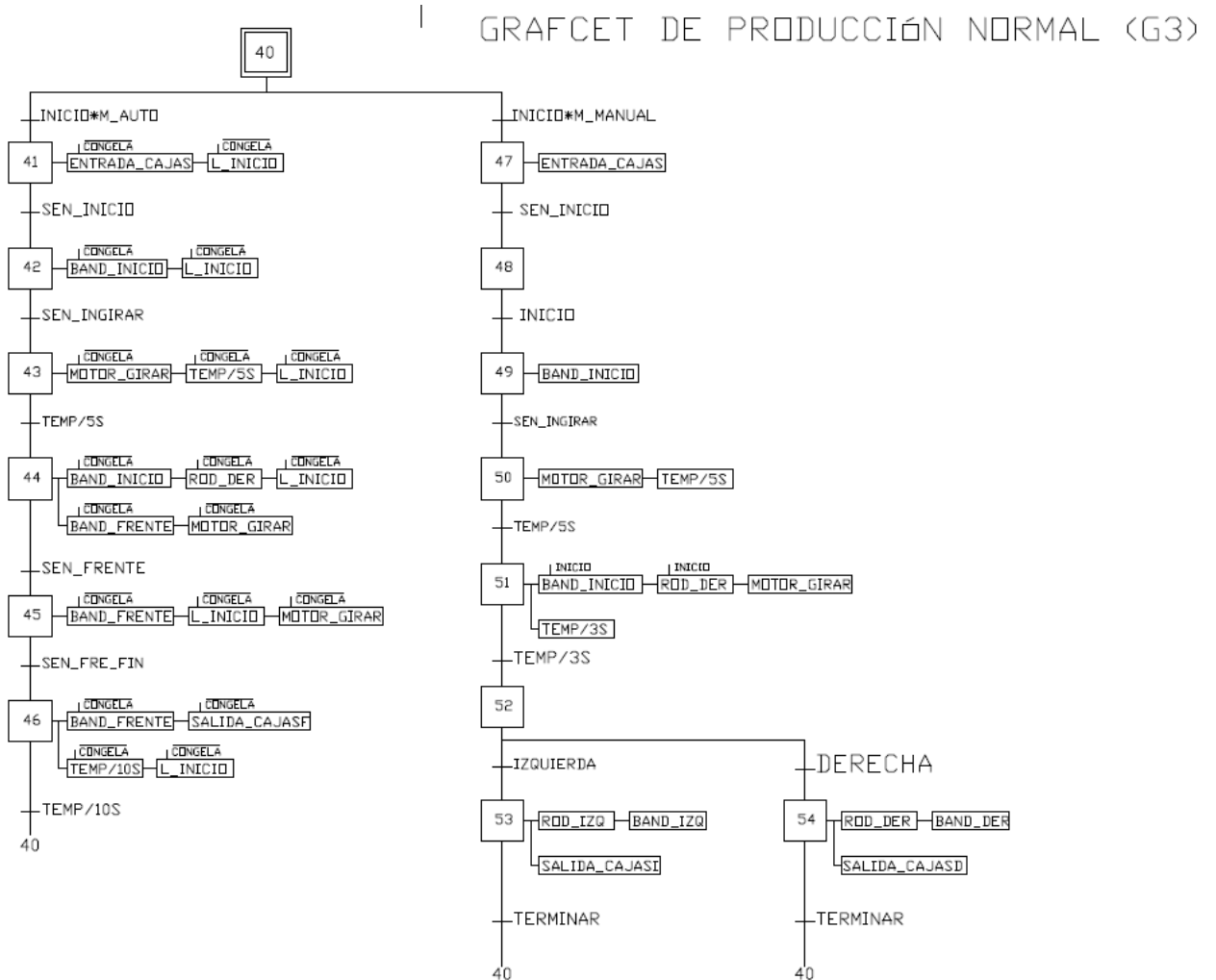
GRAF CET DE PARO DE ESTADO DETERMINADO (G2)



**GRAFSET DE PRODUCCIÓN (G3):** En el GRAFCET de producción se encuentra toda la lógica del proceso tanto para el modo manual y automático. Es aquí donde se muestra la información de activación y desactivación de actuadores en cada etapa, considerando las condiciones que permiten la transición de una etapa a otra.

