

TRABAJO DE FINAL DE GRADO

Grado en Ingeniería Electrónica y Automatización

DISEÑO Y PUESTA A PUNTO DE UNA CELULA ROBOTICA INDUSTRIA: INTEGRACION DE LAS CAPAS DE CAMPO, CONTROL Y SUPERVISIÓN.



Memoria y Anexos

Autor:	Andrés Mauricio Villegas Zapata
Director:	Dr. Javier Francisco Gámiz Caro
Codirector:	Andres David Restrepo Girón PhD.
Convocatoria:	octubre 2025

Resumen

El proyecto “Diseño y Puesta a Punto de una Célula Robótica Industrial: Integración de las Capas de Campo, Control y Supervisión” busca optimizar la célula industrial de SICMA21 mediante la integración de sensores, un PLC (*Programmable logic Controller*) y un sistema de supervisión SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) /HMI (*Human-Machine Interface*), con el fin de mejorar su funcionalidad como herramienta educativa en automatización industrial. Actualmente, la falta de conexión entre estas capas limita su uso en la formación de estudiantes, por lo que el proyecto se enfocará en el diseño, implementación y validación de un sistema automatizado que simule condiciones reales de manufactura. A través de una metodología estructurada en cinco fases, se desarrollará un entorno práctico que permitirá a los estudiantes comprender y operar sistemas de automatización de manera integral, fortaleciendo su preparación para la Industria 4.0 y asegurando que la célula funcione como un modelo educativo de referencia.

Resum

El projecte “Disseny i Posada a Punt d’una Cèl·lula Robòtica Industrial: Integració de les Capes de Camp, Control i Supervisió” busca optimitzar la cèl·lula industrial de SICMA21 mitjançant la integració de sensors, un PLC (*Programmable logic Controller*) i un sistema de supervisió SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) /HMI (*Human-Machine Interface*), amb la finalitat de millorar la seva funcionalitat com a eina educativa en automatització industrial. Actualment, la manca de connexió entre aquestes capes en limita l’ús en la formació d’estudiants, per la qual cosa el projecte se centrarà en el disseny, implementació i validació d’un sistema automatitzat que simuli condicions reals de fabricació. Mitjançant una metodologia estructurada en cinc fases, es desenvoluparà un entorn pràctic que permeti als estudiants comprendre i operar sistemes d’automatització de manera integral, enfortint la seva preparació per a la Indústria 4.0 i assegurant que la cèl·lula funcioni com a model educatiu de referència.

Abstract

The project “Design and Commissioning of an Industrial Robotic Cell: Integration of the Field, Control and Supervision Layers” seeks to optimize SICMA21’s industrial cell through the integration of sensors, a PLC (Programmable logic Controller) and a SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) /HMI (Human-Machine Interface) supervision system, with the aim of improving its functionality as an educational tool in industrial automation. Currently, the lack of connection between these layers limits its use in the training of students, so the project will focus on the design, implementation and validation of an automated system that simulates real manufacturing conditions. Through a methodology structured in five phases, a practical environment will be developed that will allow students to understand and operate automation systems in an integral manner, strengthening their preparation for Industry 4.0 and ensuring that the cell functions as a benchmark educational model.



Agradecimientos

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a todas las personas que, de una u otra manera, hicieron posible la realización del presente proyecto.

En primer lugar, agradezco profundamente a mi director de tesis, Javier Francisco Gámiz Caro, por su guía, disposición y paciencia durante todo el proceso. Su compromiso y experiencia fueron fundamentales para adquirir y aplicar los conocimientos necesarios en el desarrollo de este trabajo.

Deseo manifestar un agradecimiento muy especial al ingeniero Alfredo Joel Fernández, por su apoyo constante y generoso durante todo el proceso de desarrollo mecánico, neumático y eléctrico del proyecto. Su criterio técnico, su rigor y su disponibilidad (siempre dispuesto a revisar diseños, verificar procesos y acompañar las pruebas) fueron determinantes para consolidar el diseño mecánico y neumático de la célula. Le agradezco, además, el tiempo que dedicó a resolver incidencias y a orientar la implementación de la solución, convirtiéndose en un pilar esencial de este trabajo.

También agradezco profundamente a mis padres, por el apoyo constante brindado a lo largo de mi vida académica. Han sido un pilar fundamental para formar al profesional que hoy presenta con orgullo este proyecto.

A mis familiares, quienes me respaldaron a lo largo de este camino y me brindaron la oportunidad de realizar un intercambio académico desde mi país de origen. Gracias a ello, hoy me encuentro en España culminando lo que considero el cierre de una etapa muy significativa en mi formación de grado.

Agradezco sinceramente a la empresa SICMA21, pieza clave en el desarrollo del proyecto, por brindarme orientación directa, valorar mi trabajo como futuro ingeniero y ofrecerme un entorno de crecimiento profesional.

A la Universitat Politècnica de Catalunya, por sus esfuerzos excepcionales para permitirme cursar un semestre adicional de intercambio, a pesar de no estar contemplado dentro del esquema habitual para estudiantes internacionales.

A la Universidad del Valle (Cali, Colombia), por formarme desde mis inicios como un estudiante con las herramientas y habilidades necesarias para afrontar con éxito los desafíos profesionales y asumir con criterio cualquier proyecto que se cruce en mi camino.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que me ofrecieron su apoyo en los momentos de dificultad, cuando el trabajo se volvió especialmente exigente. Su presencia fue clave para seguir adelante.

Índice

RESUMEN	I
RESUM	II
ABSTRACT	III
AGRADECIMIENTOS	IV
ÍNDICE	VI
FIGURAS	IX
TABLAS	XXI
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	23
1.1. Objetivo.....	23
1.1.1. Objetivos específicos.....	24
1.2. Motivación	24
1.3. Justificación.....	25
1.4. Alcance	27
1.5. Antecedentes.....	27
1.5.1. Teóricos	28
1.5.2. De Campo.....	29
1.6. Estructura de la Memoria.....	31
CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DEL PROBLEMA	33
2.1. Descripción del proceso a automatizar	33
2.1.1. Máquina de Estado Finita (<i>Finite State Machine</i>)	34
2.2. Sistema de Control.....	44
2.2.1. Equipos.....	45
2.2.2. Fases del Proceso	47
2.2.3. Lazos de Control.....	49
2.3. Requerimientos Funcionales	52
2.4. Requerimientos de Diseño	54
2.5. Metodología de Desarrollo.....	56
2.5.1. Fase 1. Descripción y análisis inicial del proceso a automatizar.	56
2.5.2. Fase 2. Estudio detallado de los aspectos técnicos del proceso.	56

2.5.3.	Fase 3. Desarrollo de la solución de control.	56
2.5.4.	Fase 4. Ejecución de pruebas del sistema implementado.....	57
2.5.5.	Fase 5. Elaboración final del informe del proyecto.	57
2.6.	Planificación de las Tareas	57
2.7.	Recursos	59
CAPÍTULO 3: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN		60
3.1.	Arquitectura del Sistema de Control	60
3.1.1.	Hardware del Sistema	60
3.1.2.	Software del Sistema.....	62
3.1.3.	Vista Global de las Comunicaciones.....	63
3.1.4.	Comunicaciones SCADA – Controlador – Proceso.....	66
3.2.	Diseño de la Célula.....	71
3.2.1.	Diseño Mecánico	71
3.2.2.	Diseño Eléctrico	73
3.2.1.	Diseño Neumático	75
3.3.	Descomposición del Problema de Control	77
3.4.	Codificación de los Elementos y Sistemas.....	78
3.4.1.	Estructura general de la codificación	78
3.5.	Definición de la Interfaz del Sistema de Control	81
3.6.	Definición del Fichero de Intercambio Controlador - Scada	82
3.7.	Programa del Controlador	87
3.7.1.	Estructura del Programa.....	88
3.7.2.	Lógica de Control.....	89
3.7.3.	Parada Inicial.....	99
3.7.4.	Arranque.....	106
3.7.5.	StandBy.....	111
3.7.6.	Producción Automática.....	112
3.7.7.	Parada Normal.....	126
3.7.8.	Fallo.....	129
3.7.9.	Información Adicional de Transiciones	132
3.8.	Programa del Robot FANUC	133
3.8.1.	Definición de Puntos y Referencias.....	133
3.8.2.	Programas.....	134
3.9.	Programa del Software SCADA.....	139
3.9.1.	Configuraciones iniciales	139

