



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL CARRERA DE
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PICK AND PLACE
PARA FRUTILLAS MEDIANTE PROTOCOLO PROFINET Y ROBOT
ABB

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Electrónica

AUTORES: CAMPOVERDE PUYA ANGELO JOHAN

TAMAYO PARRALES JULIAN SAMUEL

TUTOR: Ing. RAFAEL FRANCO REINA, MSc

Guayaquil – Ecuador

2024

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, Angelo Johan Campoverde Puya con documento de identificación N° 0927791798 y Julian Samuel Tamayo PARRALES con documento de identificación N° 0952971182, manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo y autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 10 de marzo del año 2025

Atentamente,



Angelo Johan Campoverde Puya

092779179-8



Julian Samuel Tamayo PARRALES

095297118-2

**CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Angelo Johan Campoverde Puya con documento de identificación N° 0927791798 y Julian Samuel Tamayo Parrales con documento de identificación N°0952971182, manifestamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del

Proyecto Técnico: "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PICK AND PLACE PARA FRUTILLAS MEDIANTE PROTOCOLO PROFINET Y ROBOT ABB", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Electrónica, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 10 de marzo del año 2025

Atentamente,



Angelo Johan Campoverde Puya

092779179-8



Julian Samuel Tamayo Parrales

095297118-2

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Rafael Franco Reina con documento de identificación N°0923328629, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PICK AND PLACE PARA FRUTILLAS MEDIANTE PROTOCOLO PROFINET Y ROBOT ABB", realizado por Balón Campoverde Puya Ángelo Johan con documento de identificación N° 0927791798 y Tamayo Parrales Julián Samuel con documento de identificación N° 0952971182, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 10 de marzo del año 2025

Atentamente,



Ing. Rafael Franco Reina, MSc

—C.I.: 0923328629

DEDICATORIA

Dedicatoria

A mi madre y mi padre, por ser la base de mi vida, por su amor incondicional, sacrificios y enseñanzas que me han guiado hasta este momento.

A mis hermanos, por ser mi soporte, mis aliados en cada desafío y mi refugio en los momentos de dificultad.

A mis tíos, tanto de parte de madre como de padre, por su apoyo constante, palabras de aliento y ejemplo de esfuerzo y dedicación.

A toda mi familia, por ser el motor que me impulsa, el lugar donde siempre encuentro fortaleza y motivación para continuar.

Y, con especial cariño, a los que ya no están físicamente, pero cuyo amor sigue vivo en mi corazón: mi abuelita de parte de mamá y mi abuelito de parte de papá, quienes con su ejemplo y legado siguen iluminando mi camino.

A todos ustedes, esta obra es el reflejo de su amor, confianza y fe en mí.

Angelo Johan Campoverde Puya.

DEDICATORIA

Dedicatoria

A mi madre, por su amor, comprensión y apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, por todos los esfuerzos que ha hecho por mí y su forma de enseñarme acerca de lo valiosa que es la resiliencia.

A mi padre, por darme una perspectiva distinta de la vida, la misma que me ha llevado a ser la persona que soy ahora.

A mi hermana, por ser una gran compañía, por su apoyo, ayuda y respaldo en todos los momentos malos y buenos vividos.

A ustedes, quienes han hecho posible la culminación de esta obra.

Julian Samuel Tamayo Parrales.

AGRADECIMIENTO

Con el corazón lleno de gratitud, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a las personas que han sido fundamentales en mi vida y en la realización de este proyecto.

A mi madre y mi padre, pilares irremplazables de mi existencia, por su amor inagotable, su ejemplo de fortaleza y su confianza en mí. Ustedes me han enseñado que el verdadero éxito radica en la perseverancia, la humildad y el esfuerzo diario. Cada paso que doy está impregnado de las enseñanzas que me han brindado.

A mis hermanos, por ser mis compañeros de vida, mis confidentes y mi apoyo incondicional en cada momento, tanto en las victorias como en las dificultades. Su presencia ha sido un recordatorio constante de que nunca estoy solo en esta travesía.

A mis tíos, de parte de mamá y papá, por sus palabras sabias, su cariño sincero y su apoyo generoso, que siempre han fortalecido mi espíritu. Son un ejemplo de unión y amor familiar que valoro profundamente.

A toda mi familia, que con su amor y compañía han sido mi refugio en los momentos más difíciles y mi motivación en cada desafío. Sus muestras de fe en mí han sido el motor que me ha impulsado a seguir adelante.

Con especial reverencia, quiero dedicar un espacio a aquellos que ya no están físicamente, pero que siempre permanecerán vivos en mi corazón: mi abuelita de parte de mamá y mi abuelito de parte de papá. Su sabiduría, su bondad y los recuerdos que dejaron son una inspiración constante que me guía en cada paso que doy.

A todos ustedes, gracias por ser el sostén de mi vida y por permitirme soñar. Esta obra es tanto mía como suya, un reflejo del amor, el sacrificio y los valores que me han inculcado.

Finalmente, a los docentes que me han guiado y ayudado en todo este camino, un agradecimiento especial a Ing, Franco Reyes, Ing, Enmanuel Torres y el Ing, Geovanny García.

Angelo Campoverde P.

AGRADECIMIENTO

Llegando al apogeo de este camino, no me queda más que agradecer a quienes han sido artífices invisibles de este logro.

A mi madre, pilar fundamental de este proceso, por sus consejos, por su cariño, por enseñarme que todo es posible, que nada está dicho y que jamás hay que decir “no se puede”. Por confiar en mí y animarme a no dejar de estudiar. Su ejemplo es y será la herencia más valiosa que tengo.

A mi padre, que me hizo reconocer y valorar las cosas que de verdad importan, por mostrarme la ambigüedad de esta vida e indirectamente, revelarme que todo anhelo, pese a la oposición, puede hacerse realidad. Gracias a esa forma de ver las cosas hoy llego al final de este proceso.

A mi hermana, que me apoyó, acompañó y alentó a seguir en este camino que hoy llega a su ocaso, por motivarme y preocuparse por mí, por recordarme constantemente lo que yo solía olvidar. Por crear recuerdos conmigo y hacer que los llevemos a donde sea que estemos de ahora en adelante.

Quedo eternamente agradecido, por ser los pilares de mi vida, esta meta alcanzada es el resultado de todo su amor y apoyo. Gracias totales.

Julian Tamayo.

RESUMEN

Este proyecto de titulación se centra en el diseño e implementación de un sistema automatizado "Pick and Place" para la recolección y manipulación de frutillas en el laboratorio CPI Robótica de la Universidad Politécnica Salesiana. El sistema utiliza el robot ABB IRB 360 que funciona con un Gripper neumático, un PLC Siemens y un variador SINAMICS G120X que controla un motor WEG acoplado a una banda transportadora.

Con esto, se detalla la configuración del variador SINAMICS G120X mediante SINAMICS Startdrive, permitiendo el control de la velocidad y torque del motor de la banda transportadora. Asimismo, se realizó la integración del robot ABB IRB 360, asegurando la comunicación con el PLC Siemens y la correcta interacción con el gripper neumático para manipular las frutillas. Reconociendo al sensor de presencia como un factor clave para detectar la llegada de los productos y coordinar las acciones del sistema. Finalmente, se desarrolló la programación del PLC, el robot ABB y la interfaz HMI, garantizando una operación continua del proceso.

De esta manera, se aborda la problemática de la dependencia de la mano de obra en la recolección de frutillas, la cual conlleva riesgos de lesiones para los trabajadores y dificultades para mantener la calidad del producto, también, proporciona a los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana una experiencia práctica en tecnologías de automatización, contribuyendo a la investigación en el ámbito de la automatización académica, creando una base de conocimiento y un entorno de aprendizaje para estudiantes y docentes.

Palabras Clave: Robot ABB IRB 360, Sistema Pick and Place, PLC SIEMENS, SINAMICS G120X, HMI.

ABSTRACT

This thesis project focuses on the design and implementation of an automated Pick and Place system for the collection and handling of strawberries at the CPI Robotics Laboratory of Universidad Politécnica Salesiana. The system utilizes the ABB IRB 360 robot, which operates with a pneumatic gripper, a Siemens PLC, and a SINAMICS G120X variable frequency drive (VFD) controlling a WEG motor coupled to a conveyor belt.

As part of the implementation, the SINAMICS G120X drive was configured using SINAMICS Startdrive, allowing precise control of the speed and torque of the conveyor belt motor. Additionally, the integration of the ABB IRB 360 robot was carried out, ensuring seamless communication with the Siemens PLC and correct interaction with the pneumatic gripper to efficiently handle the strawberries. The presence sensor was identified as a key component for detecting incoming products and coordinating the system's actions. Finally, the programming of the PLC, ABB robot, and HMI interface was developed, ensuring continuous and reliable process operation.

This approach addresses the challenges associated with labour dependency in strawberry harvesting, which poses risks of worker injuries and difficulties in maintaining product quality. Furthermore, it provides students at Universidad Politecnica Salesiana with hands-on experience in automation technologies, contributing to research in academic automation, while establishing a knowledge base and a learning environment for both students and faculty members.

Keywords: ABB IRB 360 Robot, Pick and Place System, SIEMENS PLC, SINAMICS G120X, HMI.

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
II PROBLEMA.....	2
2.1 Justificación.....	3
III OBJETIVOS.....	4
3.1 Objetivo general	4
3.2 Objetivos específicos.....	4
IV FUNDAMENTO TEÓRICO	5
4.1 Teoría De Control Lógico Programable	5
4.1.1 Origen y contribuyentes Clave	5
4.1.2 Fundamentos del controlador lógico programable	6
4.1.3 Aplicación en investigaciones relevantes	7
4.1.4 Crítica comparativa	8
4.2 Teoría de Robótica Paralela	8
4.2.1 Definición y Contexto	8
4.2.2 Principios Fundamentales.....	9
4.2.3 Investigaciones Anteriores.....	9
4.2.4 Comparación con Otros Modelos	10
4.3. Robot ABB IRB 360.....	10
4.3.1 Definiciones Conceptuales	10

4.3.2 Características Técnicas	10
4.3.3 Entorno de Programación	11
4.3.4 Teorías Relacionadas	11
4.3.5 Contexto Actual	11
4.3.6 Fundamentos Matemáticos	12
4.3.7 Fundamentos Técnicos	12
4.4 PLC S7-1200	12
4.4.1 Gama de Modelos	13
4.4.2 Módulos de Entradas y Salidas.....	14
4.4.3 Conectividad.....	14
4.4.4 Integración y Funciones Tecnológicas	15
4.5 Software TIA Portal V18	15
4.5.1 Definiciones Conceptuales	15
4.5.2 Los bloques principales, FC, FB Y DB	15
4.5.3 Tipos de variables	16
4.6 Variador SINAMICS G120X.....	17
4.6.1 Definiciones Conceptuales	17
4.6.2 Teorías Relacionadas	18
4.6.3 Compatibilidad con el motor WEG	19
4.7 Protocolo de Comunicación PROFINET	19
4.7.1 Fundamentos Conceptuales	19

4.7.2 Relevancia para la Automatización	20
4.7.3 Crítica y Aplicaciones.....	20
4.8 Sensor Capacitivo	21
4.8.1 Definiciones Conceptuales	21
4.8.2 Teorías Relacionadas	21
4.8.3 Estudios Previos	23
4.8.4 Contexto Actual	23
4.8.5 Marco Conceptual	24
4.9. Software RobotStudio	24
4.9.1 Definiciones Conceptuales	24
4.9.2 Teorías Relacionadas	24
4.9.3 Estudios Previos	25
4.9.4 Contexto Actual	25
4.9.5 Marco Conceptual	25
4.9.6 Fundamentos Matemáticos	25
4.9.7 Fundamentos Técnicos	26
V MARCO METODOLÓGICO.....	27
5.1 Diseño inicial del Sistema	27
5.1.1 Adecuación del tablero de control	28
5.1.2 Acondicionamiento de la banda transportadora	30
5.2 Conexión del PLC SIEMENS S7 1200 y vinculación con los equipos.	32

5.2.1 Integración del variador G120x mediante Sinamics Stardrive.....	38
5.2.2 Integración del robot ABB IRB 360.....	53
5.2.3 Integración del Gripper.....	55
5.2.4 Integración del sensor de presencia 42EF-D1JBCK-A2.....	57
5.3 Programación del PLC, robot ABB e interfaz HMI.....	59
5.3.1 Lógica del PLC mediante lenguaje KOP.....	60
5.3.2 Cinemática y ciclo de trabajo del robot ABB.....	71
5.3.3 Interfaz HMI.....	92
VI ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	102
6.1 Puesta en marcha del Sistema Pick and Place.....	102
6.2. Análisis de las funcionalidades de sistema.....	112
VII PRESUPUESTO.....	117
VIII CRONOGRAMA.....	119
IX CONCLUSIONES.....	120
X RECOMENDACIONES.....	121
XI BIBLIOGRAFÍA.....	122
XII ANEXOS.....	127

ÍNDICE DE FIGURA

<i>Figura 1 Arquitectura del PLC</i>	5
<i>Figura 2. El PLC y su funcionamiento</i>	6
<i>Figura 3 Robots ABB en aplicaciones industriales</i>	7
<i>Figura 4 Robot ABB IRB 360 del laboratorio CPI</i>	8
<i>Figura 5 Puntos y coordenadas de un robot paralelo</i>	9
<i>Figura 6 Partes del PLC</i>	13
<i>Figura 7 Interfaz del TIA Portal V18</i>	16
<i>Figura 8 Variador de frecuencia G120X</i>	17
<i>Figura 9 Teoría de control vectorial fórmula</i>	18
<i>Figura 10 Sistema con protocolo de comunicación PROFINET</i>	20
<i>Figura 11 Sensor capacitivo de proximidad</i>	21
<i>Figura 12 Fórmula del sensor capacitivo</i>	23
<i>Figura 13 Interfaz inicial de RobotStudio</i>	24
<i>Figura 14 Diseño esquemático del sistema.</i>	28
<i>Figura 15 Diseño CAD del tablero eléctrico</i>	29
<i>Figura 16 Instalación del breaker</i>	30
<i>Figura 17 Banda transportadora.</i>	31
<i>Figura 18 Configuración Delta en motor Weg.</i>	32
<i>Figura 19 Creando nuevo proyecto.</i>	33
<i>Figura 20 Interfaz inicial del proyecto.</i>	33
<i>Figura 21 Ventana "Devices and Networks"</i>	34
<i>Figura 22 Agregando el PLC</i>	35
<i>Figura 23 PLC añadido</i>	36
<i>Figura 24 Añadiendo el HMI</i>	36

<i>Figura 25 PLC y HMI desde “Show devices”</i>	37
<i>Figura 26 Cambiando las IP</i>	37
<i>Figura 27 Página de Siemens Support</i>	38
<i>Figura 28 SINAMICS Stardrive V18</i>	38
<i>Figura 29 Descargando el archivo ISO</i>	39
<i>Figura 30 Archivo ISO descargado</i>	39
<i>Figura 31 Archivo ISO montado</i>	40
<i>Figura 32 Asistente de instalación</i>	40
<i>Figura 33 Instalación completada</i>	41
<i>Figura 34 TIA Portal Add In SINAMICS G120X Basic Setup</i>	42
<i>Figura 35 Descargando el ADD IN</i>	43
<i>Figura 36 Archivo ZIP descargado</i>	43
<i>Figura 37 Ejecutando el instalador</i>	44
<i>Figura 38 Instalando desde CMD</i>	44
<i>Figura 39 Complemento instalado sin activar</i>	45
<i>Figura 40 Activando Add In</i>	46
<i>Figura 41 Aplicando permisos</i>	46
<i>Figura 42 Iniciando la configuración de parámetros</i>	47
<i>Figura 43 Abriendo SINAMICS G120X Basic Setup</i>	47
<i>Figura 44 Opciones de parámetros</i>	48
<i>Figura 45 Ventana Motor Setup</i>	48
<i>Figura 46 Ventana Operation Limits</i>	49
<i>Figura 47 Ventana I/O Configuration</i>	50
<i>Figura 48 Ventana Automatic Restart (AR)</i>	50
<i>Figura 49 Ventana Boost</i>	51

<i>Figura 50 Ventana Fying restart.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 51 Configuración de IP para la comunicación PROFINET.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 52 Ventana inicial RobotStudio.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 53 Entorno de simulación RobotStudio.</i>	<i>54</i>
<i>Figura 54 Gripper Neumático ya instalado.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 55 Controlador Neumático.</i>	<i>56</i>
<i>Figura 56 Diseño CAD de las conexiones eléctricas del controlador.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 57 Tarjeta de Local I/O ABB DSQC1030.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 58 Sensor de presencia.</i>	<i>58</i>
<i>Figura 59 Diagrama con la conexión a usar de sensor.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 60 Ubicación del bloque “SinaSpeed”.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 61 Bloque “SinaSpeed” vacío.</i>	<i>61</i>
<i>Figura 62 Telegrama 1 PZD2.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 63 Salidas del bloque “SinaSpeed”.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 64 Seleccionando el G120X.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 65 Eligiendo el Standard telegram 1, PZD-2/2.</i>	<i>64</i>
<i>Figura 66 Bloque “SinaSpeed” lleno.</i>	<i>64</i>
<i>Figura 67 Marcha y Paro.</i>	<i>65</i>
<i>Figura 68 Contador de frutillas.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 69 Contador de cajas.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 70 Entrada Reset (R) del contador de las cajas.</i>	<i>69</i>
<i>Figura 71 Contador para las cajas que ya estén listas para empaquetar.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 72 Contador para las frutillas listas en la caja.</i>	<i>70</i>
<i>Figura 73 Conversión de Hz a RPM.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 74 Agregando banda transportadora.</i>	<i>71</i>

<i>Figura 75 Banda transportadora agregada.</i>	72
<i>Figura 76 Agregando puntos.</i>	72
<i>Figura 77 Creando herramienta de trabajo.</i>	73
<i>Figura 78 Puntos y trayectorias creadas.</i>	74
<i>Figura 79 Sincronizar con RAPID.</i>	74
<i>Figura 80 Ventana Sincronizar con RAPID.</i>	75
<i>Figura 81 Código RAPID.</i>	76
<i>Figura 82 Coordenadas de los movimientos.</i>	77
<i>Figura 83 Método main, es el punto de entrada de una aplicación.</i>	77
<i>Figura 84 Función WaitDI.</i>	78
<i>Figura 85 Velocidad de desplazamiento, tolerancia, efector final, marco de referencial de objeto.</i>	78
<i>Figura 86 Activando, esperando y desactivando.</i>	79
<i>Figura 87 Finalizando ciclo con ENDPROC y ENDMODULE.</i>	80
<i>Figura 88 Abriendo el menú de T_ROB1.</i>	81
<i>Figura 89 Archivos creados.</i>	82
<i>Figura 90 Guardando el proyecto bajo el nombre “Cinematica1”.</i>	83
<i>Figura 91 IRC 5 y FlexPendant en la parte superior.</i>	84
<i>Figura 92 Interfaz de inicio RobotWare.</i>	85
<i>Figura 93 Conectando el USB.</i>	85
<i>Figura 94 Seleccionando Program Editor desde el menú de RobotWare.</i>	86
<i>Figura 95 Seleccionando “Task and Programs”.</i>	87
<i>Figura 96 Ingresando al explorador de archivos.</i>	87
<i>Figura 97 Seleccionando el USB.</i>	88
<i>Figura 98 Seleccionando “TesisFinal.pgf”.</i>	89

<i>Figura 99 Programa cargado en RobotWare.</i>	89
<i>Figura 100 Selección de opción “Debug”.</i>	90
<i>Figura 101 Seleccionando “PP to Main”.</i>	90
<i>Figura 102 Advertencia antes de cargar el programa.</i>	91
<i>Figura 103 Programa cargado con el indicado de la flecha.</i>	91
<i>Figura 104 Página oficial de Siemens.</i>	92
<i>Figura 105 Resultados de búsqueda.</i>	92
<i>Figura 106 USB – Modo Recovery.</i>	93
<i>Figura 107 Archivo ZIP descargado.</i>	93
<i>Figura 108 Image Downloads for SIMATIC HMI Operator Panels: Comfort / Mobile / Basic Panels.</i>	94
<i>Figura 109 Descarga de archivo.</i>	94
<i>Figura 110 SIMATIC ProSave V18.0.0.</i>	95
<i>Figura 111 Ajuste de interface PG/PC.</i>	95
<i>Figura 112 Configuración interface PG/PC.</i>	96
<i>Figura 113 Iniciando la actualización del sistema.</i>	97
<i>Figura 114 Actualización del sistema.</i>	97
<i>Figura 115 Ventana Principal del HMI.</i>	98
<i>Figura 116 Ventana Vista general.</i>	99
<i>Figura 117 Pantalla de monitoreo.</i>	100
<i>Figura 118 Pantalla Parámetros.</i>	101
<i>Figura 119 Pantalla Estadísticas.</i>	101
<i>Figura 120 Diagrama de flujo del sistema.</i>	103
<i>Figura 121 Encendiendo el controlador IRC 5 y activando los motores.</i>	104
<i>Figura 122 Alerta del Flexpendant.</i>	105

<i>Figura 123 Luz indicadora de los motores activos del IRB360.</i>	<i>105</i>
<i>Figura 124 Botón play para activar la cinemática precargada.</i>	<i>106</i>
<i>Figura 125 Pulsando marcha desde el HMI.</i>	<i>107</i>
<i>Figura 126 Ajuste de parámetros.</i>	<i>108</i>
<i>Figura 127 Frutillas y cajas listas para el proceso.</i>	<i>109</i>
<i>Figura 128 Inflado del gripper.</i>	<i>109</i>
<i>Figura 129 Gripper succionado.</i>	<i>110</i>
<i>Figura 130 Caja lista.</i>	<i>111</i>
<i>Figura 131 Estadísticas del proceso.</i>	<i>111</i>
<i>Figura 132 Cronograma de actividades.</i>	<i>119</i>

ÍNDICE DE TABLA

<i>Tabla 1 Pruebas por equipo.</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 2 Análisis de Agarre del sistema</i>	<i>113</i>
<i>Tabla 3 Análisis de fallas</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 4 Presupuesto de materiales a usar</i>	<i>117</i>

I INTRODUCCIÓN

La automatización de procesos industriales ha evolucionado de forma significativa en los recientes años, impulsando la validez, seguridad y calidad en la producción. En este contexto, los sistemas de "Pick and Place" han tomado relevancia, especialmente en la manipulación de objetos frágiles como las frutillas. Este tipo de automatización reduce la dependencia de la mano de obra, minimizando riesgos ergonómicos para los operarios y mejorando la productividad de las empresas (Madriz & Sanchez, 2021).

La implementación de este sistema Pick and Place para frutillas en un entorno académico, como la Universidad Politécnica Salesiana, permitirá a los estudiantes adquirir competencias prácticas en el manejo de sistemas automatizados, preparándolos para enfrentar los retos del sector industrial (Mateus & Aldana, 2024).

El presente trabajo de titulación propone el diseño e implementación de un sistema Pick and Place para frutillas, integrando un robot ABB FlexPicker IRB 360 y un controlador lógico programable (PLC) Siemens bajo el protocolo de comunicación PROFINET. La elección de estos componentes responde a la necesidad de lograr movimientos precisos y de alta velocidad en la manipulación de frutillas, garantizando la reducción de daños en los productos y el cumplimiento de los estándares de calidad (González & Viter, 2024)

II PROBLEMA

En el contexto de la industria ecuatoriana, la recolección y manipulación de frutillas representa un desafío significativo debido a la alta dependencia de la mano de obra. Esta situación no solo expone a los operarios a riesgos ergonómicos, como lesiones musculoesqueléticas, sino que también afecta la continuidad de la producción por la rotación de personal y el ausentismo laboral (Madriz & Sanchez, 2021).

En el laboratorio CPI Robótica de la Universidad Politécnica Salesiana, la formación de estudiantes en el manejo de sistemas de automatización se ve limitada por la falta de equipos que integren protocolos avanzados de comunicación, como PROFINET, y dispositivos de última generación, como el robot ABB FlexPicker IRB 360. Esta deficiencia obstaculiza el desarrollo de competencias clave en los estudiantes, quienes deben enfrentarse a situaciones laborales donde la automatización es cada vez más demandada (Mateus & Aldana, 2024).

Otro problema importante es la manipulación inadecuada de las frutillas en los procesos manuales. Las frutillas, por su naturaleza delicada, requieren de una manipulación cuidadosa para evitar daños y magulladuras. La presión por cumplir con cuotas de producción eleva la probabilidad de fallas individuales, generando pérdidas económicas por productos defectuosos que no pueden ser comercializados (Villarroel, 2024). Este problema podría mitigarse mediante la implementación de un sistema automatizado que garantice una manipulación constante y controlada.

2.1 Justificación

El diseño e implementación de un sistema Pick and Place para frutillas mediante protocolo PROFINET y robot ABB responde a una doble necesidad. Por un lado, contribuye a la modernización de la industria ecuatoriana al proponer una solución automatizada que reduce los riesgos ergonómicos asociados a la manipulación manual de frutillas, mejorando las condiciones laborales y productividad (Madriz & Sanchez, 2021). Por otro lado, fortalece la formación académica en el laboratorio CPI Robótica de la Universidad Politécnica Salesiana, proporcionando a los estudiantes experiencia práctica con tecnologías de automatización industrial avanzadas, como el robot ABB FlexPicker IRB 360 y el protocolo PROFINET, preparándolos así para las demandas actuales del sector industrial (Mateus & Aldana, 2024).

III OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema pick and place para frutillas mediante protocolo PROFINET y Robot ABB.

3.2 Objetivos específicos

- Diseñar el sistema Pick and Place mediante el análisis de los requisitos de manipulación y selección de componentes.
- Desarrollar la programación para sincronizar la banda transportadora, el sensor de proximidad y el brazo robótico ABB.
- Implementar el sistema de control y comunicación utilizando el protocolo PROFINET para coordinar la interacción entre el robot ABB y el PLC.

IV FUNDAMENTO TEÓRICO

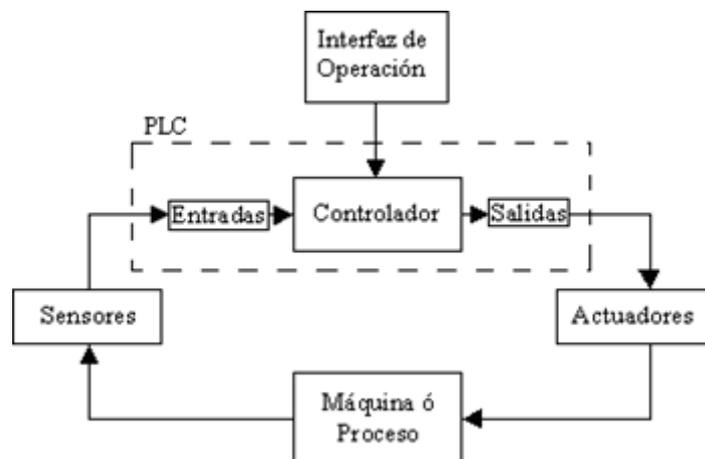
4.1 Teoría De Control Lógico Programable

4.1.1 Origen y contribuyentes Clave

La teoría de control lógico programable surgió en la década de 1960 como respuesta a la necesidad de automatizar procesos industriales. Autores como Bedford (1969) desarrollaron los primeros PLC, destacando su capacidad para reemplazar los sistemas de relés mecánicos. Esta tecnología evolucionó rápidamente gracias a empresas como Siemens, que introdujeron controladores modulares como el S7-1200 (Rendon & Dinas, 2025). En la siguiente figura muestra un diagrama de bloques que representa el sistema de control basado en PLC (Controlador Lógico Programable). Y así, esto representa la teoría básica del control lógico programable, figura 1.

Figura 1

Arquitectura del PLC



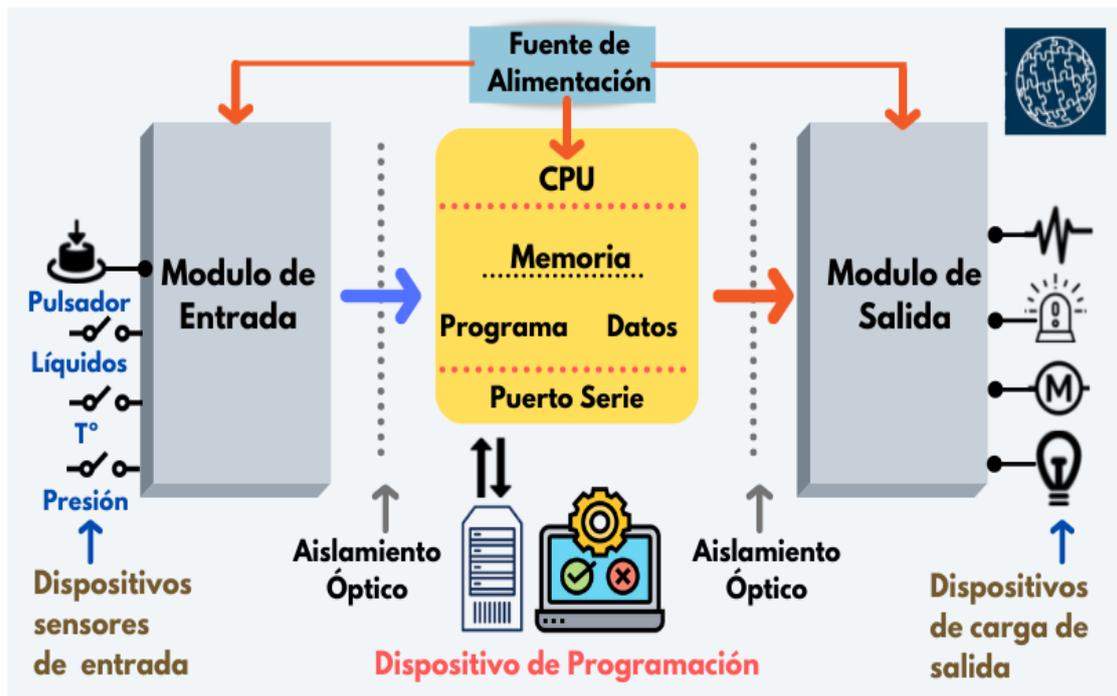
Nota. El controlador es el corazón de un sistema de control, denotando su importancia en los procesos (Control Real Español, 2015).

4.1.2 Fundamentos del controlador lógico programable

El PLC se basa en lógica secuencial, utilizando diagramas de bloques para implementar operaciones como temporización, contaje y lógica combinacional. Su memoria no volátil permite la programación persistente y su conectividad, mediante protocolos como PROFINET, asegura la integración con sensores y actuadores (Mateus & Aldana, 2024). En la figura 2, se observa la arquitectura interna del PLC, donde se muestran sus componentes principales y la interacción entre ellos. El diagrama ilustra el flujo de información desde los dispositivos sensores de entrada, pasando por el procesamiento en la CPU, hasta los dispositivos de carga de salida.

Figura 2.

El PLC y su funcionamiento



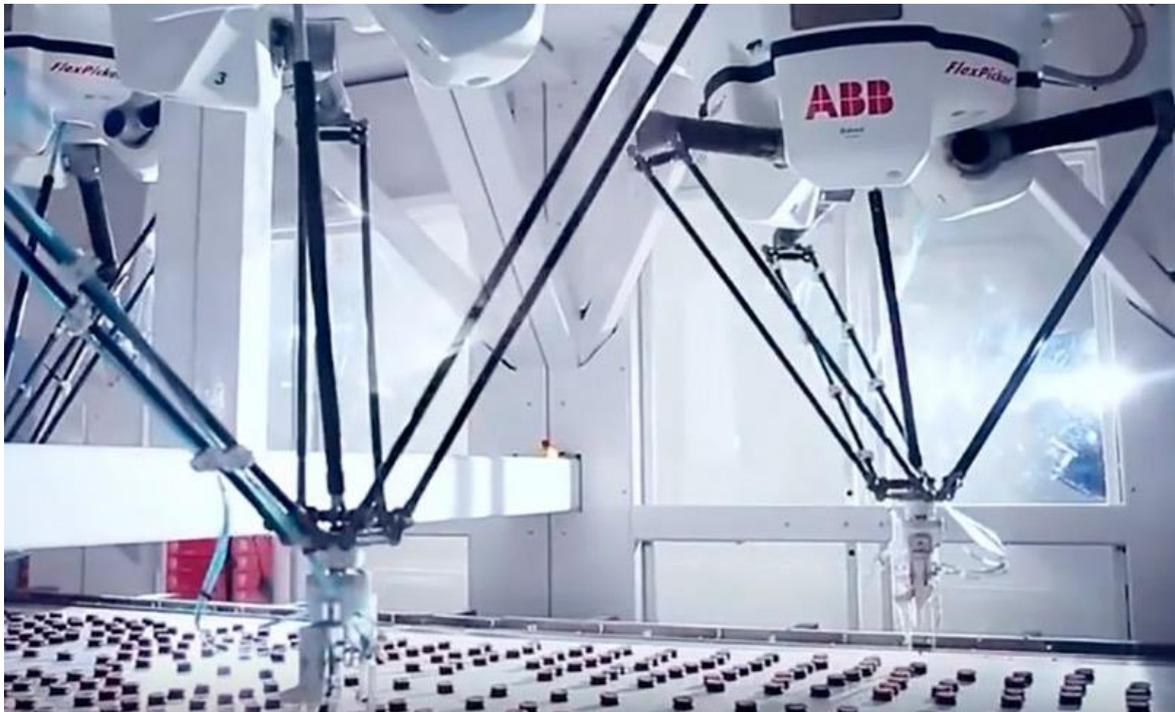
Nota. El controlador es el corazón de un sistema de control, denotando su importancia en los procesos (Sicma21, 2021).

4.1.3 Aplicación en investigaciones relevantes

Estudios recientes demostraron que los PLC pueden mejorar significativamente la sincronización en sistemas robóticos, reduciendo los tiempos de respuesta en un 25% (González & Viter, 2024). En proyectos de "Pick and Place", su uso garantiza una comunicación estable entre el robot y los elementos periféricos. A continuación, en la figura 3 se aprecia una de las muchas aplicaciones que se puede realizar con el robot y usando un Gripper adecuado dependiendo la situación.

Figura 3

Robots ABB en aplicaciones industriales



Nota Robots Delta de ABB realizando operaciones de alta velocidad en un sistema automatizado de clasificación o ensamblaje (InfoPLC, 2018).

4.1.4 Crítica comparativa

Aunque el PLC ofrece flexibilidad y fiabilidad, su curva de aprendizaje puede representar un desafío para operadores no especializados. Sin embargo, su compatibilidad con herramientas como TIA Portal lo posiciona como una opción robusta frente a otros sistemas de control (Rendon & Dinas, 2025). A su vez, se observa en la figura 4 el robot que se encuentra en el laboratorio CPI Robótica.

Figura 4

Robot ABB IRB 360 del laboratorio CPI



4.2 Teoría de Robótica Paralela

4.2.1 Definición y Contexto

La robótica paralela se centra en el diseño de mecanismos donde múltiples cadenas cinemáticas trabajan de forma simultánea para controlar el movimiento de un efector final. Este principio es la base del robot ABB IRB 360 como se observa ver en la figura 5, diseñado para tareas de alta velocidad y precisión (ABB, 2024).

4.2.4 Comparación con Otros Modelos

A diferencia de los robots seriados, los paralelos tienen una limitación en su área de trabajo debido a su configuración geométrica. Sin embargo, compensan estas limitaciones con velocidades superiores y menor consumo energético (González & Viter, 2024).

4.3. Robot ABB IRB 360

4.3.1 Definiciones Conceptuales

El ABB IRB 360, también conocido como FlexPicker, es un robot industrial diseñado específicamente para aplicaciones de alta velocidad y precisión, como sistemas de "Pick and Place". Este robot es parte de la serie Delta y se caracteriza por su configuración paralela que combina rapidez y estabilidad (ABB, 2024).

4.3.2 Características Técnicas

- **Capacidad de carga:** Hasta 6 kg, ideal para la manipulación de frutas y otros objetos ligeros.
- **Alcance máximo:** 1600 mm, lo que permite cubrir una amplia área de trabajo.
- **Precisión:** Con tolerancias de ± 0.1 mm, garantiza un posicionamiento exacto.
- **Velocidad de ciclo:** Inferior a 0.5 segundos, lo que lo convierte en uno de los robots más rápidos en su categoría.
- **Compatibilidad con PROFINET:** Permite su integración con sistemas de automatización avanzados (ABB, 2024).

4.3.3 Entorno de Programación

El IRB 360 utiliza el software RobotStudio para su programación y simulación. Este entorno permite diseñar trayectorias, mejorar tiempos de ciclo y prever colisiones antes de implementar el programa en el robot físico. Además, cuenta con herramientas avanzadas como:

- Simulación 3D: Para visualizar el entorno de trabajo.
- Optimización de trayectorias: Que reduce el tiempo de cada operación.
- Pruebas fuera de línea: Minimizando riesgos de fallas durante la implementación (ABB, 2024).

4.3.4 Teorías Relacionadas

La base teórica del IRB 360 radica en la cinemática paralela y la dinámica de mecanismos. Utiliza ecuaciones de movimiento basadas en:

Donde:

- Torque aplicado en las articulaciones.
- Matriz Jacobiana.
- Coordenadas articulares.
- Velocidad articular.
- Gravedad. Estas ecuaciones aseguran un control preciso de las trayectorias y movimientos del efector final (Rodríguez & Barreto, 2021).

4.3.5 Contexto Actual

En Ecuador, el IRB 360 se utiliza principalmente en industrias alimentarias para automatizar procesos repetitivos, mejorando la calidad y reduciendo costos operativos. Su

capacidad para trabajar en ambientes higiénicos lo hace ideal para este sector (González & Viter, 2024).

4.3.6 Fundamentos Matemáticos

La programación del IRB 360 requiere cálculos de cinemática inversa para determinar las coordenadas articulares necesarias para alcanzar una posición deseada, donde representa las coordenadas cartesianas del efector final y es la inversa de la matriz Jacobiana (Bocanedes & Sánchez, 2024).

4.3.7 Fundamentos Técnicos

El robot utiliza materiales ligeros pero resistentes, como fibra de carbono, para sus brazos. Además, incorpora motores servo de alta precisión que garantizan un control continuo en todas las operaciones (ABB, 2024).