**Figura 30**

*GRAFSET de producción (G3)*

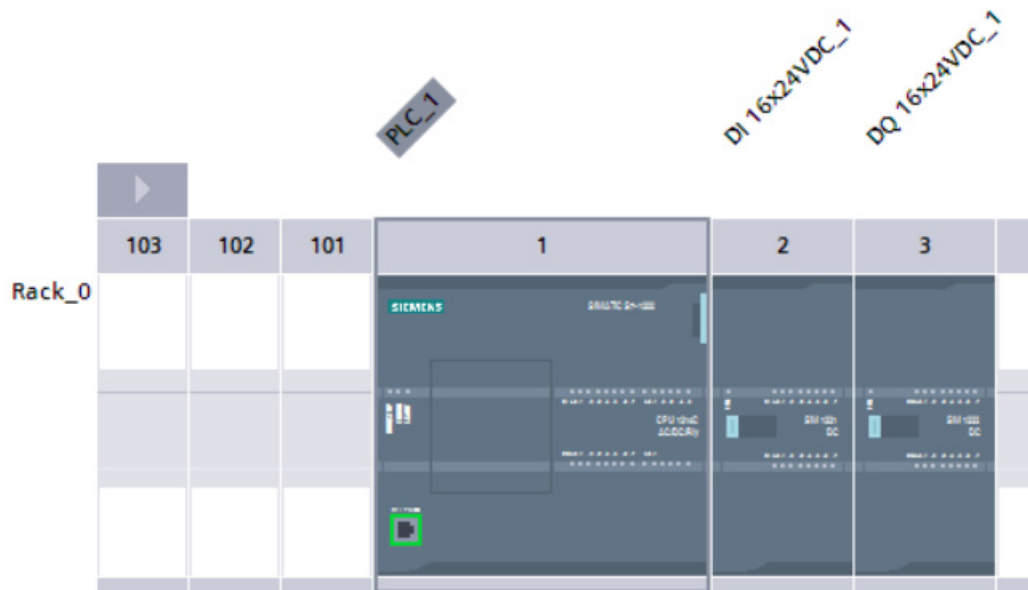


### 2.2.3 Programación del PLC en TIA PORTAL

Antes de empezar a programar en lenguaje LADDER es importante seleccionar el PLC con el que se va a trabajar y de ser necesario agregar algún módulo adicional. Para el caso se trabaja con el PLC **S7 – 1200** y dos módulos para entrada y salida de 16 direcciones (Siemens, 2023).

**Figura 31**

*PLC S7 - 1200 y módulos de E/S*



Cada entrada y salida debe ser relacionada con una dirección en el PLC. Estas direcciones deben coincidir con las que se configuran previamente en el software Factory IO.

**Figura 32**

*Direccionamiento de entradas de PLC en TIA PORTAL*

ENTRADAS			
	Nombre	Tipo de datos	Dirección
1	SEN_INICIO	Bool	%I0.0
2	SEN_INGIRAR	Bool	%I0.1
3	SEN_FRENTE	Bool	%I0.2
4	SEN_IZQUIERDA	Bool	%I0.3
5	SEN_DERECHA	Bool	%I0.4
6	SEN_FRE_FIN	Bool	%I0.5
7	SEN_IZQ_FIN	Bool	%I0.6
8	SEN_DER_FIN	Bool	%I0.7
9	EMERGENCIA	Bool	%I1.0
10	INICIO	Bool	%I1.1
11	PARO	Bool	%I1.2
12	TERMINAR	Bool	%I1.3
13	AUTOMATICO	Bool	%I1.4
14	MANUAL	Bool	%I1.5
15	IZQUIERDA	Bool	%I1.6
16	DERECHA	Bool	%I1.7

**Figura 33**

*Direccionamiento de salidas de PLC en TIA PORTAL*

SALIDAS				
	Nombre	Tipo de datos	Dirección	
1	BAND_INICIO	Bool	%Q10.0	
2	BAND_DER	Bool	%Q10.1	
3	BAND_IZQ	Bool	%Q10.2	
4	BAND_FRENTE	Bool	%Q10.3	
5	MOTOR_GIRAR	Bool	%Q10.4	
6	ROD_DER	Bool	%Q10.5	
7	ROD_IZQ	Bool	%Q10.6	
8	SALIDA_CAJASD	Bool	%Q10.7	
9	SALIDA_CAJASF	Bool	%Q11.0	
10	SALIDA_CAJASI	Bool	%Q11.1	
11	L_EMER	Bool	%Q11.2	
12	L_INICIO	Bool	%Q11.3	
13	L_PARO	Bool	%Q11.4	
14	L_MANUAL	Bool	%Q11.5	
15	L_AUTOMATICO	Bool	%Q11.6	
16	ENTRADA_CAJAS	Bool	%Q11.7	

TIA PORTAL permite tanto la programación con GRAFCET NORMAL como con GRAFCET ESTRUCTURADO. Para este ultimo se pueden utilizar dentro de los bloques de programa, los diferentes tipos de bloques que cumplen funciones específicas. Un bloque de organización que prioriza la ejecución de otros tipos de bloques, entre ellos el template para la conexión de TIA PORTAL con Factory IO, y los bloques de función que representan cada uno de los GRAFCET diseñados.

**Figura 34**

*Bloques de programa en TIA PORTAL*

▼ Bloques de programa
✦ Agregar nuevo bloque
Main [OB1]
ACCIONES [FC5]
MHJ-PLC-Lab-Function-571200 [FC9000]
MODOS_MARCHA_G1 [FC2]
PARO_DETERMINADO_G2 [FC3]
PRODUCCION_G3 [FC4]
SEGURIDAD_G0 [FC1]

### 2.2.4 Panel de control y HMI

Una vez que se ha programado en lenguaje LADDER y se encuentra configurado la escena de fábrica 3D en Factory IO, se configura la interfaz Hombre – Maquina (HMI). Considerando que las variables de entrada en el HMI son variables virtuales y hacen referencia a direcciones de memoria, mientras que las variables del panel de control son físicas y apuntan a direcciones de entrada y salida (E/S) físicas.