3.9.2. Árbol de Navegación.....	149
3.9.3. Definición del Tipo de Datos.....	149
3.9.4. Diseño de las Pantallas de Aplicación y Comandos.....	150
3.9.5. Diseño de la interfaz de Alarmas del Sistema	157
3.9.6. Gestión de Usuarios.....	158
3.9.7. Gráfico de Históricos de Tags y Tendencias	159
CAPÍTULO 4: PRUEBAS Y RESULTADOS	160
4.1. Diseño de las Pruebas de Entradas y Salidas Físicas	160
4.2. Diseño de las Pruebas de Funcionalidad.....	160
4.3. Diseño de las Pruebas entre Controlador y SCADA	161
4.4. Resultado de Pruebas	162
CAPÍTULO 5: NORMATIVA	166
5.1. Metodología de Desarrollo.....	166
5.2. Codificación e Identificación.....	166
5.3. Implementación del Programa del PLC.....	166
5.4. Programa del SCADA	167
CAPÍTULO 6. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL.....	168
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES	170
PRESUPUESTO Y/O ANÁLISIS ECONÓMICO	171
BIBLIOGRAFÍA	173
ANEXO A: PLANOS MECÁNICOS	175
ANEXO B: PLANOS ELÉCTRICOS	214

Figuras

- Figura 1. Diagrama P&ID - Célula Industrial FANUC SICMA21. Fuente: Elaboración propia, 2025. 34
- Figura 2. Máquina de estados finita Moore (representación de la secuencialidad de la célula). Fuente: Elaboración propia, 2025. _____ 35
- Figura 3. Proceso general de la célula industrial FANUC. Fuente: Elaboración propia, 2025. ____ 49
- Figura 4. Diagrama GRAFCET - Célula industrial FANUC. Fuente: Elaboración propia, 2025. _____ 49
- Figura 5. Ventana "Digital I/O" para configuración de función de entrada DI y Setpoint. Fuente: Elaboración propia, 2025. _____ 50
- Figura 6. Ventana "Amplifier" para configuración del modo de operación. Fuente: Elaboración propia, 2025. _____ 51
- Figura 7. Ventana "Speed" para la configuración del lazo de control de velocidad. Fuente: Elaboración propia, 2025. _____ 51
- Figura 8. PLC OMRON CJ1M CPU21 con carta DeviceNET, Entradas Digitales y Salidas Digitales. Fuente: Elaboración propia, 2025 _____ 60
- Figura 9. Robot FANUC M6iB 6S de 6 grados de libertad (GDL) con controladora FANUC R-J3C. Fuente: Elaboración propia, 2025. _____ 60
- Figura 10. Servoamplificador Beckhoff AX2003-AS. Fuente: eBay, anuncio "BECKHOFF AX2003-AS S60301-520" [en línea]. Disponible en: <https://www.ebay.com/itm/255952947520> (Consultado el 27 de septiembre de 2025). Uso académico y sin fines comerciales. _____ 61
- Figura 11. Variador de frecuencia SINAMIC V20 (modelo 6SL3210-5BB15-5BV1). Fuente: RS Online, "Variador de frecuencia Siemens serie SINAMIC V20" [en línea]. Disponible en: <https://es.rs-online.com/web/p/variadores-de-velocidad/1368122> (Consultado el 27 de septiembre de 2025). Uso académico, sin fines comerciales. _____ 61

Figura 12. Diseño del archivo EDS perteneciente al robot FANUC. Fuente: Elaboración propia, 2025.	64
Figura 13. Software CX Integrator con red DeviceNet. Fuente: Elaboración propia, 2025.	64
Figura 14. Arquitectura de Comunicación PLC – FANUC, Enlace DeviceNet. Fuente: Elaboración propia, 2025.	65
Figura 15. Configuraciones del puerto periférico en modo ToolBus. Fuente: Elaboración propia, 2025.	66
Figura 16. Configuración de la comunicación serial del KepServerEX 6 (PLC - PC Station). Fuente: Elaboración propia, 2025.	67
Figura 17. Tags Grabados en el KepServerEX 6. Fuente: Elaboración propia, 2025.	67
Figura 18. Prueba de conexión con el Quick Client de KepSever EX 6. Fuente: Elaboración propia, 2025.	68
Figura 19. Dirección de enlace al servidor OPC UA en el KepServerEX 6. Fuente: Elaboración propia, 2025.	69
Figura 20. Configuraciones en Gateway Ignition para comunicación OPC UA – Descubrimiento del Servidor. Fuente: Elaboración propia, 2025.	69
Figura 21. Configuraciones en Gateway Ignition para comunicación OPC UA – Selección del Servidor. Fuente: Elaboración propia, 2025.	70
Figura 22. Arquitectura de Comunicación PLC - SCADA. Fuente: Elaboración propia, 2025.	70
Figura 23. Plano de presentación del proyecto mecánico. Fuente: Elaboración propia, 2025.	72
Figura 24. Plano demostrativo de diseño mecánico. Fuente: Elaboración propia, 2025.	72
Figura 25. Plano de presentación del proyecto eléctrico. Fuente: Elaboración propia, 2025.	73

Figura 26. plano demostrativo del diseño eléctrico. Fuente: Elaboración propia, 2025.	74
Figura 27. Tablero de Potencia. Fuente: Elaboración propia, 2025.	75
Figura 28. Tablero de Control. Fuente: Elaboración propia, 2025.	75
Figura 29. Esquema Neumático Diseñado y simulado en FluidSIM Neumática 4.5. Fuente: Elaboración propia, 2025	76
Figura 30. Estructura del Programa. Fuente: Elaboración propia, 2025.	77
Figura 31. Entorno de programación CX Programmer. Fuente: Elaboración propia, 2025.	82
Figura 32. Estructura del programa. Fuente: Elaboración propia, 2025.	89
Figura 33. Mapeo de Entradas Parte 1. Fuente: Elaboración propia, 2025.	90
Figura 34. Mapeo de Entradas Parte 2. Fuente: Elaboración propia, 2025.	90
Figura 35. Mapeo de Entradas Parte 3. Fuente: Elaboración propia, 2025.	91
Figura 36. Mapeo de Entradas Parte 4. Fuente: Elaboración propia, 2025.	91
Figura 37. Mapeo de Entradas Parte 5. Fuente: Elaboración propia, 2025.	92
Figura 38. Mapeo de Salidas Parte 1. Fuente: Elaboración propia, 2025.	92
Figura 39. Mapeo de Salidas Parte 2. Fuente: Elaboración propia, 2025.	93
Figura 40. Mapeo de Salidas Parte 3. Fuente: Elaboración propia, 2025.	93
Figura 41. Mapeo de Salidas Parte 4. Fuente: Elaboración propia, 2025.	94
Figura 42. Mapeo de Salidas Parte 5. Fuente: Elaboración propia, 2025.	94
Figura 43. Construcción de la señal de estado de Alarma. Fuente: Elaboración propia, 2025.	95