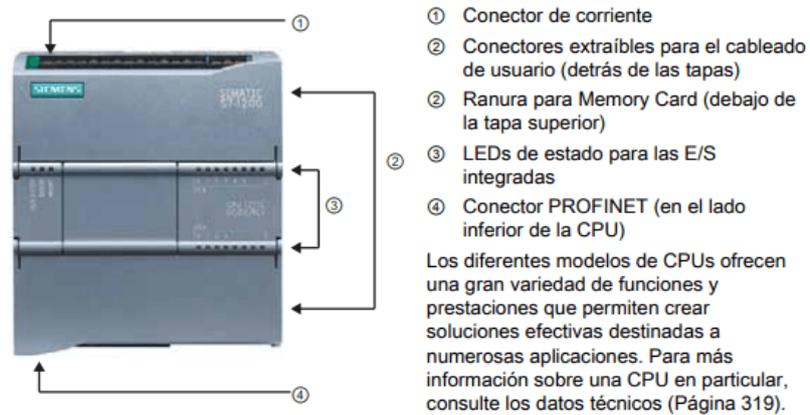
4.4 PLC S7-1200

El **PLC S7-1200** de Siemens es un controlador lógico programable que se convierte en una herramienta esencial en la automatización industrial. Desde su lanzamiento en 2009, evoluciona para adaptarse a diversas necesidades, ofreciendo una amplia gama de modelos y

características que permiten su aplicación en múltiples ambientes (Gútiez, 2024). A continuación, en la figura 6 se observa las diversas partes que dicho controlador tiene.

Figura 6

Partes del PLC



Nota. Cada parte del PLC cumple una función vital en el desarrollo de soluciones industriales (Gútiez, 2024).

4.4.1 Gama de Modelos

La serie S7-1200 incluye varios modelos, cada uno diseñado para cumplir con diferentes requisitos de automatización. A continuación, se detallan varios de los modelos más destacados (Gútiez, 2024):

- S7-1211C
- S7-1212C
- S7-1214C
- S7-1215C
- S7-1217C

4.4.2 Módulos de Entradas y Salidas

Los módulos de entradas y salidas del S7-1200 son versátiles y permiten la expansión del sistema según las necesidades específicas del proyecto. Los tipos de módulos disponibles incluyen (Gútiez, 2024):

- Entradas digitales
- Salidas digitales
- Entradas analógicas (tensión, corriente, Pt100)
- Salidas analógicas

Los módulos de entradas y salidas del S7-1200 son versátiles y permiten la expansión del sistema según las necesidades específicas del proyecto. Los tipos de módulos disponibles incluyen.

4.4.3 Conectividad

El S7-1200 ofrece diversas opciones de conectividad que facilitan su integración en redes industriales. Entre los protocolos soportados están (Gútiez, 2024):

- PROFINET
- PROFIBUS
- IO-Link
- AS-Interface
- Industrial Ethernet

Además, se pueden añadir módulos de comunicación para cubrir diferentes tipos de comunicación, lo que permite una mayor interoperabilidad con otros dispositivos y sistemas.

4.4.4 Integración y Funciones Tecnológicas

El uso del TIA Portal para la programación y configuración del S7-1200 permite una gestión flexible de la automatización. Este software facilita la integración de todos los componentes del sistema y proporciona una interfaz intuitiva para los usuarios (Gútiez, 2024).

El S7-1200 también incluye funciones tecnológicas avanzadas como:

- Control de movimiento: Gestiona el movimiento preciso de herramientas y piezas.
- Regulación de temperatura: Ofrece control preciso sobre sistemas térmicos.
- Control de nivel: Integra sensores para medir y regular niveles en procesos industriales.

4.5 Software TIA Portal V18

4.5.1 Definiciones Conceptuales

El TIA (Totally Integrated Automation) Portal es una herramienta de ingeniería integral desarrollada por Siemens, diseñada para programar, determinar y monitorear sistemas automatizados. La versión V18 introduce mejoras significativas en la gestión de proyectos y conectividad con dispositivos PROFINET (SIEMENS, 2023).

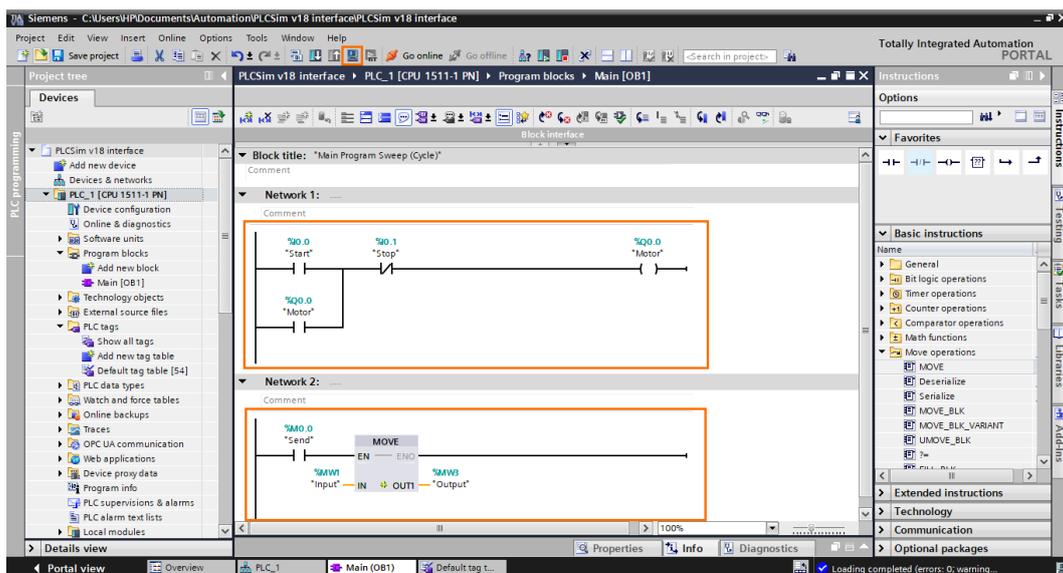
4.5.2 Los bloques principales, FC, FB Y DB

Los bloques organizativos (OB) son los encargados de estructurar la ejecución del programa. Entre ellos, el más importante es el OB1, que se ejecuta de forma cíclica y contiene la lógica principal del programa. Este bloque actúa como el punto de entrada de la ejecución, llamando a otros bloques de funciones según lo programado (SIEMENS, 2024). Por otra parte, los bloques de funciones (FC) son bloques reutilizables que permiten encapsular fragmentos

de código para mejorar el modularidad y reducir la repetición de instrucciones dentro del programa. Estos bloques no poseen memoria interna, por lo que cualquier dato procesado en ellos debe enviarse como entrada y salida a través de parámetros formales (Boltom, 2024). Por otro lado, los bloques de datos o DB en TIA Portal son áreas de memoria acogidas donde se almacenan determinados datos (variables) para su acceso y/o escritura en cualquier área del programa. Un DB podría verse como una caja donde se almacena información de forma clasificada, en una jerarquía vestida de post-it que se le accede a partir de distintos nombres (variables), tal como se ve en la siguiente figura 7 el entorno de TIA Portal con sus bloques de función (PM, 2024).

Figura 7

Interfaz del TIA Portal V18



Nota. La Interfaz gráfica de TIA Portal muestra herramientas para la programación, configuración y monitoreo de PLC Siemens, integrando módulos de automatización en un entorno unificado (Ali, 2023).

4.5.3 Tipos de variables

En el ámbito de la programación de PLC mediante el TIA Portal, se pueden definir diferentes tipos de variables, teniendo en cuenta el ámbito y la persistencia de estas. Entre las más comunes destacan las siguientes: Variables globales: Se pueden utilizar en cualquier parte del programa y se almacenan en bloques de datos globales (DB); Variables locales: Son

definidas en el interior de un bloque concreto y solo pueden ser utilizadas en este; Variables de entrada y salida (I/Q): Son directamente las señales físicas de un PLC, permitiendo interactuar con sensores y actuadores; Variables de memoria (M): Se utilizan para almacenar datos temporales dentro del propio programa sin necesidad de tener que recurrir a bloques de datos; Temporizadores y contadores (T/C): Se utilizan para gestionar los retardos y los eventos secuenciales para la lógica de control (Boltom, 2024).

4.6 Variador SINAMICS G120X

4.6.1 Definiciones Conceptuales

El variador de frecuencia Siemens SINAMICS G120X como se visualiza en la figura 8 es una solución que se encuentra orientada a aplicaciones de bombeo y ventilación, aplicable en condiciones de agua y sistemas HVAC, y que resulta ser fácilmente introducida en el entorno de TIA Portal, junto con el SINAMICS Startdrive V18, para su parametrización y diagnóstico en el interior de lo propuesto por Siemens (SIEMENS, 2019).

Figura 8

Variador de frecuencia G120X



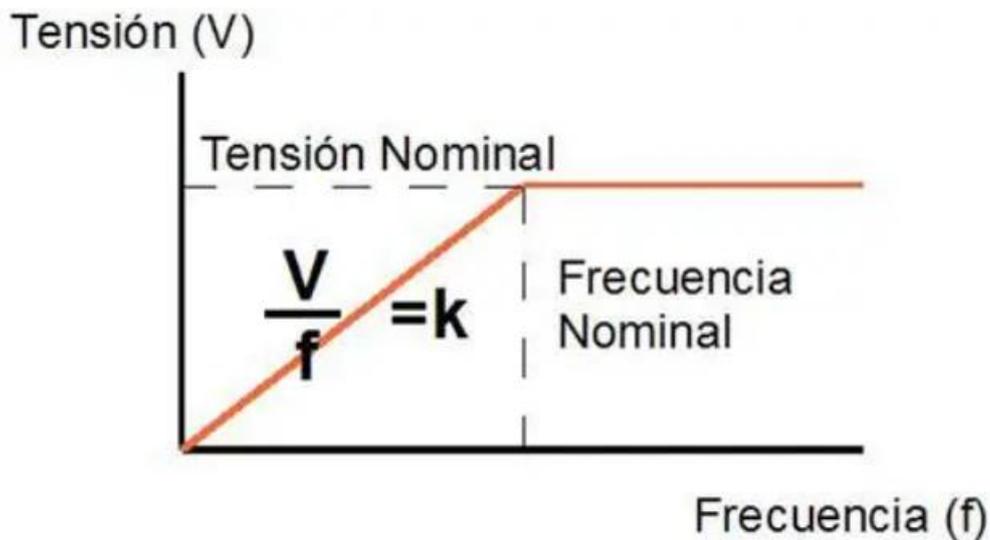
Nota. Los variadores G120X ofrecen un control versátil para cada aplicación que se necesite (SIEMENS, 2024).

4.6.2 Teorías Relacionadas

El diseño y funcionamiento del variador G120X se basan en la teoría del control vectorial, que utiliza transformaciones matemáticas para ajustar la corriente y mejorar el rendimiento del motor. Esta metodología permite un control preciso incluso en condiciones de carga variables (González & Viter, 2024). En la siguiente figura 9 se observa la relación lineal entre la tensión (V) y la frecuencia (f) en un variador de frecuencia, representada por la ecuación $V/f = k$, donde k es una constante. El gráfico muestra cómo la tensión aumenta proporcionalmente con la frecuencia hasta alcanzar la tensión nominal, punto a partir del cual se mantiene constante, aunque la frecuencia siga aumentando.

Figura 9

Teoría de control vectorial fórmula



Nota. Con esta fórmula se puede evidenciar como la tensión nominal y la frecuencia están relacionadas (Vaello, 2024).

4.6.3 Compatibilidad con el motor WEG

El motor WEG presentado cuenta con una potencia de 3 kW, una tensión de 220/380-440V y opera a una frecuencia de 60 Hz, con un factor de potencia en el rango de 0.82 a 0.86. Además, posee una protección IP55 y un aislamiento de clase F, lo que le permite operar en medios industriales exigentes. Para su integración con el variador SINAMICS G120X, es necesario parametrizar correctamente sus valores eléctricos, considerando la alimentación trifásica del motor y ajustando los parámetros de voltaje y frecuencia según los requerimientos de la aplicación. El variador permite dos modos de control: el modo V/f (voltaje/frecuencia), recomendado para aplicaciones estándar, y el control vectorial sin sensor, que proporciona mayor precisión en el control de par y velocidad. Asimismo, el sistema cuenta con diversas protecciones, incluyendo sobre corriente, sobrecarga térmica, límite de corriente y tensión, y protección contra cortocircuitos. Para la correcta configuración del SINAMICS G120X, es fundamental establecer parámetros clave como la selección del tipo de motor (p0300), el valor de tensión (p0310), la corriente nominal según la placa del motor (p0311), la frecuencia de operación (p0335), el límite de sobrecarga térmica (p0640), el tipo de control a emplear (p1300) y los valores de frecuencia mínima y máxima (p1500). Estos ajustes aseguran un desempeño seguro del motor dentro del sistema, mejorando su operación en función de las condiciones de trabajo establecidas.

4.7 Protocolo de Comunicación PROFINET

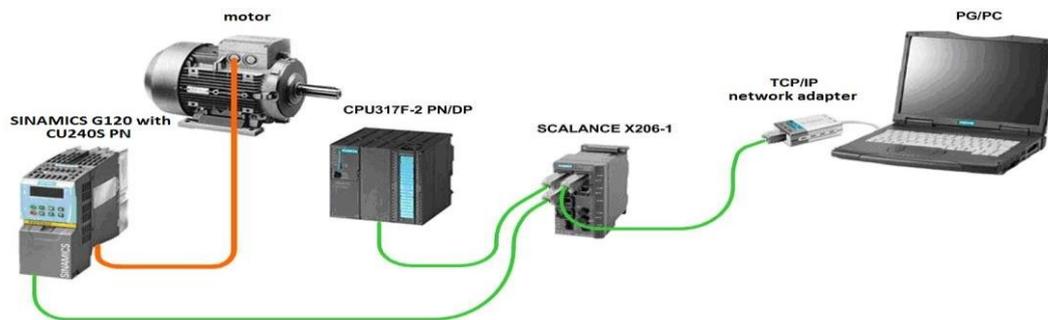
4.7.1 Fundamentos Conceptuales

PROFINET es un protocolo de comunicación industrial desarrollado para integrar dispositivos en redes de automatización. Combina altas tasas de transferencia con baja latencia, facilitando la sincronización en tiempo real entre componentes (Dinas Orejuela & Rendón

Castillo, 2022). En la siguiente Figura 10 se presenta un sistema de automatización industrial en el que los dispositivos están interconectados mediante el protocolo de comunicación PROFINET. La arquitectura incluye un variador de frecuencia SINAMICS G120, encargado de regular la velocidad de un motor eléctrico, el cual está controlado por un PLC Siemens CPU 317F-2 PN/DP. La comunicación entre los dispositivos se gestiona a través de un switch industrial SCALANCE X206-1, que permite la interconexión con una PC de programación (PG/PC) mediante un adaptador de red TCP/IP, facilitando la supervisión y configuración del sistema.

Figura 10

Sistema con protocolo de comunicación Profinet



Nota. Cabe destacar que la Figura X es una referencia ilustrativa del protocolo PROFINET y no representa exactamente los equipos utilizados en este proyecto, los cuales serán detallados en secciones posteriores (SIEMENS, 2014).

4.7.2 Relevancia para la Automatización

En sistemas "Pick and Place", PROFINET garantiza la coordinación entre el PLC, el robot y otros dispositivos como sensores y variadores. Esto permite operaciones fluidas y minimiza errores de sincronización (Pérez & Suárez, 2022).

4.7.3 Crítica y Aplicaciones

Aunque PROFINET es una tecnología robusta, su implementación puede ser costosa para pequeñas empresas. Sin embargo, su compatibilidad con múltiples plataformas lo hace indispensable en proyectos de automatización avanzados (González & Viter, 2024).

4.8 Sensor Capacitivo

4.8.1 Definiciones Conceptuales

Un sensor capacitivo es un dispositivo que detecta la presencia o proximidad de objetos mediante cambios en un campo eléctrico. Estos sensores son ampliamente utilizados para identificar objetos metálicos y no metálicos, como líquidos, plásticos y vidrio (Estrada & Imbachi, 2023). En la figura 11 se observa un ejemplar del sensor capacitivo.

Figura 11

Sensor capacitivo de proximidad



Nota. El sensor capacitivo es crucial para aplicaciones de detección de objetos (Sensores, 2019).

4.8.2 Teorías Relacionadas

El principio de funcionamiento del sensor capacitivo se basa en la ley de capacitancia, representada matemáticamente como:

$$C = \epsilon * (A/d)$$

Donde:

- C: Capacitancia en Faradios (F)
- ϵ : Permitividad del dieléctrico ($\epsilon = \epsilon_0 * \epsilon_r$)
- ϵ_0 : Permitividad del vacío (8.85×10^{-12} F/m)
- ϵ_r : Permitividad relativa del material
- A: Área de las placas en metros cuadrados (m^2)
- d: Distancia entre las placas en metros (m)

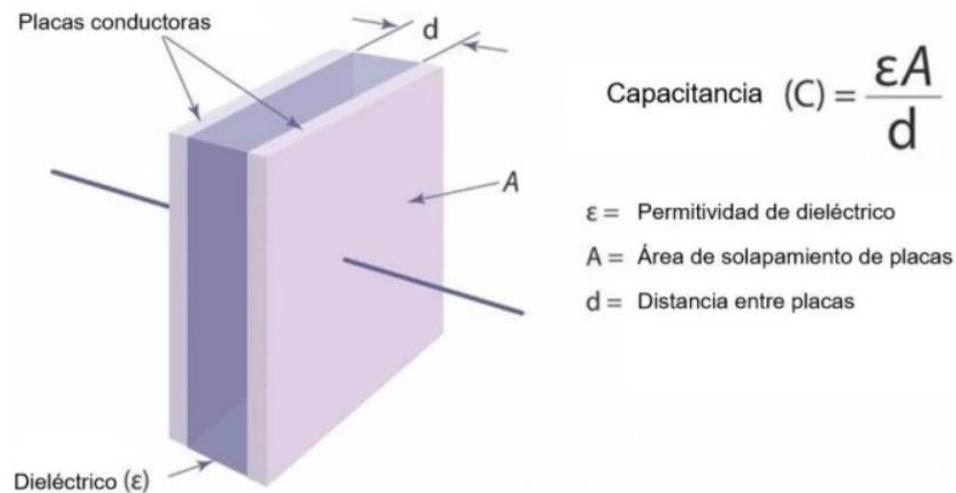
Esta ecuación es fundamental porque explica cómo el sensor capacitivo puede detectar la presencia de objetos al variar cualquiera de estos parámetros:

- Cuando un objeto se acerca, cambia la distancia (d)
- Si el objeto tiene diferente permitividad (ϵ), altera el campo eléctrico
- El área efectiva (A) puede cambiar según la posición del objeto

En la siguiente figura se aprecia todo lo dicho anteriormente, figura 12.

Figura 12

Fórmula del sensor capacitivo



Nota. Como se ve en la imagen, un sensor tiene variaciones al detectar un objeto (Celera, 2024).

Los sensores capacitivos utilizan este principio para detectar variaciones causadas por la presencia de un objeto, con eso, se observa en la siguiente imagen como trabaja el sensor (Aranda, Tapia, & Millán, 2024)

4.8.3 Estudios Previos

Investigaciones recientes indicaron la efectividad de los sensores capacitivos en aplicaciones industriales, particularmente en sistemas de llenado y control de nivel. Por ejemplo, su uso en sistemas automatizados ha reducido errores de detección en un 15% (Aldana, 2021).

4.8.4 Contexto Actual

En Ecuador, los sensores capacitivos han ganado popularidad en aplicaciones agroindustriales debido a su precisión en la detección de frutas y líquidos. Sin embargo, su integración requiere conocimientos avanzados sobre programación y calibración (Acosta & Cuaical, 2021).

4.8.5 Marco Conceptual

En el sistema "Pick and Place", los sensores capacitivos juegan un papel fundamental en la detección precisa de frutas, proporcionando datos al PLC para coordinar las acciones del robot y otros actuadores (Riera, 2021).

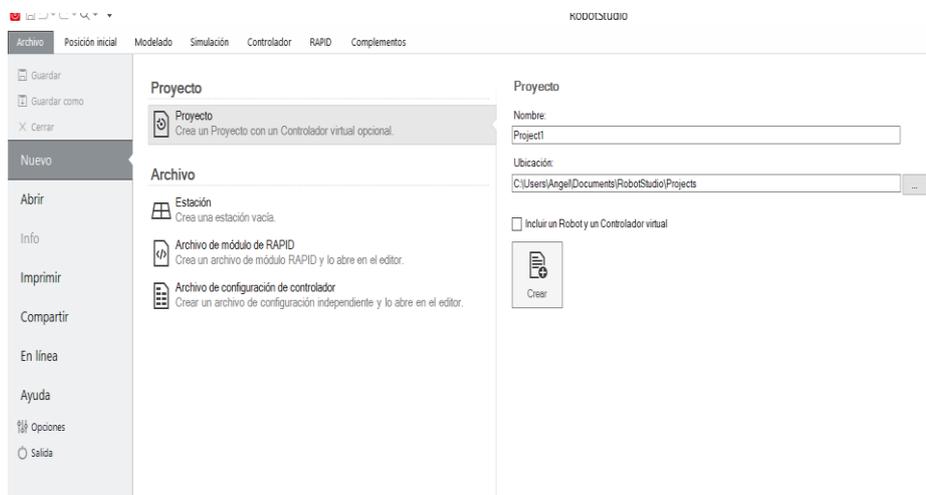
4.9. Software RobotStudio

4.9.1 Definiciones Conceptuales

RobotStudio es un software de simulación y programación fuera de línea desarrollado por ABB para optimizar el diseño y operación de sistemas robóticos. Permite probar y validar programas antes de implementarlos en el robot físico (ABB, 2024). La interfaz del programa es la siguiente, como muestra la figura 13.

Figura 13

Interfaz inicial de RobotStudio



4.9.2 Teorías Relacionadas

El concepto de gemelo digital sustenta el uso de RobotStudio. Esta teoría propone la creación de un modelo virtual que replica el comportamiento físico del robot, permitiendo

simulaciones precisas y reduciendo riesgos durante la implementación (Bocanedes & Sánchez, 2024).

4.9.3 Estudios Previos

Estudios manifestaron que el uso de RobotStudio puede reducir el tiempo de desarrollo de proyectos hasta en un 30%. Su capacidad para simular el entorno operativo mejora la precisión en el diseño y programación (González & Viter, 2024).

4.9.4 Contexto Actual

En Ecuador, RobotStudio ha sido adoptado en universidades y empresas industriales para entrenar personal y desarrollar sistemas robóticos avanzados. Sin embargo, su costo limita su uso en pequeñas empresas (Muñoz, 2022).

4.9.5 Marco Conceptual

El uso de RobotStudio en el sistema "Pick and Place" permite desarrollar la interacción entre el robot ABB y otros dispositivos, asegurando una integración fluida (González & Viter, 2024).

4.9.6 Fundamentos Matemáticos

RobotStudio utiliza modelos cinemáticos y dinámicos para simular trayectorias y movimientos del robot. Esto incluye ecuaciones de transformación homogénea para calcular posiciones y orientaciones en el espacio tridimensional (ABB, 2024)

4.9.7 Fundamentos Técnicos

El software incluye herramientas avanzadas como optimización de trayectorias, simulación de colisiones y análisis de tiempo de ciclo, lo que lo convierte en una herramienta esencial para proyectos complejos (Vicedo, 2022).

V MARCO METODOLÓGICO

En este proyecto se utiliza una variedad de metodologías, entre las cuales se destacan la metodología cuantitativa y experimental. Se desarrolla a partir de un enfoque que permite abordar, de manera estructurada, el diseño e implementación del sistema pick and place para frutillas, utilizando protocolo PROFINET y el robot ABB. Alineando esta metodología con los objetivos específicos del proyecto, se busca que cada etapa del proceso contribuya al cumplimiento de los resultados esperados. Iniciando con el diseño y selección de componentes, seguido por la programación e instalación de los sistemas de control y comunicación.

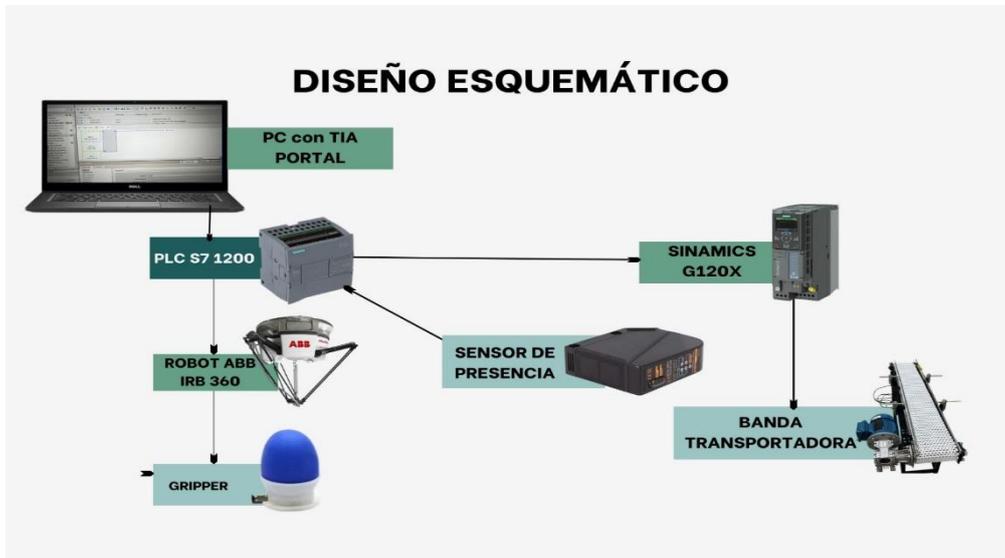
Cada parte plantea hacer un uso adecuado de los elementos involucrados para poder ser apto en la manipulación de frutillas, considerando la fragilidad del producto y los requerimientos de automatización industrial. Desde la integración de sensores de proximidad y la programación del PLC hasta la configuración del robot ABB y el diseño de la interfaz HMI, la etapa está orientada a asegurar un flujo de trabajo coordinado y continuo.

5.1 Diseño inicial del Sistema

Se efectuó un análisis de los requisitos técnicos y operativos del sistema para garantizar una manipulación correcta y segura de las frutillas. También, se realizó la selección de los componentes eléctricos y electrónicos necesarios, teniendo en cuenta que el laboratorio de CPI contaba con gran parte de los equipos a usar, se optó acondicionar un tablero ya existente con su HMI KTP700 BASIC, un PLC S7-1200, un variador SINAMICS G120, entre otros elementos. Además, se elaboró los arreglos eléctricos y de conexión, considerando los estándares del protocolo PROFINET. El diseño del sistema incluye también un diseño esquemático del proceso pick and place, como se ve en la siguiente imagen, figura 14.

Figura 14

Diseño esquemático del sistema.



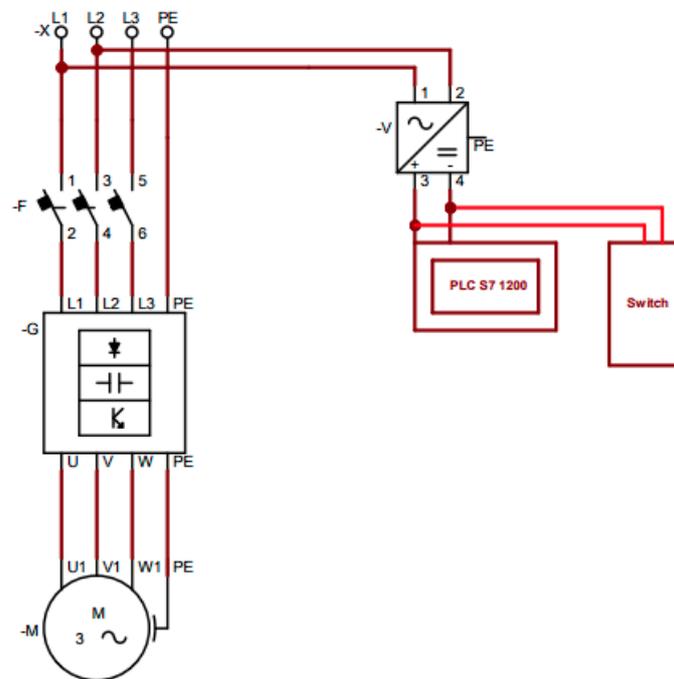
5.1.1 Adecuación del tablero de control

Para un manejo y control adecuado del sistema, es primordial tener conexiones físicas que cumplan los estándares y normativas que aseguren la operabilidad, seguridad y trazabilidad de este (Barriga & Ortiza, 2024).

Se llevó a cabo la instalación de canaletas para tener una organización y protección de las conexiones físicas, según investigación previa, el cableado del PLC con sus entradas y salidas fueron realizadas de acuerdo con los estándares convencionales (Aguilar & Villavicencio, 2021). El código de colores usado fue Rojo (Línea 1), Blanco (Línea 2), Negro (Línea 3) y Verde (Tierra), en la figura 15 se aprecia el diseño eléctrico en CAD.

Figura 15

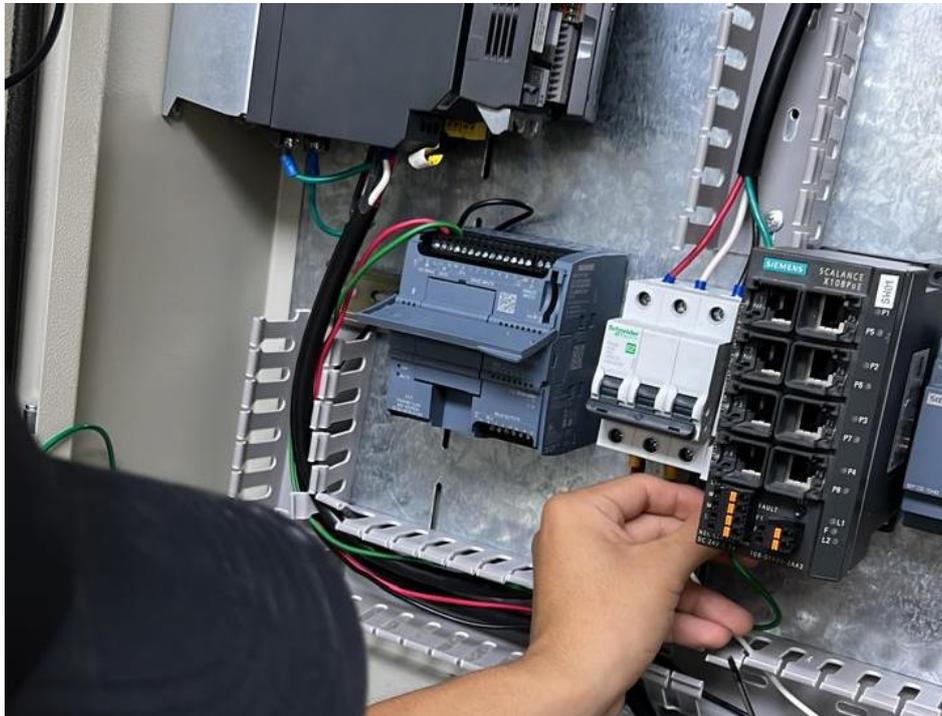
Diseño CAD del tablero eléctrico



Tal como se ve en la figura 16, el procedimiento de instalación de los componentes a utilizar se llevó a cabo de manera consecutiva ordenando cuidadosamente los equipos, de este modo, se instaló como protección el breaker (EZ9F56325, Schneider Electric) y una bornera para unir la puesta a tierra, posteriormente se alimentó L1, L2, L3 y GND del variador. Finalmente, se colocó la salida del variador U, V, W y Pe a una clavija trifásica tipo hembra.

Figura 16

Instalación del breaker.



5.1.2 Acondicionamiento de la banda transportadora

Con el fin de movilizar las frutillas para que sean detectadas por el sensor, se adecuó el motor que conforma la banda, de esta manera el variador de velocidad controla las revoluciones por minuto del motor. Se colocó una clavija trifásica tipo hembra en la parte inferior de la base de la banda, permitiendo la conexión variador – motor a través de un cable concéntrico 4x12 AWG.

En la figura 17 se observa la banda transportadora que se acondicionó, la misma tiene dimensiones de 1.58 m de largo, 85 de alto y 45 de ancho.

Figura 17

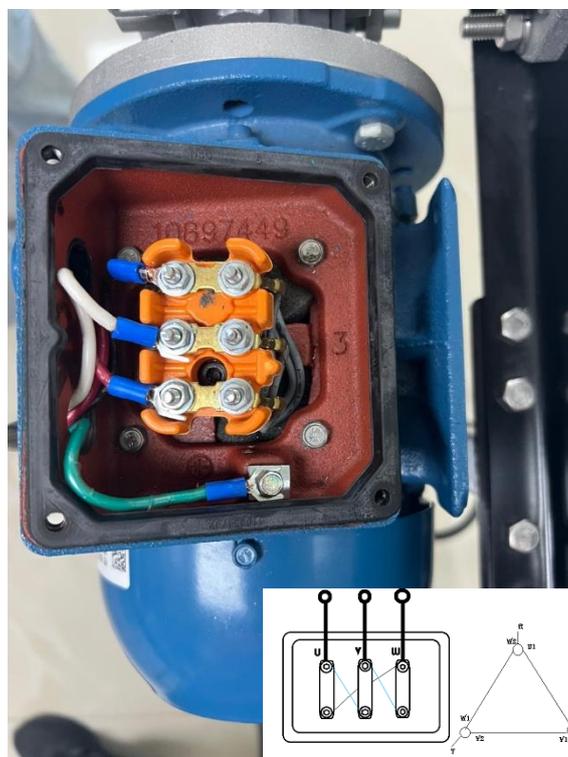
Banda transportadora.



La configuración del motor usada es el tipo Delta Δ la cual permite que la banda tenga un torque adecuado y un arranque más robusto. En la siguiente figura 18 se contempla la configuración con su alimentación trifásica, dejando la banda para su uso.

Figura 18

Configuración Delta en motor Weg.

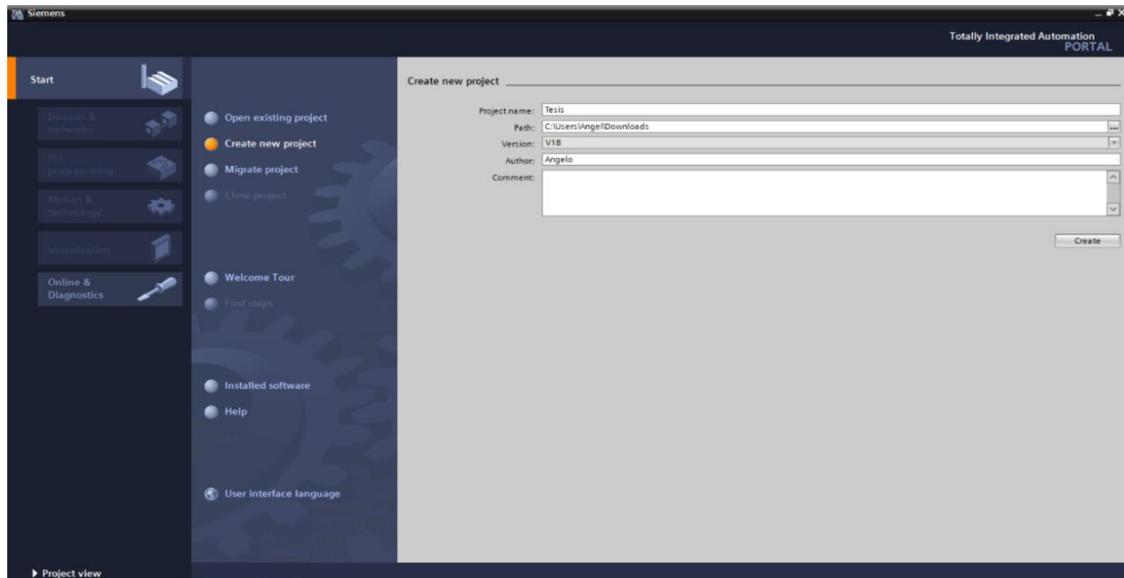


5.2 Conexión del PLC SIEMENS S7 1200 y vinculación con los equipos.

En esta sección se hablará sobre el paso a paso que se hizo con el Software TIA Portal V18. Primeramente, se creó un proyecto como se observa en la figura 19. Luego de haber configurado los parámetros como el nombre, ubicación donde se guardará el archivo, etc. Se procedió a seleccionar el botón “Create”.

Figura 19

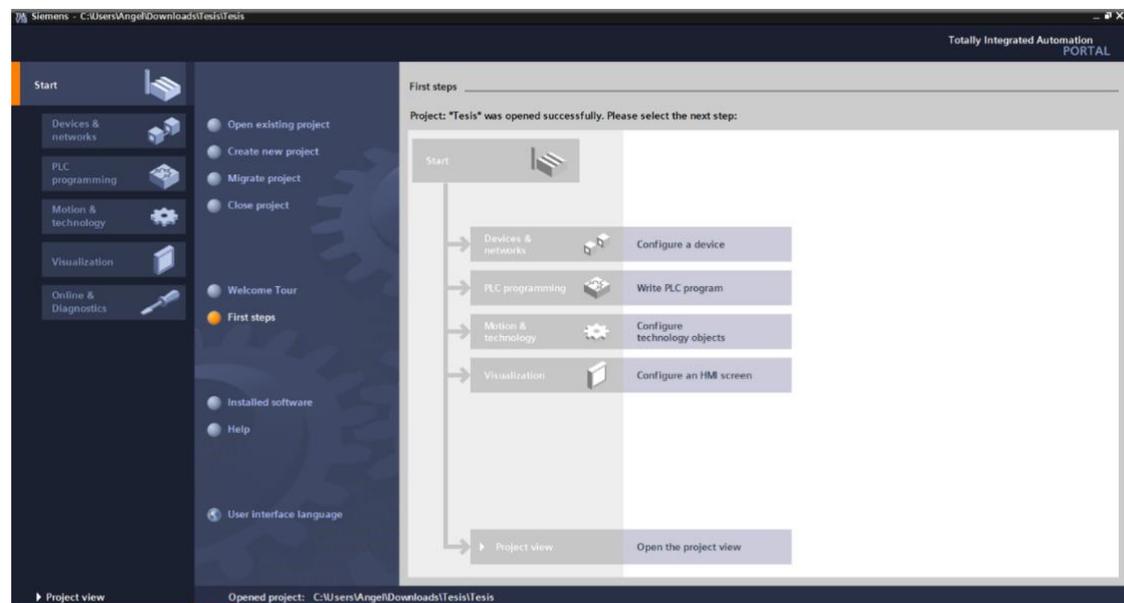
Creando nuevo proyecto.