**Figura 35**

*Entradas y salidas físicas - Panel de control*

9		EMERGENCIA	Bool	%I11.0
10		INICIO	Bool	%I11.1
11		PARO	Bool	%I11.2
12		TERMINAR	Bool	%I11.3
13		AUTOMATICO	Bool	%I11.4
14		MANUAL	Bool	%I11.5
15		IZQUIERDA	Bool	%I11.6
16		DERECHA	Bool	%I11.7

**Figura 36**

*Entradas y salidas virtuales - HMI*

17		EMERGENCIA_V	Bool	%M20.0
18		INICIO_V	Bool	%M20.1
19		PARO_V	Bool	%M20.2
20		TERMINAR_V	Bool	%M20.3
21		AUTOMATICO_V	Bool	%M20.4
22		MANUAL_V	Bool	%M20.5
23		IZQUIERDA_V	Bool	%M20.6
24		DERECHA_V	Bool	%M20.7

El operador puede operar tanto desde el panel de control como desde la HMI. Considerando que si opera desde la HMI el tiempo de latencia es mayor debido a la comunicación entre el TIA PORTAL y Factory IO. Mientras que si el operador trabaja desde el panel de control el tiempo de latencia será menor debido a que la operación se lleva a cabo con variables físicas.



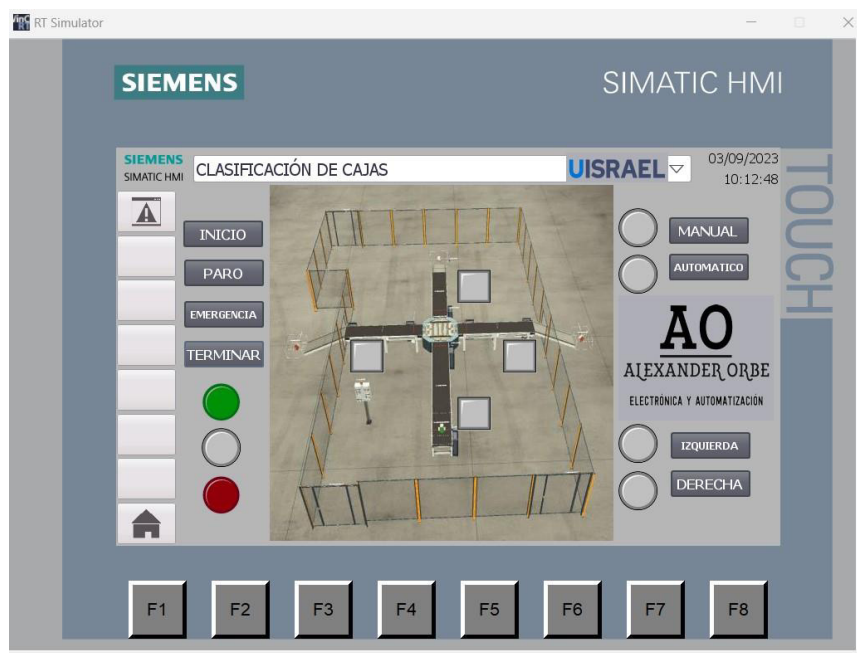
**Figura 37**

*Panel de Operador*



**Figura 38**

*Interfaz Hombre - Máquina (HMI)*



### 2.3 Validación de la propuesta

El proyecto se valida con expertos en el manejo y gestión de sistemas SCADA, concedores y especialistas de la integración de interfaces Hombre – Máquina y programación con PLC.

#### Perfil de validadores

El perfil de los validadores se adapta conforme las características y temática del presente proyecto, a continuación, se muestra un poco el perfil de cada validador.

**Tabla 4**

*Descripción de perfil de validadores*

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Luis Laurentino Chiza Segovia	3 años	Ing. En Electrónica y Control.  Magíster en Electricidad mención en redes eléctricas inteligentes	Analista Nacional de servicios en tiempo real 2  CENACE
José Carlos Enríquez Quelal	8 años	Ingeniero Eléctrico.  Magíster en Electricidad mención en Sistemas Eléctricos de Potencia.	Analista Nacional de servicios en tiempo real 2  CENACE
David Fernando Orbea León	2 años	Ingeniero Eléctrico	Analista Nacional de servicios en tiempo real 2  CENACE

### Criterios de evaluación

Los criterios de evaluación permiten medir el estado de aceptación del proyecto frente a agentes externos. En la tabla 5 se pueden observar cuales son estos criterios.

**Tabla 5**

*Criterios de evaluación*

Criterios	Descripción
Impacto	Representa el alcance que tendrá el modelo de gestión y su representatividad en la generación de valor público.
Aplicabilidad	La capacidad de implementación del modelo considerando que los contenidos de la propuesta sean aplicables
Conceptualización	Los componentes de la propuesta tienen como base conceptos y teorías propias de la gestión por resultados de manera sistémica y articulada.
Actualidad	Los contenidos de la propuesta consideran los procedimientos actuales y los cambios científicos y tecnológicos que se producen en la nueva gestión pública.
Calidad Técnica	Miden los atributos cualitativos del contenido de la propuesta.
Factibilidad	Nivel de utilización del modelo propuesto por parte de la Entidad.
Pertinencia	Los contenidos de la propuesta son conducentes, concernientes y convenientes para solucionar el problema planteado.

(Albarracín Guarochico)

### Resultados de la validación

En base a los criterios de evaluación cada validador evalúa el proyecto y se presentan los resultados en las tablas siguientes.