Figura 44. construcción de la señal de estado de alarma.	95
Figura 45. Construcción de la sección de seguridad de la célula – Parte 1. Fuente: Elaboración propia, 2025.	96
Figura 46. Construcción de la sección de seguridad de la célula – Parte 2. Fuente: Elaboración propia, 2025.	96
Figura 47. Construcción de la sección de modos de operación – Parte 1. Fuente: Elaboración propia, 2025.	97
Figura 48. Construcción de la sección de modos de operación – Parte 2. Fuente: Elaboración propia, 2025.	97
Figura 49. Construcción de la sección de Estados del SCADA. Fuente: Elaboración propia, 2025.	98
Figura 50. Diagrama SFC de la célula FANUC. Fuente: Elaboración propia, 2025.	99
Figura 51. Acciones generales del Estado 'Parada Inicial' – Parte 1. Fuente: Elaboración propia, 2025.	100
Figura 52. Acciones generales del Estado 'Parada Inicial' – Parte 2. Fuente: Elaboración propia, 2025.	100
Figura 53. Acciones generales del Estado 'Parada Inicial' – Parte 3. Fuente: Elaboración propia, 2025.	101
Figura 54. Acciones generales del Estado 'Parada Inicial' – Parte 4. Fuente: Elaboración propia, 2025.	101
Figura 55. Acciones generales del Estado 'Parada Inicial' – Parte 5. Fuente: Elaboración propia, 2025.	102
Figura 56. Acciones generales del Estado 'Parada Inicial' – Parte 6. Fuente: Elaboración propia, 2025.	102

Figura 57. Acciones generales del Estado 'Parada Inicial' – Parte 7. Fuente: Elaboración propia, 2025.	103
Figura 58. Acciones generales del Estado 'Parada Inicial' – Parte 8. Fuente: Elaboración propia, 2025.	103
Figura 59. Acciones generales del Estado 'Parada Inicial' – Parte 9. Fuente: Elaboración propia, 2025.	104
Figura 60. Acciones generales del Estado 'Parada Inicial' – Parte 10. Fuente: Elaboración propia, 2025.	104
Figura 61. Acciones generales del Estado 'Parada Inicial' – Parte 11. Fuente: Elaboración propia, 2025.	105
Figura 62. Acciones de activación del Estado 'Parada Inicial'. Fuente: Elaboración propia, 2025.	105
Figura 63. Condiciones de Transición 'Parada Inicial a Arranque'. Fuente: Elaboración propia, 2025.	106
Figura 64. Acciones Generales del Estado 'Arranque' – Parte 1. Fuente: Elaboración propia, 2025.	106
Figura 65. Acciones Generales del Estado 'Arranque' – Parte 2. Fuente: Elaboración propia, 2025.	107
Figura 66. Acciones Generales del Estado 'Arranque' – Parte 3. Fuente: Elaboración propia, 2025.	107
Figura 67. Acciones Generales del Estado 'Arranque' – Parte 4. Fuente: Elaboración propia, 2025.	108
Figura 68. Acciones Generales del Estado 'Arranque' – Parte 5. Fuente: Elaboración propia, 2025.	108
Figura 69. Acciones Generales del Estado 'Arranque' – Parte 6. Fuente: Elaboración propia, 2025.	109
Figura 70. Acciones Generales del Estado 'Arranque' – Parte 7. Fuente: Elaboración propia, 2025.	109
Figura 71. Acciones Generales del Estado 'Arranque' – Parte 8. Fuente: Elaboración propia, 2025.	110

Figura 72. Acciones Generales del Estado 'Arranque' – Parte 9. Fuente: Elaboración propia, 2025.	110
Figura 73. Acciones de activación del Estado 'Arranque'. Fuente: Elaboración propia, 2025. ____	111
Figura 74. Condiciones de Transición 'Arranque a StandBy'. Fuente: Elaboración propia, 2025. ____	111
Figura 75. Acciones de activación del Estado 'StandBy'. Fuente: Elaboración propia, 2025. ____	112
Figura 76. Condiciones de Transición 'StandBy a Producción Automática'. Fuente: Elaboración propia, 2025. _____	112
Figura 77. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Habilitación de los Elementos. Fuente: Elaboración propia, 2025. _____	113
Figura 78. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Solicitud de Tarea 1 Robot FANUC. Fuente: Elaboración propia, 2025. _____	113
Figura 79. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Activación de la Banda 1. Fuente: Elaboración propia, 2025. _____	113
Figura 80. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Detección y Conteo de Piezas Verdes. Fuente: Elaboración propia, 2025. _____	114
Figura 81. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Detección y Conteo de Piezas Azules. Fuente: Elaboración propia, 2025. _____	114
Figura 82. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Detección y Conteo de Piezas Rojas. Fuente: Elaboración propia, 2025. _____	114
Figura 83. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' –Temporizador para ingreso Estación 1. Fuente: Elaboración propia, 2025. _____	115
Figura 84. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Activación de Cilindro 1. Fuente: Elaboración propia, 2025. _____	115

Figura 85. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Desactivación Cilindro 1. Fuente: Elaboración propia, 2025.	115
Figura 86. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Latch de Salida Estación 1. Fuente: Elaboración propia, 2025.	116
Figura 87. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Activación Cilindro 2. Fuente: Elaboración propia, 2025.	116
Figura 88. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Parada Temporal para Giro. Fuente: Elaboración propia, 2025.	116
Figura 89. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Activación Banda y Giro Enclavado por tiempo. Fuente: Elaboración propia, 2025.	117
Figura 90. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Desactivación Cilindro 2. Fuente: Elaboración propia, 2025.	117
Figura 91. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Temporizador para ingreso Estación 3. Fuente: Elaboración propia, 2025.	117
Figura 92. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Activación Cilindro 3. Fuente: Elaboración propia, 2025.	118
Figura 93. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Desactivación Cilindro 3. Fuente: Elaboración propia, 2025.	118
Figura 94. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Latch de Salida de Pieza Estación 3. Fuente: Elaboración propia, 2025.	118
Figura 95. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Temporizador para ingreso Estación 4. Fuente: Elaboración propia, 2025.	119
Figura 96. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Activación Cilindro 4. Fuente: Elaboración propia, 2025.	119

Figura 97. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Desactivación de Cilindro 4 y Banda 1, Activación de Banda 2. Fuente: Elaboración propia, 2025. _____	119
Figura 98. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – temporizador para ingreso Estación 5. Fuente: Elaboración propia, 2025. _____	120
Figura 99. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Activación Cilindro 5. Fuente: Elaboración propia, 2025. _____	120
Figura 100. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Solicitud Tarea 2 Robot FANUC. Fuente: Elaboración propia, 2025. _____	120
Figura 101. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Solicitud de Tare 3 Robot FANUC. Fuente: Elaboración propia, 2025. _____	120
Figura 102. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Solicitud de tare 4 Robot FANUC. Fuente: Elaboración propia, 2025. _____	121
Figura 103. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Desactivación Cilindro 5. Fuente: Elaboración propia, 2025. _____	121
Figura 104. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Espera para ingreso Estación Prensado. Fuente: Elaboración propia, 2025. _____	121
Figura 105. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Desactivación de Banda 2 y Activación de Cilindro 6. Fuente: Elaboración propia, 2025. _____	122
Figura 106. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Activación de Banda 2 y Desactivación de Cilindro 6. Fuente: Elaboración propia, 2025. _____	122
Figura 107. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Temporizador Ingreso Estación Final. Fuente: Elaboración propia, 2025. _____	122
Figura 108. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Activación Cilindro 7. Fuente: Elaboración propia, 2025. _____	123