Una vez creado, aparecerá una interfaz como se aprecia en la figura 20 en donde se escogió la opción “Configure a device”.

Figura 20

Interfaz inicial del proyecto.

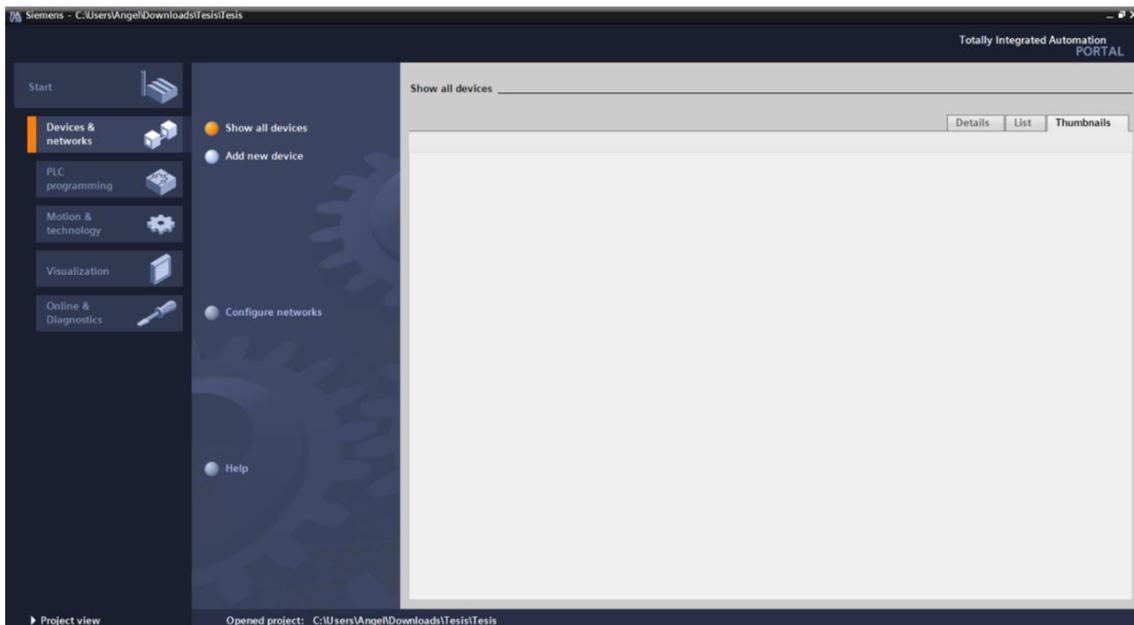


A partir de ahí aparecerá otra interfaz que se muestra en la figura 21, la sección Devices & Networks, donde se gestionan los dispositivos y redes del proyecto. En el panel central se encuentra la opción Show all devices, que permite visualizar todos los dispositivos

configurados en el proyecto actual. Esta vista puede organizarse mediante tres opciones: *Details*, para ver información detallada de cada dispositivo; *List*, para mostrar los dispositivos en formato de lista; y *Thumbnails*, que presenta una vista gráfica o miniaturas de los equipos conectados.

Figura 21

Ventana “*Devices and networks*”.

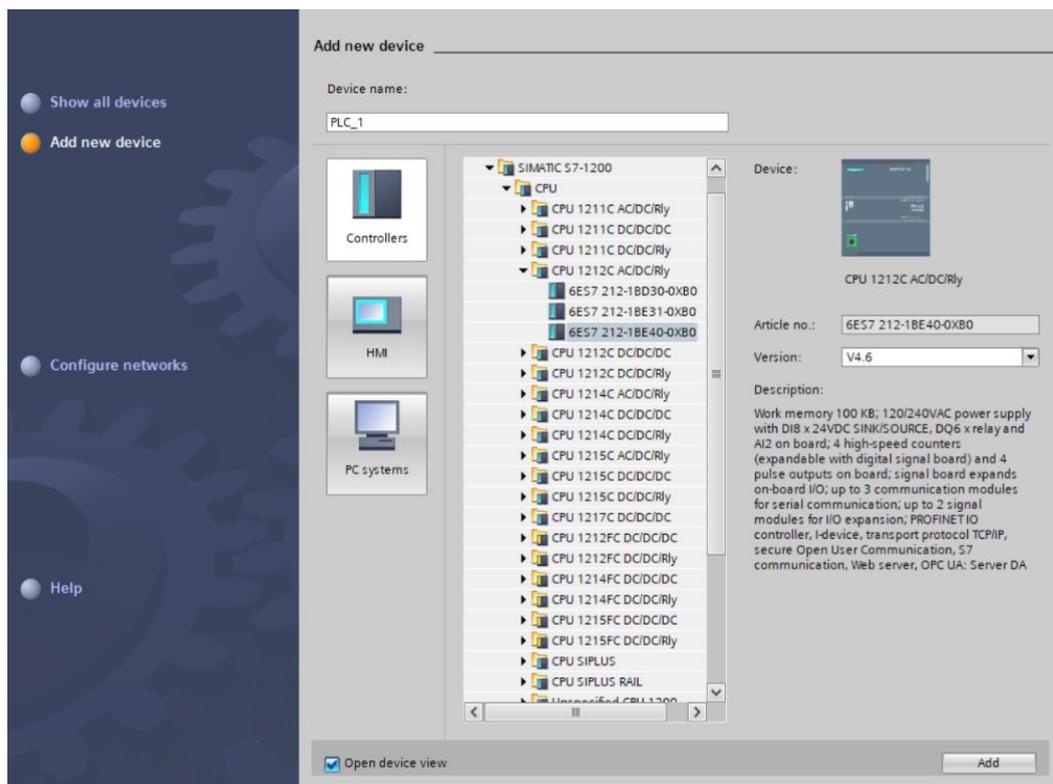


En el menú lateral izquierdo, se destacan las siguientes secciones: *Devices & Networks*, para gestionar dispositivos y redes; *PLC Programming*, destinada a la programación de controladores lógicos programables; *Motion & Technology*, para la configuración de sistemas de movimiento como servomotores; *Visualization*, enfocada en el diseño de interfaces HMI; y *Online & Diagnostics*, utilizada para conectarse a dispositivos y realizar diagnósticos en tiempo real.

En la siguiente figura 22, se presenta la sección “Add new device” dentro del software TIA Portal V18, utilizada para agregar un nuevo dispositivo al proyecto en desarrollo. En esta interfaz, se puede observar que el dispositivo seleccionado pertenece a la familia SIMATIC S7-1200, específicamente el modelo CPU 1214C AC/DC/Rly, que es el controlador lógico programable que se usará en este sistema Pick and Place, este modelo combina entrada de alimentación AC (120/240VAC), salida a relé (Rly) y módulos digitales/analógicos integrados. Por otro lado, el número de artículo “6ES7 214-1BE30-0XB0”, que identifica específicamente el modelo dentro del catálogo de Siemens. Finalmente, la versión del firmware V2.2, lo que indica la actualización más reciente soportada por el dispositivo.

Figura 22

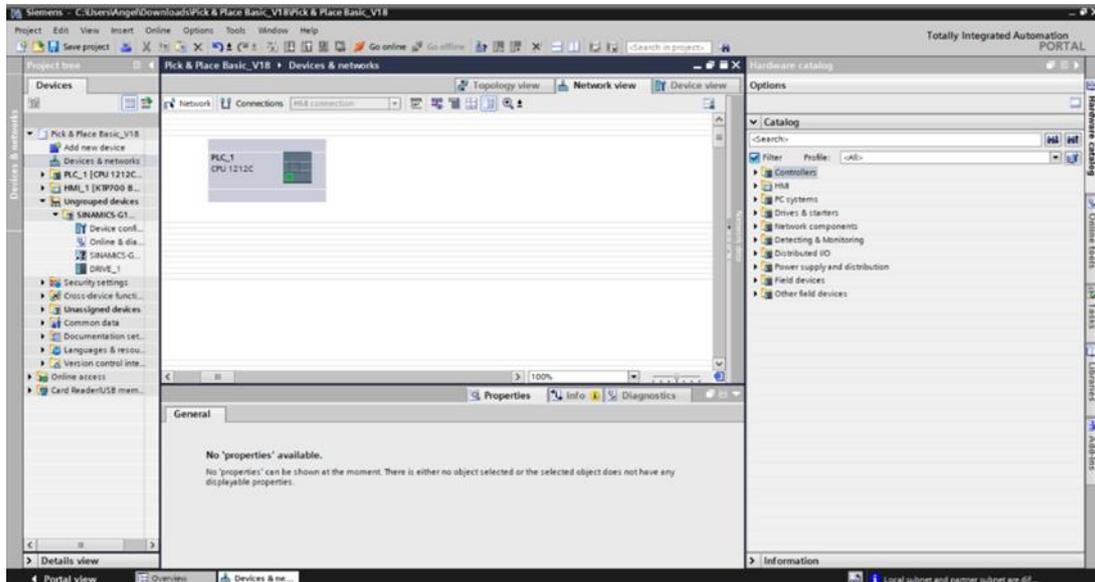
Agregando el PLC.



A continuación, se muestra en la figura 23 como queda una vez añadido el PLC en la configuración pasada.

Figura 23

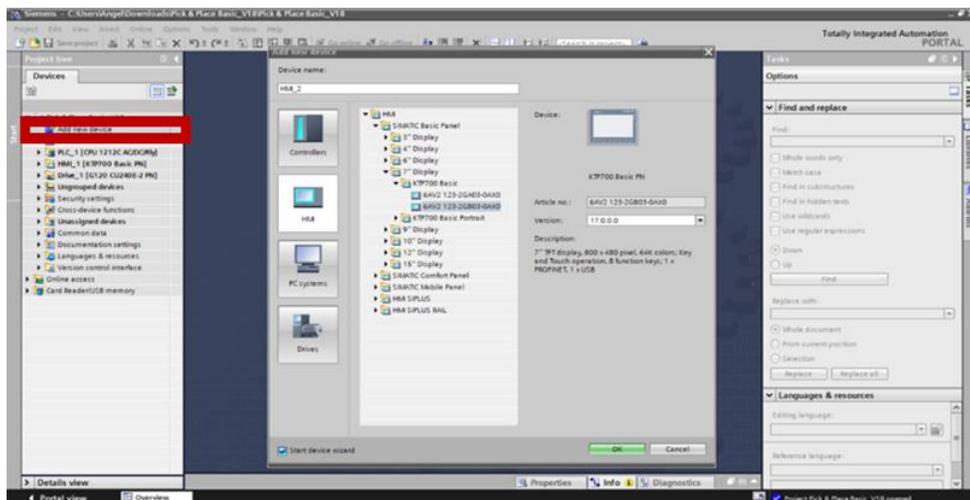
PLC añadido.



Posteriormente, se eligió el HMI desde la opción “Add new device” que está en el árbol de proyecto (parte izquierda) como se visualiza en la figura 24, como ya se ha mencionado que eran los artículos y versiones simplemente se procede a presionar ‘ok’.”

Figura 24

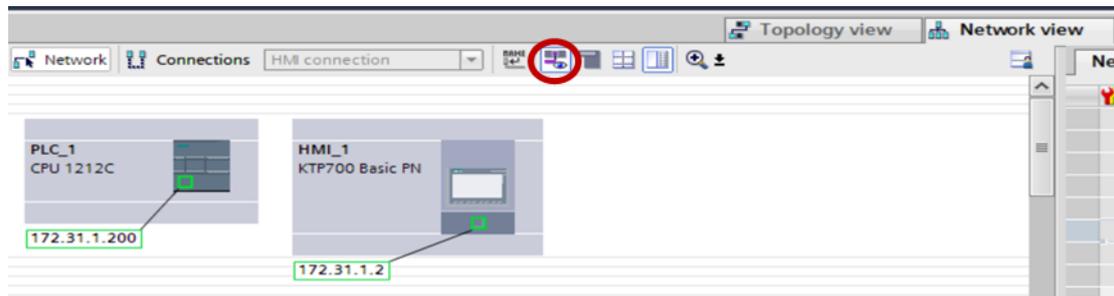
Añadiendo el HMI



El siguiente paso es dirigirse al apartado de “*Devices & Networks*” y activar “*Show address labels*” (El ojo que está encerrado de color rojo) para visualizar las IP correspondiente de cada equipo que fue añadido anteriormente como lo son el PLC y el HMI tal como se presenta en la figura 25.

Figura 25

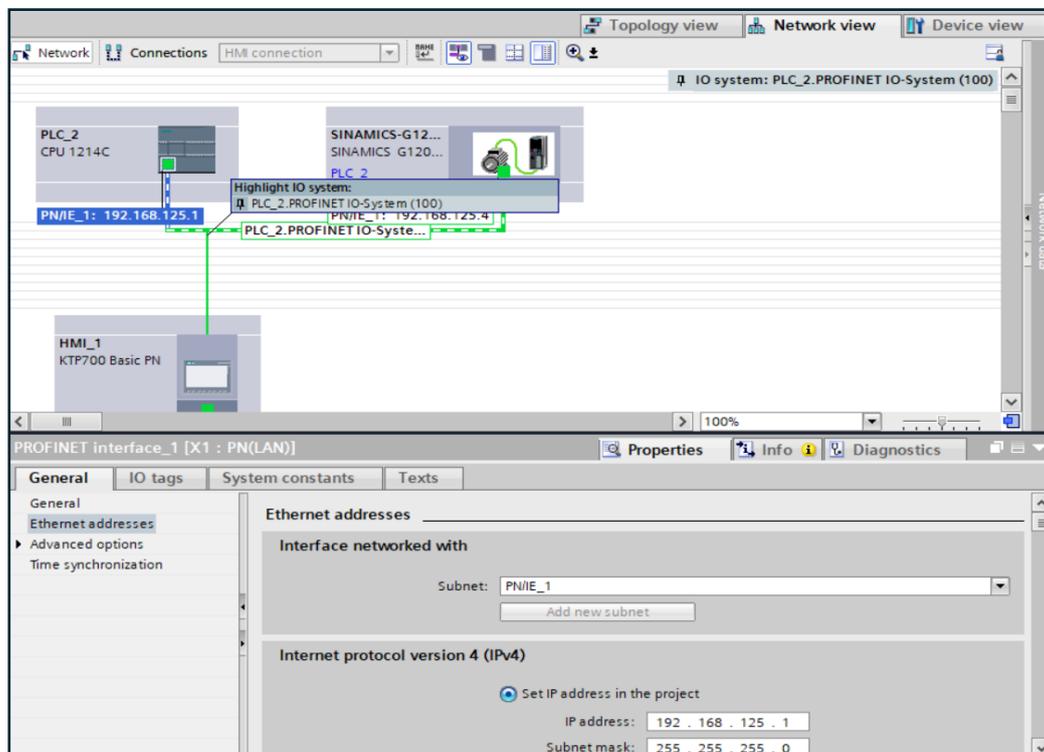
PLC y HMI desde "Show devices".



Para haber colocado esas IP simplemente se dio doble clic o se entra en las propiedades del cada equipo tal como se observa en la figura 26, en este caso se intenta cambiar la IP del PLC, un detalle importante es que al colocarse encima de la línea de color verde aparecerá una opción que se llama "High light IO systems", se activó el recuadro gris, al activarlo aparecerá un pin.

Figura 26

Cambiando las IP.

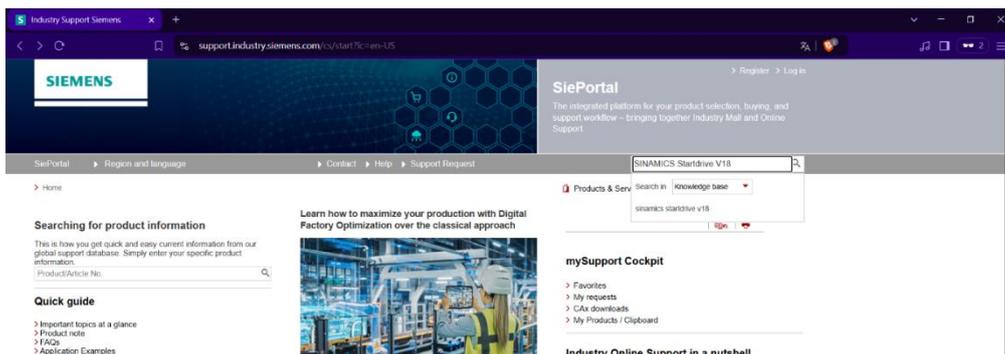


5.2.1 Integración del variador G120x mediante SINAMICS Startdrive

Para dar uso al variador G120X de una manera práctica y sencilla es necesario instalar la librería “SINAMICS Startdrive V18”, primeramente, en la página oficial de soporte siemens colocar en el buscador “SINAMICS Startdrive v18” como se ve en la figura 27.

Figura 27

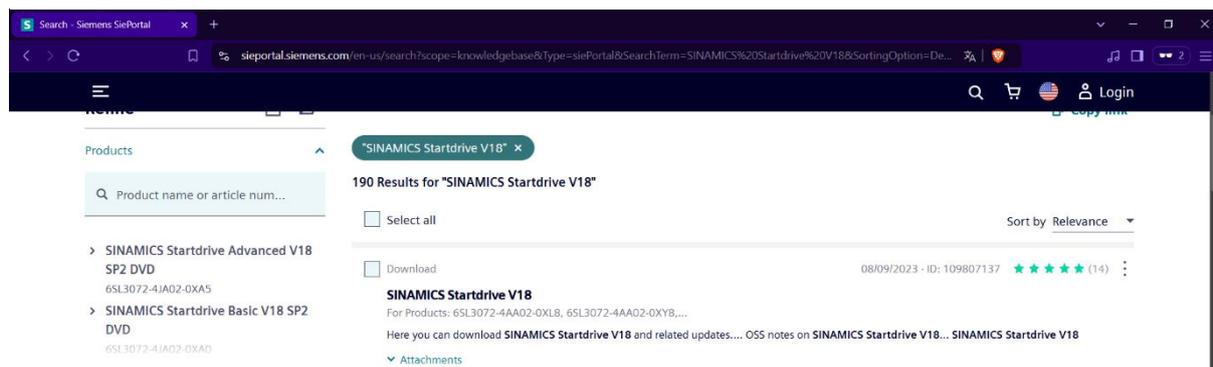
Página de Siemens Support.



Después de buscar lo anteriormente mencionado aparecerá la siguiente opción a elegir que sería “SINAMICS Startdrive V18” tal como se visualiza en la figura 28.

Figura 28

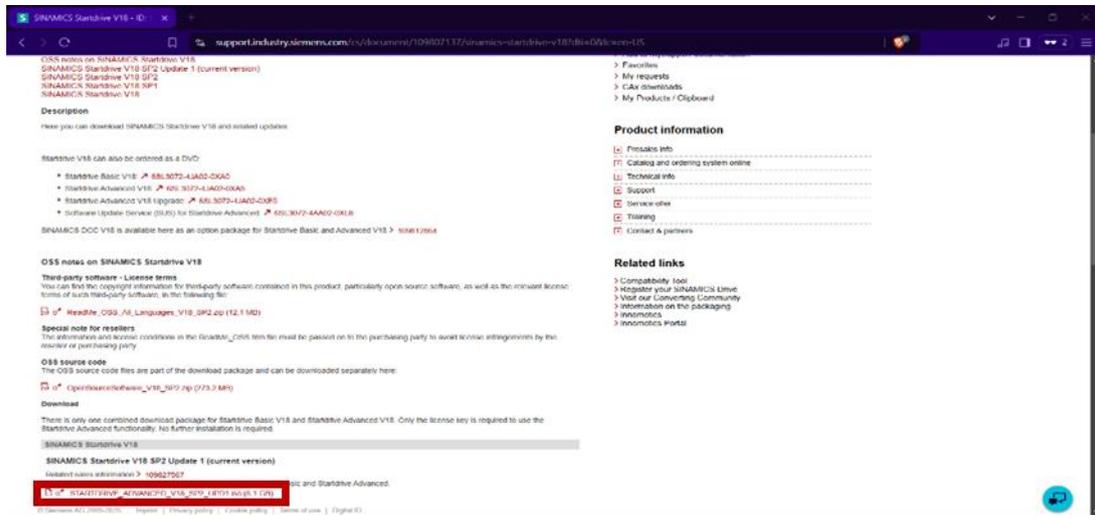
SINAMICS Startdrive V18.



Posteriormente aparecerá otra página en donde se elige la opción que se observa remarcado de color rojo específicamente “STARTDRIVE_ADVANCED_V18_SP2_UPD1.iso (6,1 GB)” en la figura 29.

Figura 29

Descargando el archivo ISO.



Una vez descargado, dejará un archivo ISO como se visualiza en la figura 30.

Figura 30

Archivo ISO descargado.

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
 STARTDRIVE_ADVANCED_V18_SP2_UPD1.iso	24/1/2025 18:09	Archivo de image...	6.413.824 KB

Al tener Windows 10 simplemente se dio doble clic a la imagen ISO mencionada anteriormente, y se procedió a instalar dando doble clic al “Setup” llamado “Start” como se ilustra en la figura 31.

Figura 31

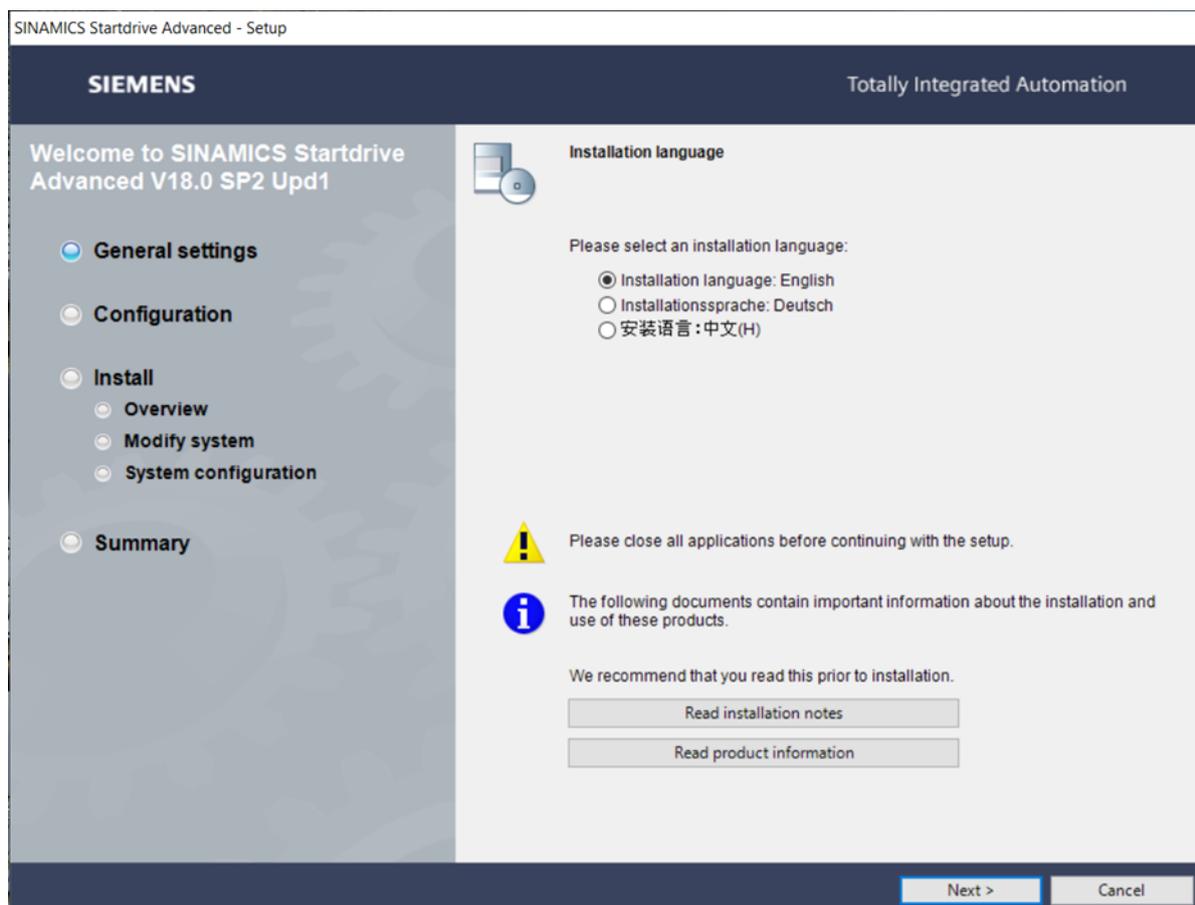
Archivo ISO montado.

Documents	10/1/2024 4:59	Carpeta de archivos	
InstData	10/1/2024 4:59	Carpeta de archivos	
Licenses	10/1/2024 4:59	Carpeta de archivos	
OpenSourceSoftware	10/1/2024 4:59	Carpeta de archivos	
Autorun.inf	10/1/2024 1:28	Información sobre...	1 KB
Liesmich.htm	10/1/2024 1:28	Brave HTML Docu...	1 KB
Readme.htm	10/1/2024 1:28	Brave HTML Docu...	1 KB
Readme_OSS.htm	10/1/2024 1:28	Brave HTML Docu...	24 KB
ReadmeChinese.htm	10/1/2024 1:28	Brave HTML Docu...	1 KB
Start.exe	8/2/2022 1:55	Aplicación	766 KB

Seguidamente, aparecerá el asistente de la instalación como se observa en la figura 32.

Figura 32

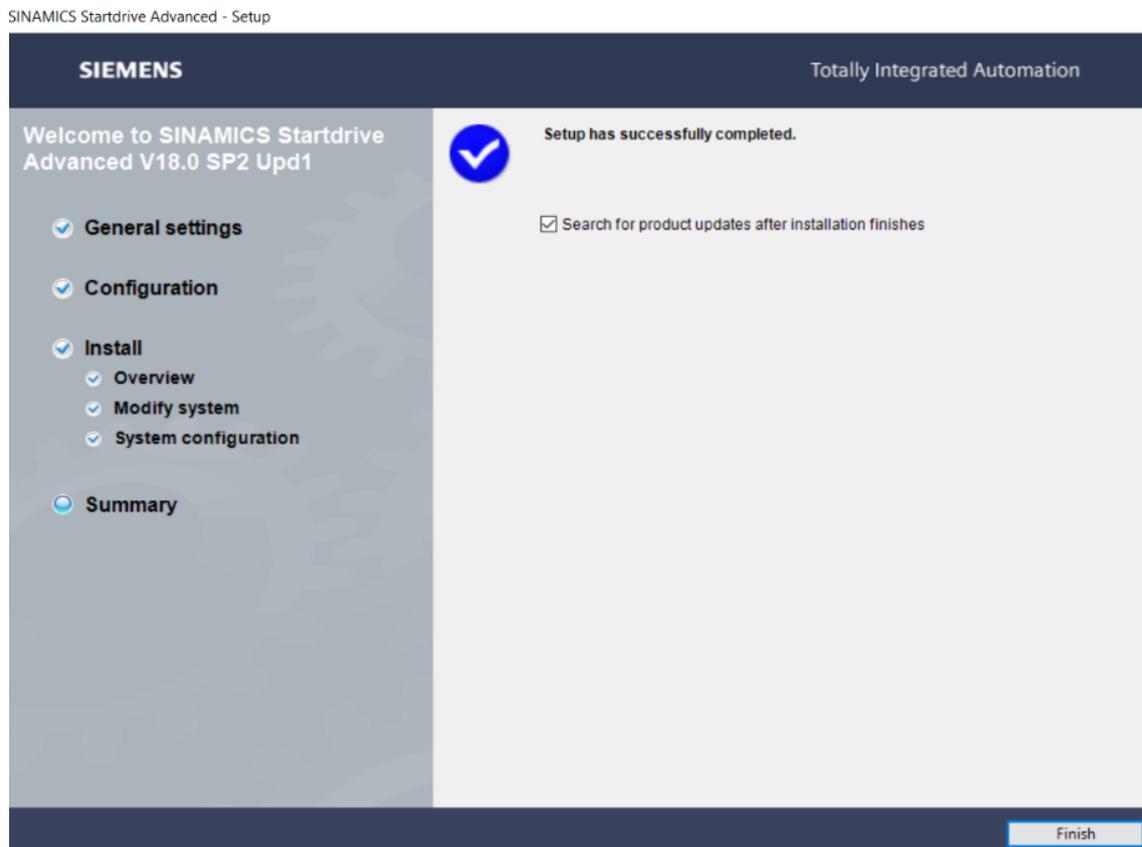
Asistente de instalación.



Se selecciona “next” hasta que se instale. Una vez instalado la ventana aparecerá como muestra la figura 33.

Figura 33

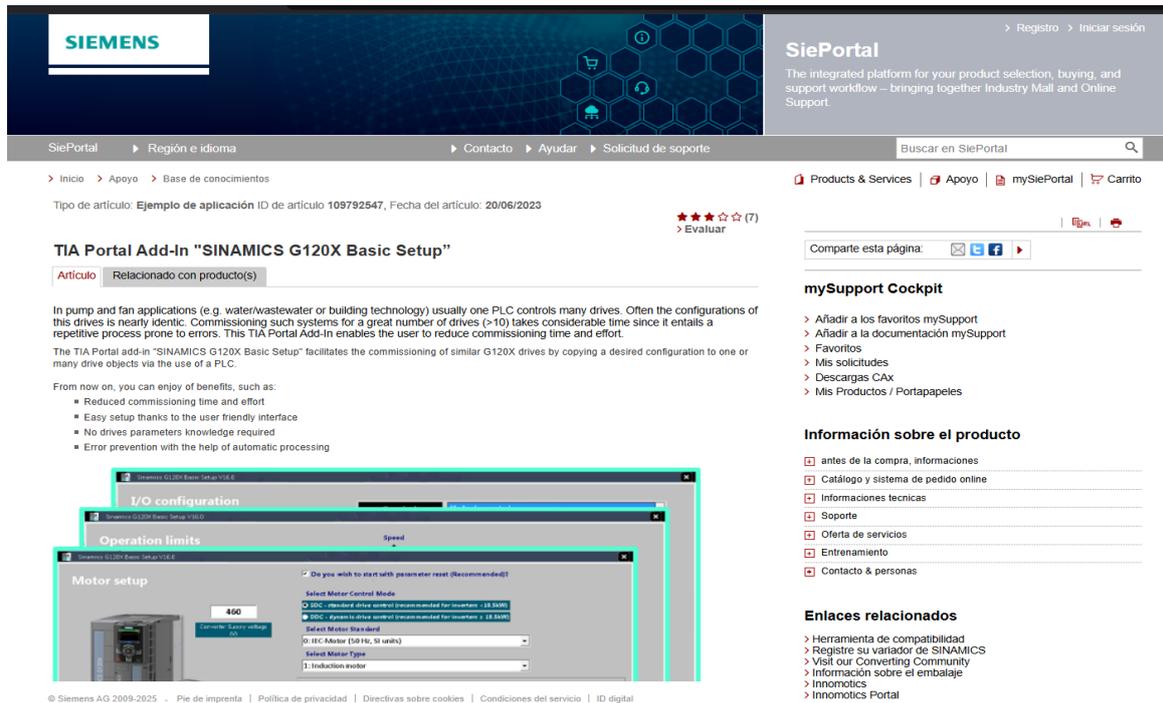
Instalación completada.



Cabe aclarar que es necesario reiniciar el PC para que se actualice el TIA Portal V18 con la librería y los demás complementos preparados. En la figura 34, se aprecia un complemento o “Add-Ins” desde la página oficial de SIEMENS específicamente para el uso y configuración de parámetros del variador G120X.

Figura 34

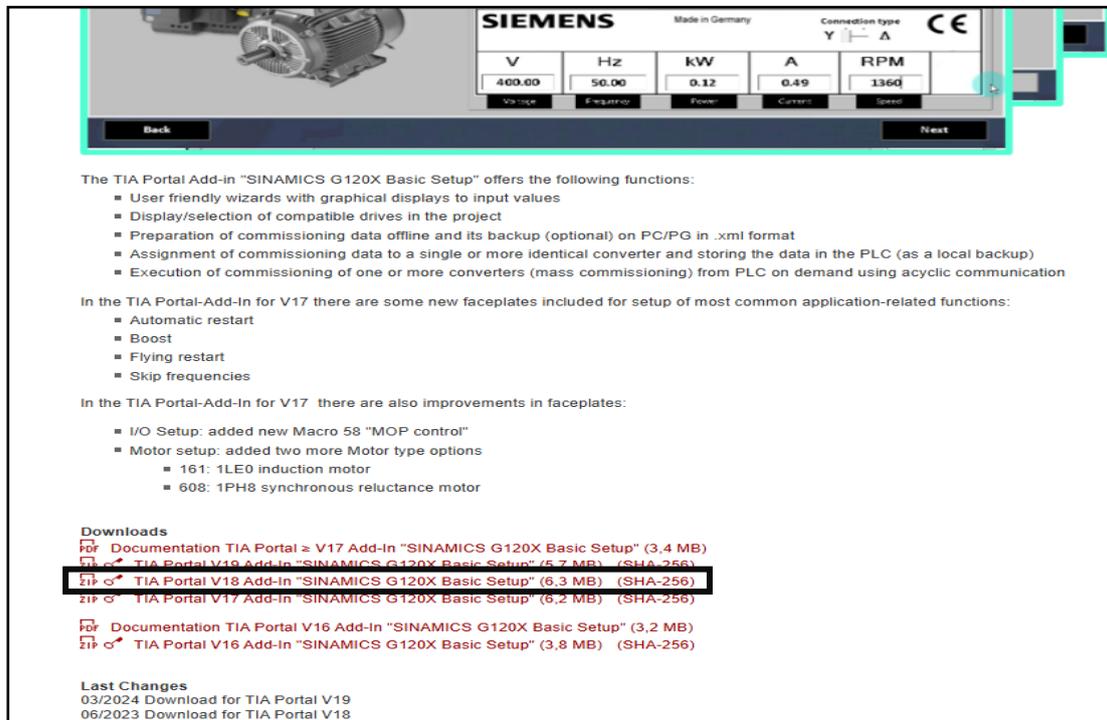
TIA Portal Add In SINAMICS G120X Basic Setup.



En dicha página, en la sección de “Downloads” hay seis opciones a elegir dos de documentación y cuatro para distintas versiones del TIA Portal, se eligió la opción remarcada que indica “TIA Portal V18 Add-In "SINAMICS G120X Basic Setup" (6,3 MB) (SHA-256)”, de acuerdo con la representación en la figura 35.

Figura 35

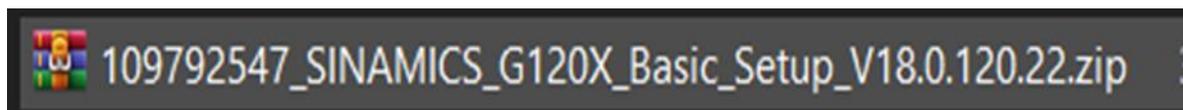
Descargando el ADD IN.



Al descargarlo, deja un archivo comprimido con la extensión .rar como se observa en la siguiente figura 36.

Figura 36

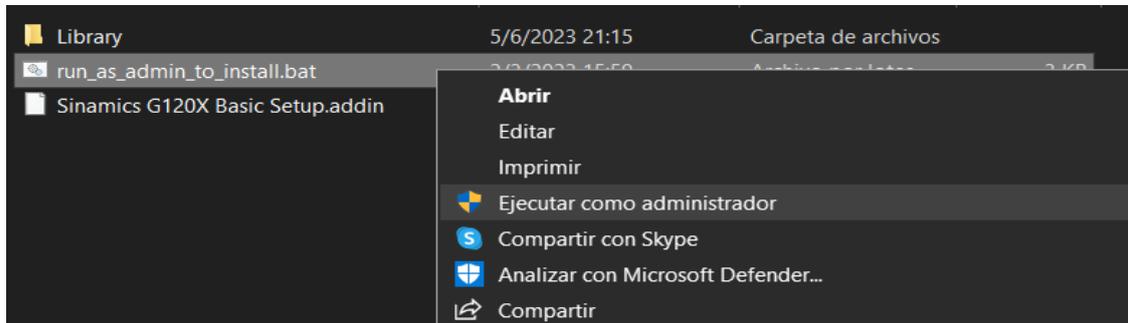
Archivo ZIP descargado.



Al descomprimirlo habrá dejado una carpeta con el nombre "SINAMICS G120X Basic Setup V18.0.120.22", dentro de la misma estarán tres archivos de los cuales se ejecutará como administrador un archivo con extensión ".bat" que tiene el siguiente nombre "run_as_admin_to_install" tal como se visualiza en la posterior figura 37.

Figura 37

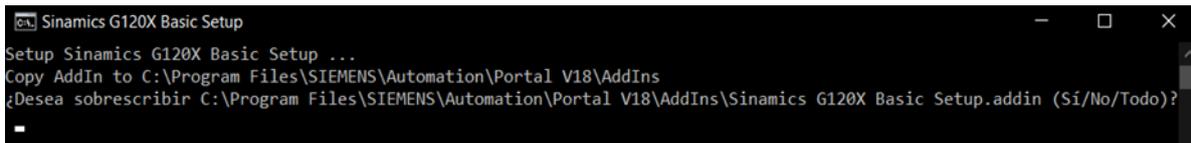
Ejecutando el instalador.



Posteriormente de haber ejecutado dicho archivo mencionado anteriormente se abrirá la consola de comandos o como se lo conoce habitualmente “CMD”, al principio se podrá visualizar un mensaje diferente, como se aprecia en la siguiente figura 38.

Figura 38

Instalando desde CMD.



Dicho mensaje de “¿Desea sobrescribir?” es porque previamente ya estaba instalado, en este caso hay tres opciones a escribir “Si”, “No” y “Todo”, en el caso de recién instalarlo solo se presiona cualquier tecla para poder continuar con la debida instalación.

Por otra parte, en el TIA Portal del lado derecho se encontrará cinco opciones escritas en vertical, se eligió la opción “Add Ins”, al elegir dicha opción se mostrará el nombre de la librería que se acabó de instalar, cabe recalcar que si no se hubiese instalado la librería StarDrive no se podría activar este complemento, debido a que es uno de los requisitos que pide la librería “SINAMICS G120X basic Setup”, dichos requisitos son los siguientes:

- TIA Portal V18.0
- TIA Portal Openness V18.0

- SINAMICS Startdrive V18.0

- .NET Framework 4.8

En la figura 39 se puede apreciar que el complemento que se instaló está con una “X” a su lado derecho, esto se debe porque no está activado, para poder activarlo simplemente se dio clic derecho y aparecerán dos opciones que son activar y desactivar, se eligió obviamente la opción de activar como se muestra en la figura 40.