**Tabla 6**

*Validación del Ing. Luis Laurentino Chiza Segovia. Msc*

CRITERIOS	EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente Acuerdo
Impacto				X	
Aplicabilidad					X
Conceptualización					X

Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia				X	

**Tabla 7**

*Validación del Ing. José Carlos Enríquez Quelal. Msc.*

CRITERIOS	EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente Acuerdo
Impacto				X	
Aplicabilidad				X	
Conceptualización					X
Actualidad					X
Calidad Técnica				X	
Factibilidad				X	
Pertinencia					X

**Tabla 8**

*Validación del Ing. David Fernando Orbea León*

CRITERIOS	EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente Acuerdo
Impacto					X
Aplicabilidad					X
Conceptualización					X
Actualidad					X

<b>Calidad Técnica</b>					X
<b>Factibilidad</b>					X
<b>Pertinencia</b>					X

## 2.4 Matriz de articulación

En la matriz de articulación se resume el proyecto final y sus componentes funcionales con los debidos soportes teóricos, metodológicos, estratégicos-técnicos y tecnológicos que se han adoptado.

**Tabla 9**

*Matriz de articulación*

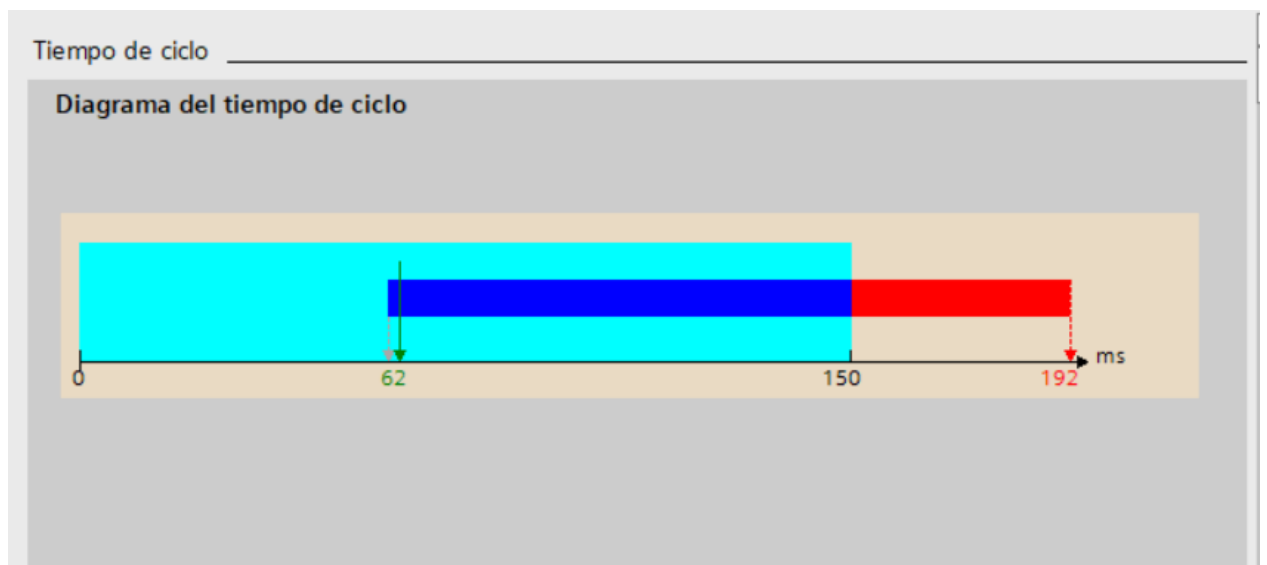
Ejes o partes principales del proyecto	Breve descripción de los resultados de cada parte	Sustento teórico que se aplicó en la construcción del proyecto	Metodologías, herramientas técnicas y tecnológicas que se emplearon
1 Definición: de los dispositivos PLC, sensores y actuadores.	1.1 Comparación entre tipos de PLC 1.2 Sensores y actuadores utilizados	Instrumentación Industrial. Teoría de PLCs	Fuentes Bibliográficas Estado del Arte
2 Diseño: de ambiente 3D para fábrica de simulación	2.1 Selección de elementos secundarios para la escena en Factory IO 2.2 Identificación de elementos en la zona donde deben instalarse 2.3 Configuración de drivers en Factory IO	Manejo y configuración de Factory IO. Conocimiento de entornos virtuales en 3D.	Uso de herramientas virtuales aplicadas a realidad aumentada y virtual.
3 Diseño: de GRAFCET estructurado para el sistema de automatización y posterior programación en lenguaje LADDER.	3.1 GRAFCET de propósito específico para cada estado del sistema. 3.2 Programación LADDER en TIA PORTAL	Protocolos de comunicación. Programación de PLCs Diseño de GRAFCET ESTRUCTURADO	Fuentes Bibliográficas

## 2.5 Análisis de resultados

En el análisis de resultados se considera el consumo de memoria y el tiempo de ciclo del proceso del PLC. El tiempo de ciclo es el tiempo desde que la CPU procesa el programa cíclico hasta que llega a actualizar la memoria imagen del proceso de los puertos de entrada y salida, y todos los actores involucrados que interrumpen cada ciclo, incluyendo las actividades en segundo plano del sistema y las partes del programa.

**Figura 39**

*Tiempo del ciclo del CPU del PLC*



Según la figura anterior se puede establecer los parámetros de la tabla #:

**Tabla 10**

*Parámetros medidos de tiempo de ciclo*

<b>Tiempos de ciclo medidos</b>	
Tiempo de ciclo más corto	60 ms
Tiempo de ciclo actual/último	63 ms
Tiempo de ciclo más largo	192 ms

En cuanto a la memoria del PLC, se analiza las tres memorias: memoria de carga, de trabajo y la remanente.