Figura 109. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Desactivación Cilindro 7. Fuente: Elaboración propia, 2025.	123
Figura 110. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Reseteo de Banderas de Paso (Parte 1). Fuente: Elaboración propia, 2025.	123
Figura 111. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Reseteo de Banderas de Paso (Parte 2). Fuente: Elaboración propia, 2025.	124
Figura 112. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Reseteo de Banderas de Paso (Parte 3). Fuente: Elaboración propia, 2025.	124
Figura 113. Acciones de activación del Estado 'ProducciónAuto'. Fuente: Elaboración propia, 2025.	125
Figura 114. Condiciones de Transición 'Producción Automática a Parada Normal'. Fuente: Elaboración propia, 2025.	125
Figura 115. Acciones del Estado 'Parada Normal' – Parte 1. Fuente: Elaboración propia, 2025.	126
Figura 116. Acciones del Estado 'Parada Normal' – Parte 2. Fuente: Elaboración propia, 2025.	127
Figura 117. Acciones del Estado 'Parada Normal' – Parte 3. Fuente: Elaboración propia, 2025.	127
Figura 118. Acciones del Estado 'Parada Normal' – Parte 4. Fuente: Elaboración propia, 2025.	128
Figura 119. Acciones de activación del Estado 'Parada Normal'. Fuente: Elaboración propia, 2025.	128
Figura 120. Condiciones de Transición 'Parada Normal a Arranque'. Fuente: Elaboración propia, 2025.	128
Figura 121. Acciones del Estado 'Fallo' – Parte 1. Fuente: Elaboración propia, 2025.	129
Figura 122. Acciones del Estado 'Fallo' – Parte 2. Fuente: Elaboración propia, 2025.	130
Figura 123. Acciones del Estado 'Fallo' – Parte 3. Fuente: Elaboración propia, 2025.	130

Figura 124. Acciones del Estado 'Fallo' – Parte 4. Fuente: Elaboración propia, 2025.	131
Figura 125. Acciones del Estado 'Fallo' – Parte 5. Fuente: Elaboración propia, 2025.	131
Figura 126. Acciones de activación del Estado 'Falla'. Fuente: Elaboración propia, 2025.	132
Figura 127. Condiciones de Transición 'Fallo a Parada Inicial'. Fuente: Elaboración propia, 2025.	132
Figura 128. condiciones de transición para salto a estado de Fallo. Fuente: Elaboración propia, 2025.	133
Figura 129. Habilitador del Robot FANUC. Fuente: Elaboración propia, 2025.	134
Figura 130. Selector de Tarea del Robot FANUC – Parte 1. Fuente: Elaboración propia, 2025.	135
Figura 131. Selector de Tarea del Robot FANUC – Parte 2. Fuente: Elaboración propia, 2025.	135
Figura 132. Tarea 1 del Robot FANUC. Fuente: Elaboración propia, 2025.	136
Figura 133. Tarea 2 del Robot FANUC – Parte 1. Fuente: Elaboración propia, 2025.	136
Figura 134. Tarea 2 del Robot FANUC – Parte 2. Fuente: Elaboración propia, 2025.	137
Figura 135. Tarea 3 del Robot FANUC – Parte 1. Fuente: Elaboración propia, 2025.	137
Figura 136. Tarea 3 del Robot FANUC – Parte 2. Fuente: Elaboración propia, 2025.	138
Figura 137. Tarea 4 del Robot FANUC – Parte 1. Fuente: Elaboración propia, 2025.	138
Figura 138. Tarea 4 del Robot FANUC – Parte 2. Fuente: Elaboración propia, 2025.	139
Figura 139. Creación del proyecto en Ignition. Fuente: Elaboración propia, 2025.	140
Figura 140. Conexiones del Proyecto con los gestores de Base de Datos, Fuentes de Usuario y Proveedor de Tags. Fuente: Elaboración propia, 2025.	140

Figura 141. Creación del Proveedor de Tags, Facilita la futura Implementación de un sistema MES y ERP. Fuente: Elaboración propia, 2025.	141
Figura 142. Creación de la Base de Datos Sicma21_DB_Local. Fuente: Elaboración propia, 2025.	141
Figura 143. Validación de la Base de Datos Sicma21_DB_Local. Fuente: Elaboración propia, 2025.	142
Figura 144. Creación del Proveedor de Usuarios User_Sicma21. Fuente: Elaboración propia, 2025.	142
Figura 145. Políticas de Creación de la Contraseña del Usuario. Fuente: Elaboración propia, 2025.	142
Figura 146. Usuarios creados y Roles asignados. Fuente: Elaboración propia, 2025.	143
Figura 147. Creación del Perfil de Auditorias. Fuente: Elaboración propia, 2025.	143
Figura 148. Habilitación de Auditorias para el Proyecto. Fuente: Elaboración propia, 2025.	144
Figura 149. Creación del Histórico de Tags. Fuente: Elaboración propia, 2025.	144
Figura 150. Ajuste del Particionamiento de la información del Histórico. Fuente: Elaboración propia, 2025.	144
Figura 151. Auto borrado de la información (1 año). Fuente: Elaboración propia, 2025.	145
Figura 152. Creación del Alarm Journal. Fuente: Elaboración propia, 2025.	145
Figura 153. Configuración de Tag 'STAT_BLUE_CNT' con Histórico. Fuente: Elaboración propia, 2025.	146
Figura 154. Configuración de Tag 'SCD_EST_FAULT' con Alarma. Fuente: Elaboración propia, 2025.	147
Figura 155. Creación de la Consulta SQL Para Obtención de Eventos de Usuario (Auditoria del Proyecto). Fuente: Elaboración propia, 2025.	148
Figura 156. Configuración el Easy Chart con el Historian_Sicma21. Fuente: Elaboración propia, 2025.	148

Figura 157. Pantalla Principal del Sistema SCADA (Árbol de navegación del sistema). Fuente: Elaboración propia, 2025.	149
Figura 158. Ejemplo de Tag tipo Booleano. Fuente: Elaboración propia, 2025.	150
Figura 159. Ejemplo de Tag tipo Integer. Fuente: Elaboración propia, 2025.	150
Figura 160. solicitud de credenciales de usuario. Fuente: Elaboración propia, 2025.	151
Figura 161. Pantalla principal del sistema SCADA. Fuente: Elaboración propia, 2025.	152
Figura 162. Pantalla de historico de usuarios. Fuente: Elaboración propia, 2025.	153
Figura 163. Pantalla de histórico de alarmas. Fuente: Elaboración propia, 2025.	154
Figura 164. Pantalla de Tendencia de Tags. Fuente: Elaboración propia, 2025.	155
Figura 165. Ejemplo de Popup relacionado a Electroválvula (01). Fuente: Elaboración propia, 2025.	156
Figura 166. Ejemplo de Popup relacionado a Servomotor (Banda 1). Fuente: Elaboración propia, 2025.	156
Figura 167. Ejemplo de Popup relacionado a Motor (Banda 2). Fuente: Elaboración propia, 2025.	156
Figura 168. Configuración del Journal Name (Alarmas_SICMA21). Fuente: Elaboración propia, 2025.	157
Figura 169. Configuración de los parámetros del Date Range. Fuente: Elaboración propia, 2025.	157
Figura 170. Configuración de la Tabla de gestión de Usuarios. Fuente: Elaboración propia, 2025.	158
Figura 171. Configuración del Easy Chart para tendencia de tags. Fuente: Elaboración propia, 2025.	159

Tablas

Tabla 1. Tabla de Entradas Físicas - Célula FANUC	41
Tabla 2. Tabla de Salidas Físicas - Célula FANUC	42
Tabla 3. Señales por Comunicaciones - Célula FANUC	44
Tabla 4. Elementos que interactúan en la célula FANUC.	47
Tabla 5. Requerimientos Funcionales de la célula FANUC	53
Tabla 6. Requerimientos de Diseño de la célula FANUC	55
Tabla 7. Descripción de Tareas para desarrollo del proyecto	59
Tabla 8. estructura general de codificación.	78
Tabla 9. Ejemplo de codificaciones.	79
Tabla 10. Referencia de elementos utilizados.	79
Tabla 11. Señales intercambiadas con el sistema SCADA.	80
Tabla 12. Nomenclatura de las Banderas y Variables internas.	80
Tabla 13. Estándar de Colores SCADA.	81
Tabla 14. fichero de intercambio entre PLC - SCADA, Tags del KepWareEX 6.	87
Tabla 15. Diseño de Pruebas de Entradas y Salidas.	160
Tabla 16. Diseño de las Pruebas de Funcionalidad.	161
Tabla 17. Diseño de Pruebas entre Controlador y SCADA.	162

Tabla 18. Matriz de Resultados de Pruebas FAT y SAT.	165
--	-----

Tabla 19. Costes	172
------------------	-----

Capítulo 1: Introducción

La automatización industrial se ha convertido en un pilar fundamental para la optimización de procesos en el ámbito productivo y educativo. El inminente crecimiento en la implementación de dichos sistemas ha permitido mejorar la eficiencia, precisión y supervisión en diferentes sectores industriales, facilitando la integración de tecnologías sofisticadas como lo son los controladores lógicos programables (PLC), los sistemas SCADA y la adaptación de la robótica en la industria. sin embargo, la efectividad de estos sistemas depende en gran medida de su correcta integración y sincronización.