Figura 39

Complemento instalado sin activar.

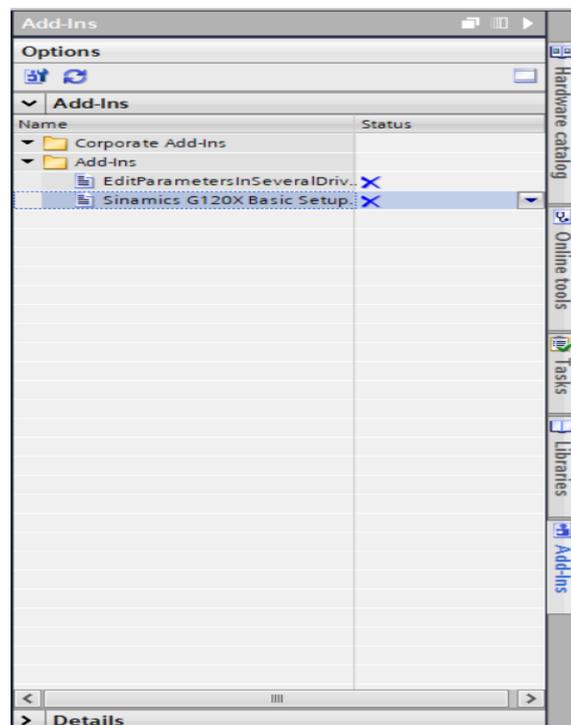
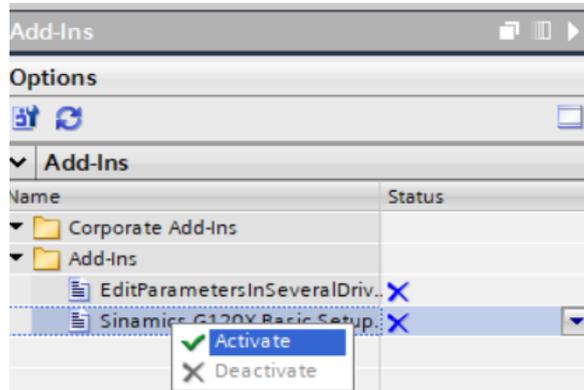


Figura 40

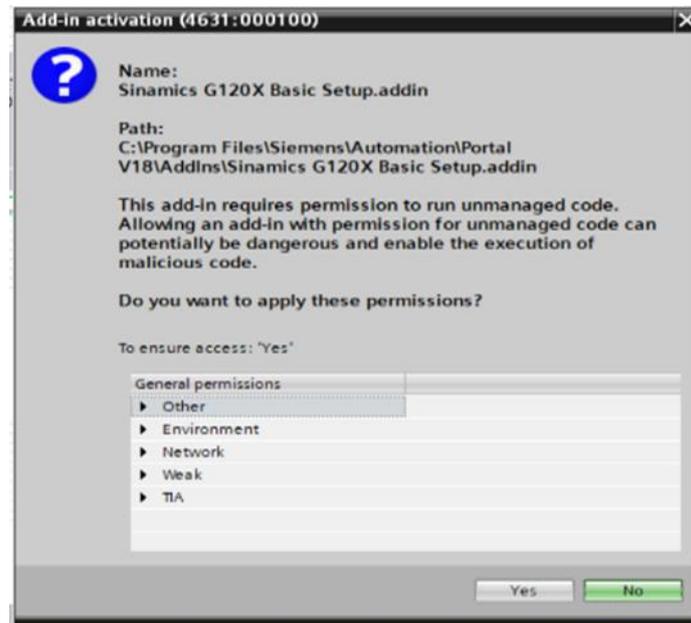
Activando Add In.



Al darle activar aparecerá una ventana para aplicar permisos, se le dio a la opción “Yes” como se visualiza en la figura 41.

Figura 41

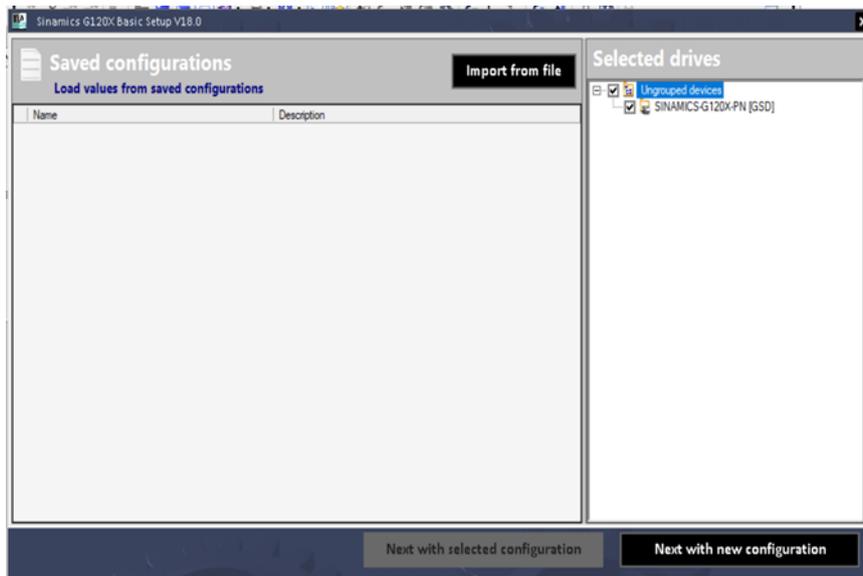
Aplicando permisos.



Una vez realizado lo mencionado anteriormente, se dirigió al árbol de proyecto y se posicionó en el nombre del archivo y se dio clic izquierdo mostrando una nueva opción que es “SINAMICS G120X basic Setup” tal como se presenta en la figura 42.

Figura 42

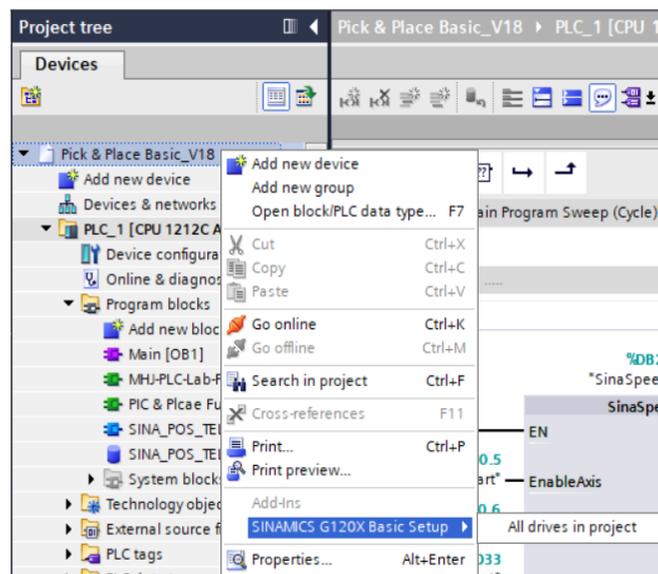
Iniciando la configuración de parámetros.



Al elegir esa nueva opción se abre una opción que se llama “All drives in Project” esa elección será la que permitirá configurar los parámetros del variador G120X, al darle clic aparecerá la siguiente ventana como se observa en la figura 43.

Figura 43

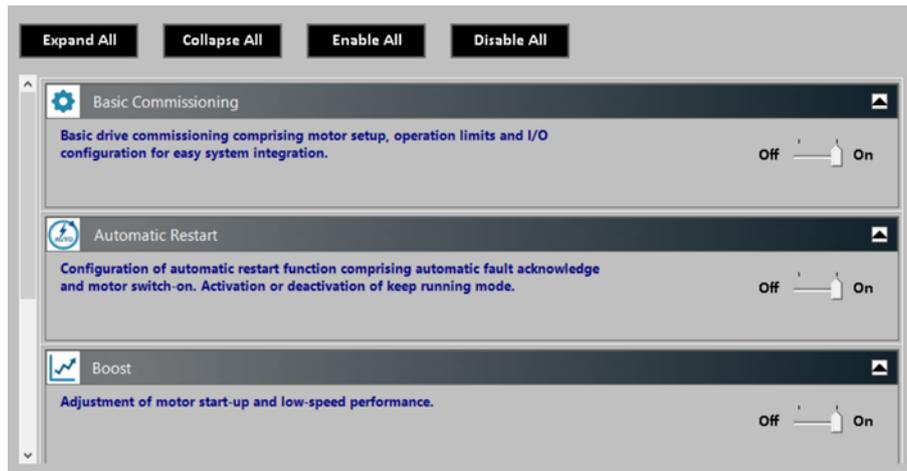
Abriendo SINAMICS G120X Basic Setup.



Luego de que aparezca dicha ventana se dio clic en la casilla de la sección “Selected drives” para después darle clic al botón “Next with new configuration”, a continuación, emergerá una nueva interfaz en donde son las opciones para los parámetros, se activó todas como se visualiza en la figura 44.

Figura 44

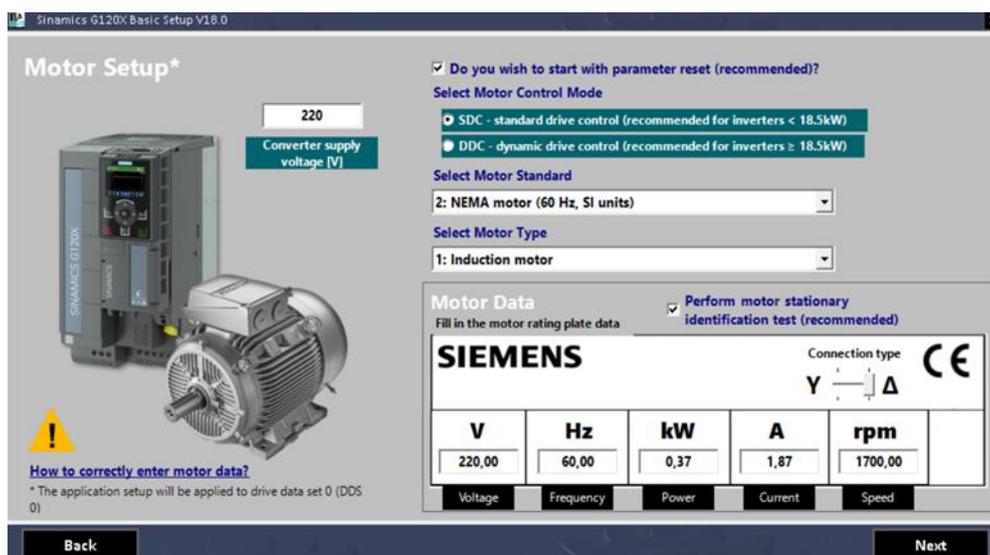
Opciones de parámetros.



Seguidamente se dio clic a “Next” y se configurará el primer parámetro que es “Motor Setup”, se ajustó los valores basándose en la placa del motor de la marca WEG como se evidencia en la figura 45.

Figura 45

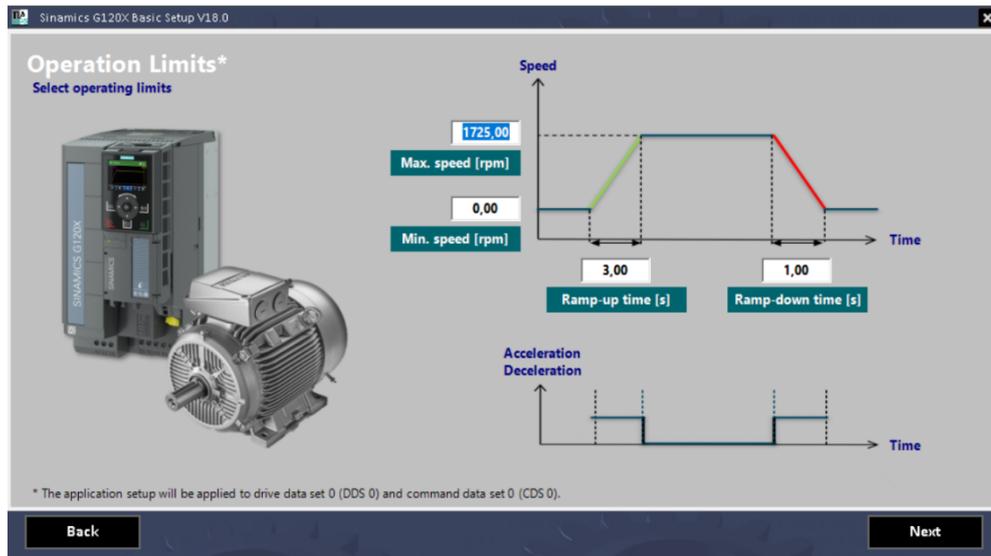
Ventana Motor Setup.



El siguiente parámetro es “Operation Limits” que se configura el máximo y mínimo rpm o revoluciones por minuto que soporta el motor, por otra parte, la opción de “Ramp-down time” se configuró en 1 segundo con el fin de al detectar la frutilla se detenga enseguida se detenga enseguida, figura 46.

Figura 46

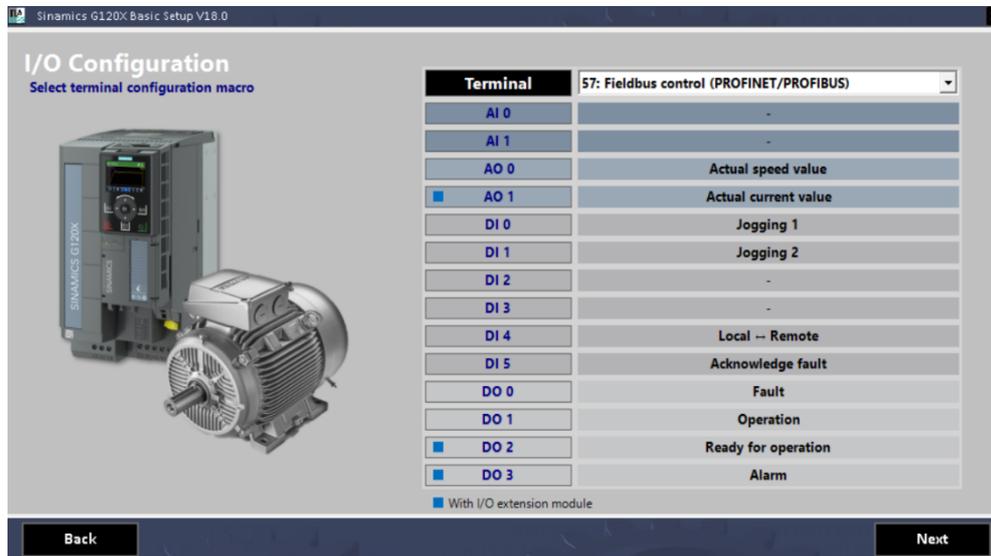
Ventana Operation Limits.



Después están las configuraciones de entrada y salida, en la lista de opciones por elegir de “Terminal se seleccionó PROFINET como protocolo de comunicación para poder controlar la interacción del PLC al controlar la banda y detenerla para que se reproduzca la animación del robot ABB, tal como se presenta en la figura 47.

Figura 47

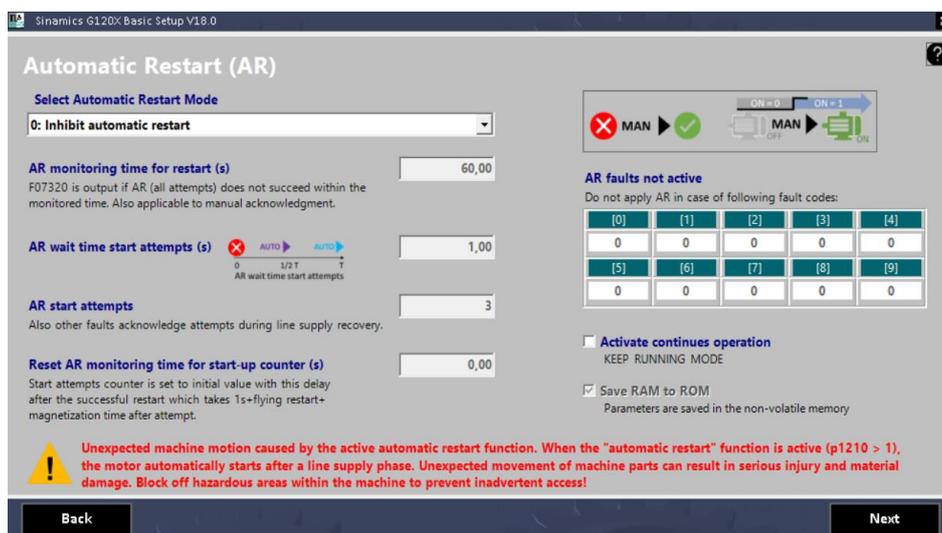
Ventana I/O Configuration.



Continuando, se procedió a darle clic a “Next” tocándole turno al parámetro “Automatic Restart”, en la lista de opciones simplemente se dejó en la de 0 “Inhibit automatic restart” como se ilustra en la figura 48.

Figura 48

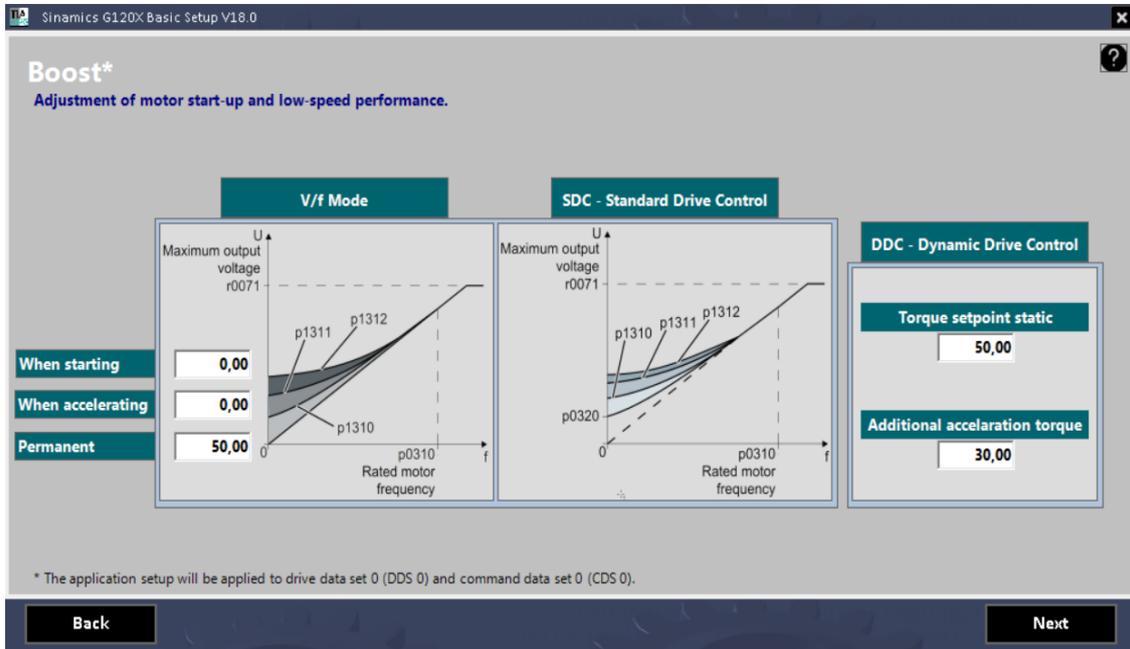
Ventana Automatic Restart (AR).



En el siguiente paso, el parámetro “Boost”, se realizó lo que se muestra en la figura 49.

Figura 49

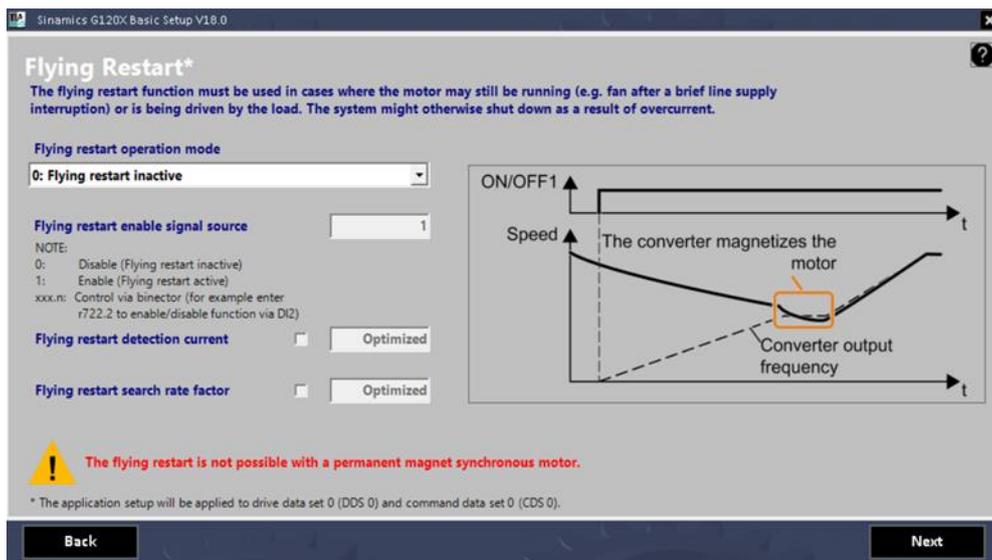
Ventana Boost.



Finalmente, se llevó a cabo configurar el último parámetro “Flying restart”, en este caso no se realizó ninguna configuración como se visualiza en la figura 50.

Figura 50

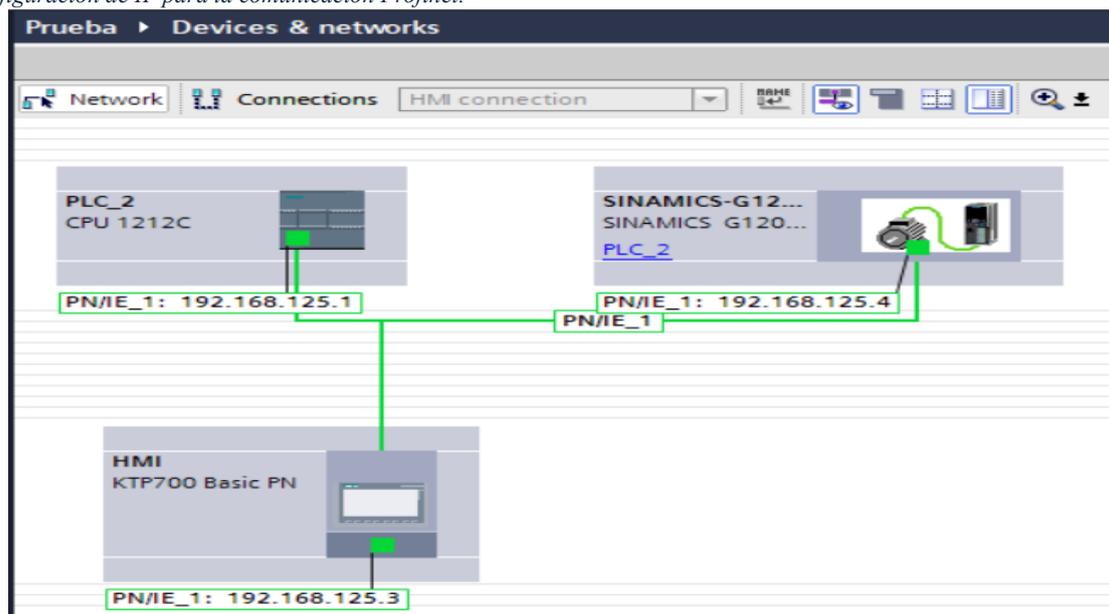
Ventana Flying restart.



Finalmente, luego de haber configurado los diversos parámetros del variador G120X con el complemento, se procedió añadirlo en “Devices & Networks” o dispositivos y redes, para ellos se busco en “Hardware catalog” y se accedió a la sección “Other field devices”. Luego, se seleccionó la opción PROFINET IO para establecer la comunicación con los dispositivos conectados a través de esta red. Dentro de esta sección, se encontró la categoría Drives, donde se listaban los variadores configurados, incluyendo el SINAMICS G120X de SIEMENS AG. Al seleccionar esta opción, ya se podría configurar las direcciones ip para que esté en la misma red que fue establecido para la debida comunicación PROFINET, facilitando su integración en el sistema de automatización, figura51.

Figura 51

Configuración de IP para la comunicación Profinet.



5.2.2 Integración del robot ABB IRB 360

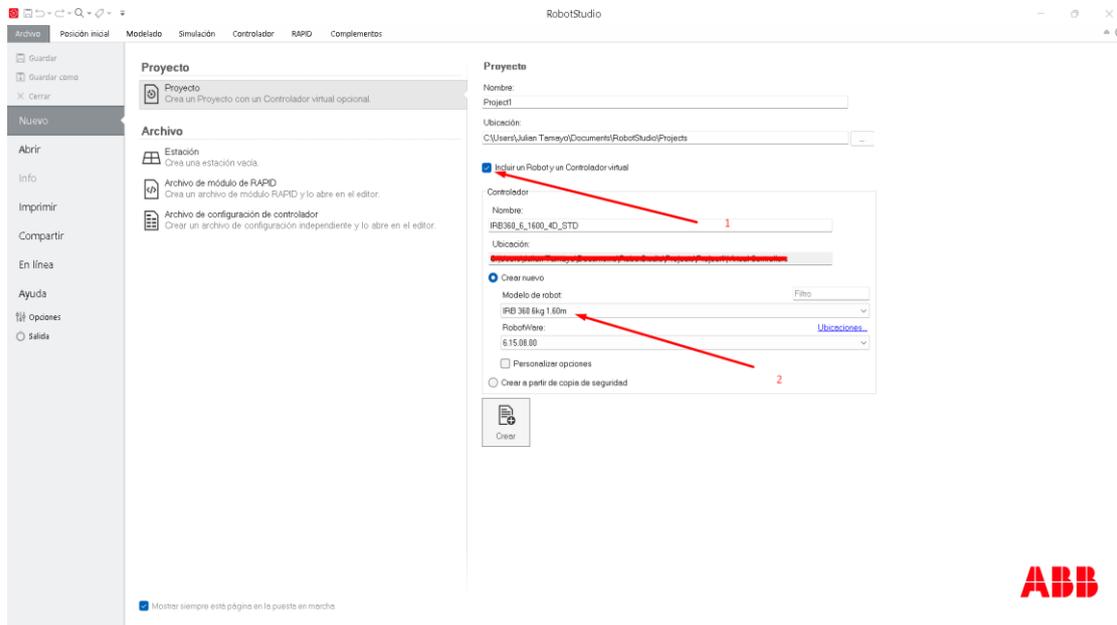
La integración del robot ABB IRB 360 en el sistema automatizado representa una etapa necesaria en el proceso de manipulación pick and place. Este robot, diseñado para aplicaciones de alta dinámica y carga ligera. Esta integración asegura la coordinación efectiva entre el robot y los demás componentes, como la banda transportadora y los sensores, para lograr un funcionamiento continuo del sistema (González & Viter, 2024).

Para iniciar el proceso de configuración y simulación del robot ABB IRB 360, se accede al software RobotStudio al apartado de Proyecto. En esta sección, es necesario asignar un nombre al proyecto de trabajo y habilitar la opción "Incluir un robot y un controlador virtual" (como se indica con la flecha 1 en la figura 50). Esta opción permite la creación de un entorno de simulación completo, incluyendo el modelo tridimensional del robot como el controlador virtual.

Posteriormente, se procede a la selección del modelo específico del robot. En el laboratorio de CPI Robótica, el modelo disponible es el correspondiente al ABB IRB 360, que cuenta con una capacidad de carga de 6 kg y un diseño de 1.60 metros de altura. Siguiendo la selección del modelo, se debe hacer clic en la opción **Crear**, lo que permitirá la carga automática de la pantalla de trabajo y de todas las herramientas necesarias para la programación, simulación y validación de movimientos, la siguiente imagen, figura 52, indica como es el paso a paso para inicializar el entorno de simulación (Lara, 2024).

Figura 52

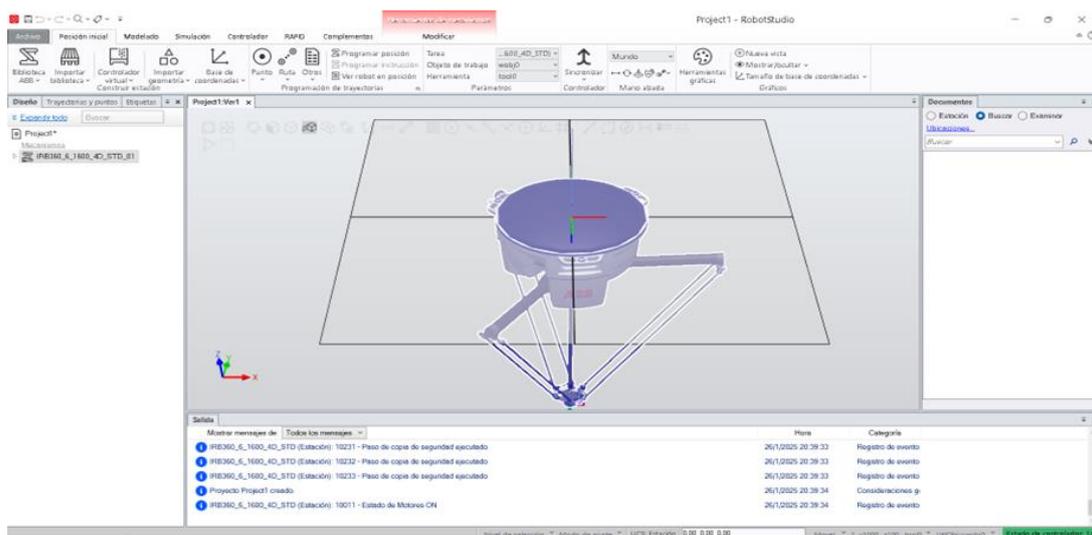
Ventana inicial RobotStudio.



Con esto realizado, se observa en la figura 53 el entorno de trabajo del software RobotStudio, con el robot listo para simular. Este entorno es muy intuitivo ya que integra el modelo 3D del robot junto con las herramientas necesarias para la configuración, programación y simulación de sus movimientos. (Bocanedes & Sánchez, 2024).

Figura 53

Entorno de simulación RobotStudio.



5.2.3 Integración del Gripper

Para la correcta manipulación de las frutillas se escogió un gripper neumático dentro del sistema automatizado, con ayuda del coworking de la UPS se diseñó y fabricó una base mediante impresión 3D, en la figura 54 se visualiza el gripper a utilizar con su base.

Figura 54

Gripper Neumático ya instalado.



El control del gripper se integró con un tablero de control neumático preexistente en el laboratorio como se presenta en la figura 55, encargado de gestionar la presión, carga y descarga de aire, para ello, se realizó la conexión neumática y eléctrica. Este sistema brindará los parámetros específicos de presión de aire para regular la fuerza de sujeción y evitar daños en las frutillas, asegurando el correcto funcionamiento del proceso de pick and place.

Figura 55

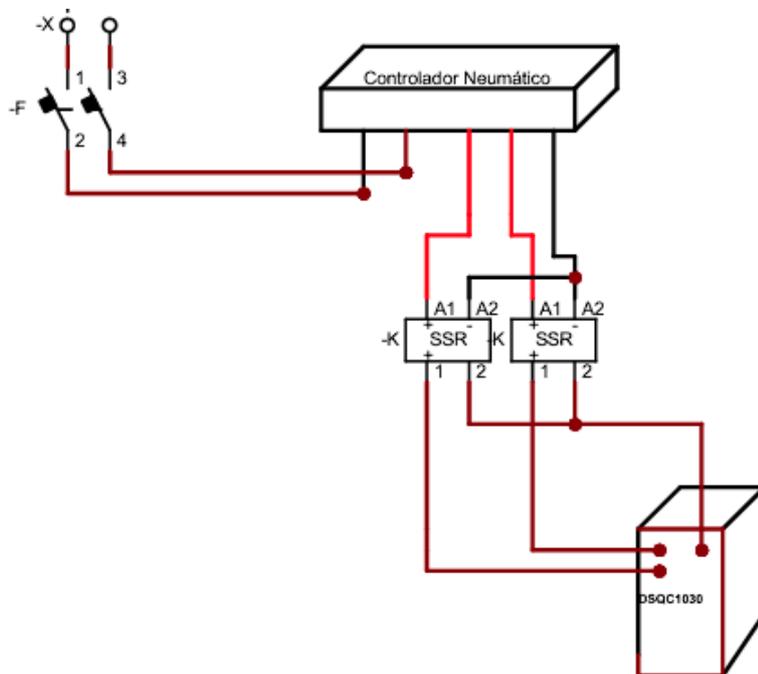
Controlador Neumático.



En la figura 56 se puede ver el diseño CAD de las conexiones que se hicieron desde el controlador neumático hasta la tarjeta DSQC1030 las conexiones realizadas.

Figura 56

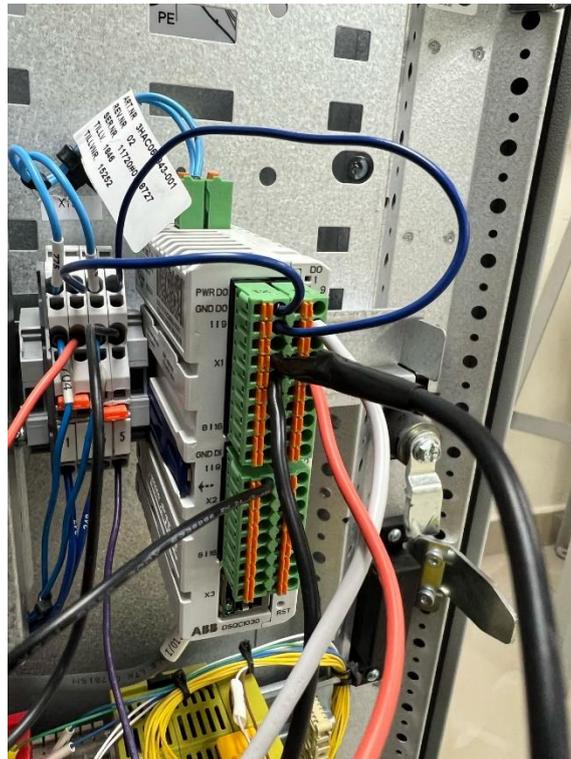
Diseño CAD de las conexiones eléctricas del controlador.



A su vez, en la siguiente figura se aprecia la tarjeta DSQC1030, la cual permite gestionar entradas y salidas Digitales o Analógicas, de las cuales, se usaron 2 salidas digitales, una controla la bomba de succión y la otra controla el llenado de aire del Gripper, figura 57.

Figura 57

Tarjeta de Local I/O ABB DSQC1030



5.2.4 Integración del sensor de presencia BX700-DFR-T

Al buscar una solución para detectar las frutillas en la banda transportadora, se implementó un sensor BX700-DFR-T como se visualiza en la figura 58, el cual fue estratégicamente ubicado para la captación de señales, el tipo de detección utilizado es difuso reflectivo, con una distancia máxima de detección de aproximadamente 700 mm. El objetivo de detección incluye materiales opacos y translúcidos, y el tiempo máximo de respuesta es de hasta 20 ms. Además, el dispositivo opera con una fuente de alimentación que acepta tanto corriente alterna (24-240 VCA) como corriente continua (24-240 VCC), con un consumo máximo de corriente de 3 VA.

Figura 58

Sensor de presencia.



La instalación se efectuó fijando el sensor en un soporte rígido ubicado a una altura y ángulo factible para detectar de manera oportuna el paso de cada frutilla sin afectar la fluidez del proceso.

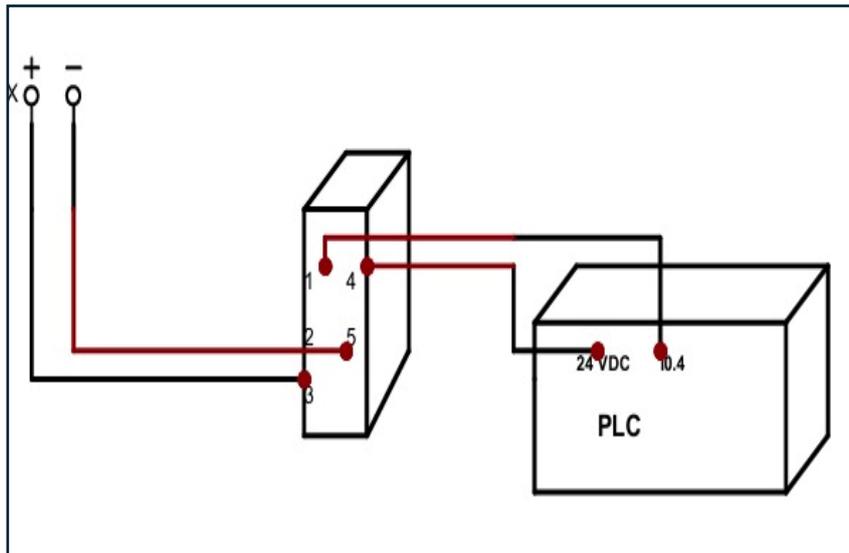
Posteriormente, se realizó la conexión del sensor al PLC a través de los módulos de entrada digital, configurando los parámetros de umbral de detección y filtrado de señales para evitar falsas lecturas. Se llevó a cabo la verificación de la correcta transmisión de la señal, asegurando que el sistema reconociera la presencia de cada frutilla y activara las funciones correspondientes dentro del proceso automatizado (Mendoza, 2021).

En la Figura 59 se muestra la conexión del sensor BX700-DFR-T de cinco hilos a un PLC. En la imagen, se observa que los cables marrón y azul están destinados a la alimentación del sensor, donde el marrón se conecta a +24VDC y el azul a 0VDC.

Los cables de señal, negro y blanco se utilizan para la transmisión de información al PLC. En este caso, el negro representa la salida normalmente abierta (NO) y el blanco la salida normalmente cerrada (NC), permitiendo la detección del estado del sensor mandando la señal al PLC y del PLC manda al módulo DSQC1030.

Figura 59

Diagrama con la conexión a usar de sensor.



5.3 Programación del PLC, robot ABB e interfaz HMI

En esta sección se explica la programación y sincronización del sistema pick and place, abordando la cinemática del robot ABB IRB 360, la interfaz HMI y la lógica de control del PLC. Se expone el ciclo de trabajo del robot, incluyendo la generación de trayectorias favorables y la manipulación de las frutillas con precisión. Además, se explicará cómo fue la integración del robot con la banda transportadora y los sensores de detección; logrando de esta manera un funcionamiento coordinado dentro del sistema.