*La memoria de carga* básicamente es el área de memoria donde se guarda el programa en LADDER u otro lenguaje de programación y se ejecuta desde aquí. Lo importante de esta

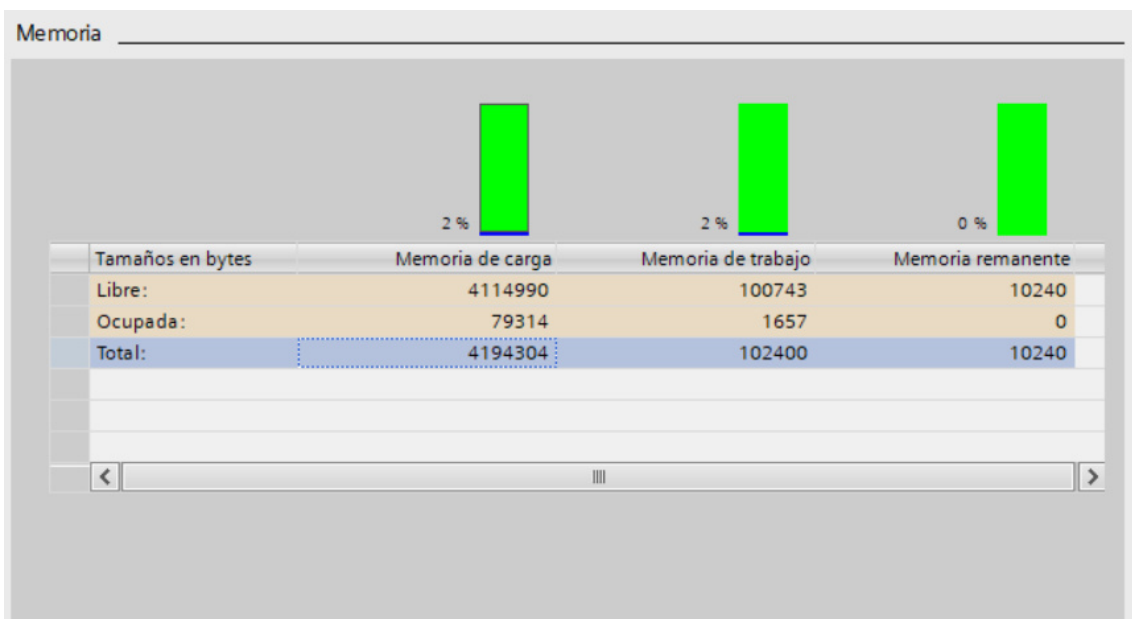
memoria es que la información se queda guardada allí, así se haya quitado la alimentación del PLC.

La memoria de trabajo sirve de soporte de la memoria de carga, es aquí donde se almacenan datos necesarios para la ejecución del programa. En cuanto al comportamiento de esta memoria se comporta como una memoria RAM ya que si se desconecta la alimentación se pierden los datos de esta área de memoria.

La memoria remanente es un área de memoria auxiliar para almacenar datos de respaldo.

**Figura 40**

*Consumo de memoria del PLC*



**Figura 41**

*Consumo de memoria del CPU del PC local*

Nombre	Estado	21% CPU	79% Memoria	3% Disco	0% Red
>  Siemens.Automation.PortaI (6)		19,7%	1.482,9 MB	0 MB/s	0 Mbps
>  Factory IO (32 bits)		1,1%	85,6 MB	0 MB/s	0 Mbps
System		0,2%	0,1 MB	0,1 MB/s	0 Mbps



## CONCLUSIONES

- Cuando se crea una escena de fábrica en 3D se debe conocer a priori los elementos que se van a utilizar tal y como se fuera a implementar con una fábrica real. En Factory IO se cuentan con varios elementos del entorno real que deben ser configurados correctamente. Esto es, el lugar y posición exacta para que cumplan con la función que están destinados a realizar. Para el caso de los sensores es necesario colocar tanto al inicio como al final de cada banda transportadora para que la lógica de automatización sea más precisa.
- La elección de un GRAFCET normal o un GRAFCET ESTRUCTURADO depende de las condiciones de diseño que se requieran dar al sistema de automatización. Si existen varios procesos que se requieran diseñar, el concepto es divide y vencerás utilizando varios GRAFCET jerarquizados. Por lo cual es más fácil y ordenado la utilización de un GRAFCET ESTRUCTURADO que permita tener un sistema automatizado robusto.
- El diagrama esquemático es importante en un proyecto de automatización, ya que permite ver las conexiones físicas y simuladas del PLC con sus entradas y salidas. Y con esto determinar si es suficiente los recursos con los que se cuenta o es necesario aumentar módulos adicionales. Se puede concluir que con el diagrama esquemático se facilita la identificación de cada elemento.
- La programación en lenguaje LADDER se facilita con el diseño del diagrama GRAFCET, siguiendo el camino de que se encuentra en cada etapa del proceso y las transiciones que marcan el cambio de un estado a otro.
- El sistema automatizado puede ser controlado en forma remota desde una interfaz Hombre – Máquina (HMI) o desde el tablero de control presente en la fábrica mismo. Considerando que debido a la comunicación que se debe realizar entre el TIA PORTAL y EL FACTORY IO, la latencia es más alta para cuando se trabaja con HMI.