En este contexto, el presente anteproyecto se enfoca en el diseño y puesta a punto de una célula robótica industrial, con el propósito de integrar las capas de Campo, Control y Supervisión de la pirámide CIM (*Computer Integrated Manufacturing*) dentro de la empresa SICMA21. Actualmente esta célula no cuenta con una integración completa de estas capas, lo que limita de manera sustancial su funcionalidad como herramienta educativa y su potencial para simular entornos industriales reales. La falta de interconectividad entre sensores, actuadores, sistemas de control y supervisión impide que los estudiantes experimenten de manera practica el flujo completo de datos y la toma de decisiones en un entorno industrial controlado, aspectos clave en la formación de ingenieros y técnicos enfocados a la industria 4.0.

Este proyecto busca abordar esta problemática a través del diseño e implementación de una arquitectura automatizada que permita la integración de sensores, PLC y un sistema SCADA/HMI, con el objetivo de mejorar la funcionalidad de la célula. A través de una metodología estructurada en fases, se desarrollará un entorno práctico que posibilite y facilite el aprendizaje integral de los estudiantes en el manejo de sistemas de automatización.

El documento presenta un análisis detallado del problema, los antecedentes que sustentan la importancia y apoyan el desarrollo del proyecto, la justificación del proyecto, los objetivos y la metodología a seguir para una correcta implementación. Con este trabajo, se espera no solo mejorar el funcionamiento de la célula presentada por SICMA21, sino también apoyar el modelo educativo que maneja dicha empresa.

1.1. Objetivo

Diseñar e implementar un sistema automatizado en una célula industrial equipada con un robot manipulador, integrando sensores, controladores y una interfaz de supervisión, con el propósito de fortalecer la enseñanza en automatización industrial. La implementación garantizará la integración de

los niveles de Campo, Control y Supervisión de la pirámide CIM, permitiendo a los estudiantes realizar prácticas experimentales en un entorno realista.

1.1.1. Objetivos específicos

- a. Analizar los requerimientos funcionales y técnicos de la célula industrial y del robot manipulador, identificando los componentes clave para su automatización.
- b. Diseñar la arquitectura del sistema automatizado, considerando la integración de sensores, actuadores y un controlador lógico programable (PLC).
- c. Desarrollar los algoritmos de control y comunicación necesarios para la operación del robot manipulador y las bandas dentro de la célula industrial.
- d. Implementar una interfaz de supervisión basada en SCADA o HMI, que permita el monitoreo en tiempo real del sistema automatizado.
- e. Validar el desempeño del sistema mediante pruebas experimentales, asegurando que cumpla con los objetivos educativos y operacionales esperados.

1.2. Motivación

La automatización industrial se ha consolidado como un eje transformador tanto en el sector productivo como en el ámbito educativo, al permitir procesos más eficientes, seguros y trazables. En este contexto, la célula robótica de SICMA21 ofrece un escenario idóneo para cerrar la brecha entre la teoría y la práctica mediante la integración efectiva de las capas de Campo, Control y Supervisión de la pirámide CIM. Sin embargo, su estado actual (sin una interconexión completa entre sensórica, PLC y sistema SCADA/HMI) limita el aprendizaje experiencial y la comprensión holística del flujo de información y decisiones en un entorno realista. Atender esta carencia constituye el principal motor de este trabajo, pues habilita un espacio formativo donde los estudiantes puedan observar, programar y validar un sistema industrial de forma integral.

Desde la perspectiva académica, la motivación se fundamenta en fortalecer las competencias que demanda la Industria 4.0: integración de hardware y software, programación de controladores, comunicación industrial y supervisión en tiempo real. El proyecto propone precisamente esa articulación, al diseñar e implementar una arquitectura que conecte sensores y actuadores con un PLC y una interfaz SCADA/HMI, orientada a prácticas experimentales con criterios de operación, diagnóstico y mejora continua. Con ello, la célula pasará de ser un conjunto de equipos aislados a un laboratorio didáctico funcional, replicable y escalable, alineado con la formación por competencias y con la necesidad institucional de disponer de entornos de ensayo con valor pedagógico real.

Desde la perspectiva tecnológica y profesional, el proyecto es una oportunidad para aplicar metodologías de ingeniería completas: definición de requisitos, diseño de la arquitectura de control y comunicaciones, codificación, verificación funcional y validación con matriz de resultados. La estructura metodológica en fases —desde el análisis del proceso hasta la programación del controlador y del SCADA, y la ejecución de pruebas E/S, funcionales y de interoperabilidad— garantiza trazabilidad técnica y evidencia de desempeño, aportando rigor y transferibilidad a otras celdas o contextos industriales y educativos. Esta orientación práctica consolida habilidades que son directamente demandadas por el mercado laboral.

Finalmente, la motivación institucional se sustenta en el impacto y la viabilidad del proyecto. La participación de la Universidad del Valle y la Universitat Politècnica de Catalunya, junto con SICMA21, no solo respalda la pertinencia académica, sino que facilita la implementación y la puesta en marcha con recursos y roles claramente definidos en tiempo y presupuesto. Convertir la célula en un modelo operativo de referencia eleva el estándar de la enseñanza técnica y sienta bases para futuras ampliaciones (p. ej., integración MES/ERP), consolidando un ecosistema formativo conectado con las necesidades reales de la industria.

En suma, la motivación de este trabajo radica en transformar una infraestructura existente en una plataforma de aprendizaje de alto valor, donde convergen teoría, práctica y validación experimental. Integrar Campo, Control y Supervisión en la célula de SICMA21 no es solo un objetivo técnico: es un paso decisivo para formar profesionales capaces de diseñar, implementar y mantener sistemas de automatización contemporáneos, con impacto directo en la calidad de la enseñanza y en la empleabilidad de los egresados.

1.3. Justificación

El desarrollo de este proyecto de diseño e implementación de una célula robótica industrial con integración de las capas de Campo, Control y Supervisión en la empresa SICMA21 se justifica por diversas razones de gran relevancia. En primer lugar, se justifica como una necesidad académica y formativa en el campo de la automatización industrial. La célula robótica de SICMA21 está diseñada con fines pedagógicos, pero en su estado actual carece de la integración completa de las capas esenciales de la pirámide CIM, lo que limita su utilidad como herramienta de enseñanza. La implementación de esta integración permitirá a los estudiantes adquirir conocimientos prácticos en automatización, programación de PLCs y supervisión de procesos, competencias clave para su desempeño en la Industria 4.0. Además, el desarrollo del proyecto proporcionará una base funcional sobre la cual podrán realizarse futuras optimizaciones, facilitando la actualización y ampliación del sistema con nuevas tecnologías.