Asimismo, se describe el desarrollo de la interfaz HMI, la cual permitirá la supervisión y control del proceso, proporcionando opciones para la gestión de parámetros como velocidad, inicio y paro del sistema. Finalmente, se abordará la programación del PLC utilizando lenguaje

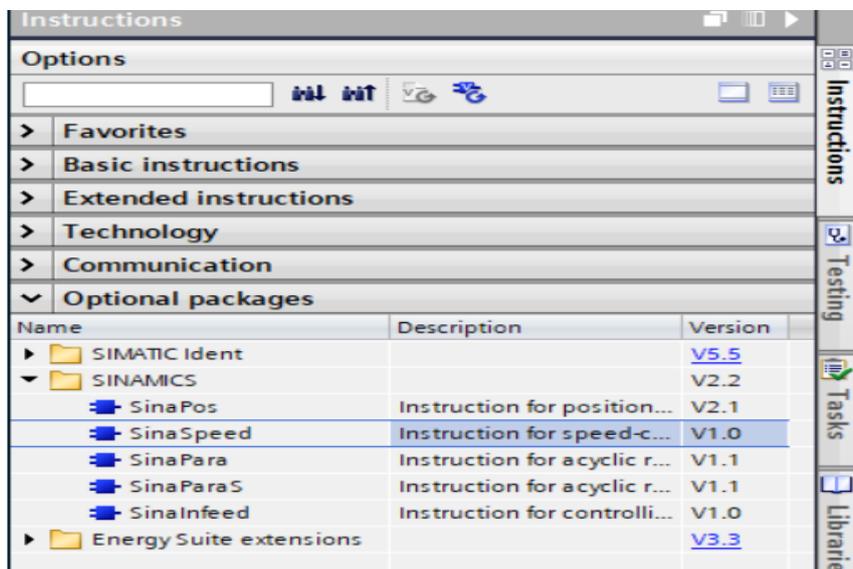
KOP, estableciendo la lógica necesaria para el procesamiento de señales, la sincronización de los equipos y la ejecución de las operaciones automatizadas.

5.3.1 Lógica del PLC mediante lenguaje KOP

Para el Network uno, se usó un bloque que fue obtenido del portal de instrucciones que está ubicado en la parte derecha, se localizan las distintas instrucciones que se puede encontrar para ser utilizadas en la programación, organizadas en las siguientes categorías: Basic Instructions (Instrucciones Básicas), Extended Instructions (Instrucciones Extendidas), Technology (Tecnología), Communication (Comunicación), Optional Packages (Paquetes Opcionales), donde en se eligió paquetes opcionales y finalmente la carpeta con el nombre “SINAMICS” y la segunda opción está el bloque deseado, figura 60.

Figura 60

Ubicación del bloque SinaSpeed.



Una vez llevado al entorno de programación se observará ocho entradas y 7 salidas, para las entradas están las siguientes:

- EN: Activa el bloque de función.
- EnableAxis: Activa el eje para el control de la velocidad.

- AckError: Reconocimiento (reseteo) de los errores del eje.
- SpeedSp: Setpoint de la velocidad (valor deseado de velocidad).
- RefSpeed: Referencia de la velocidad.
- ConfigAxis: Parámetros de configuración del eje.
- HWDSTW: Palabra de control del hardware.
- HWDZSW: Palabra de estado del hardware.

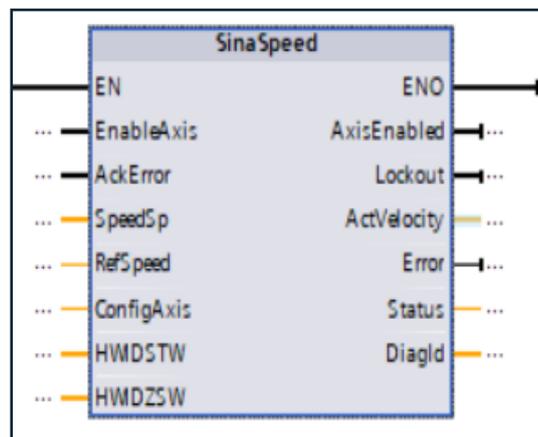
Por otra parte, están las salidas (Outputs), las cuales son las siguientes:

- ENO: Indica si el bloque de función está habilitado.
- AxisEnabled: Indica si el eje está habilitado.
- Lockout: Indica si hay bloqueo del eje.
- ActVelocity: Muestra la velocidad real del eje.
- Error: Indica si hay error del bloque.
- Status: Devuelve el estado actual del eje.
- DiagId: Devuelve un código de diagnóstico en caso de error.

Todas las entradas y salidas que se mencionaron se pueden observar a continuación en la figura 61.

Figura 61

Bloque SinaSpeed vacío.

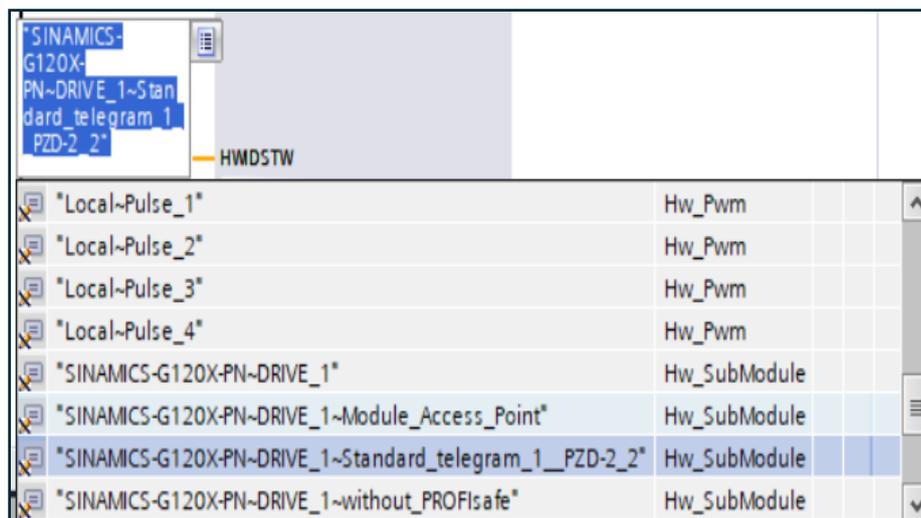


Dicho bloque se usa para el control de velocidad en un sistema SINAMICS dentro de TIA Portal, que en este caso se usó el variador de frecuencia G120X.

Entonces, para la entrada EN no se le colocó ningún contactor para que esté encendido siempre la comunicación, la segunda entrada (EnableAxis) se le colocó un contactor normalmente abierto desde la barra de herramientas de instrucciones, asignándole la variable activar que es del bloque SR que se encuentra en el Network dos para que active los ejes, con la tercera entrada (AxisError) fue colocado otro contacto “NA”, esto con la intención de que el sensor al instante cuando detecte una presencia se apague el motor. A la cuarta entrada solo se asignó una variable llamada “Velocidad” para guardar, establecer y visualizar desde una pantalla del HMI. Finalmente, en la séptima y octava entrada se asignó con ayuda del botón cuadrado que parece un cuaderno que en realidad se llama "Assign device variant" o "Asignar variante de dispositivo", como se muestra en la figura 62.

Figura 62

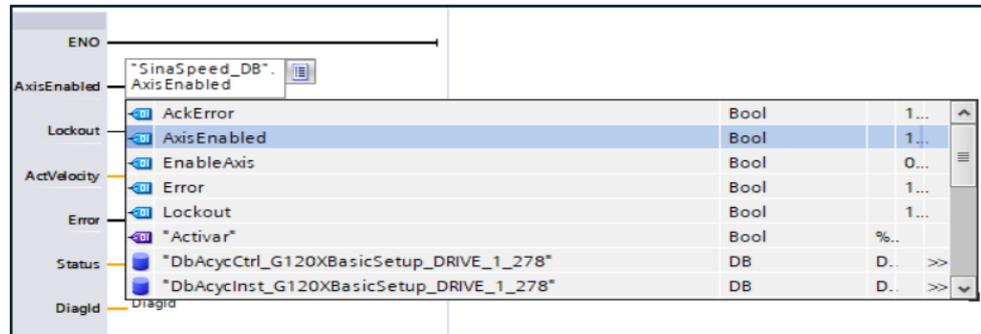
Telegrama 1 PZD2.



Para las salidas del “SinaSpeed” con el botón de asignar variante del dispositivo se fue añadiendo cada uno claramente dependiendo de su salida como se observa en la figura 63.

Figura 63

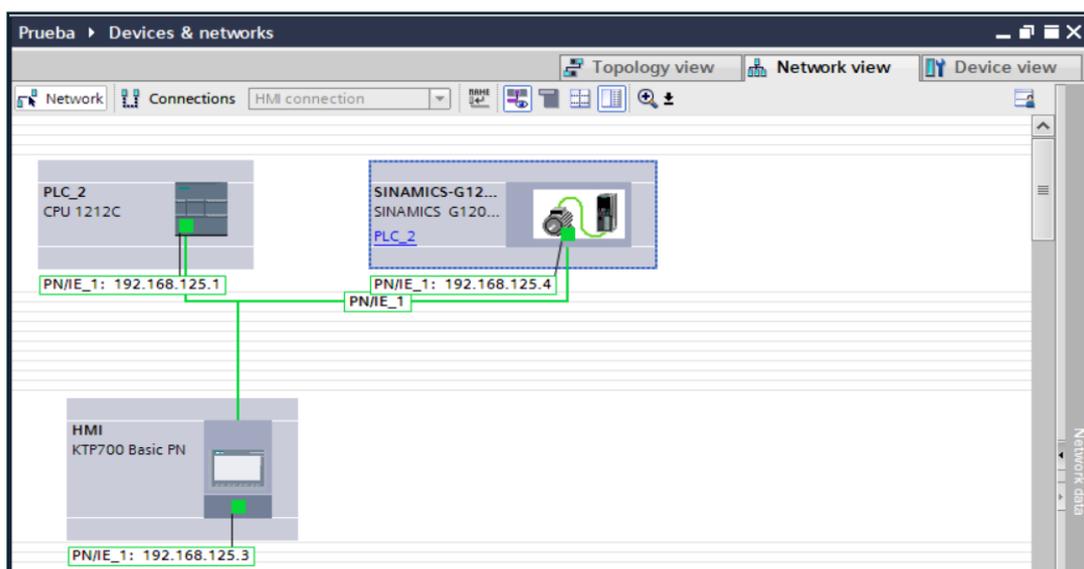
Salidas del bloque SinaSpeed.



Cabe resaltar que para la entrada siete y ocho lo primero que se hizo fue añadirle un estándar llamado Telegram PZD-2 al SINAMICS G120X, lo que hace es definir la estructura de datos que es intercambiada entre el PLC y el variador a través del protocolo de comunicación PROFINET o ya sea PROFIBUS. Lo que se hizo fue seleccionar el G120X como muestra la figura 64.

Figura 64

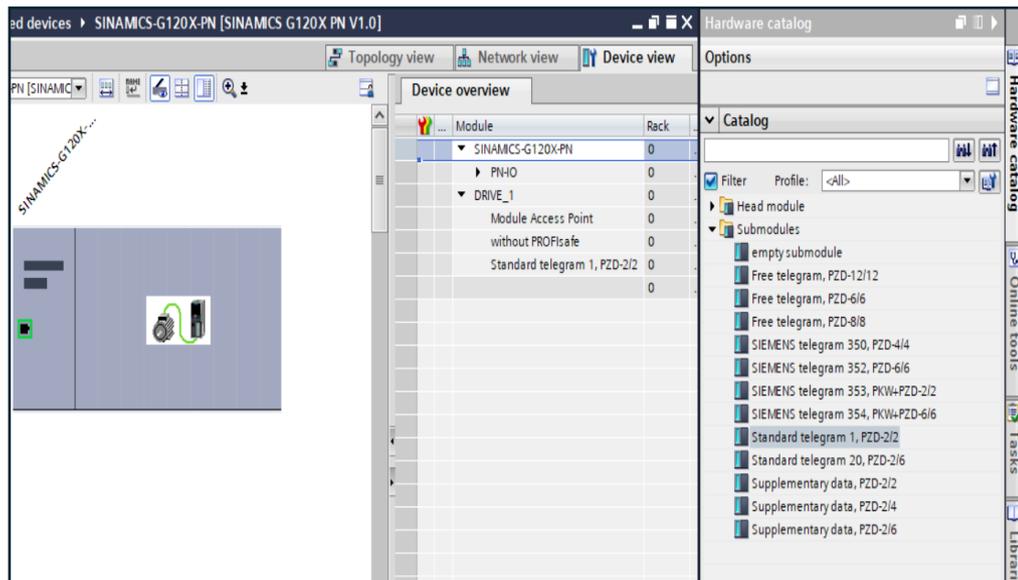
Seleccionando el G120X.



Una vez seleccionado, se dirigió a la pestaña “Device view”, estando allí en el catálogo de hardware se abrió la carpeta “Submodules” y se seleccionó el “Standard telegram 1, PZD-2/2” y se arrastró al área de “Drive_1” según se puede ver en la figura 65.

Figura 65

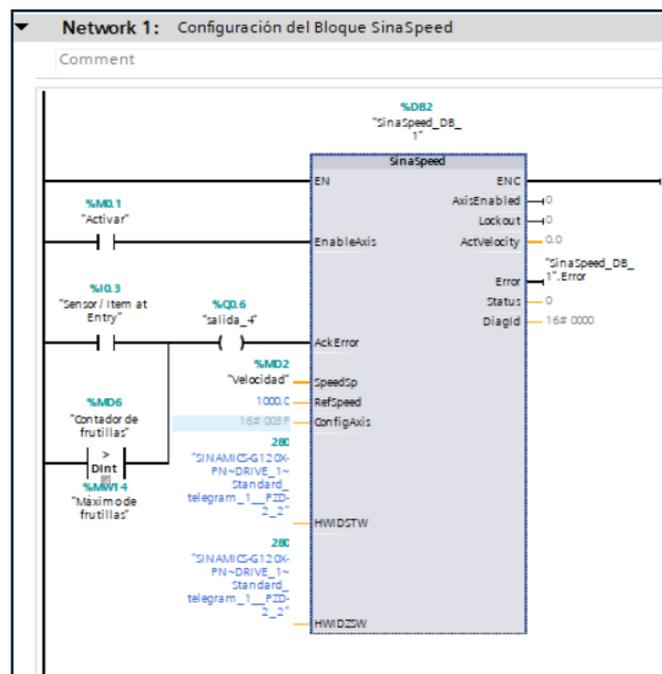
Eligiendo el Standard telegram 1, PZD-2/2.



Así es como quedaría el bloque “SinaSpeed” con sus entradas y salidas detalladas anteriormente, figura 66.

Figura 66

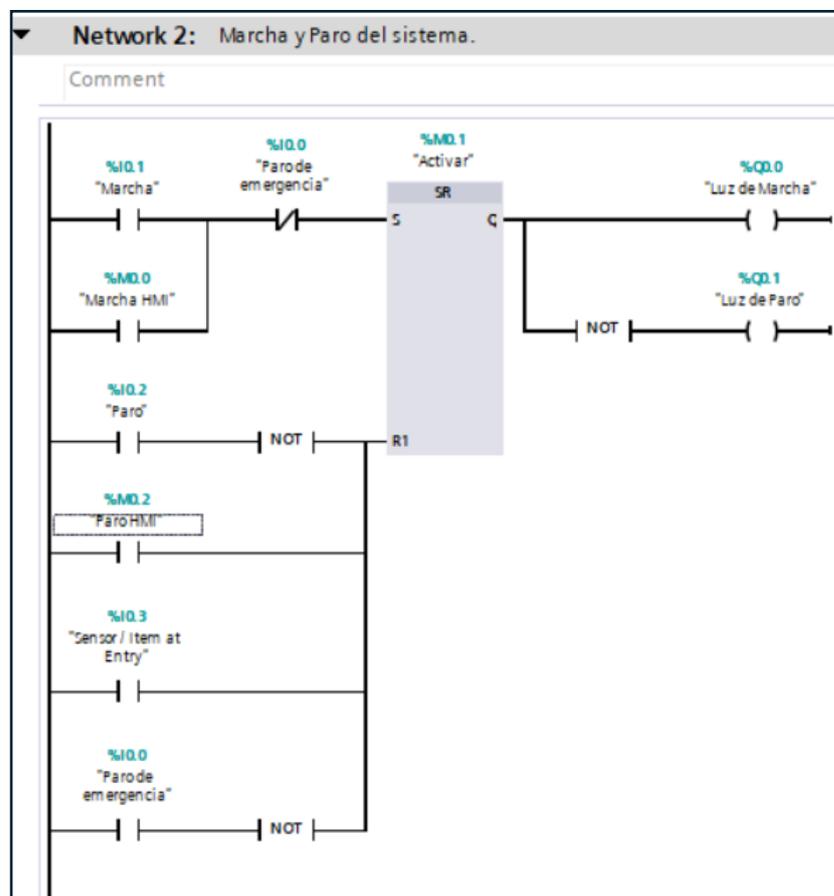
Bloque SinaSpeed lleno.



Para el Network dos, se creó un bloque SR con dos contactores NA para la entrada del S (Set), la primera es “Marcha” la cual asigné una variable a una entrada digital (I) con La dirección de memoria I0.1 corresponde al byte 0, bit 1 del área de entradas digitales del PLC seguido de un contacto cerrado que es para que no deje pasar la energía después de activar el paro, por otra parte, está variable “Marcha HMI”, a diferencia de la otra, está se usa exclusivamente para el HMI, por tal razón tiene la letra M refiriéndose a que es una memoria global con la dirección de memoria M0.0. Por otro lado, para la entrada R1 (Reset), tiene casi el mismo patrón que la primera entrada, pero con la diferencia que la variable “Paro” tiene una negación “NOT”, esto con el fin de al momento de presionar me deje dar el pulso a la entrada R1, debido a que físicamente está conectado un botón normalmente cerrado, por tal razón la energía pasa sin que me deje dar el pulso deseado como pasa con Marcha.

Figura 67

Marcha y Paro.



El tercer contacto NA es del sensor y esto también apagará lo que sería la banda transportadora al detectar la frutilla para que el robot IRB 360 comience la cinemática. Finalmente, existen dos salidas que son bobinas para visualizar el encendido y el apagado que está también negado para que permanezca encendido la bobina, por último, el paro de emergencia, figura 67.

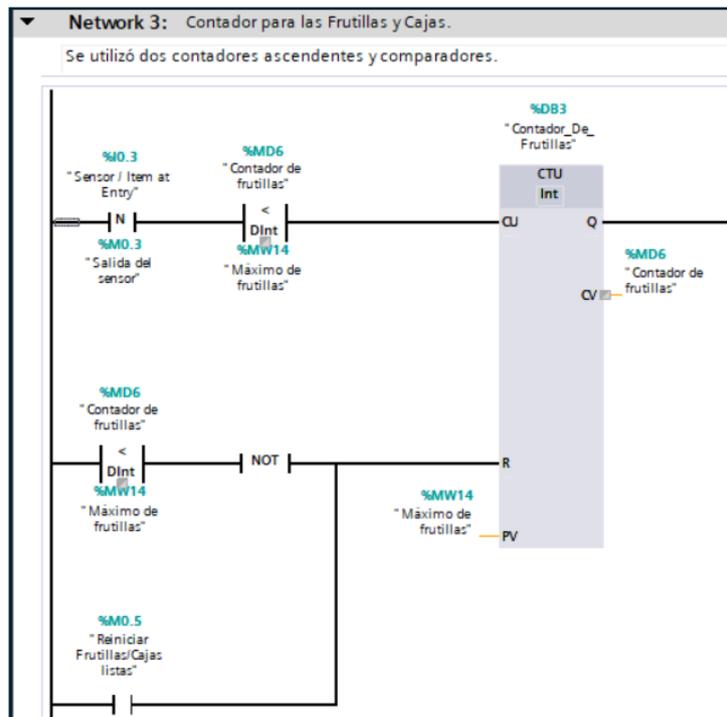
Finalmente, el Network tres es el conteo de las frutillas, primero que nada, hay un contacto NA con flanco negativo, tiene una entrada y su la salida o la representación del estado de esa señal, su función básicamente es detectar un cambio de 1 a 0 en la señal de entrada generando un pulso momentáneo activando el contador ascendente que tiene como nombre “Contador de frutillas”.

En el bloque CTU (contador ascendente) tiene tres entradas que son CU, R y PV, la primera entrada cuando recibe el pulso del contactor flanco negativo comienza a contar, por otra parte, está la entrada PV donde se le asigna un valor máximo que se desea que llegue el contador, en este caso se asignó una variable de memoria global para escribirla desde la pantalla “Ajuste de parámetros” del HMI, finalmente, en la entrada de reinicio (R) hay un comparador seguido de una negación, el comparador tiene una sola entrada que en este caso es “Contador de frutillas” y el valor a comparar es “Máximo de frutillas”, dicho valor se le asigna desde el HMI en la pantalla de “Ajuste de parámetros”, este comparador si el valor del máximo de frutilla es de cinco y el contador al llegar al número cinco, el contactor del comparador se abrirá y no permitirá pasar la corriente porque 5 ya no es menor que 5.

Por otro lado, en las salidas del contador, en el contador actual (CV) se le designo una variable llamada “Contador de frutillas”, como se puede apreciar en la figura 68, para poder visualizarlo desde la pantalla de “Estadísticas” del HMI.

Figura 68

Contador de frutillas.



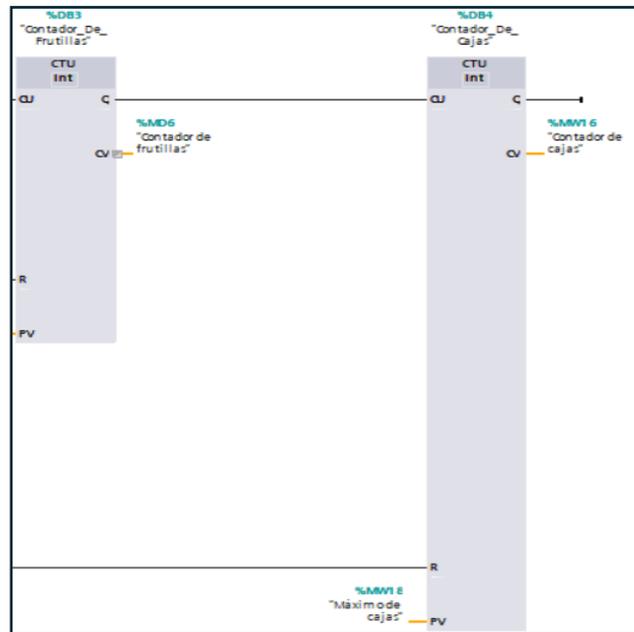
Además, se creó otro contador ascendente, pero esta vez para las cajas llamandose así “Contador de cajas”, el cual como se aprecia en la figura 69 se encuentra conectado en la salida (Q) del contador de frutillas que se presento en la figura 68, con el fin de que cuando llegue al máximo contador de frutillas envíe ese pulso a la entrada CU del “Contador_De_Cajas”, por tal razón se define el valor máximo del contador que en el presente caso es el máximo de frutillas para que envíe ese pulso desde la salida Q al contador de las cajas.

En cuanto a las entradas, cabe recalcar que CU (entrada de conteo) ya se menciono que recibe un pulso del otro contador, se siguió el mismo patrón que el anterior contador, al PV se le asigno una otorgó una variable llamada “Máximo de cajas” para configurarlo desde la pantalla

“Ajuste de parámetros”, por otro lado, la salida también se destinó una variable para fines de visualización desde la pantalla “Estadísticas” del HMI, figura 69.

Figura 69

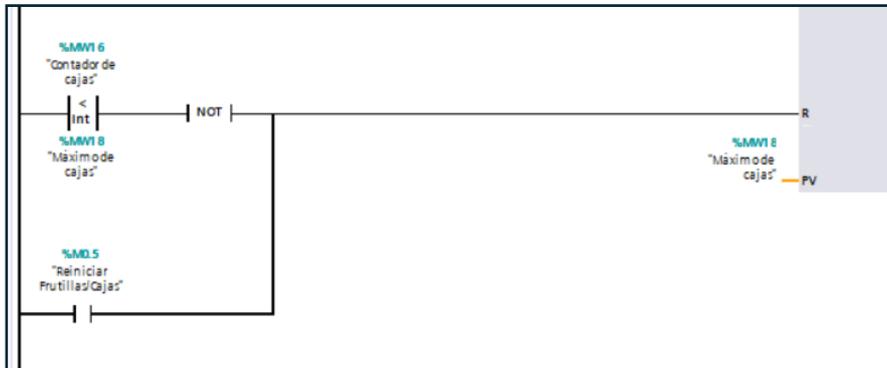
Contador de cajas.



Mientras tanto, la entrada R del contador de las cajas, tiene un comparador con una negación NOT para que envíe el pulso cuando la comparación se cumpla y reinicie el control, este comparador tiene el mismo patrón que el de las frutillas, pero obviamente éste es para las cajas, y el otro contactor que está en paralelo al comparador es para reiniciar el conteo de las frutillas y cajas como su nombre lo dice ya estén listas o no, cabe aclarar que están en paralelos porque en el lenguaje KOP (escalera) esto hace función a una compuerta OR, figura 70.

Figura 70

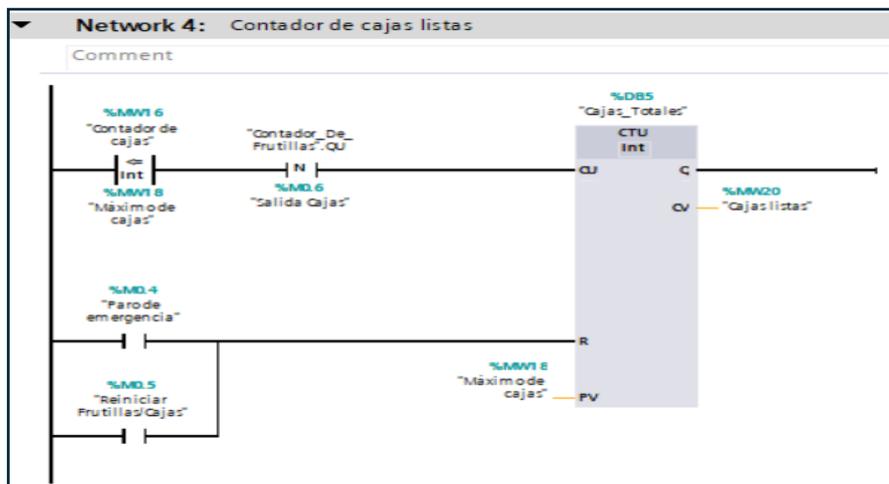
Entrada Reset (R) del contador de las cajas.



Con respecto al Network cuatro, es el contador de las cajas ya listas para empaquetar se podría decir, en la entrada “CU” está un comparador que relaciona la variable “Contador de cajas” con el valor que se le haya ajustado en la variable “Máximo de cajas”, con la finalidad de enviar un pulso al contactor normalmente abierto flanco negativo que tiene como entrada el pulso de salida del contador de frutillas y ese pulso guardado en una variable llamada “Salidas de cajas” que no es relevante. Lo demás tiene el mismo fin que los anteriores contadores, figura 71.

Figura 71

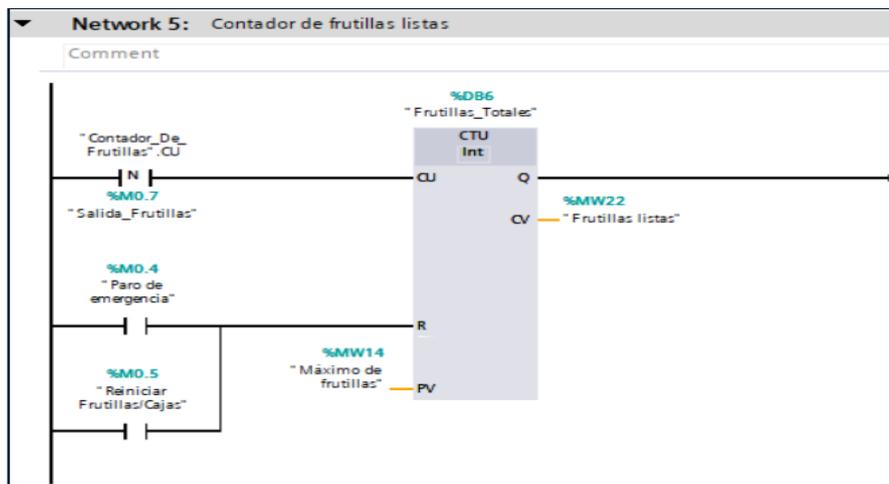
Contador para las cajas que ya estén listas para empaquetar.



Faltando poco para terminanr, está el Network número cinco, en la entrada del contador tiene un contactor flanco negativo que en este caso tiene de entrada la entrada CU del contador de frutillas para que cuente cada frutilla y se vaya guardando en la varialbe llamada “Frutillas listas”, por otra parte, el reseteo solo será por el paro de emergencia o un contacto de reinicio que se encuentra programado en un botón en la pantalla “Estadísticas” del HMI, figura 72.

Figura 72

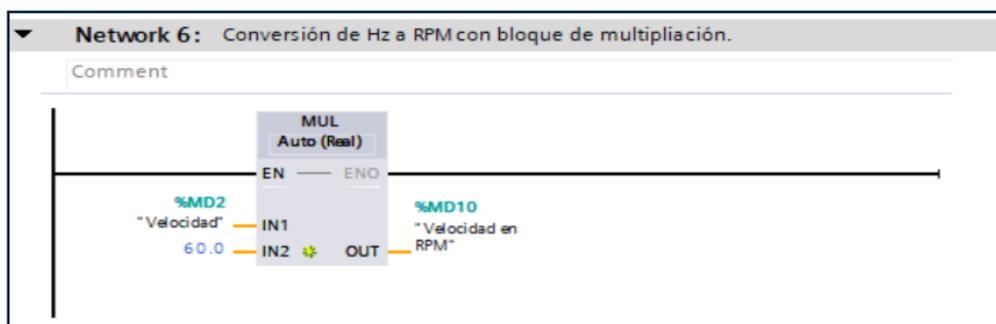
Contador para las frutillas listas en la caja.



Finalmente, el Network seis realiza una conversión usando los bloques de “Math functions” o “funciones matemáticas” que es de Multiplicar, multiplica dos valores para convertir el valor en Hz de la variable “Velocidad” y convertirlo a RPM, figura 73.

Figura 73

Conversión de Hz a RPM.

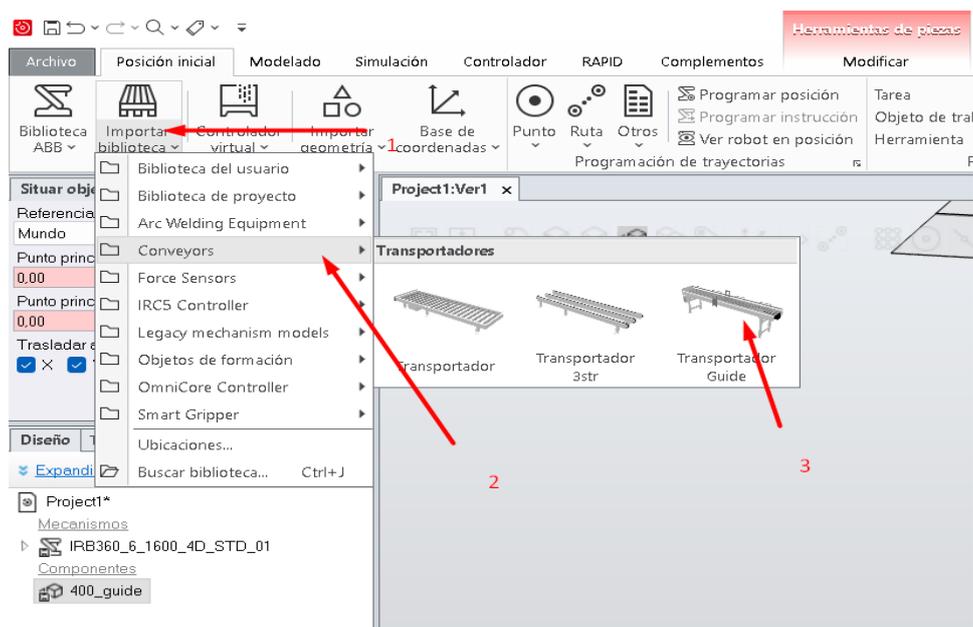


5.3.2 Cinemática y ciclo de trabajo del robot ABB

Como se indicó en la sección 5.2.2, RobotStudio permitió simular la forma de operar el robot, en la siguiente figura 74, se visualiza la forma en la que se agregó una banda transportadora para asemejar el proceso simulado. Esto dará una perspectiva adecuada al momento de reproducir la cinemática mediante el software. El primer paso es ir al apartado de Posición inicial y seleccionar el menú “*Importar Biblioteca*”, se desplegarán las herramientas que se pudo incluir en la simulación, luego se dirigió a la pestaña “*Conveyors*”, y se selecciona la opción “*Transportador Guide*”.

Figura 74

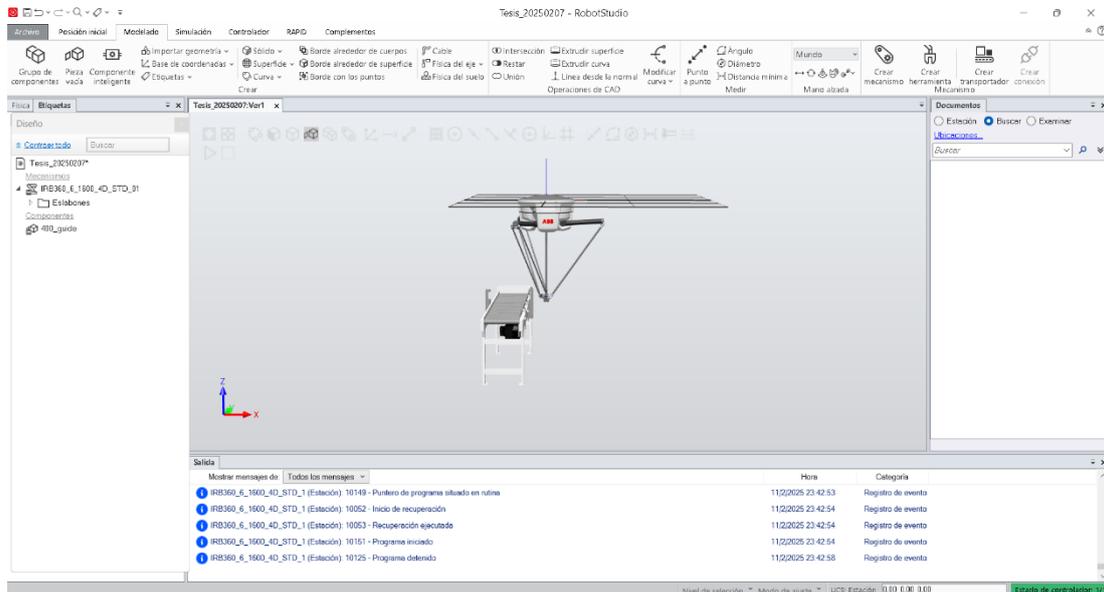
Agregando banda transportadora.



Con esto agregado, solo queda acomodarla según las coordenadas que se requieran, de esta manera, la pantalla de trabajo lucirá tal como se observa en figura 75.

Figura 75

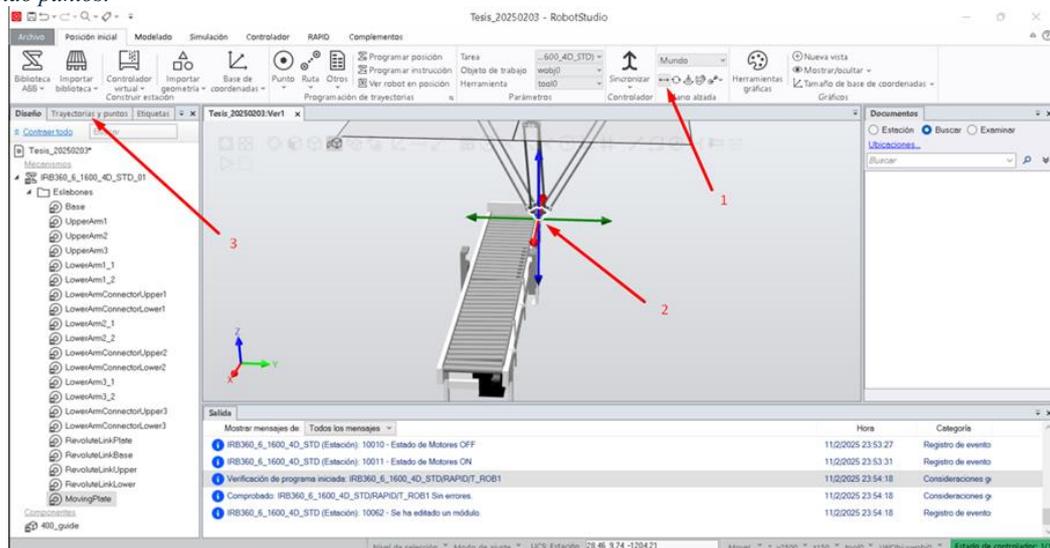
Banda transportadora agregada.



A continuación, se establecieron los puntos necesarios para trazar los movimientos lineales del robot, lo primero es ir en la pestaña “Posición inicial”, seguido a eso; seleccionar en la casilla “mano alzada” la opción “Mover (M)” y luego hacer clic en la parte final donde se unen todos los brazos para poder realizar los movimientos lineales, por último, seleccionar en el árbol de elementos la pestaña “Trayectorias y puntos”. En la figura 76 se detalla el paso a paso de este proceso.