## RECOMENDACIONES

- Para la creación de una escena de fábrica en 3D desde cero, es importante que se conozca perfectamente el manejo de las herramientas de Factory IO, como también de la teoría de instrumentación industrial para saber seleccionar en el lugar y posición correcta los respectivos elementos de un sistema automatizado.
- El diseño de un GRAFCET normal o GRAFCET ESTRUCTURADO requiere conocer de ciertas reglas y normas que están permitidas y cuales representan un error en GRAFCET. Por tal motivo es aconsejable que antes de empezar a diseñar en GRAFCET

se conozcan muy bien estas reglas.

- En el diagrama esquemático se suelen cometer errores en las conexiones entre terminales del PLC y dispositivos, así como con las fuentes de alimentación y conexión a tierra. Por lo cual es recomendable revisar la hoja de datos del PLC con el que se trabajará para poder realizar correctamente el diagrama esquemático.
- En la programación en lenguaje LADDER es muy común cometer errores como agregar varias bobinas de salida a un mismo actuador, por lo cual es recomendable revisar todas las conexiones que tiene una misma salida y programarlas en un solo lugar de la hoja de trabajo de programación.
- Cuando se crean dos puntos desde donde se controlará el sistema automatizado es importante que en las entradas no se direccionen esas variables al mismo lugar. Sino que en el caso de las entradas que serán manipuladas desde el HMI, apunten a direcciones de memoria no físicas.

## BIBLIOGRAFÍA

*¿Qué es PLC y su clasificación?* (17 de mayo de 2018). Obtenido de <http://www.tkeme.com/info/what-is-plc-and-its-classification-26150353.html>

Albarracín Guarochico, W. (s.f.). Escala de evaluación. UISRAEL.

Álvarez Pulido, M. (2004). *Controladores Lógicos*. Marcobombo.

Arias Polanco, J. (2019). *Análisis comparativo de los lenguajes de programación de PLC definidos en la norma IEC 61131-3*. Pereira - Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.

Autycom. (17 de abril de 2023). *¿Para qué sirve un PLC?* Obtenido de <https://www.autycom.com/para-que-sirve-un-plc/>

Basco, A., Beliz, G., Coatz, D., & Garnero, P. (2018). *Industria 4.0 Fabricando el futuro*. Buenos Aires: Banco Internacional de Desarrollo.

Bernal Torres, C. (2010). *Metodología de la Investigación administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. Pearson.

Burgos, A., Alvarez, M., Iriondo, N., & Sarachaga, I. (2020). Metodología para la transformación de diseños en GRAFCET a código IEC 61131-3. *Scielo*, 14.

Cóndor Chuqui, D. (2019). *AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL MEDIANTE UN PLC, INTERFACE HMI Y CONTROL REMOTO DESDE DISPOSITIVOS MÓVILES*. Universidad Tecnológica Israel.

Contreras Jodra, T. (2021). *Aprendizaje de programación de PLCs con simulaciones en Factory IO*. Universidad de Jaén.

Díaz-Garay, B., Noriega-Araníbar, M., & Ruiz-Ruiz, M. (2021). Experiencias y desafíos en la formación de ingenieros durante la pandemia de la covid-19. *Scielo*, 13(2), 17. doi:10.21142/DES-1302-2021-0019

Domingo, J., & Segura, J. (2018). Revisión histórica de los PLC, en el 50 aniversario. *Técnica Industrial*, 5.

Gil Aparicio, A. (2017). *Automatas Programables - Diseño estructurado de sistemas de control*.

Giménez Delgado, G. (2021). *Automatización de una línea de montaje mediante Tia Portal y virtualización con Factory IO*. Universidad Politécnica de Valencia.

Marín-Díaz, V., Sampedro Requena, B., & Vega Gea, E. (2022). La realidad virtual y aumentada en el aula de secundaria. *Campus Virtuales*, 12.

Pérez Olcina, J. (2021). *Diseño, control y simulación de una línea de almacenamiento de vacunas automatizada con TIA Portal, PLCsim y Factory I/O*. Universidad Politécnica de Valencia.

Real Games. (2006 - 2023). *Factory IO*. Obtenido de <https://docs.factoryio.com/>

Rosero Yugsi. (2009). *LENGUAJES DE PROGRAMACION DE PLC'S*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

Salazar Jácome , E., Sánchez Ocaña , W., De la Torre Guzmán , J., & Aguas Bucheli , L. (2022). Automatización de un proceso industrial virtual de ensamblaje utilizando Factory IO. *Risti - Ulsrael - ESPE*(55), 13.

San Segundo, P. (2020). *INTRODUCCIÓN AL MODELADO GRAFCET*. Universidad Politécnica de Madrid.

*Schneider Electric*. (2019). Obtenido de Lenguaje de diagrama de bloques de funciones (FBD): [https://product-help.schneider-electric.com/Machine%20Expert/V1.1/es/SoMProg/SoMProg/FBD\\_LD\\_IL\\_Editor/FBD\\_LD\\_IL\\_Editor-4.htm](https://product-help.schneider-electric.com/Machine%20Expert/V1.1/es/SoMProg/SoMProg/FBD_LD_IL_Editor/FBD_LD_IL_Editor-4.htm)

Selva Belén, V., & López, J. (25 de septiembre de 2016). *Economipedia*. Obtenido de Revolución Industrial: <https://economipedia.com/definiciones/primer-revolucion-industrial.html>

*Sicma21*. (14 de octubre de 2021). Obtenido de ¿Qué es un PLC y cuándo se usa?: <https://www.sicma21.com/que-es-un-plc/>

*Siemens*. (2023). Obtenido de Simatic S7-1200: <https://www.siemens.com/mx/es/productos/automatizacion/systems/industrial/plc/s7-1200.html>

Vilca Luna, M., & Clavitea Pari, V. (2022). *APLICACIÓN DE ESTACIONES VIRTUALES EN 3D CON FACTORY I/O Y TIA PORTAL PARA LA SIMULACIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL EN TIEMPO REAL*. Universidad Privada de Tacna.