Además, es un proyecto necesario y de alto impacto, ya que, sin una adecuada integración de sensores, actuadores y sistemas de supervisión, la célula robótica no podrá cumplir su propósito educativo de manera efectiva. Actualmente, la falta de conexión entre las capas de automatización impide que los estudiantes experimenten el flujo completo de datos en un entorno industrial simulado. Esto genera una brecha entre el conocimiento teórico y las habilidades prácticas, reduciendo su preparación para enfrentar desafíos reales en la industria. La implementación de este sistema permitirá optimizar el uso de la célula robótica, asegurando que cada componente funcione de manera coordinada y eficiente, lo que incrementará su valor didáctico y su aplicabilidad en escenarios reales.

El proyecto también tendrá un impacto tecnológico significativo, ya que establecerá un modelo de integración de sistemas de automatización industrial que podrá ser replicado en otros entornos educativos y productivos. La combinación de sensores, PLCs y sistemas SCADA o HMI permitirá desarrollar una plataforma robusta para el monitoreo y control en tiempo real, facilitando el análisis de datos y la optimización del rendimiento del sistema. Este enfoque no solo beneficiará a SICMA21, sino que también podrá ser tomado como referencia para futuras implementaciones en instituciones educativas y empresas que buscan mejorar sus procesos de automatización.

Adicionalmente, el proyecto contribuirá a la formación de personal calificado, ya que permitirá a los estudiantes desarrollar habilidades especializadas en el diseño, programación y supervisión de sistemas automatizados. La integración de la célula robótica en un entorno educativo avanzado fomentará el aprendizaje experiencial y fortalecerá la capacidad de los futuros ingenieros y técnicos para enfrentar los desafíos del sector. Esto es especialmente relevante en un contexto donde la automatización y la robótica son cada vez más demandadas en la industria manufacturera, garantizando que los egresados tengan un perfil competitivo en el mercado laboral.

Cabe destacar que la implementación de este sistema responde a una necesidad identificada por SICMA21, lo que demuestra la importancia de la automatización en los procesos educativos y productivos actuales. La optimización de esta célula robótica no solo mejorará su desempeño como herramienta pedagógica, sino que también permitirá evaluar el impacto de la integración de las capas de Campo, Control y Supervisión en sistemas de manufactura inteligente.

En conclusión, el desarrollo de este proyecto se justifica ampliamente por su potencial para mejorar la enseñanza de la automatización industrial, fortalecer la formación de estudiantes, optimizar la funcionalidad de la célula robótica y contribuir al avance tecnológico en el sector. La integración de sensores, controladores y sistemas de supervisión permitirá que la célula de SICMA21 funcione como un laboratorio de referencia en automatización, asegurando que los estudiantes adquieran una formación alineada con las exigencias de la Industria 4.0 y consolidando su posición como un modelo educativo innovador en el ámbito de la ingeniería y la manufactura inteligente.

1.4. Alcance

El presente proyecto tiene como alcance el diseño, implementación y validación de un sistema automatizado en la célula robótica industrial de la empresa SICMA21, enfocándose en la integración de las capas de Campo, Control y Supervisión de la pirámide CIM. Esta integración se limita al uso de los componentes físicos y tecnológicos ya disponibles en la célula, incorporando sensores, actuadores, un controlador lógico programable (PLC) y una interfaz SCADA/HMI.

El trabajo se desarrollará dentro del marco académico y formativo, orientado a fortalecer el aprendizaje práctico de los estudiantes en temas de automatización industrial. En este sentido, el proyecto no contempla la incorporación de capas superiores de la pirámide CIM, como los niveles de planificación (MES) o gestión (ERP), ni el rediseño estructural o mecánico del sistema robótico.

Asimismo, el alcance incluye el desarrollo de una arquitectura funcional del sistema, la programación del PLC, el diseño de la interfaz de supervisión, y la ejecución de pruebas de validación que aseguren su funcionamiento correcto en condiciones simuladas. También abarca la documentación técnica necesaria para su mantenimiento, uso académico y futuras ampliaciones.

El proyecto no contempla la integración con sistemas productivos reales externos, ni el uso industrial comercial de la célula fuera del entorno educativo. De igual forma, la replicación del sistema en otras instituciones o contextos productivos queda fuera del alcance, aunque se establecerán lineamientos que puedan facilitar su futura adopción.

1.5. Antecedentes

La automatización industrial se ha consolidado como un pilar fundamental para la transformación de los procesos productivos, permitiendo a las empresas optimizar recursos, aumentar la eficiencia operativa y garantizar la calidad de los productos. En un entorno donde la competitividad y la innovación son factores clave, la implementación de tecnologías automatizadas ha dejado de ser un lujo para convertirse en una necesidad estratégica. Sistemas como brazos robóticos, bandas transportadoras, sensores y controladores programables se integran para conformar soluciones inteligentes capaces de operar de manera autónoma y precisa, reduciendo la intervención humana en tareas repetitivas y mejorando la seguridad en el entorno laboral.

La relevancia de la automatización no solo se limita al sector productivo, sino que también se extiende al ámbito educativo. La formación técnica en automatización permite preparar a los futuros ingenieros y técnicos para enfrentar los retos de un mercado laboral cada vez más orientado hacia la digitalización

y la Industria 4.0. Por ello, las instituciones educativas han comenzado a adoptar células automatizadas que simulan condiciones reales de trabajo, brindando a los estudiantes la oportunidad de experimentar con tecnologías avanzadas en un entorno controlado. Estas herramientas pedagógicas no solo facilitan el aprendizaje práctico, sino que también fomentan la innovación y el desarrollo de habilidades críticas.

Para comprender la base teórica y práctica que sustenta este proyecto, los antecedentes se han estructurado en tres apartados. En primer lugar, los antecedentes teóricos presentan los conceptos fundamentales de la automatización industrial, como la pirámide CIM y la importancia de la integración de sistemas. En segundo lugar, los antecedentes de campo nacionales abordan los esfuerzos realizados en instituciones educativas y empresas dentro del país. Debido al carácter cooperativo entre universidades, como la Universidad Politécnica de Cataluña (España) y la Universidad del Valle (Colombia), se considerará como antecedentes de campo nacionales todo aquel documento que presente información útil para el desarrollo del proyecto y que haya sido realizado en España o Colombia. Por último, los antecedentes de campo internacionales exponen cómo otros países han integrado tecnologías similares en sus programas de enseñanza técnica, destacando casos relevantes y buenas prácticas. Este enfoque busca ofrecer una visión integral que respalde la importancia del proyecto y sirva de apoyo para su desarrollo y cumplimiento de los objetivos.

1.5.1. Teóricos

El artículo titulado “Automatización de procesos industriales mediante industria 4.0”, escrito por Gustavo Barona López y Luis Efraín Velasteguí, proporciona una introducción amplia a los conceptos relacionados con la automatización industrial. Además, explica de manera detallada los diversos niveles de la pirámide CIM, cuya comprensión resulta esencial para delimitar los alcances del proyecto [1].

En este mismo contexto, el artículo titulado “Diseño y análisis del funcionamiento estructural de un brazo robótico de nivel industrial de cuatro grados de libertad”, escrito por Páez Molina y Gutiérrez Peña, complementa este enfoque al centrarse en el diseño y el funcionamiento mecánico de los brazos robóticos desde un análisis teórico y simulado. Este antecedente ofrece un primer acercamiento a la matemática que describe el funcionamiento dinámico de los diferentes tipos de brazos robóticos industriales [2].

Adicionalmente, se destaca la obra del ingeniero electrónico Roger Miranda Colorado, titulada “Cinemática y dinámica de robots manipuladores”, la cual, según el autor, “desarrolla la descripción, análisis y ejercicios tomando en cuenta siempre la sencillez, de modo que cualquier lector pueda tanto apreciar lo interesante que es el análisis de los robots, como contemplar la belleza que llevan en sí las

ecuaciones matemáticas que describen a los manipuladores”. Este antecedente, al igual que el anterior, constituye un punto de partida importante, ya que comprender por completo el funcionamiento del brazo robótico que se planea programa, esto es esencial para evitar retrasos en el progreso del proyecto y garantizar su correcta implementación [3].