Figura 76

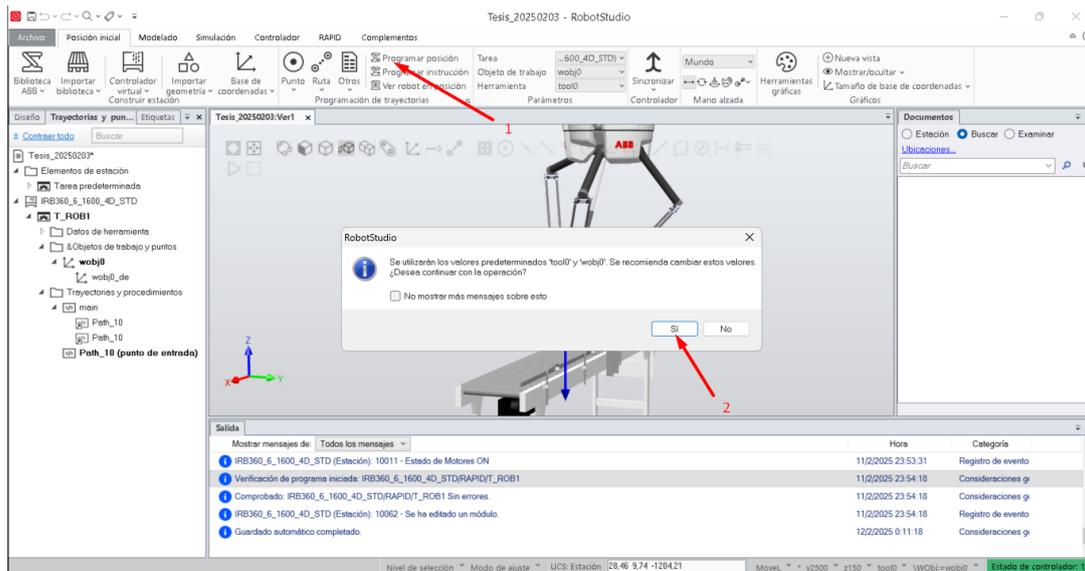
Agregando puntos.



Posicionar el robot de manera que secuencialmente se pueda marcar una trayectoria y luego seleccionar en el apartado “*Programación de trayectorias*” la opción programar posición, aparecerá un mensaje para poder crear las herramientas respectivas, tal como se observa en la figura 77.

Figura 77

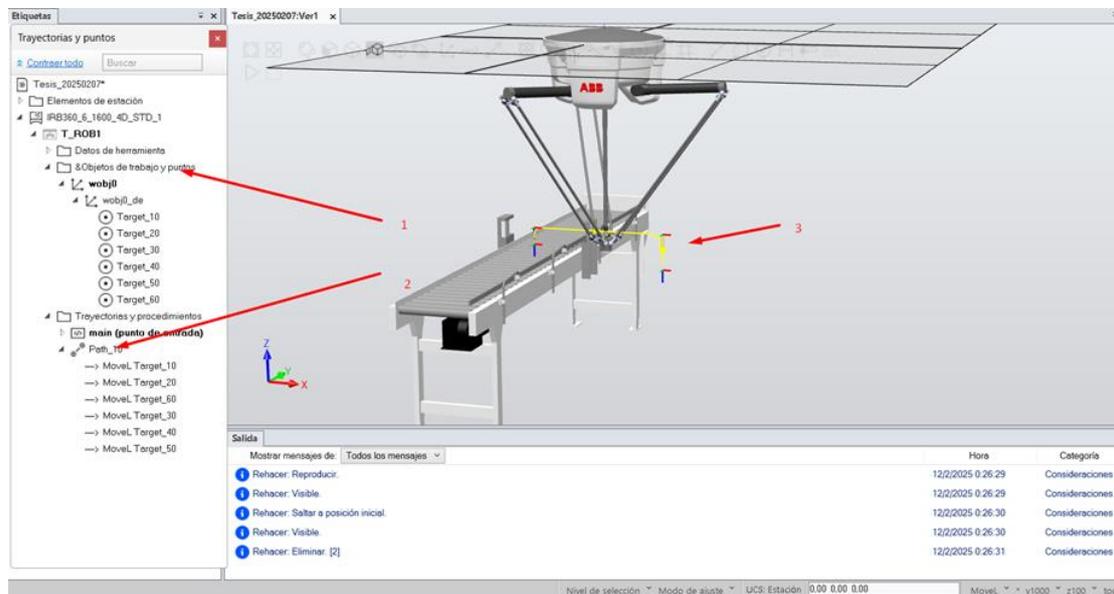
Creando herramienta de trabajo.



Seleccionar “Si” y se cerrará el cuadro, creando en la carpeta “&Objetos de trabajo y puntos” la herramienta “wobj0” con el punto ya registrado1 como “Target_10”. Lo siguiente es registrar todas las posiciones necesarias para efectuar la cinemática de pick and place y luego entrar a la carpeta “*Trayectorias y procedimientos*” y arrastrar con el ratón cada punto hacia “main” que creará “Path_10” como punto de entrada de la trayectoria. En la figura 78, se aprecia como queda la ventana de trabajo y el árbol del proyecto con las carpetas ya creadas.

Figura 78

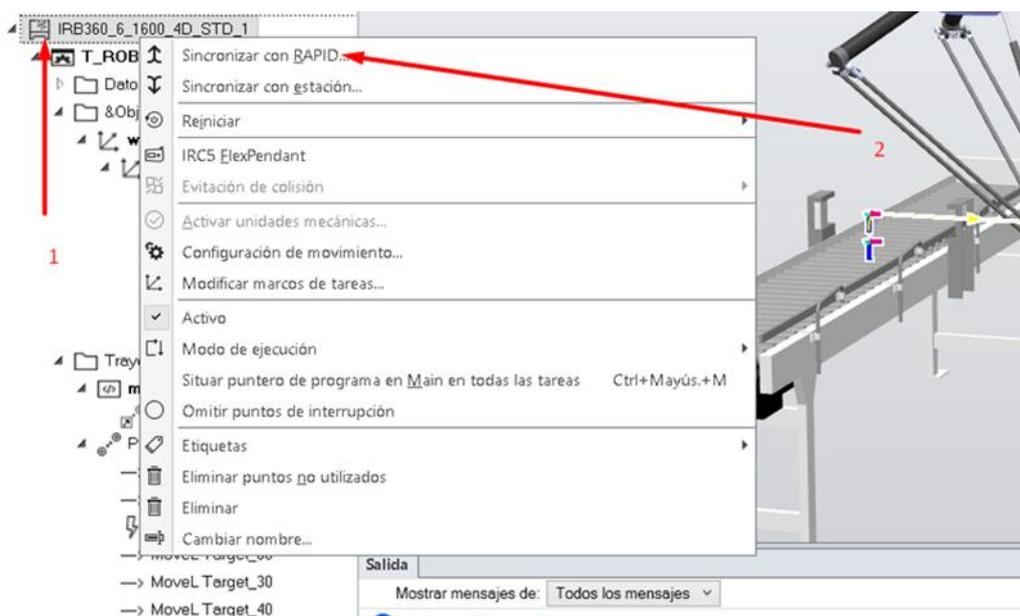
Puntos y trayectorias creadas.



Para poder cargar la cinemática en el Robot real es necesario llevarlo a lenguaje RAPID, esto es posible haciendo clic en el nombre del controlador que está en el árbol del proyecto, al desplegarse las opciones como se ve en la figura 79, se debe seleccionar la opción “Sincronizar con RAPID”.

Figura 79

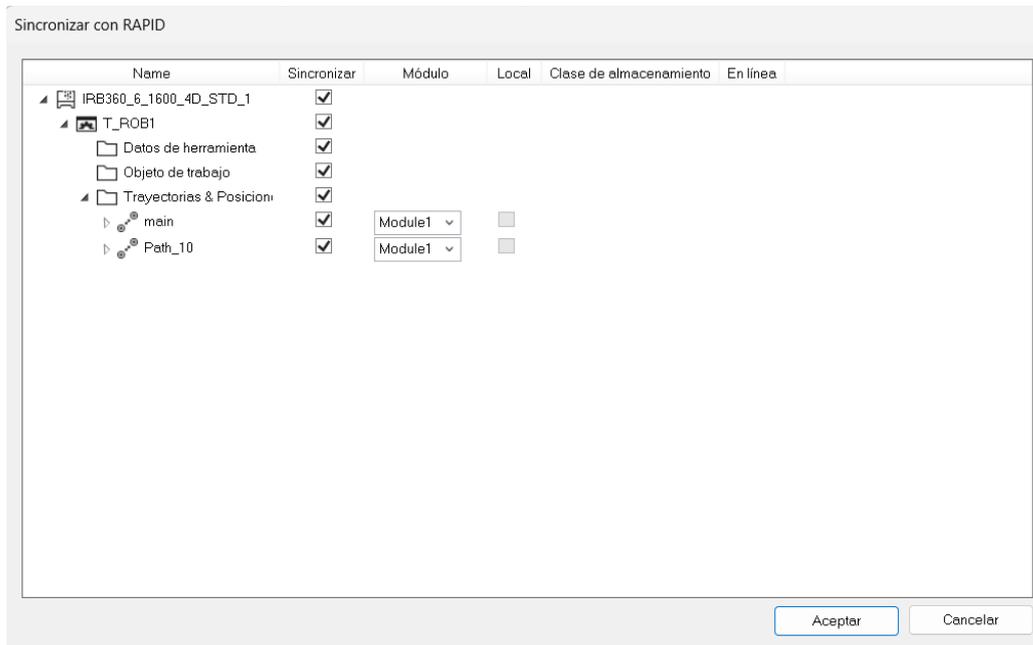
Sincronizar con RAPID.



Se abrirá una ventana en la que se debe marcar todos los casilleros y dar clic en aceptar, como se presenta en la siguiente figura 80.

Figura 80

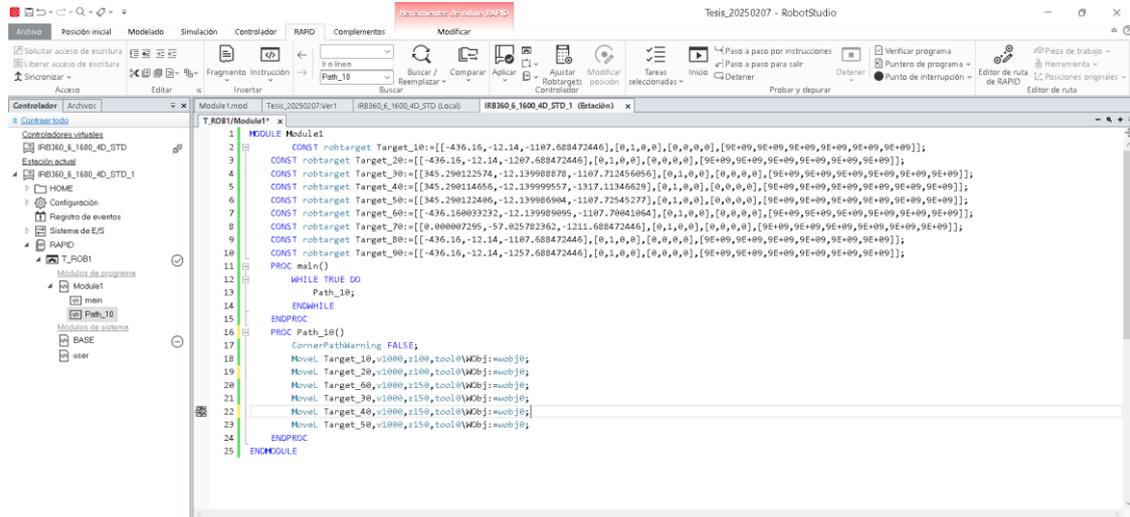
Ventana Sincronizar con RAPID.



Ahora, seleccionar la pestaña “RAPID”, aparecerá una ventana con el código que se debe cargar al robot real, se aprecian las coordenadas y se puede observar cómo cambiar la velocidad y aumentar otras instrucciones, en la imagen a continuación, figura 81, se visualiza la ventana de RAPID.

Figura 81

Código RAPID.



Dicho código que se mencionó anteriormente se estructura en dos partes principales: la declaración de constantes y objetivos de movimiento y la implementación de los procedimientos de ejecución.

En esta sección, se definen posiciones de referencia (targets) mediante la estructura de datos “robtarger”. Cada una de estas constantes representa una posición y orientación en el espacio cartesiano, la cual será utilizada por el robot en su trayectoria.

Cada robtarger está compuesto por cuatro elementos:

- Coordenadas cartesianas (X, Y, Z) → Posición en el espacio tridimensional.
- Cuaternión de orientación (Q1, Q2, Q3, Q4) → Define la orientación del efector.
- Vector de configuración (CF1, CF2, CF3) → Estado de configuración del robot.
- Valores de redundancia (E1, E2, E3, E4) → Parámetros adicionales para manipulación del robot.

Estos valores permiten la definición de los puntos de referencia para los movimientos del robot, en la siguiente imagen se observa que las líneas 1 a 10 forman parte de lo ya mencionado, figura 82.

Figura 82

Coordenadas de los movimientos.

```

1  MODULE Module1
2  □   CONST robtarget Target_10:=[[-436.16,-12.14,-1193.688472446],[0,1,0,0],[0,0,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
3  CONST robtarget Target_20:=[[-436.16,-12.14,-1207.688472446],[0,1,0,0],[0,0,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
4  CONST robtarget Target_30:=[[345.290122574,-12.139988878,-1107.712456056],[0,1,0,0],[0,0,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
5  CONST robtarget Target_40:=[[345.290114656,-12.139999557,-1317.11346629],[0,1,0,0],[0,0,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
6  CONST robtarget Target_50:=[[345.290122406,-12.139986904,-1107.72545277],[0,1,0,0],[0,0,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
7  CONST robtarget Target_60:=[[-436.160033232,-12.139989095,-1107.70041064],[0,1,0,0],[0,0,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
8  CONST robtarget Target_70:=[[0.000007295,-57.025782362,-1211.688472446],[0,1,0,0],[0,0,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
9  CONST robtarget Target_80:=[[-436.16,-12.14,-1107.688472446],[0,1,0,0],[0,0,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
10 CONST robtarget Target_90:=[[-436.16,-12.14,-1207.688472446],[0,1,0,0],[0,0,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];

```

A continuación, en el procedimiento “main()”, se representa el ciclo principal de ejecución del robot. Dentro de un bucle “WHILE TRUE”, se llama de manera repetitiva a la subrutina “Path_1@()”. Esto significa que el robot ejecutará continuamente la trayectoria programada, sin interrupciones, hasta que se detenga manualmente o se modifique el código, en la siguiente imagen se visualiza las líneas que conforman esta programación, figura 83.

Figura 83

Método main, es el punto de entrada de una aplicación.

```

11 -   PROC main()
12 -       WHILE TRUE DO
13             Path_10;
14         ENDWHILE
15     ENDPROC

```

El procedimiento Path_1@ define la secuencia de movimientos del robot. Se inicia con la instrucción:

- WaitDI LOCAL_IO_0, DI10;
- Espera la activación de señal a la entrada física del robot DI10(LOCAL_IO_0 en el canal DI10).
- Esto implica que el robot no comenzará la trayectoria hasta recibir la señal proveniente del PLC.

- CornerPathWarning FALSE;
- Desactiva advertencias de trayectoria en esquinas.

En la siguiente imagen se observan las líneas 17 y 18 ya mencionadas, figura 84.

Figura 84

Función WaitDI.

```

16 -   PROC Path_10()
17       WaitDI LOCAL_IO_0_DI10;
18       CornerPathWarning FALSE;
```

Los comandos “MoveL” indican movimientos lineales entre los puntos definidos previamente.

Cada instrucción MoveL incluye:

- Punto objetivo (Target_X@): Indica la posición final del movimiento.
- Velocidad (v500): Especifica la velocidad de desplazamiento (500 mm/s).
- Zona de precisión (z100): Define una tolerancia en la ejecución de la trayectoria.
- Herramienta activa (tool0): Define el efector final utilizado.
- Sistema de referencia (\WObj:=wobj1): Establece el marco de referencia del objeto de trabajo.

Esto garantiza que el robot ejecute los movimientos que se requieren para el sistema

Pick and Place, en la siguiente figura se observa el fragmento de código descrito, figura 85.

Figura 85

Velocidad de desplazamiento, tolerancia, efector final, marco de referencial de objeto.

```

|       MoveL Target_10,v500,z100,tool0\WObj:=wob
|       MoveL Target 20,v500,z100,tool0\WObj:=wob
```

Ahora se explica cómo se interactúa con las salidas digitales, éstas permitirán la activación de la succión o llenado neumático del gripper.

- SetDO LOCAL_IO_0, DO3;

Activa una salida digital (DO3) en LOCAL_IO_0.

Se usa para activar la succión del gripper, esto es para efectuar el agarre de las frutillas que pasan por la banda y son detectadas por el sensor.

- WaitTime 2;

Espera 2 segundos antes de continuar con la siguiente instrucción.

- ResetDO LOCAL_IO_0, DO3;

Desactiva la salida digital (DO3), deteniendo la succión activada previamente.

En la siguiente figura se observan las líneas de código involucradas, figura 86.

Figura 86

Activando, esperando y desactivando.

```
  ?1 | SetDO Local_IO_0_DO3, 1  
  ?2 | WaitTime 2;  
  ?3 | Reset Local_IO_0_DO3;
```

Ahora se continua con la trayectoria, esta es la que transporta la frutilla desde la banda hacia su recipiente en otra mesa, para ello se agrega 3 trayectorias más y se activa el llenado neumático del gripper para soltar la frutilla:

- SetDO LOCAL_IO_0, DO3;

Activa la salida digital DO3, se usa para activar el llenado neumático del gripper.

- WaitTime 2;

Espera 2 segundos antes de continuar con la siguiente instrucción.

- ResetDO LOCAL_IO_0, DO3;

Desactiva la salida digital DO3, deteniendo el llenado neumático activado previamente.

También se culmina con el último movimiento del robot regresando a su posición inicial junto a las instrucciones “ENDPROC” y luego ENDMODULE que dan fin al ciclo programado, en la siguiente imagen se aprecia el fragmento de código correspondiente a lo ya mencionado, figura 87.

Figura 87

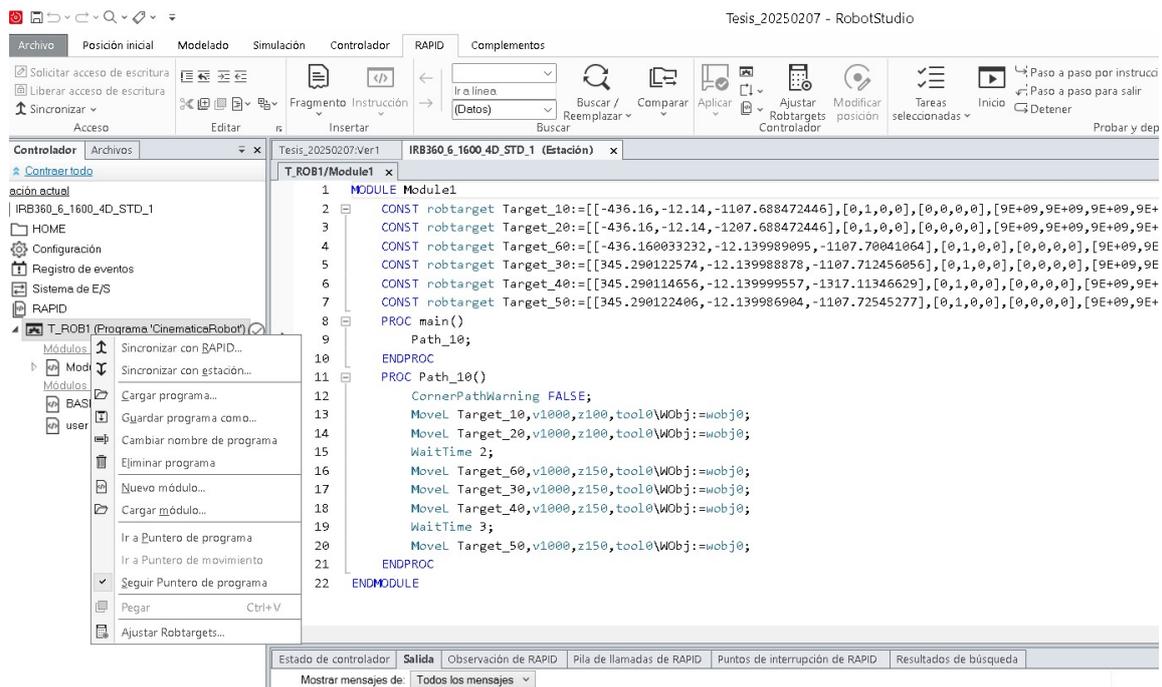
Finalizando ciclo con ENDPROC y ENDMODULE.

```
24      MoveL Target_60,v500,z150,tool0\WObj:=wobj0;  
25      MoveL Target_30,v500,z150,tool0\WObj:=wobj0;  
26      MoveL Target_40,v500,z150,tool0\WObj:=wobj0;  
27      SetDO Local_IO_0_D02, 1;  
28      WaitTime 3;  
29      Reset Local_IO_0_D02;  
30      MoveL Target_50,v500,z150,tool0\WObj:=wobj0;  
31      ENDPROC  
32      ENDMODULE
```

Con esto ya realizado, ahora se procede a guardar el proyecto para cargarlo luego en el controlador desde el FlexPendant. Lo primero que se realizó es hacer clic derecho en el nombre de la herramienta de trabajo creada al sincronizar con RAPID “T_ROB1”, la cual, al seleccionar con el botón izquierdo del ratón, abrirá un menú tal como se indica en la siguiente imagen, figura 88.

Figura 88

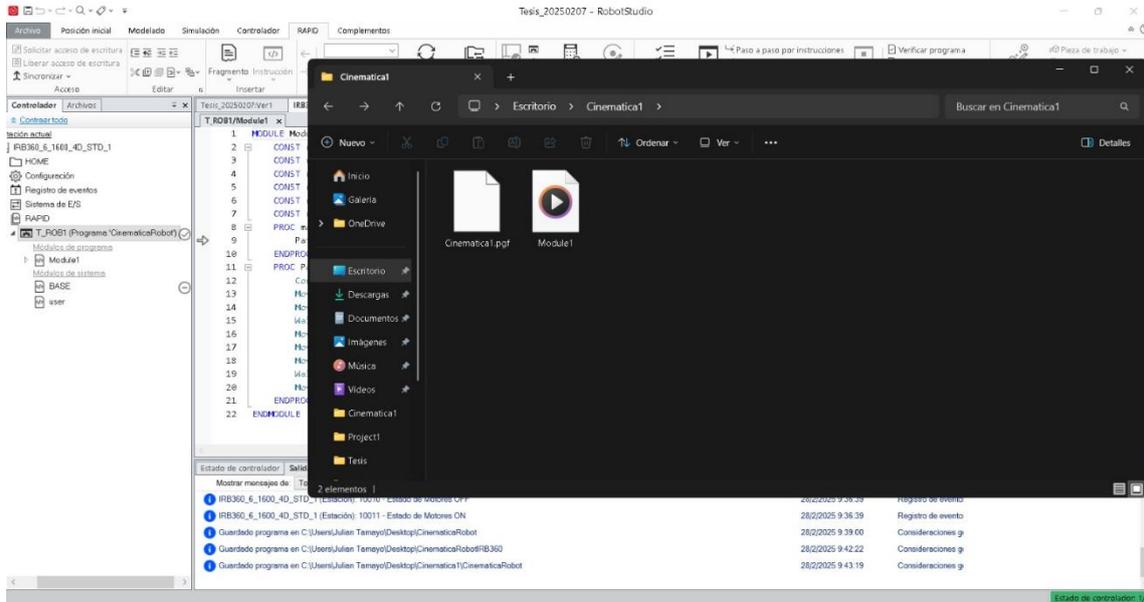
Abriendo el menú de T_ROB1.



Con esto realizado, se selecciona la opción “Guardar programa como...”, se abrirá la ventana correspondiente para nombrar el archivo con extensión “. pgf”, tal como se visualiza en la figura 89.

Figura 89

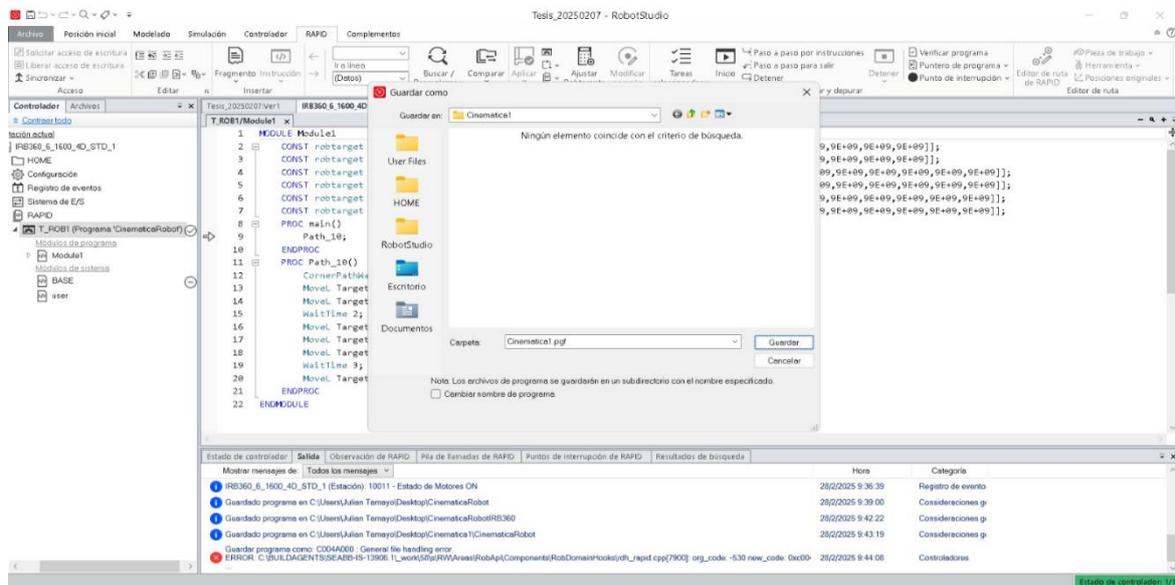
Archivos creados.



Por consiguiente, al ir a la ubicación donde se guardó el proyecto habrá dos archivos generados, como ya se mencionó, el que se usó para cargar el código RAPID en el controlador a través del FlexPendant es el que tiene formato “. pgf”. En la siguiente imagen se pueden observar los dos archivos creados, figura 90.

Figura 90

Guardando el proyecto bajo el nombre "Cinematical".



Ahora, se procede a guardarlo en un USB para cargarlo en el FlexPendant, para de esta manera cargarlo en el controlador.

El FlexPendant es la unidad de control manual utilizada en los robots industriales ABB, diseñada para la programación, supervisión y operación del sistema robótico. Este dispositivo cuenta con una pantalla táctil a color, botones de navegación y un dispositivo de habilitación de seguridad, permitiendo a los operadores interactuar con el controlador IRC5 de manera intuitiva, en la siguiente imagen se aprecia al IRC5 y el FlexPendant, figura 91.

Figura 91

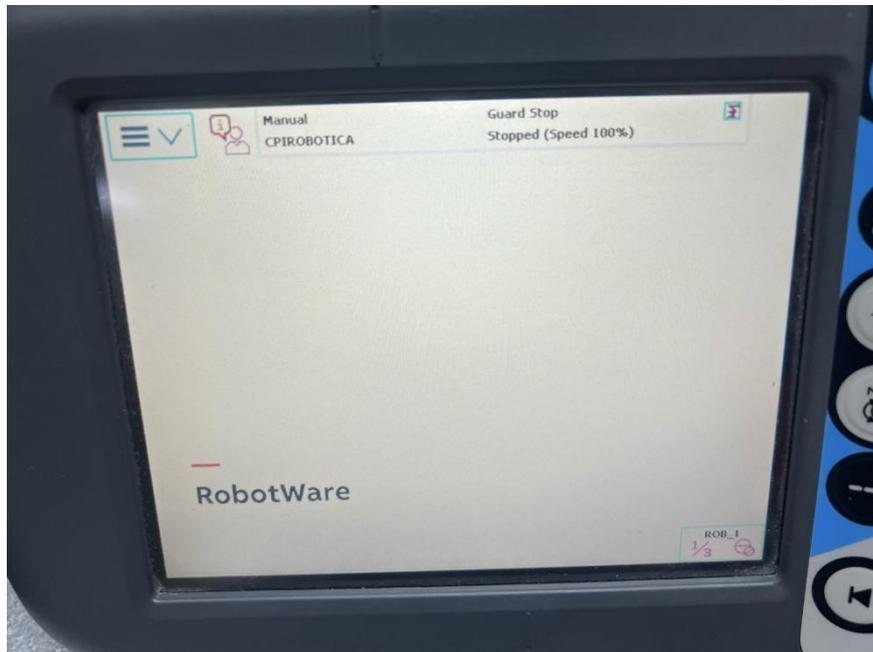
IRC 5 y FlexPendant en la parte superior.



Al encender el controlador, el FlexPendant iniciará “RobotWare”, éste es el sistema operativo desarrollado por ABB para sus robots industriales, encargado de gestionar la ejecución de programas, la comunicación con periféricos y la interacción con el usuario a través del FlexPendant, en la siguiente imagen se visualiza la interfaz inicial del mismo, figura 92.

Figura 92

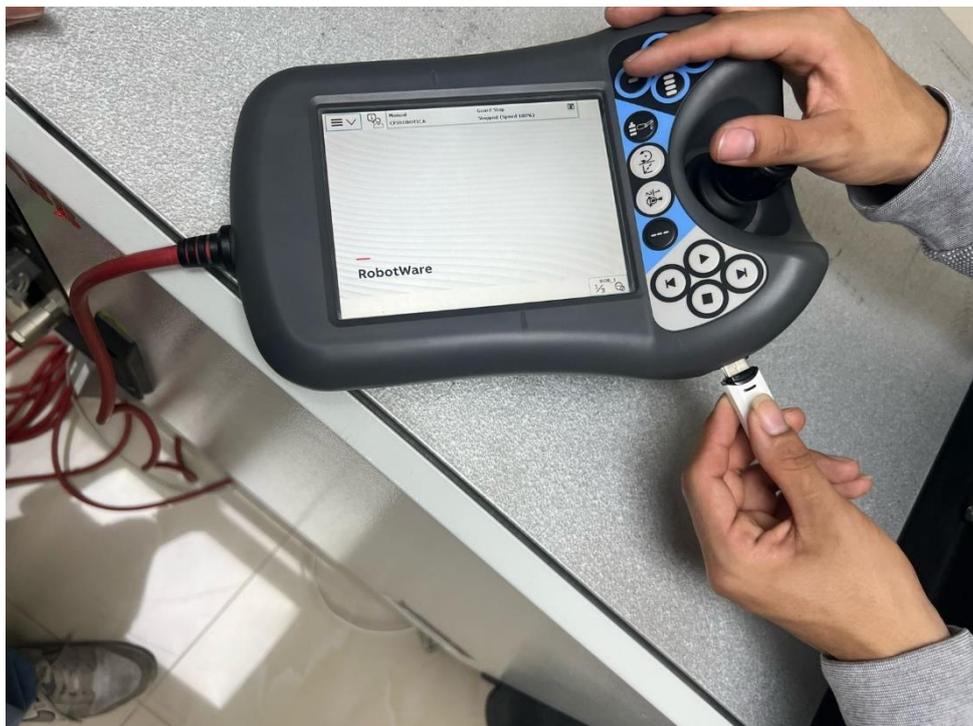
Interfaz de inicio RobotWare.



Se ingreso el USB en la ranura que tiene en la esquina inferior derecha, tal como se aprecia en la figura 93.

Figura 93

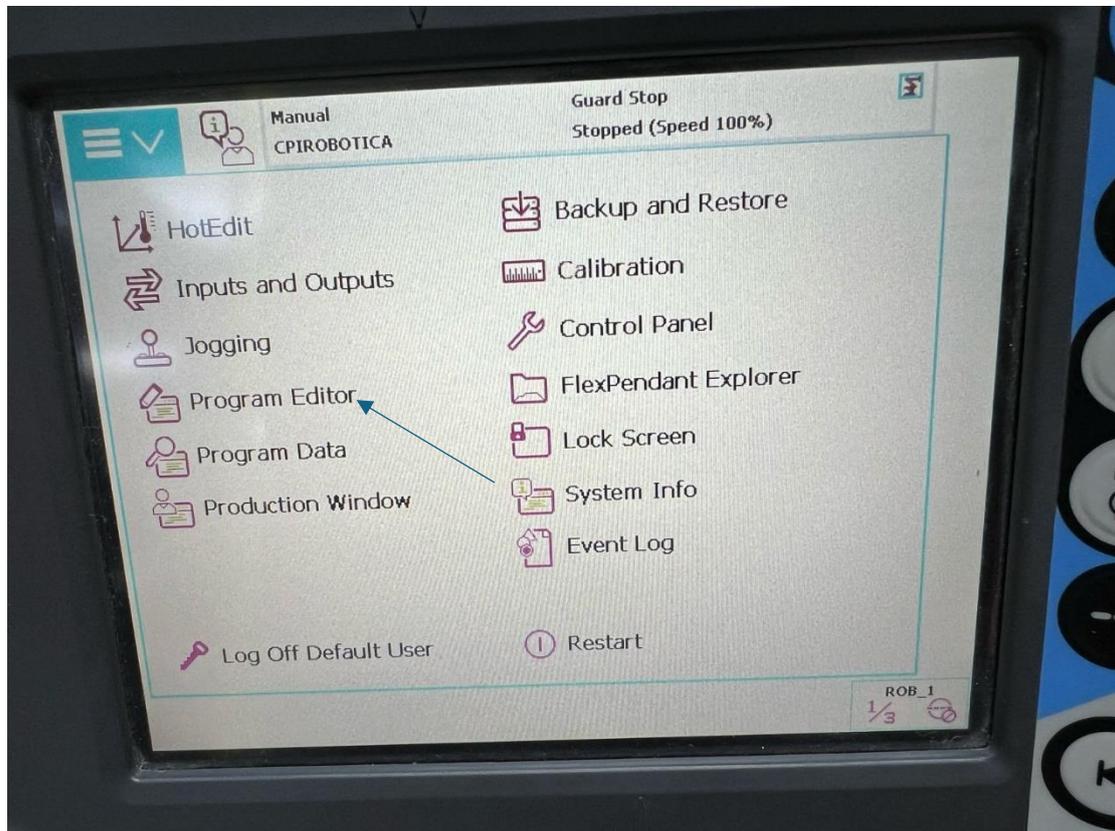
Conectando el USB.



Ahora hay que dirigirse al menú y seleccionar la opción “Program Editor”, como se puede ver en la figura 94.

Figura 94

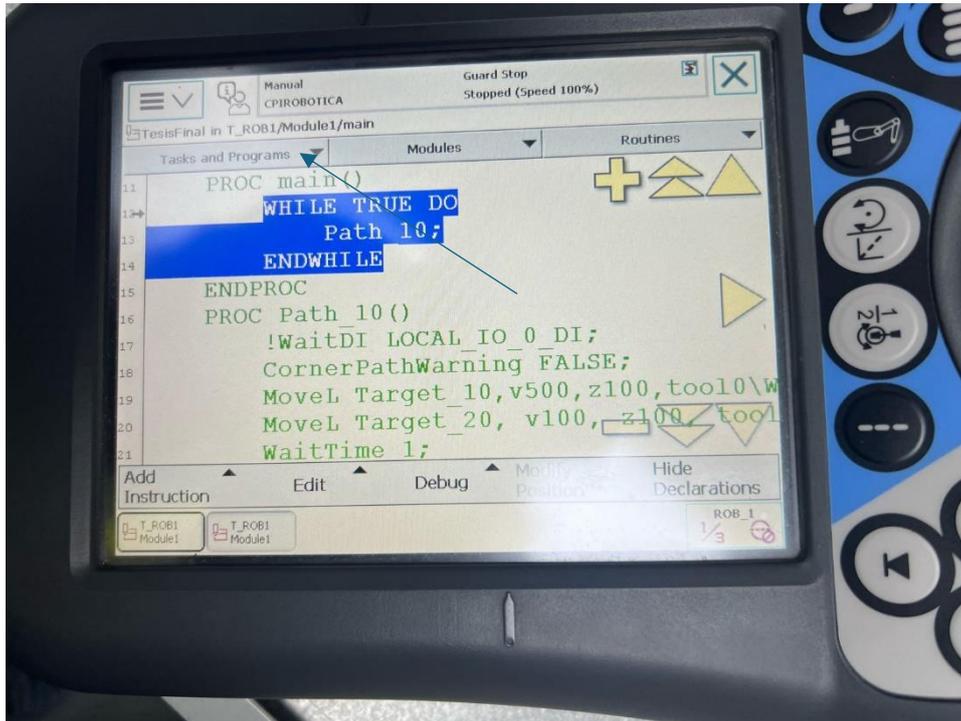
Seleccionando Program Editor desde el menú de RobotWare.



Como ya había un programa cargado en el controlador se escogió la opción “Task and Programs”, que está en la esquina izquierda superior, en la siguiente figura se observa donde seleccionar, figura 95.

Figura 95

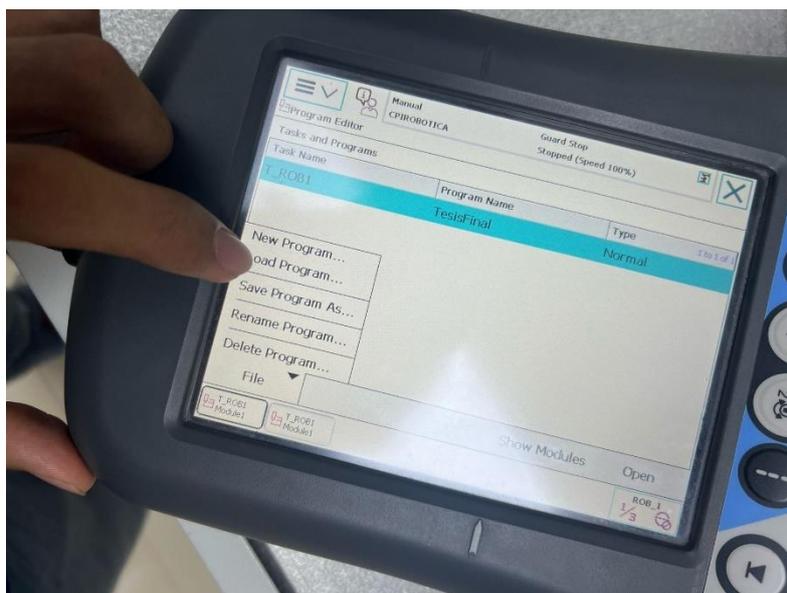
Seleccionando "Task and Programs".



Luego seleccionar Load Program, que abre el explorador de archivos que tiene RobotWare, en la siguiente imagen se visualiza la ventana antes de escoger la opción mencionada, figura 96.