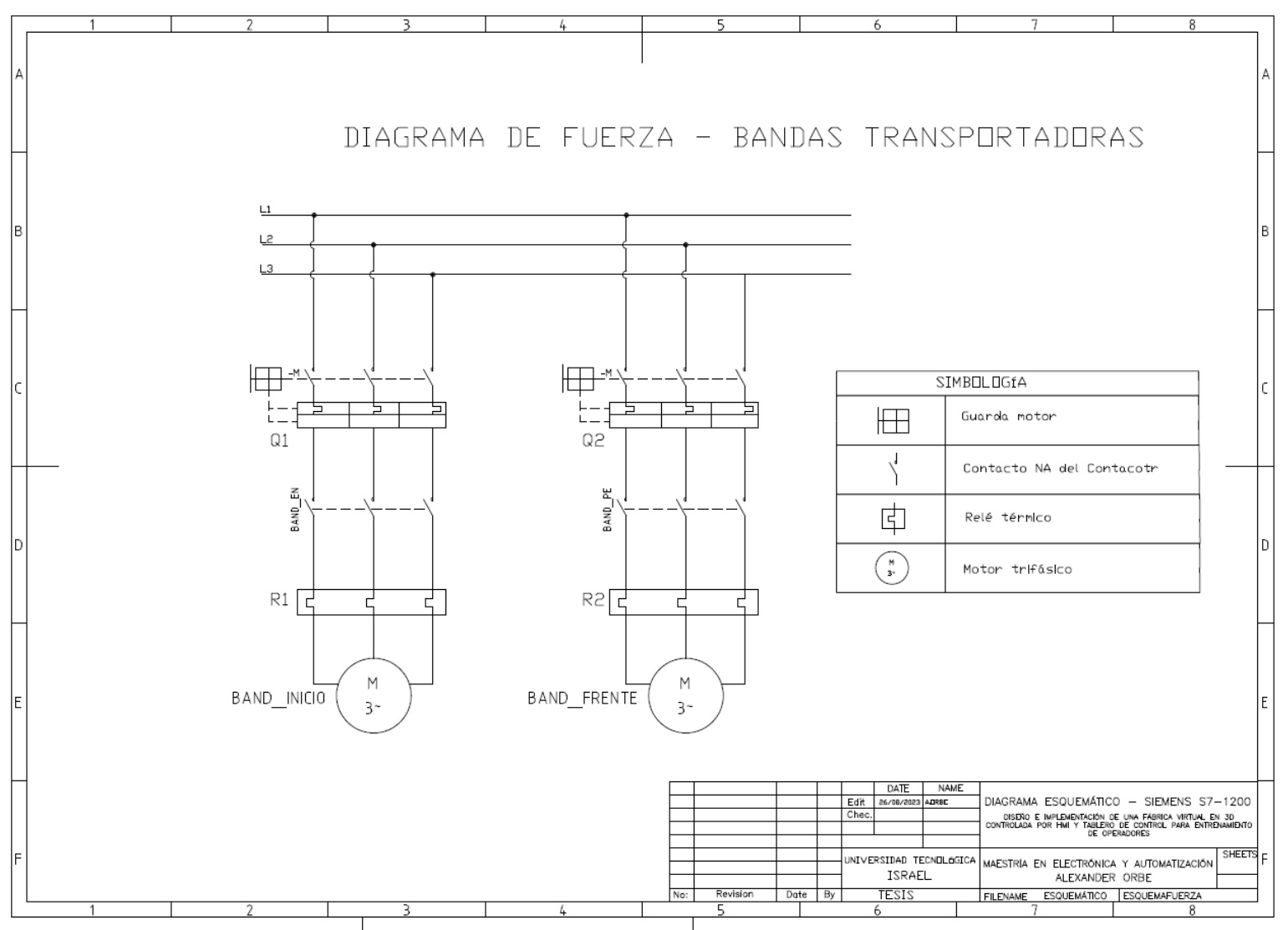






## ANEXO 4

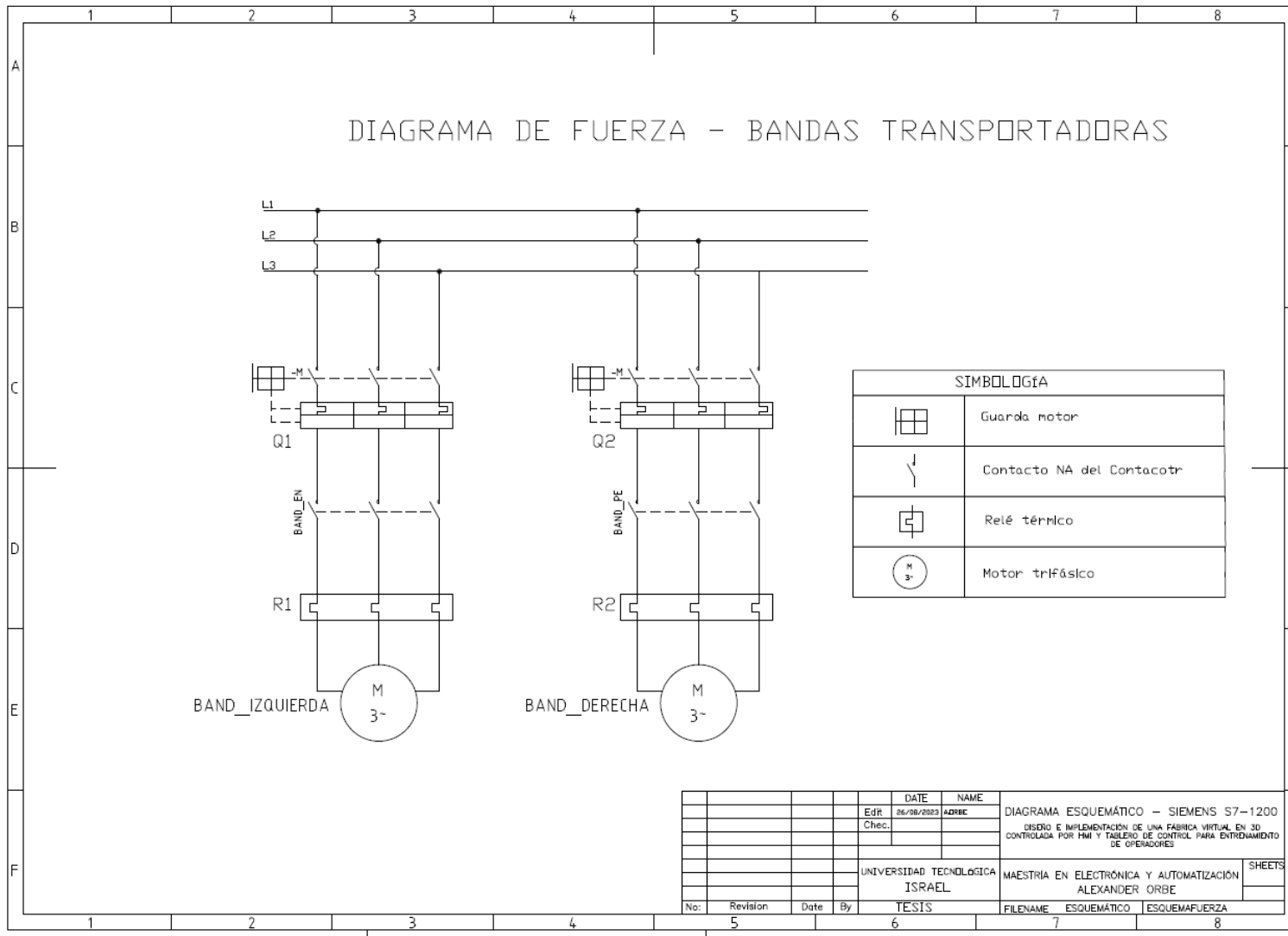
### DIAGRAMA ESQUEMÁTICO – DIAGRAMA DE FUERZA (BANDA INICIO - FRENTE)





## ANEXO 5

### DIAGRAMA ESQUEMÁTICO – DIAGRAMA DE FUERZA (BANDA IZQUIERDA - DERECHA)



## ANEXO 6

### CERTIFICADOS DE VALIDACIÓN DEL PROYECTO



Yo, **Luis Laurentino Chiza Segovia** con C.I **1002994026**, en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA FÁBRICA VIRTUAL EN 3D CONTROLADA POR HMI Y TABLERO DE CONTROL PARA ENTRENAMIENTO DE OPERADORES.**

Elaborado por el Ing. **Edwin Alexander Orbe Cisneros**, con C.I **0401318712**, estudiante de la Maestría en Electrónica y Automatización de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL), como parte de los requisitos para obtener el Título de Magister, me permito declarar haber revisado el proyecto y realizado la evaluación de criterios.

Quito D.M., 29 de agosto de 2023



**Nombres completos del especialista:** Ing. Luis Laurentino Chiza Segovia, Msc.

**C.I:** 1002994026

**Registro SENESCYT:** 1001-2023-2666032



Yo, **José Carlos Enríquez Quelal**, con C.I **1721324497**, en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA FÁBRICA VIRTUAL EN 3D CONTROLADA POR HMI Y TABLERO DE CONTROL PARA ENTRENAMIENTO DE OPERADORES**.

Elaborado por el Ing. **Edwin Alexander Orbe Cisneros**, con C.I **0401318712**, estudiante de la Maestría en Electrónica y Automatización de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL), como parte de los requisitos para obtener el Título de Magister, me permito declarar haber revisado el proyecto y realizado la evaluación de criterios.

Quito D.M., 29 de agosto de 2023



JOSE CARLOS  
ENRIQUEZ QUELAL

**José Carlos Enríquez Quelal**

**1721324497**

**1034-2022-2456280**



Yo, David Fernando Orbea León, con C.I 172436958-0 en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA FÁBRICA VIRTUAL EN 3D CONTROLADA POR HMI Y TABLERO DE CONTROL PARA ENTRENAMIENTO DE OPERADORES.

Elaborado por el Ing. **Edwin Alexander Orbe Cisneros**, con C.I **0401318712**, estudiante de la Maestría en Electrónica y Automatización de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL), como parte de los requisitos para obtener el Título de Magister, me permito declarar haber revisado el proyecto y realizado la evaluación de criterios.

Quito D.M., 29 de agosto de 2023



**David Fernando Orbea León**

**C.I 1724369580**

**1034-2021-227749**