1.5.2. De Campo

1.5.2.1. Nacionales

El trabajo de grado titulado “Aplicación didáctica de la plataforma IQWORKS en el campo de la automatización industrial”, realizado por Juan Rodríguez y Andrea Latorre, detalla el desarrollo de la programación mediante un diagrama funcional aplicado a través de redes de Petri en dos robots manipuladores de la marca Mitsubishi Electric, con las referencias Melfa RV-3SQB y Melfa RV-6SQL. Estos robots están ubicados en la sede principal de la Universidad Militar Nueva Granada, en Bogotá.

El trabajo descrito por Rodríguez y Latorre es útil para comprender un método de programación de robots manipuladores y, además, ofrece una base para considerar cómo podría ser programado el brazo robótico en este proyecto. Aunque los procesos a desarrollar en ambos casos son diferentes, este antecedente constituye un apoyo importante para la realización del proyecto, al proporcionar referencias prácticas y metodológicas [4].

Por otro lado, se destaca la obra “Integración de un brazo robot en una estación de almacenamiento de un producto final”, de Fernando García Fernández y Raúl Ortiz Campos, de la Universidad Politécnica de Cataluña. Este trabajo aborda la implementación, programación y control de un brazo robótico en una célula industrial automatizada, detallando la configuración del PLC OMRON CPM1A, la comunicación mediante Ethernet y la integración de un sistema de supervisión en Visual Basic.

La investigación es relevante porque abarca los tres niveles de la pirámide CIM. En el nivel uno, se realiza la puesta a punto de la sensórica y actuadores, asegurando una correcta detección y manipulación de los elementos dentro de la célula de trabajo. En el nivel dos, se establece el control del sistema mediante la programación del PLC, optimizando la ejecución de las tareas automatizadas y garantizando una operación eficiente. Finalmente, en el nivel tres, se implementan sistemas de monitoreo y supervisión a través de Visual Basic, permitiendo la visualización en tiempo real del estado del proceso y la interacción con el sistema de manera centralizada.

Este trabajo es un referente clave en la integración de sistemas robóticos en entornos industriales, proporcionando una metodología detallada para la automatización y supervisión eficiente de células de manufactura [5].

Adicionalmente, se hace mención al proyecto de grado escrito por Sebastián Muñoz Retrepo, denominado “Repotenciación del robot SCORA_ER14 de la celda de manufactura flexible del laboratorio de estudio y medición de trabajo de la Universidad Autónoma de Occidente”, la obra escrita en la ciudad de Cali, Colombia, se enfoca en la actualización y programación del robot SCORA_ER14 dentro de una célula de manufactura flexible, con el objetivo de mejorar su desempeño en tareas de selección y manipulación de piezas. Para ello, se implementaron nuevos controladores y se desarrolló un sistema de programación optimizado que garantizó una mayor precisión en la ejecución de movimientos del brazo robótico, además de integrar su funcionamiento con otros elementos de la célula industrial.

Este antecedente es altamente relevante para el proyecto, ya que aborda aspectos fundamentales como la puesta a punto de un brazo manipulador, la integración con las capas de la pirámide CIM y la optimización de su programación para mejorar la automatización del proceso de selección de piezas. Al compartir similitudes con el enfoque del proyecto, esta investigación sirve como una referencia clave para el desarrollo del sistema de control y supervisión, ayudando a definir estrategias para la implementación eficiente de sensores, PLCs y la interfaz SCADA/HMI en la célula robótica industrial de SICMA21 [6].

1.5.2.2. Internacionales

La tesis titulada “Diseño de un manipulador robótico de cinco grados de libertad como herramienta para un sistema de detección de fallas mediante ultrasonido derivado del proyecto de investigación SIP 2008 2653”, presentada por Enrique García Trinidad, Iván Rodolfo Aguilar Martínez y José David Pérez Vázquez en el Instituto Politécnico Nacional (IPN), aborda el diseño e implementación integral de un manipulador robótico. En este estudio se incluyen el modelado cinemático y dinámico, la selección de materiales y el diseño eléctrico-electrónico del sistema. Para el análisis cinemático, se emplean las representaciones de Denavit-Hartenberg, mientras que la formulación de Newton-Euler se utiliza para el estudio de la dinámica. Además, la investigación describe la selección de motores, los mecanismos de transmisión y los sistemas de control basados en microcontroladores. La tesis está orientada a la automatización industrial, con un enfoque en la integración del robot en un sistema de inspección por ultrasonido, lo que la hace relevante para procesos de control de calidad en manufactura.

Este trabajo constituye un antecedente clave, ya que documenta de manera detallada cada fase del desarrollo de un robot manipulador. Se considera un referente fundamental para la primera etapa de este proyecto, dado que gran parte de los aspectos abordados en la investigación de García, Aguilar y Pérez están directamente relacionados con el primer nivel de la pirámide CIM. Por ello, este estudio es de gran relevancia para la fundamentación y desarrollo del proyecto [7].

Uno de los antecedentes internacionales relevantes para este proyecto es el estudio titulado “Automatización e integración mediante redes industriales de los procesos de manufactura”, desarrollado en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en Ecuador. Este trabajo aborda la automatización y optimización de procesos de manufactura a través de la integración de redes industriales, siguiendo la estructura de la pirámide CIM. Se centra en la implementación de protocolos de comunicación industrial, la programación de controladores lógicos programables (PLCs) y la supervisión del sistema mediante interfaces HMI y SCADA. Además, el estudio destaca la importancia de la interconectividad entre los distintos niveles de la pirámide CIM para garantizar un control eficiente de los procesos industriales.

Este antecedente es altamente relevante para el desarrollo del presente proyecto, ya que comparte el objetivo de integrar y optimizar los niveles de Campo, Control y Supervisión dentro de una célula industrial. Aporta conocimientos clave sobre la implementación de redes de comunicación industrial y la estructuración de un sistema automatizado eficiente, lo que puede servir como base para el diseño de la arquitectura de control y supervisión de la célula robótica de SICMA21. Además, la aplicación de estos conceptos en un entorno de manufactura real valida la viabilidad de las soluciones propuestas en este anteproyecto, permitiendo aprovechar metodologías probadas para mejorar la integración de los componentes y la eficiencia del proceso de selección de piezas [8].

1.6. Estructura de la Memoria

La memoria del Trabajo de Fin de Grado (TFG) se estructura conforme a las directrices de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), en particular de la Escuela de Ingeniería de Barcelona Este (EEBE). Asimismo, el documento se ajusta a la guía proporcionada por el director del trabajo, en la que se especifican los apartados que deben incluirse para la correcta elaboración del informe, específicamente en el ámbito de la Automatización Industrial.

La estructura de la memoria se organiza en los siguientes capítulos.

- Preliminares: índice, resumen (es/ca/en) y agradecimientos.
- Capítulo 1. Introducción: presenta los objetivos (generales y específicos), la motivación, la justificación, el alcance, los antecedentes y esta estructura de la memoria.
- Capítulo 2. Análisis del problema: describe el proceso a automatizar (química y modelo del proceso) y el sistema de control (equipos, fases y lazos). Define requisitos funcionales y de diseño, la metodología de desarrollo, la planificación de tareas y los recursos.
- Capítulo 3. Diseño e implementación de la solución: detalla la arquitectura del sistema de control (hardware, software y comunicaciones), la codificación de elementos y sistemas, las

interfaces y el fichero de intercambio Controlador–SCADA. Incluye el programa del controlador (estructura, tipos de datos, lógica de elementos y de sistemas y secuencias) y el programa SCADA (árbol de navegación, tipos de datos, diseño de pantallas y mandos, scripts, interfaz de alarmas, gestión de usuarios y gráficos históricos).