Figura 96

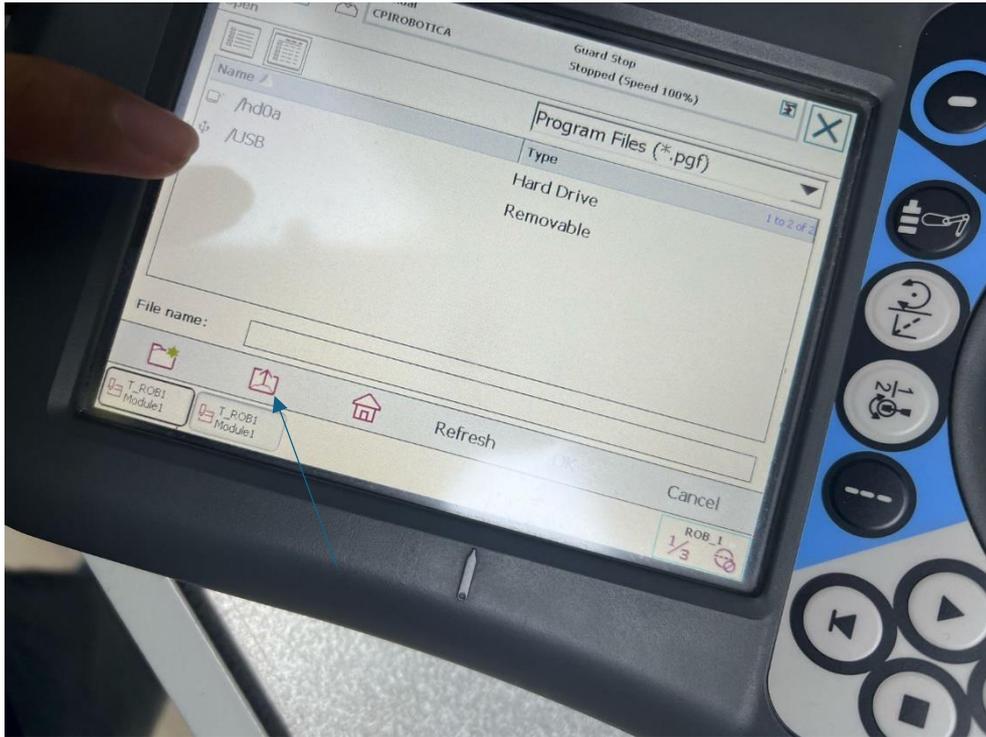
Ingresando al explorador de archivos.



Con esto hecho, se abrirán las carpetas que tiene el sistema, como el USB es el que tiene el programa, se debe buscarlo con la opción que tiene como símbolo una carpeta y flecha hacia arriba, hasta encontrar el USB, en la siguiente figura se observa el símbolo y el USB encontrado desde el explorador de archivos de RobotWare, figura 97.

Figura 97

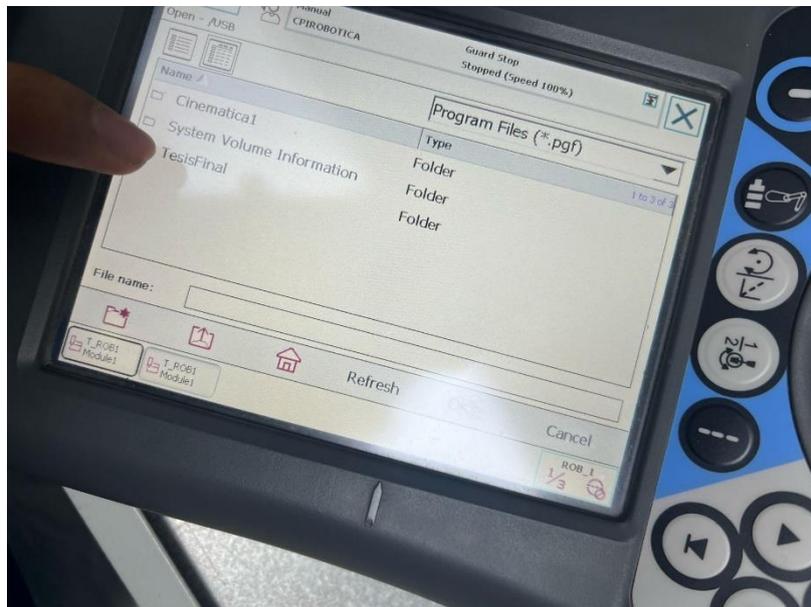
Seleccionando el USB.



Ahora hay que seleccionar el archivo correspondiente, en este caso, se selecciona el que tiene por nombre TesisFinal, figura 98.

Figura 98

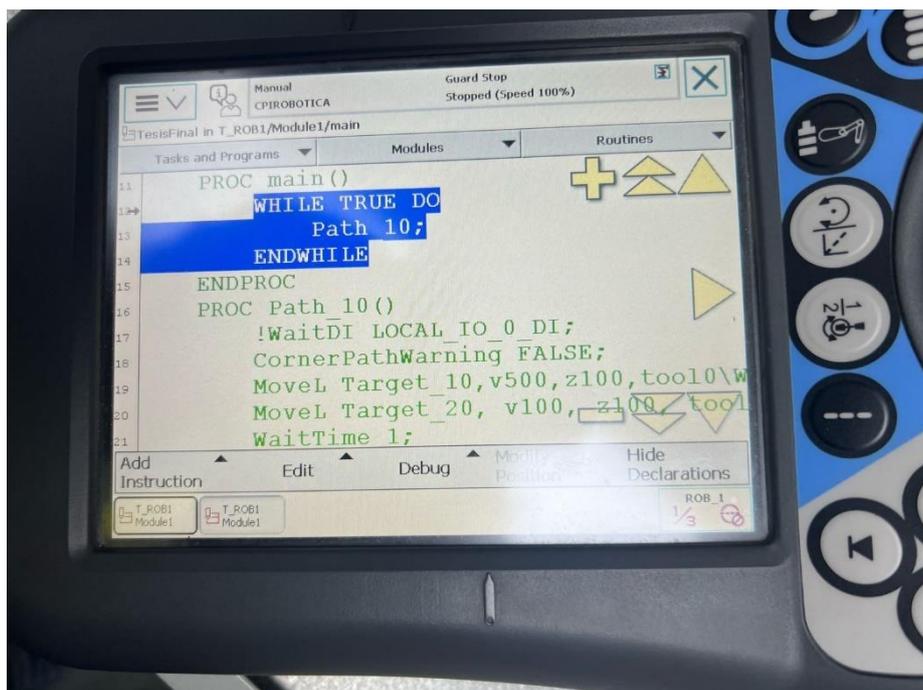
Seleccionando "TesisFinal.pgf".



Luego de esto, aparecerá el programa RAPID, con la programación hecha en RobotStudio, en la siguiente figura se observa el mismo ya cargado en el entorno de RobotWare, figura 99.

Figura 99

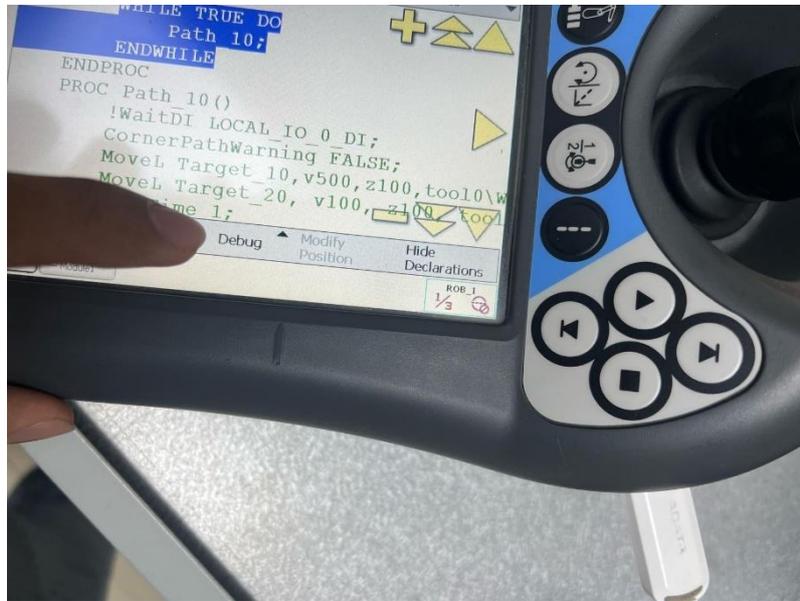
Programa cargado en RobotWare.



Ahora, falta cargarlo en el controlador del robot para que ejecute la cinemática, para ello hay que dirigirse al apartado “Debug”, como indica la figura 100.

Figura 100

Selección de opción “Debug”.



Al seleccionar dicha opción, se desplazará un menú en la parte izquierda, del cual se escoge el botón “PP to Main”, que es la encargada de subir el código al controlador, en la figura 101 se observa el menú y en la figura 102 se ve la advertencia que aparece, la cual se le da “Yes” y se cargará el programa.

Figura 101

Seleccionando “PP to Main”.

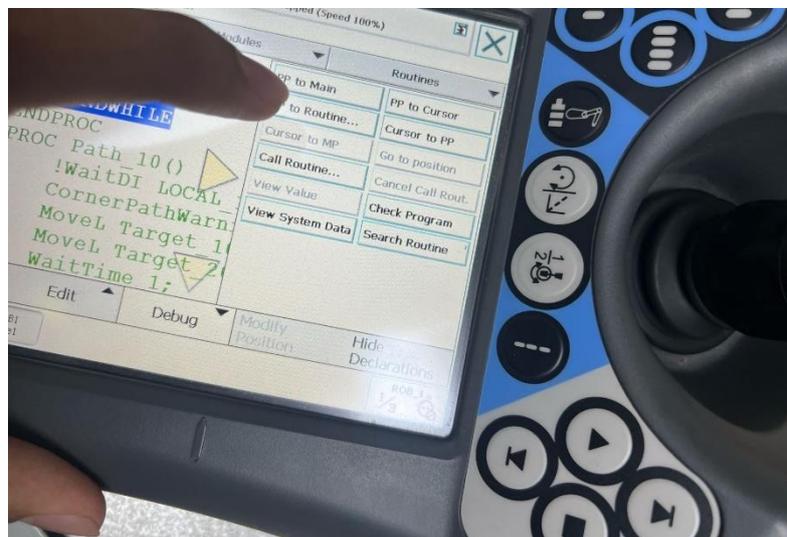


Figura 102

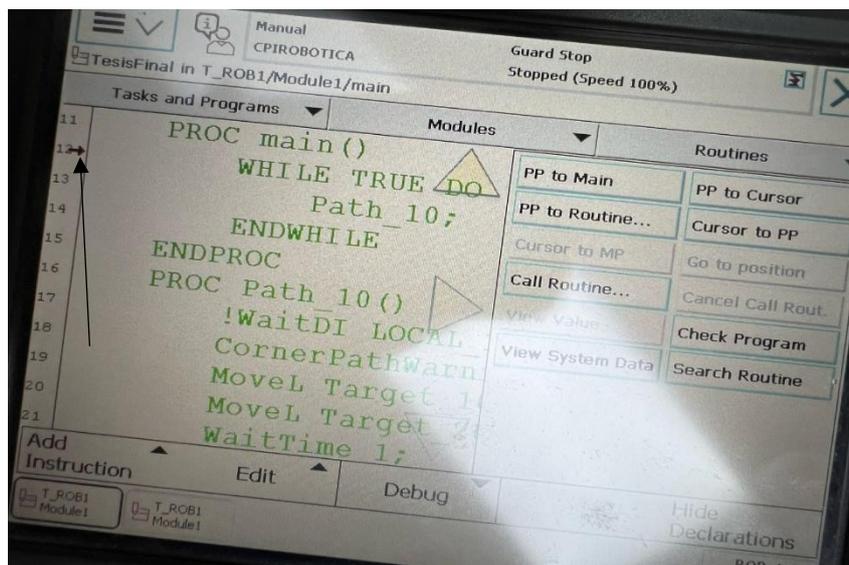
Advertencia antes de cargar el programa.



Luego de lo ya realizado, aparecerá de nuevo la ventana con el código RAPID, pero en esta ocasión tendrá una flecha en la parte izquierda al inicio del código, en la siguiente figura indica cuál es esta flecha, figura 103.

Figura 103

Programa cargado con el indicado de la flecha.

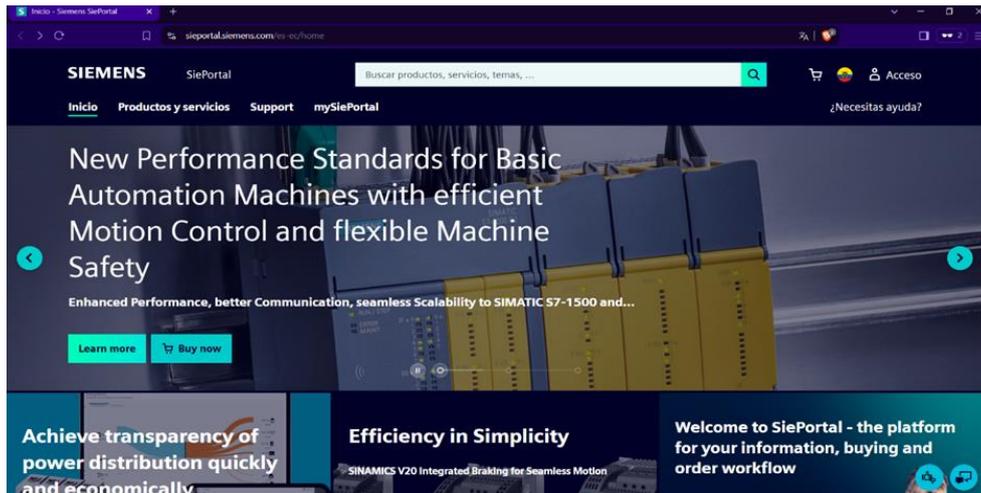


5.3.3 Interfaz HMI

Para el HMI, al ser nuevo lo primero que se hizo fue realizarle un “recovery”, el archivo para ser más específico se llama “Basic2nd_Recovery_System”, para ello se dirigió a la página oficial de siemens, figura 104.

Figura 104

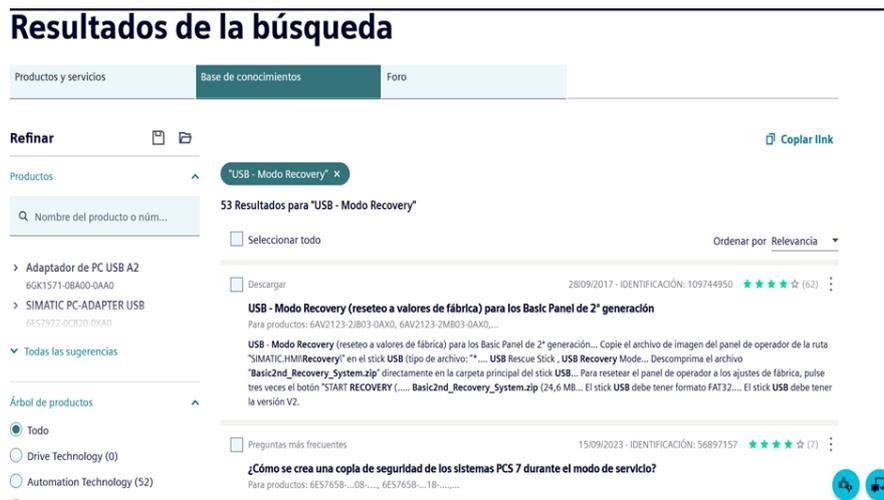
Página oficial de Siemens.



Luego a la opción de “Support”, se escribió a lado en la lupa “USB – Modo Recovery”, después en el botón con una lupa relleno de color azul de fondo, la figura 105 lo muestra.

Figura 105

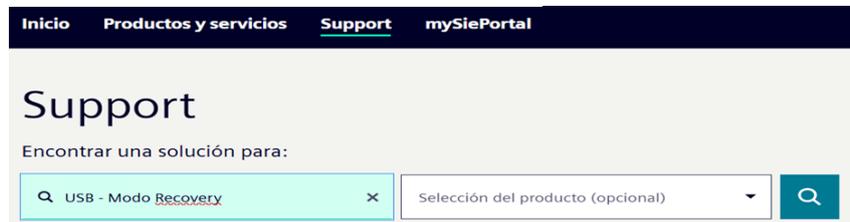
Resultados de búsqueda.



Una vez realizado lo anterior mencionado, aparecerá los siguientes resultados de búsqueda, a la cual se dio clic a la primera opción, figura 106.

Figura 106

USB – Modo Recovery.



Se descargo la opción que dice “Basic2nd_Recovery_System.zip (24,6 MB)”, a continuación de esto se dejará un archivo en formato zip como se observa en la figura 107.

Figura 107

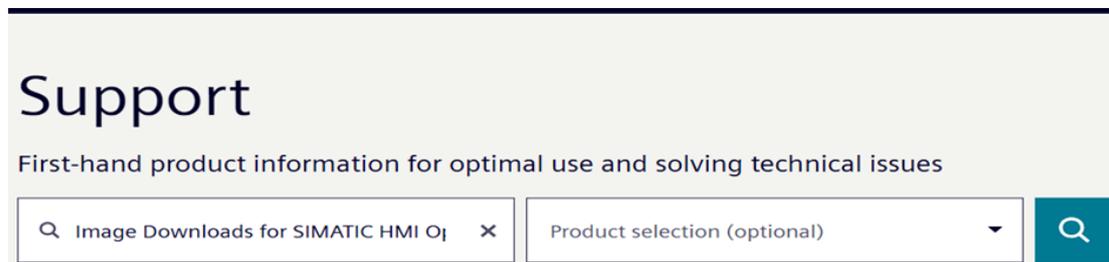
Archivo ZIP descargado.



Se lo extrajo y se lo guardo en un Pendrive de 16Gb en formato FAT32 según indica las instrucciones en la página donde se descargó dicho zip. Posteriormente, se conectó el Pendrive en el HMI y se seleccionó diversas opciones para dar uso al reinicio del HMI. Una vez se hizo el recovery, se dirigió a la siguiente búsqueda en soporte “Image Downloads for SIMATIC HMI Operator Panels: Comfort / Mobile / Basic Panels”, figura 108.

Figura 108

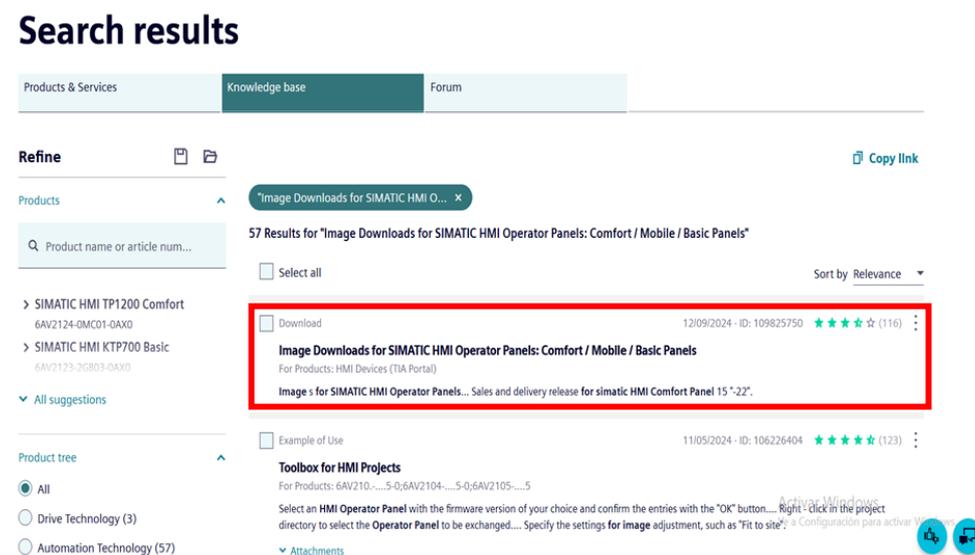
Image Downloads for SIMATIC HMI Operator Panels: Comfort / Mobile / Basic Panels.



De los 57 resultados para dicha búsqueda mencionado anteriormente, se eligió la primera opción, figura 109.

Figura 109

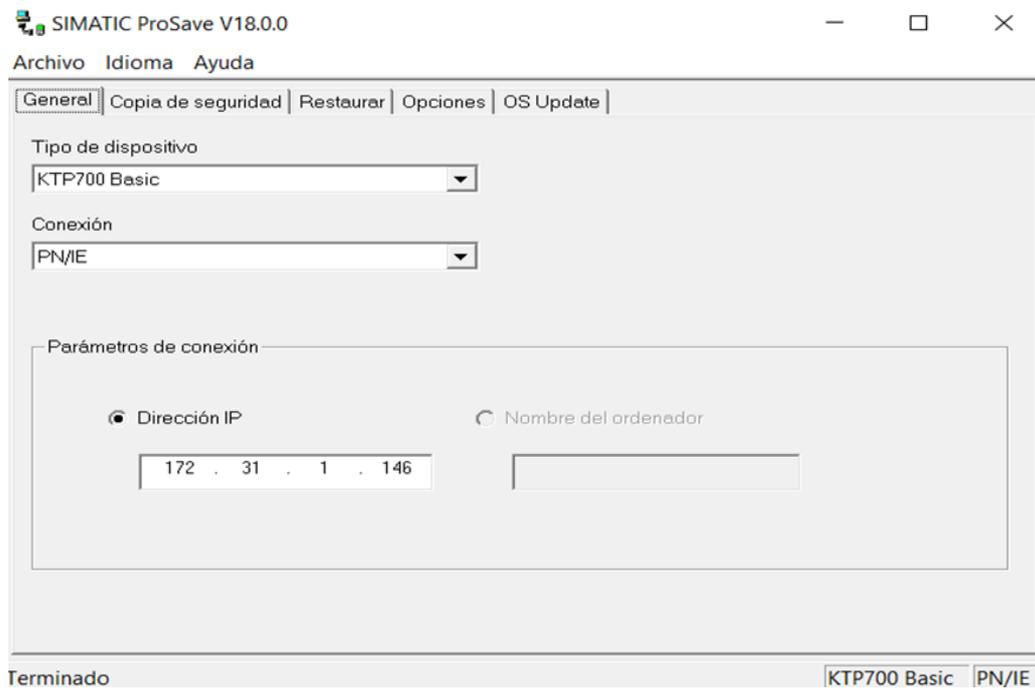
Descarga de archivo.



A continuación de esto, se buscó la opción “3.3 Basic Panels” y se eligió la alternativa “109825750_BasicPanels2ndGen_V15.1_Upd4.zip” del apartado “V15.1 Upd. 4”, una vez se obtuvo ese archivo se abrió la aplicación SIMATIC ProSave V18.0.0, donde se eligió el tipo de dispositivo, la conexión y se escribió la dirección IP del HMI tal como se visualiza en la figura 110.

Figura 110

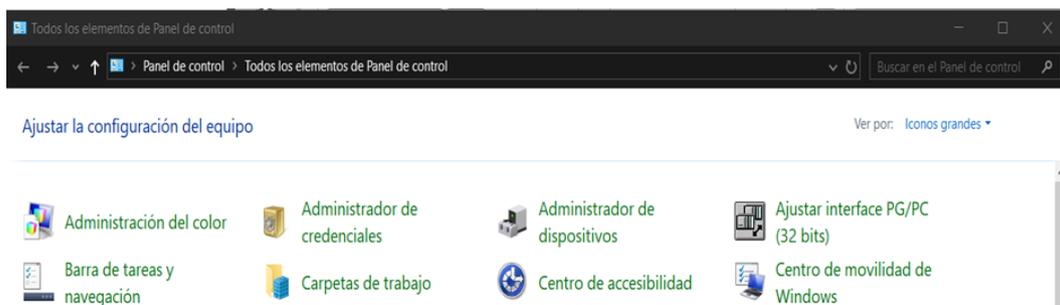
SIMATIC ProSave V18.0.0.



Antes que nada, se configuro la interfaz PG/PC en el panel de control de Windows, figura 111.

Figura 111

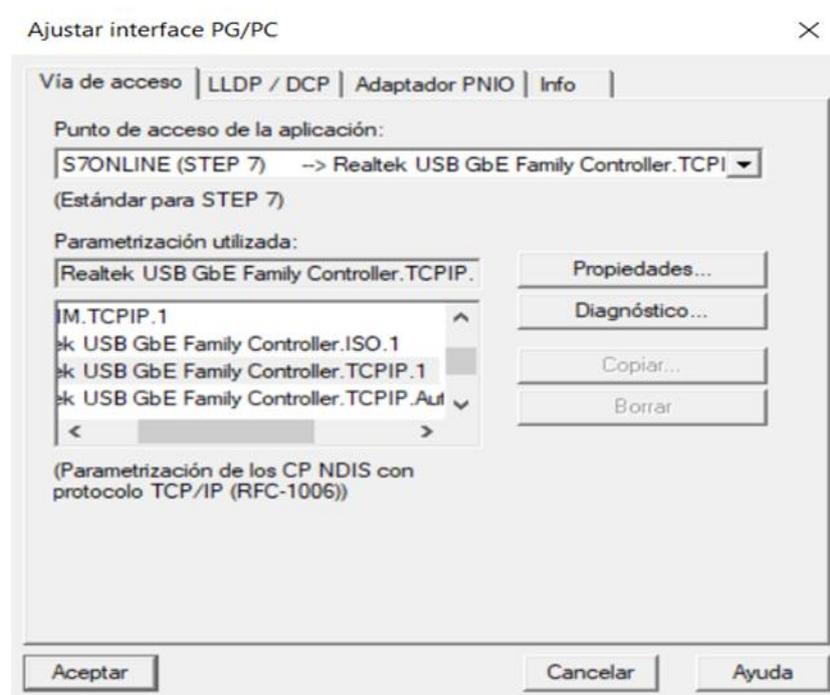
Ajuste de interface PG/PC.



Al dar clic en “Ajustar interface PG/PC (32 bits), se abrirá una pequeña ventana en donde se eligió obviamente la tarjeta de red que está conectada al HMI, figura 112.

Figura 112

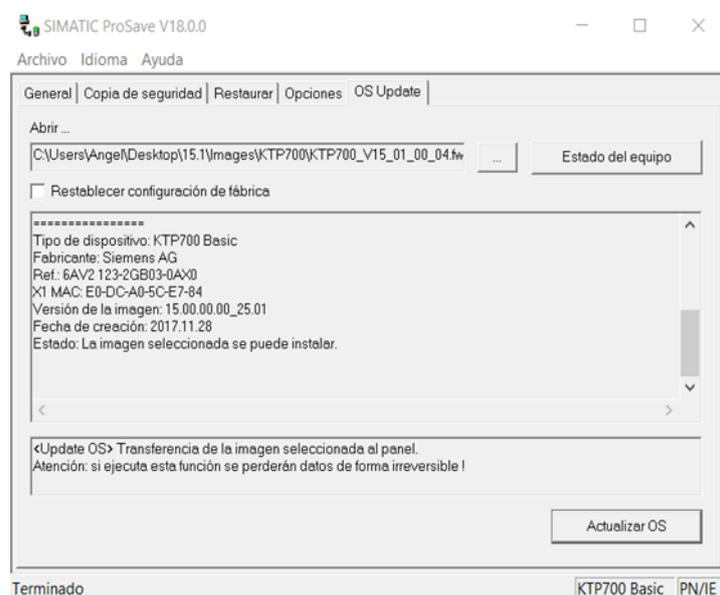
Configuración interface PG/PC.



Tras haber realizado dicho paso, en la aplicación “ProSave” se ubicó en “OS Update”, donde para verificar la conexión del equipo se dio clic en “Estado del equipo”, en un momento posterior aparecerán las especificaciones del HMI, y en el botón con los tres puntos “...” se busca un archivo que está en el rar que se descargó con anterioridad “109825750_BasicPanels2ndGen_V15.1”, cabe recalcar que dicho archivo rar se extrajo y luego dejará una carpeta llamada “15.1”, luego en “Images”, después en KTP700, finalmente se eligió el fichero “KTP700_V15_01_00_04”, tal como se muestra en la figura 113.

Figura 113

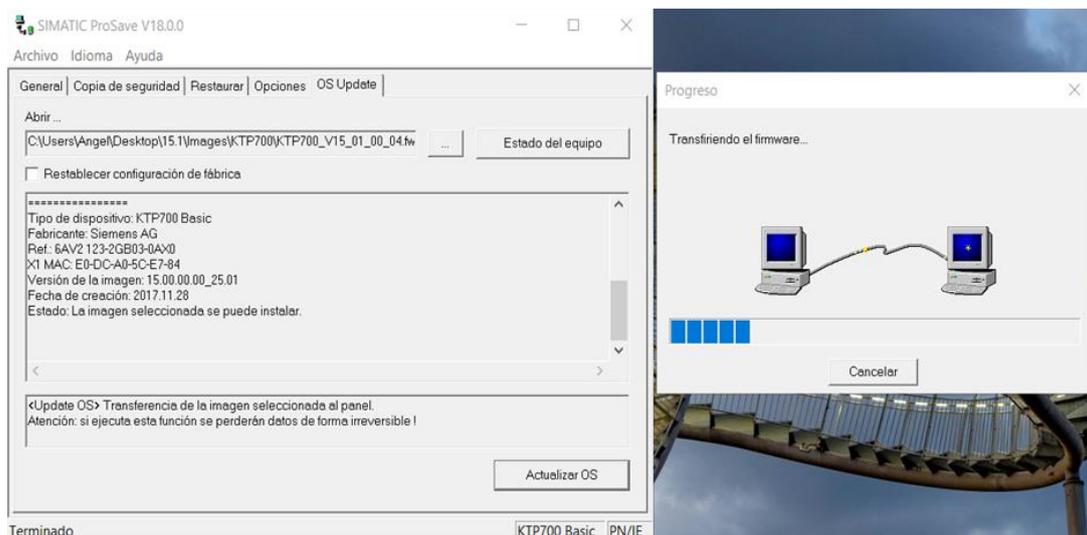
Iniciando la actualización del sistema.



Cabe aclarar que este proceso con la aplicación ProSave se lo realizó mediante conexión Ethernet, seguidamente se dio al botón llamado “Actualizar OS” y se comenzó a actualizar como se aprecia en la figura 114.

Figura 114

Actualización del sistema.



Una vez terminado, se creó la interfaz que permita manejar el proceso, primero que nada, la jerarquía de las pantallas es la siguiente:

- Presentación
- Acceso al sistema
- Monitoreo
- Parámetros
- Modo Manual
- Estadísticas

Cabe aclarar que después de la pantalla monitoreo no tiene un orden específico, se observa la “Pantalla principal” como se visualiza en la figura 115 en donde se utilizan dos botones, uno de apagar y otro para pasar a la pantalla de “Acceso de sistema”.

Figura 115

Ventana Principal del HMI.



En la figura 116 se aprecia la pantalla que se mencionó anteriormente, la cual hay dos botones que son “Administrador” y “Operador”, cada uno de ellos tiene su propio usuario y contraseña, para el administrador el usuario es “Ingeniero_1” y la contraseña se colocó una sencilla “12345”, para el operador el usuario es “Operador_1” y la contraseña es también “12345”, por otra parte, existe un botón de “home” o casa para regresar a la pantalla principal.

Figura 116

Ventana Vista general.



Después de haber iniciado sesión en cualquiera de los dos botones mencionados anteriormente, aparecerá la siguiente pantalla que por nombre tiene “Monitoreo”, en esta pantalla se presenta seis botones, los dos primeros en el de ON y el OFF que no se aprecia porque está detrás del botón ON, por otro lado, hay tres botones seguidos que son “Parámetros”, “Modo manual” y “Estadísticas” que llevan a otra pantalla totalmente nueva, el último botón es de regresar, lo que lleva a la pantalla de elegir modo administrador u operador. Por otra parte, existen tres indicadores, el primero para el conteo de frutillas, el segundo y tercero solo son para visualizar el encendido y apagado de la banda y el sensor, aunque para el sensor es para observar la detección de frutillas, figura 117.

Figura 117

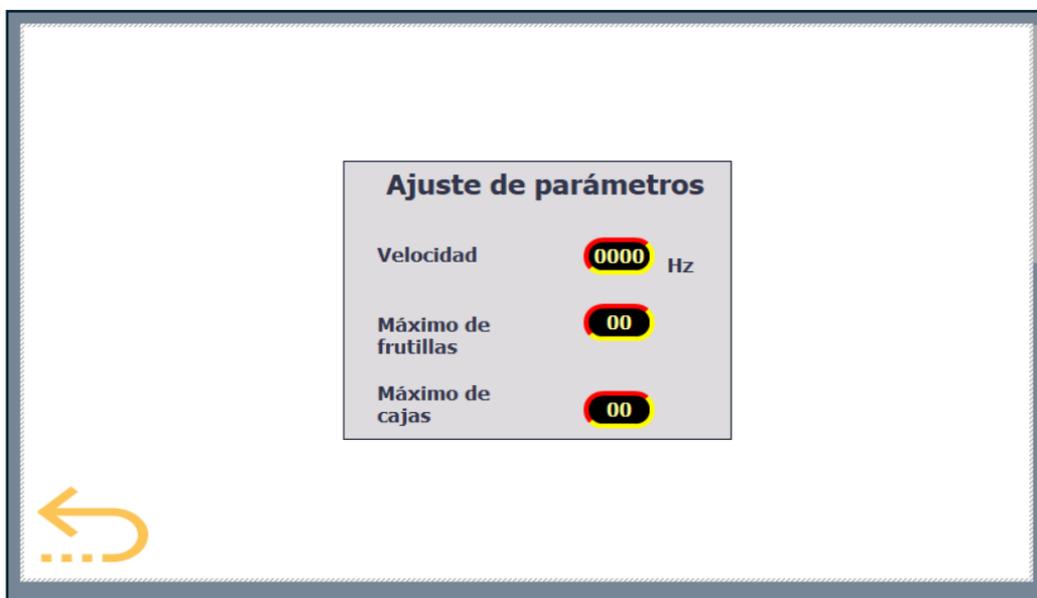
Pantalla de monitoreo.



Para la pantalla de parámetros, existen tres posibles ajustes, el primero es la velocidad en Hz del motor, el segundo el máximo de frutillas que el robot va a trasladar a las cajas, finalmente el máximo de cajas que se desea guardar como registro, figura 118.

Figura 118

Pantalla Parámetros.



En la pantalla “Estadísticas”, se visualizarán nueve registros. Estos incluyen la velocidad en hercios, la misma velocidad expresada en revoluciones por minuto (rpm), el contador de frutillas que pasan por el sensor, el contador de cajas cuando se alcanza el máximo de frutillas, así como los contadores de cajas listas y el total de frutillas listas almacenadas en las cajas. Finalmente, los tres recuadros restantes indican la hora de inicio del sistema, figura 119.

Figura 119

Pantalla Estadísticas.



VI ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Puesta en marcha del Sistema Pick and Place

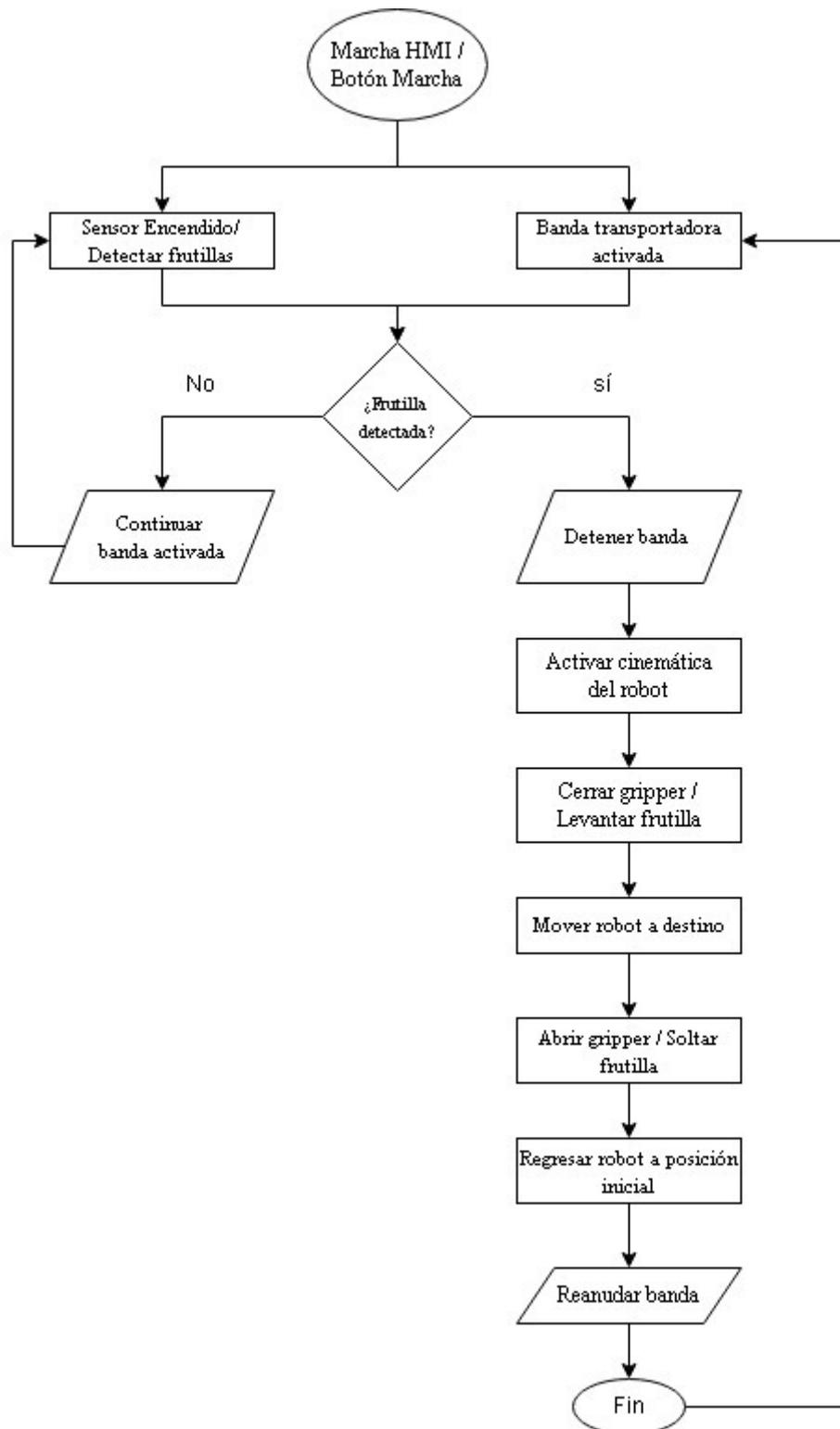
En la fase final, se consolidó que cada uno de los componentes funcione de manera sincronizada bajo las condiciones establecidas. El control del sistema se gestiona a través de una interfaz HMI, desde donde se puede iniciar o detener el proceso, también se puede hacer mediante los botones de marcha y paro, así como monitorear el estado de la banda y los sensores en tiempo real.

El proceso de recolección inicia cuando las frutillas ingresan a la banda transportadora, desplazándose hasta el área de detección. En este punto, el sensor detecta la presencia del producto y envía una señal al PLC, que a su vez activa la cinemática del robot. Utilizando trayectorias predefinidas, el robot ejecuta el movimiento de acercamiento y activación del. Una vez recogida, la frutilla es trasladada al contenedor plástico correspondiente, donde se la deposita antes de reiniciar el ciclo para la siguiente unidad.

Durante la puesta en marcha, se realizaron ajustes en la velocidad de la banda transportadora, los tiempos de respuesta del robot y los parámetros de sujeción del gripper para asegurar la continuidad del proceso. Asimismo, se verificó la estabilidad del sistema, priorizando que la detección y recolección de cada frutilla ocurra sin retrasos ni interrupciones, en la siguiente imagen se observa el diagrama de flujo que comprende todo el proceso del sistema pick and place, figura 120.

Figura 120

Diagrama de flujo del sistema



El paso inicial para dar marcha el sistema Pick and Place es encender el Robot ABB IRB360 mediante el selector que se encuentra en el controlador IRC 5, con esto hecho, se debe girar la llave de selección de modo, esto permitirá usar la programación hecha anteriormente mediante RAPID sin necesidad de usar el FlexPendant para reproducir la cinemática manualmente, en la siguiente imagen se indica mediante flechas los pasos ya mencionados, figura 121.

Figura 121

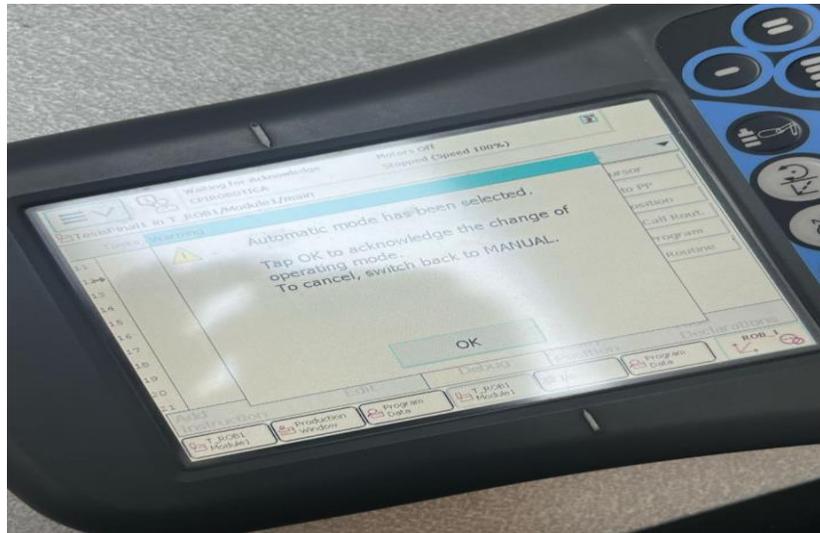
Encendiendo el controlador IRC 5 y activando los motores.



Con esto realizado, en el Flexpendant aparecerá un mensaje indicando que se ha cambiado de modo, en la siguiente figura se observa dicho mensaje, figura 122.

Figura 122

Alerta del Flexpendant.



Al presionar Ok en el mensaje, se habilitará el botón que activa los motores y los deja en espera para reproducir la cinemática, figura 123.

Figura 123

Luz indicadora de los motores activos del IRB360.



Ahora, se debe presionar el botón de reproducir que está en el Flexpendant, esto dejará en espera la reproducción de la cinemática hasta que el robot reciba la señal de la frutilla detectada por el sensor, en la siguiente imagen se observa dicho botón, figura 124.

Figura 124

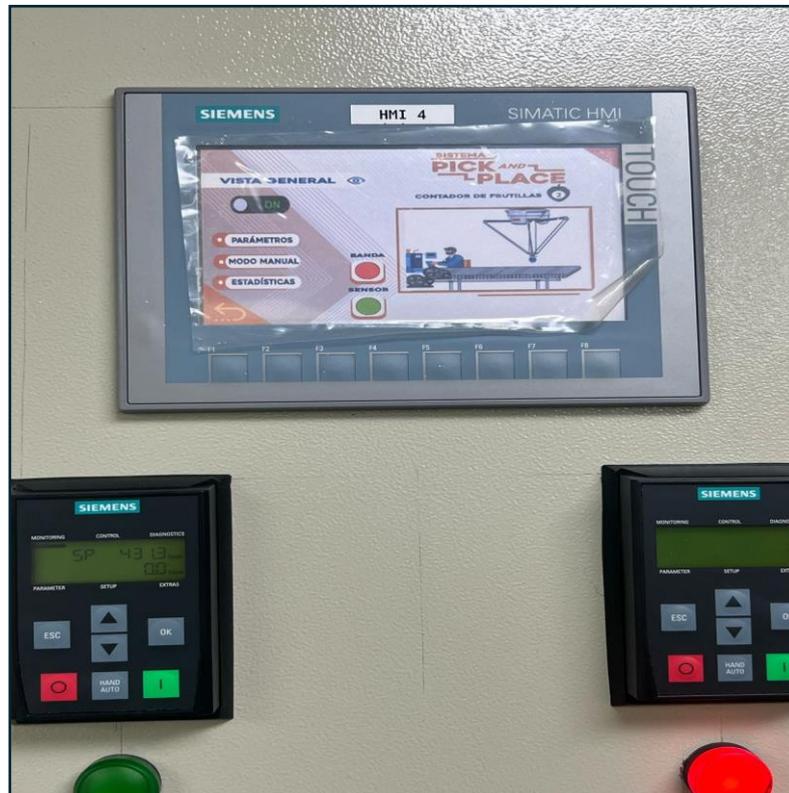
Botón play para activar la cinemática precargada.



Después de haber presionado el botón “play”, desde el HMI se hizo lo que sería la puesta en marcha del sistema, claro está que se lo hizo desde la pantalla “Monitoreo” debido a que las otras pantallas ya se explicaron anteriormente con la jerarquía que tiene, por otra parte, se dio un toque a la pantalla en el botón que dice “ON” debajo del título “Vista general” figura 125.

Figura 125

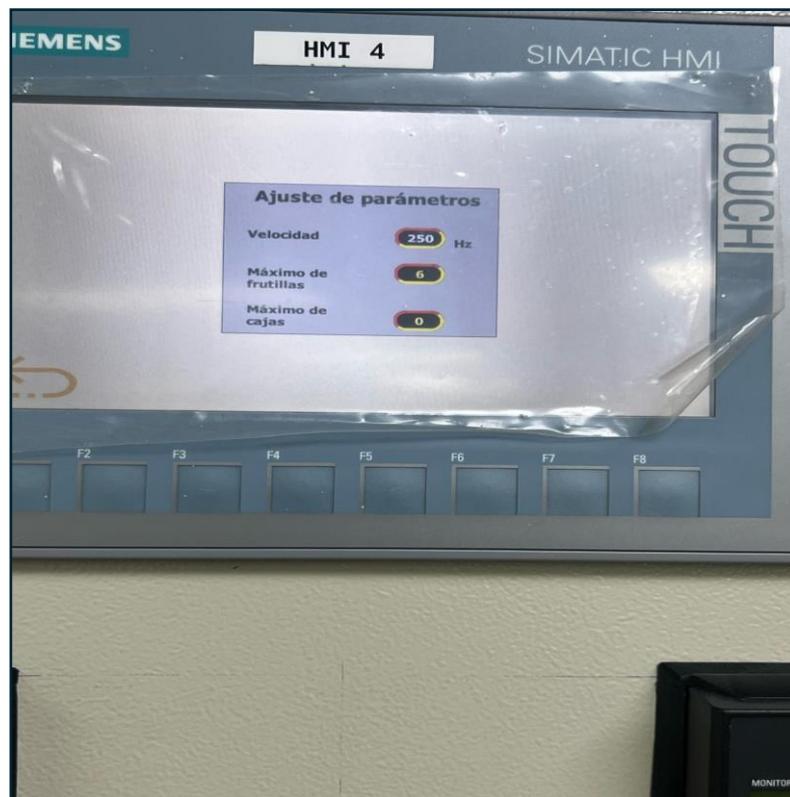
Pulsando marcha desde el HMI.



Luego de haberle dado al botón el “ON” como se indicó anteriormente, se dirigió a la pantalla de “Parámetros” para ajustarle lo que es la velocidad que tendrá el motor, el máximo de frutillas y el máximo de cajas, para este caso solo se colocó el máximo de las frutillas y una velocidad modificable de 250 Hz, figura 126.

Figura 126

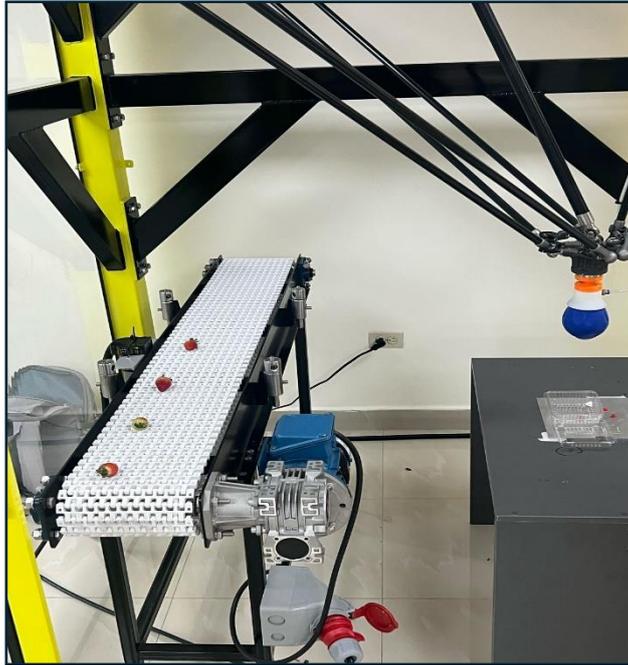
Ajuste de parámetros.



Una vez ajustado estos parámetros se procedió a colocar las frutillas en la banda transportadora y por el otro lado, se colocó una mesa pequeña con una caja para guardar las frutillas que se encuentran en la banda como se visualiza en la figura 127.

Figura 127

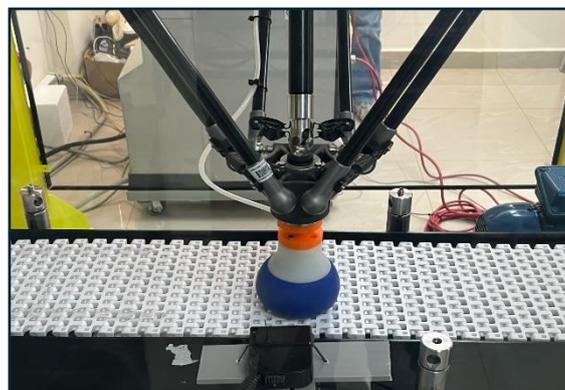
Frutillas y cajas listas para el proceso.



El proceso es el siguiente, cuando el sensor detecta la frutilla se activa la cinemática gracias a que desde el PLC se configuró una salida que es la Q0.4 y desde esa salida se instaló un cable y la otra parte se llevó a un módulo del controlador IRC 5 que específicamente es el DSQC 1030, entonces al activarse el robot se mueve con las coordenadas programadas a recoger la frutilla, cuando está en posición con la frutilla se activa la bomba que hace inflar el gripper para que tome la figura de la frutilla, como muestra la figura 128.

Figura 128

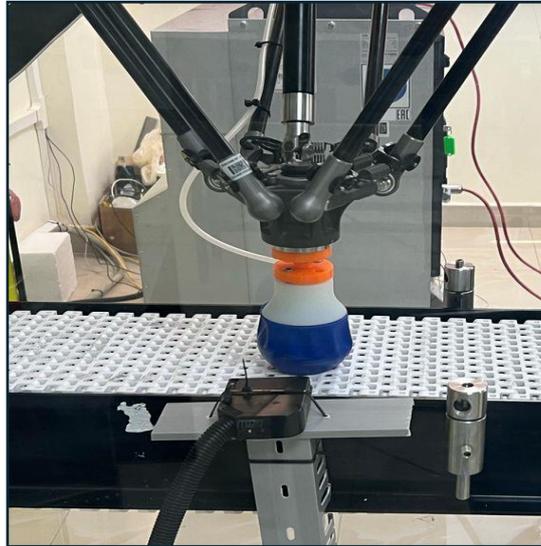
Inflado del gridpper.



Posteriormente, se desinfla como se visualiza en la figura 129, luego que lo agarra lo lleva a la posición de la mesa previamente colocada, finalmente lo infla para guardarlo en la caja.

Figura 129

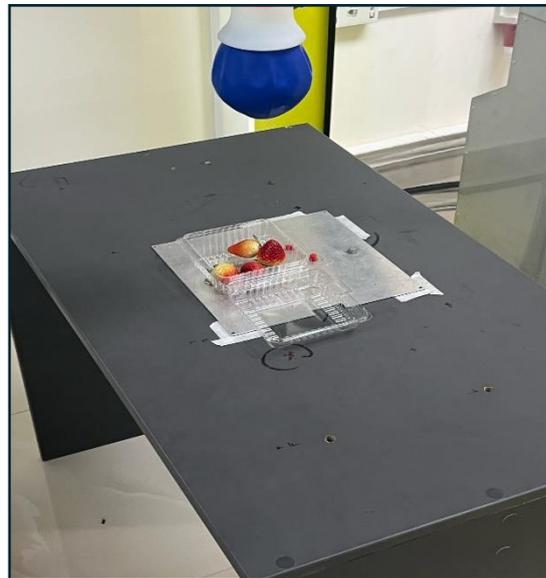
Gridpper succionado.



Una vez contabilizado el máximo de frutillas se apagará la banda transportadora dejando las frutillas totales y la caja lista como se presenta en la figura 130.

Figura 130

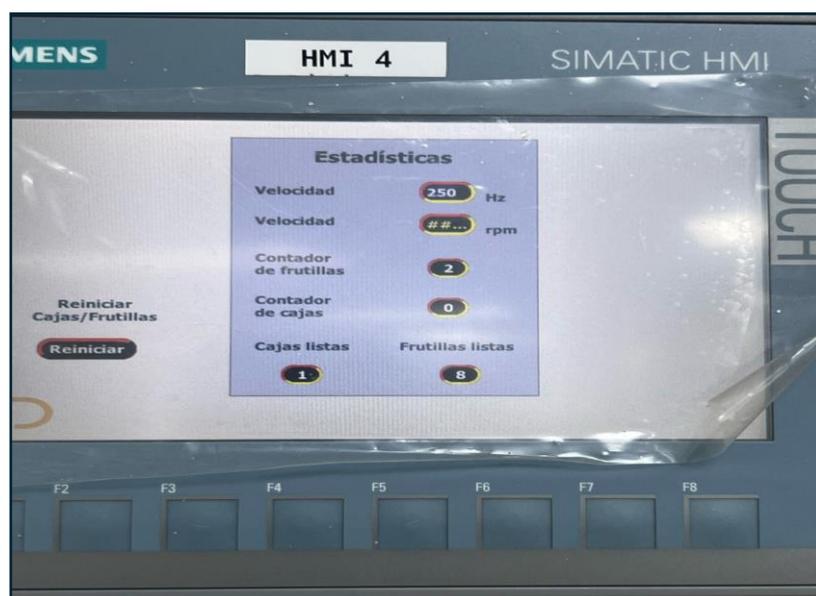
Caja lista.



Como último detalle en observar la pantalla “Estadísticas”, luego de haber pasado las frutillas, cabe justificar que las frutillas listas están en ocho debido a pruebas realizadas con anterioridad, figura 131.

Figura 131

Estadísticas del proceso.



6.2. Análisis de las funcionalidades de sistema

Inicialmente se evaluó por separado cada equipo involucrado en el sistema, con el fin de poder detectar y corregir cualquier intermitencia, falla o parada forzada de los equipos. Se hicieron 27 pruebas por cada equipo, analizando su operatividad desde que recibían las señales adecuadas para su puesta en marcha, con esto, se logró una continuidad en el sistema al conectar todos los equipos involucrados, en la siguiente tabla se visualiza el análisis ya mencionado, tabla 1.

Tabla 1

Pruebas por equipo.

Equipo Evaluado	Tiempo de Respuesta (ms)	% de Fallos al Activar	Fallos Detectados	Soluciones
HMI KTP700 BASIC	12	37%	Versión del firmware antiguo	Actualización de Firmware
PLC S7 1200	12	30%	Entradas mal activadas	Corrección del cableado
GRIPPER NEUMÁTICO SUCCIÓN	20	30%	Salida digital mal declarada	Corrección en el editor de programa RAPID
GRIPPER NEUMÁTICO LLENADO	20	30%	Salida digital mal declarada	Corrección en el editor de programa RAPID
SENSOR BX700-DFR-RT	10	22%	Falla en el envío de la señal al PLC	Corrección del cableado

BANDA TRANSPORTADORA	15	11%	Variador no envía voltaje	Correcta configuración del bloque en TIA Portal
SINAMICS G120X	15	7%	librerías no instaladas	Instalación de librerías y ADD Ins
ROBOT ABB IRB 360	12	0%		

Posteriormente, se midió la precisión en la colocación de las frutillas con el objetivo de determinar las causas que podrían impedir el agarre de las frutillas.

También, se llevó a cabo un análisis con 23 frutillas, evaluando la capacidad del robot para ejecutar la misma tarea bajo condiciones idénticas sin variaciones significativas en la posición final de las frutillas. Para ello, se registraron las frutillas, considerando su tamaño para el análisis. En la siguiente tabla se detalla el número de la frutilla con su tamaño y los resultados correspondientes al agarre junto a su acción correctiva, tabla 2.

Tabla 2

Análisis de agarre del sistema

Nº Frutilla	Tamaño	Resultado Agarre	Causa	Correctivo
1	Pequeña	Agarre fallido	Sensor no detecta la frutilla	Ajuste de la base del sensor
2	Pequeña	Agarre fallido	Sensor no detecta la frutilla	Ajuste de la base del sensor
3	Mediana	Agarre fallido	Mal posicionamiento de la frutilla	Ajuste de posicionamiento inicial de la frutilla

4	Mediana	Agarre fallido	Coordenada Z errónea	Ajuste de la coordenada Z en el FlexPendant
5	Pequeña	Agarre fallido	Coordenada Z errónea	Ajuste de la coordenada Z en el FlexPendant
6	Mediana	Agarre fallido	Coordenada Z errónea	Ajuste de la coordenada Z en el FlexPendant
7	Grande	Agarre correcto		
8	Grande	Agarre correcto		
9	Pequeña	Agarre fallido	Mal posicionamiento de la frutilla	Ajuste de posicionamiento inicial de la frutilla
10	Mediana	Agarre fallido	Mal posicionamiento de la frutilla	Ajuste de posicionamiento inicial de la frutilla
11	Pequeña	Agarre correcto		
12	Pequeña	Agarre correcto		
13	Pequeña	Agarre correcto		
14	Grande	Agarre correcto		
15	Pequeña	Agarre correcto		
16	Pequeña	Agarre correcto		
17	Pequeña	Agarre fallido	Mal posicionamiento de la frutilla	Ajuste de posicionamiento inicial de la frutilla
18	Mediana	Agarre correcto		

19	Mediana	Agarre correcto
20	Pequeña	Agarre correcto
21	Grande	Agarre correcto
22	Grande	Agarre correcto
23	Pequeña	Agarre correcto

Adicionalmente, se evaluó el proceso considerando fallas en el sistema que con el tiempo podrían ocurrir: frutillas caídas, posicionamiento incorrecto, entre otros. Estos indicadores permiten determinar la operatividad del sistema en diferentes condiciones. Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla, donde se detallan los valores registrados en cada prueba realizada, tabla 3.

Tabla 3

Análisis de fallas

Fallas	Frecuencia (%)	Posible Causa	Solución Propuesta
Agarre fallido del gripper.	17%	Mal posicionamiento de la frutilla en la banda.	Ajuste posicionamiento inicial de la frutilla.
Sensor no detectó la frutilla.	9%	Mal posicionamiento del sensor.	Ajuste de la base del sensor.
Posicionamiento final incorrecto.	0%	Mal programación de la cinemática.	Ajuste de coordenadas en el FlexPendant.

Falla en el sistema de vacío.	0%	Mal programación de la cinemática. Mal funcionamiento del controlador neumático.	Ajuste de salidas digitales en el FlexPendant. Revisión del circuito del controlador neumático.
Banda transportadora no avanza luego de recoger la frutilla	0%	Falla en la lógica del PLC.	Ajuste de la lógica del PLC.
Interferencia con otras frutillas	0%	Mal posicionamiento de las frutillas en la banda.	Ajuste posicionamiento de las frutillas.

El análisis del desempeño del sistema evidenció una operatividad del 92%, con una precisión del 69.5% en el agarre de frutillas. Se identificaron fallos principalmente relacionados con el posicionamiento incorrecto de la frutilla en la banda (17%) y la detección deficiente por parte del sensor (9%), lo que resalta la importancia de calibrar y posicionar bien los componentes. El tiempo de respuesta promedio del sistema fue de 14.8 ms, permitiendo una ejecución continua y sincronizada entre el robot ABB IRB 360, el PLC S7-1200 y la banda transportadora, sin generar interrupciones prolongadas en el ciclo de trabajo.

Las fallas registradas en la activación de dispositivos, como problemas en las entradas digitales del PLC (30%) y errores en la declaración de las salidas digitales del gripper (30%), fueron corregibles mediante ajustes en el código RAPID y en la programación del PLC. Asimismo, la detección de inconsistencias en la programación del variador SINAMICS G120X y en la configuración del sensor BX700-DFR-RT permitió adecuar la respuesta del sistema, es así como, estos resultados validan la fiabilidad del diseño implementado para su uso continuo.

VII PRESUPUESTO

El detalle de los costos estimados de los componentes necesarios para la implementación del proyecto se puede observar en la tabla 1. Incluye desde materiales específicos como sensores y cables, hasta las horas de ingeniería requeridas para garantizar el diseño y funcionamiento del sistema. Este desglose permite visualizar la inversión total, considerando el Sensor y Gripper como dos instrumentos clave para la elaboración de los objetivos.

Tabla 4

Presupuesto de materiales a usar

Descripción	Costo Unitario	Cantidad	Costo Total
Sensor	\$ 75,00	1	\$ 75,00
Tornillos	\$ 0,18	20	\$ 3,50
Clavija	\$ 10,50	2	\$ 21,00
Luz piloto	\$ 2,50	2	\$ 5,00
Cable concéntrico	\$ 4,33	3	\$ 12,99
Gripper	\$ 98,00	1	\$ 98,00
Breaker	\$ 15,00	1	\$ 15,00
Canaleta	\$ 16,00	1	\$ 16,00

Horas de	\$ 2,87	60	\$ 172,20
ingeniería			
Total			\$ 418,69

VIII CRONOGRAMA

El siguiente cronograma de actividades presenta la planificación de las etapas para el desarrollo del proyecto, desde la revisión inicial del anteproyecto hasta la implementación del sistema. Este esquema permite visualizar el flujo de trabajo establecido. Tal como se ve en la figura 132, las actividades comprenden desde la primera semana de octubre hasta la tercera semana de diciembre.

Figura 132

Cronograma de actividades.

Actividades	Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Revisión del anteproyecto con el tutor.	■	■	■	■																
Revisión del anteproyecto por el docente de integración curricular.			■	■	■	■	■	■												
Entrega del anteproyecto.								■												
Análisis de los requisitos del sistema.						■			■	■	■	■								
Diseño del Sistema.											■	■	■	■	■	■				
Adecuación del tablero de control.											■	■	■	■	■	■				
Acondicionamiento de la banda transportadora.													■	■	■	■				
Integración del variador G120x mediante Sinamics Stardrive															■	■	■	■	■	■
Integración del robot ABB IRB 360															■	■	■	■	■	■
Integración del Gripper															■	■	■	■	■	■
Integración del sensor de presencia															■	■	■	■	■	■
Programación del PLC, robot ABB e interfaz HMI															■	■	■	■	■	■
Lógica del PLC mediante lenguaje KOP															■	■	■	■	■	■
Creación de la Interfaz HMI															■	■	■	■	■	■
Pruebas y validación																	■	■	■	■
Análisis de resultados.																		■	■	■
Informe Final y preparación de las diapositivas.																			■	■

IX CONCLUSIONES

La implementación del sistema Pick and Place permitió establecer un proceso de manipulación mediante la integración del robot ABB IRB 360, un PLC Siemens S7-1200 y un variador SINAMICS G120X.

Al ser desarrollado mediante programación en TIA Portal y RobotStudio, se facilitó la interacción entre el PLC, el sensor BX700-DFR-RT y el robot ABB, garantizando que el sistema respondiera de manera adecuada. El tiempo de respuesta del sensor fue inferior a 15 ms, lo que permitió una detección oportuna y una activación inmediata del proceso.

Además, a partir de los resultados obtenidos, se concluye que usar PROFINET como protocolo de comunicación para controlar la banda transportadora influyó de manera importante ya que esto permitió una interacción coordinada con las entradas digitales del robot, gracias a ello se alcanzó una operatividad del 92% y una precisión del 69.5%. Las principales fallas identificadas estuvieron relacionadas con el posicionamiento inexacto de las frutillas y el posicionamiento del sensor, factores que influyeron directamente en la precisión del agarre. No obstante, la corrección en el código RAPID y los ajustes en la configuración del PLC permitieron mejorar la respuesta del sistema.

Se concluye que la implementación de este sistema en procesos de manipulación reduce la intervención manual minimizando los errores humanos. Estos resultados evidencian el impacto positivo de la robótica en el ámbito industrial y académico, como es el caso del laboratorio CPI Robótica, ya que se brinda a los estudiantes una herramienta práctica para el desarrollo de habilidades en automatización industrial.

X RECOMENDACIONES

Se recomienda mejorar la capacidad del sistema para manejar situaciones en las que más de una frutilla ingrese simultáneamente al área de recolección. Dado que este escenario puede ocurrir debido a variaciones en el flujo del proceso, una posible solución es la implementación de un gripper de mayor tamaño o con múltiples puntos de sujeción, lo que permitiría recoger y colocar dos frutillas al mismo tiempo sin afectar la precisión del sistema. Para mejorar la detección de múltiples frutillas en la zona de manipulación, se recomienda la implementación de un sistema de escaneo que permita identificar la cantidad exacta de frutillas presentes y enviar la información al PLC Siemens S7-1200. De esta forma, el robot podría ajustar su estrategia de agarre en tiempo real sin necesidad de detenerse o generar rechazos innecesarios.

Asimismo, se sugiere la integración de un sistema de visión artificial mediante una cámara industrial, la cual permitiría mejorar la precisión en la localización de las frutillas y adecuar de mejor manera la trayectoria del robot. Además, la visión artificial puede ser utilizada para implementar un sistema de clasificación basado en tamaño, color o madurez, asegurando que solo los productos que cumplan con los estándares de calidad sean procesados.

Se recomienda ampliar el estudio del sistema Pick and Place para evaluar su aplicabilidad en la manipulación de diversos productos agrícolas con características físicas distintas, como tamaño, peso y fragilidad. Para ello, es fundamental analizar y probar diferentes mecanismos de agarre, incluyendo grippers mecánicos, neumáticos y sistemas de vacío, con el objetivo de seleccionar la tecnología más adecuada para cada tipo de producto.

XI BIBLIOGRAFÍA

- ABB. (15 de Diciembre de 2024). *ABB*. Obtenido de IRB 360 FlexPicker®: <https://new.abb.com/products/robotics/robots/delta-robots/irb-360>
- Acosta, E., & Cuaical, C. (2021). *Desarrollo de un sistema automático de irrigación para huertos caseros por medio de IoT con software y hardware libre*. Quito: Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana.
- Aguilar, J., & Villavicencio, F. (2021). *Implementación de un sistema de monitoreo para el control de la planta B del laboratorio LACTI de la Universidad Politécnica Salesiana – UPS sede Cuenca a través de servicios en la nube*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Aldana, L. (2021). *Diseño de prototipo para identificación de calidad de bebidas alcohólicas, utilizando bluetooth y sensores capacitivos*. Bogotá: Universidad de Los Andes.
- Ali, R. (Septiembre de 2023). *SIEMENS*. Obtenido de Siemens PLCSIM's New Interface in TIA Portal V18: <https://www.solisplc.com/tutorials/siemens-plcsims-new-interface-in-tia-portal-v18>
- Aranda, D., Tapia, A., & Millán, P. (13 de Noviembre de 2024). *Repositorio Universidad de Coruña*. Obtenido de Calibración y caracterización de sensores capacitivos de bajo: https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/31462/2022_Aranda_Diego_Calibracion_y_caracterizacion_de_sensores_capacitivos.pdf?sequence=3
- Barriga, J., & Ortiza, C. (2024). *Desarrollo de un alimentador Pick and Place para el posicionamiento de cajas en una banda transportadora utilizando un sistema embebido*. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana.

- Bocanedes, J., & Sánchez, E. (2024). *Simulación de Sistema de Visión Artificial para Clasificación de Formas con Robot ABB IRB-360 Mediante IN-SIGHT EXPLORER*. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana.
- Boltom, W. (3 de Enero de 2024). *Science Direct*. Obtenido de Programmable Logic Controllers: <https://doi.org/10.1016/C2014-0-03884-1>
- Celera. (29 de Diciembre de 2024). *Celera*. Obtenido de Principios de funcionamiento – Sensores capacitivos: <https://www.celeramotion.com/inductive-sensors/es/asistencia/documentacion-tecnica/sensores-de-posicion-capacitivos-y-inductivos/>
- Control Real Español. (11 de Marzo de 2015). *Control Real Español*. Obtenido de Controlador Lógico Programable PLC: <https://controlreal.com/es/controlador-logico-programable-plc/>
- Estrada, J., & Imbachi, J. (2023). *Desarrollo de un sensor capacitivo para un capacitor de placas coplanares que usa frutos de palma de aceite como material dieléctrico*. Envigado: Universidad EIA.
- Garcia, J., Ramos, H., & Cortés, E. (Mayo de 2013). *ResearchGate*. Obtenido de Representación de las dimensiones de un robot paralelo tipo delta.: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Representacion-de-las-dimensiones-de-un-robot-paralelo-tipo-delta_fig1_271908711
- González, N., & Viter, D. (17 de Noviembre de 2024). *Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana*. Obtenido de DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN PROCESO PICK AND PLACE DE OBJETOS UTILIZANDO EL ROBOT IRB-360 Y EL SOFTWARE ROBOTSTUDIO: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27750>

- Gútiérrez, I. (Noviembre de 2024). *Programación SIEMENS.com*. Obtenido de PLC S7-1200 de Siemens: características generales: https://programacionsiemens.com/s7-1200/#Que_es_un_PLC_S7-1200_de_Siemens
- InfoPLC. (6 de Mayo de 2018). *InfoPLC*. Obtenido de Automatización y Robótica de ABB en Hispack: <https://www.infopl.net/noticias/item/105419-abb-hispack-packaging-automatizacion-robotica>
- Lara, E. (2024). *Elaboración de prácticas de laboratorio para el robot IRB 360 FLEXPICKER usando RobotStudio*. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana.
- Madriz, C., & Sanchez, O. (2021). *Scielo*. Obtenido de Revista Tecnología en Marcha: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0379-39822021000100127&script=sci_abstract&tlng=es
- Mateus, M., & Aldana, J. (10 de Enero de 2024). *Repositorio Institucional RI-UTS*. Obtenido de Manual de integración para programación y fabricación de piezas con máquina Pick And Place para las UTS 2023.: <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/13666>
- Mendoza, D. (2021). *Evaluación de sensores de variable física para su aplicación en IoT para la industria*. Atizapán de Zaragoza: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Muñoz, M. (2022). *Desarrollo de un sistema en Robodk utilizando machine learning para facilitar la programación de pick and place mediante brazos manipuladores dobot magician en sistemas industriales*. Guayaquil: ESPOL.
- Pérez, S., & Suárez, G. (2022). *Diseño e implementación de un módulo didáctico para buses de campo PROFIBUS Y PROFINET con s7-1200 y et200-sp para el laboratorio de fabricación flexible*. Guayaquil: Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana.

- PM. (29 de Noviembre de 2024). *PM*. Obtenido de Bloques de Datos (DB) en TIA Portal:
[https://www.programacionmultidisciplinar.com/curso-de-tia-portal/bloques-de-datos/#%C2%BFQue_es_un_Bloque_de_datos_\(DB\)_en_TIA_Portal?](https://www.programacionmultidisciplinar.com/curso-de-tia-portal/bloques-de-datos/#%C2%BFQue_es_un_Bloque_de_datos_(DB)_en_TIA_Portal?)
- Rendon, P., & Dinas, Y. (2 de Marzo de 2025). *Repositorio Uniajc*. Obtenido de Comparación en el desempeño de plc físico marca siemens® respecto a un plc virtualizado aplicado al control de procesos: <https://repositorio.uniajc.edu.co/entities/publication/70344959-feb6-41ea-9c6c-d812b38848ce>
- Riera, L. (2021). *Sistema integrado de pick & place*. Cartagena: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA.
- Rodriguez, C., & Barreto, J. (14 de Octubre de 2021). *Springer Nature Link*. Obtenido de Energy Optimization of a Parallel Robot in Pick and Place Tasks:
https://doi.org/10.1007/978-3-030-88751-3_20
- Sensores. (19 de Noviembre de 2019). *Sensores*. Obtenido de Sensor Capacitivo:
<https://sensores.top/sensor-capacitivo/>
- Sicma21. (14 de Octubre de 2021). *Sicma21*. Obtenido de ¿Qué es un PLC y cuándo se usa?:
<https://www.sicma21.com/que-es-un-plc/>
- SIEMENS. (05 de Septiembre de 2014). *SIEMENS*. Obtenido de SINAMICS G120, SIMATIC ET200S, MICROMASTER 4: Acyclic reading and writing parameters of the frequency inverters via PROFINET and PROFIBUS:
<https://support.industry.siemens.com/cs/document/29157692/sinamics-g120-simatic-et200s-micromaster-4-acyclic-reading-and-writing-parameters-of-the-frequency-inverters-via-profinet-and-profibus?dti=0&lc=en-EC>
- SIEMENS. (25 de Diciembre de 2019). *SIEMENS*. Obtenido de Convertidores de infraestructura: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:f9dc9f93-6450-4e88-8b6e-cca34b8fb347/manual-sinamics-g120x-es.pdf>

SIEMENS. (11 de Mayo de 2023). *SIEMENS*. Obtenido de Información sobre TIA Portal V18:

Su entrada a la automatización en la Empresa Digital:

<https://support.industry.siemens.com/cs/document/109807106/liberaci%C3%B3n-para-la-venta-y-el-suministro-de-tia-portal-v18?dti=0&lc=es-EC>

SIEMENS. (16 de Noviembre de 2024). *SIEMENS*. Obtenido de Convertidor estándar

SINAMICS G120:

<https://mall.industry.siemens.com/mall/de/WW/Catalog/Products/10122015#%C3%9Cbersicht>

SIEMENS. (19 de Noviembre de 2024). *SIEMENS*. Obtenido de S7-1200 Programmable

controller: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109977302/s7-1200-programmable-controller?dti=0&lc=en-EC>

Vaello, S. (28 de Diciembre de 2024). *Formación para la industria 4.0*. Obtenido de

Funcionamiento de variadores escalar o vectorial:

<https://automatismoindustrial.com/curso-carnet-instalador-baja-tension/d-automatizacion/1-7-arrancadores-electronicos-y-variadores-de-velocidad/funcionamiento-de-variadores-escalar-o-vectorial/>

Vicedo, E. (2022). *Programación con RobotStudio de robots ABB para la automatización de*

procesos de clasificación y paletizado. Universidad Miguel Hernández de Elche.

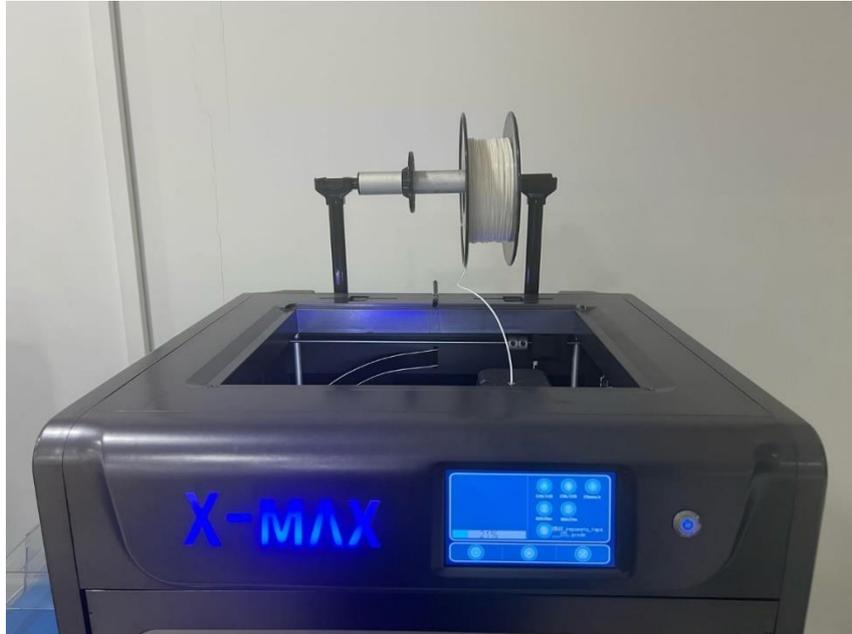
Villarroel, C. (24 de Septiembre de 2024). *Scielo*. Obtenido de La evolución de las políticas

educativas hacia el Modelo de Gestión de Calidad en Chile: Una revisión bibliográfica en base a su interrelación: <https://doi.org/10.4067/S0718-07052024000100153>

Zenteno, D. (2022). *Análisis Cinemático y Dinámico de Robots Tipo Delta*. zDynamics.org.

XII ANEXOS

Anexo 1. Impresión del soporte para gripper.



Anexo 2. Fallo del variador.



Anexo 3. Actualización de firmware del HMI.