- Capítulo 4. Pruebas y resultados: define las pruebas de E/S físicas, funcionalidad, comunicación Controlador–SCADA y presenta los resultados.
- Capítulo 5. Normativa: criterios de metodología, codificación e identificación, e implementación y programación tanto del PLC como del SCADA.
- Capítulo 6. Impacto medioambiental: evaluación de impactos y medidas de mitigación.
- Capítulo 7. Conclusiones: síntesis de logros, limitaciones y líneas futuras.
- Presupuesto y/o análisis económico: desglose de costes (equipos, licencias, fabricación, integración, pruebas), hipótesis, cronograma–coste y valoración global.
- Bibliografía: referencias y bibliografía de consulta.
- Anexos A. Planos mecánicos.
- Anexos B. Planos eléctricos.

Capítulo 2: Análisis del Problema

2.1. Descripción del proceso a automatizar

El proceso para automatizar en la célula robótica industrial de SICMA21 simula una línea de inspección, clasificación y manipulación de piezas, mediante la integración de diversos componentes eléctricos, neumáticos y de control. Esta célula está compuesta por bandas transportadoras, sensores, pistones neumáticos, un brazo robótico FANUC, un controlador lógico programable (PLC), un sistema de supervisión SCADA/HMI y enlaces de comunicación industrial.

El ciclo operativo inicia con el desplazamiento de piezas sobre bandas transportadoras. Una de estas bandas es accionada por un servomotor controlado por un servoamplificador, el cual se encuentra sincronizado con el PLC, permitiendo un movimiento preciso de las piezas hacia las estaciones de inspección.

Durante el recorrido, las piezas son detectadas por sensores de presencia y sensores de color, los cuales proporcionan información sobre su estado y características. Esta información es procesada por el PLC, que toma decisiones en tiempo real para controlar el sistema. De acuerdo con la lógica definida, se activan pistones neumáticos para clasificar, detener o redirigir las piezas según sus atributos.

El sistema también incluye un brazo robótico marca FANUC, el cual realiza operaciones de manipulación específicas dentro del proceso. La comunicación entre el PLC y el robot FANUC se realiza a través del protocolo industrial DeviceNET, lo que permite una integración efectiva y segura entre el sistema de control y el manipulador robótico. Además, se emplea comunicación RS232C para la conexión directa con dispositivos periféricos, como lectores de códigos de barras.

Toda la operación es supervisada mediante una interfaz SCADA/HMI, que proporciona visualización en tiempo real del estado del sistema, control manual de dispositivos, registro de alarmas y estadísticas de operación. Esta interfaz permite a los usuarios interactuar con la célula de manera intuitiva y realizar pruebas o diagnósticos en entornos educativos o de laboratorio.

En conjunto, el sistema permite simular un proceso de automatización industrial completo, donde se integran elementos de sensado, control, accionamiento y supervisión, proporcionando una plataforma funcional para el aprendizaje práctico en el área de la automatización.

Se plantea un modelo PI&D para simplificar el entendimiento del proceso a automatizar en cual se visualizan los diversos periféricos que interactúan en el proceso de la célula industrial.

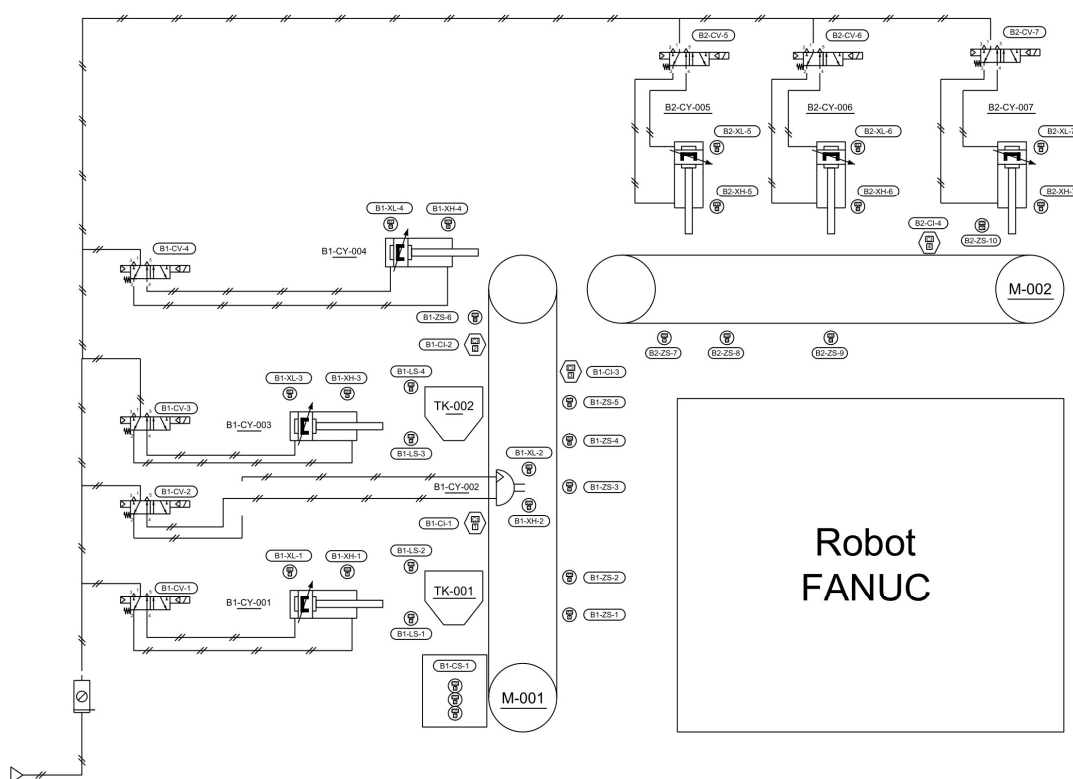


Figura 1. Diagrama P&ID - Célula Industrial FANUC SICMA21. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Dada la naturaleza estrictamente discreta del proceso (sin variables de carácter analógico), la representación de la célula se aborda mediante el formalismo de máquinas de estados finitos (FSM, *Finite State Machines*). Este enfoque permite modelar de forma estructurada las etapas del proceso y las condiciones lógicas que determinan la transición entre ellas. En consecuencia, la exposición se centra en la descripción gráfica de la célula a través de la FSM, garantizando así una comprensión integral y rigurosa del flujo de trabajo.

2.1.1. Máquina de Estado Finita (*Finite State Machine*)

En el presente apartado se desarrolla la Máquina de Estados Finita (FSM, por sus siglas en inglés) que describe el comportamiento secuencial de la célula robótica. Debido a que el proceso en cuestión es de naturaleza discreta (gobernado por eventos binarios provenientes de sensores y actuadores), la FSM constituye la herramienta idónea para modelar el flujo de trabajo.

Es importante aclarar que la FSM propuesta representa el flujo del proceso correspondiente al tratamiento de una única pieza dentro de un ciclo de operación. De este modo, cada estado refleja una etapa específica que la pieza atraviesa en la línea, y las transiciones se producen únicamente cuando las condiciones de los sensores o sistemas de inspección así lo determinan.

La FSM mostrada es, por tanto, una representación práctica y simplificada del flujo de trabajo de la célula, enfocada en la secuencia principal de operaciones. Existen variables adicionales que sí están presentes en la programación del PLC, ya sea para funciones de diagnóstico, temporización o seguridad, pero que no se incluyen en el modelo FSM al no modificar la lógica principal de transición entre estados.

El modelo de estados cumple así una doble función:

- Conceptual, al brindar una visión clara y simplificada del ciclo completo de procesamiento de una pieza.
- Práctica, al servir como base para la implementación en el programa de control del PLC y la coordinación con el robot FANUC, asegurando coherencia entre el diseño y la lógica de programación.

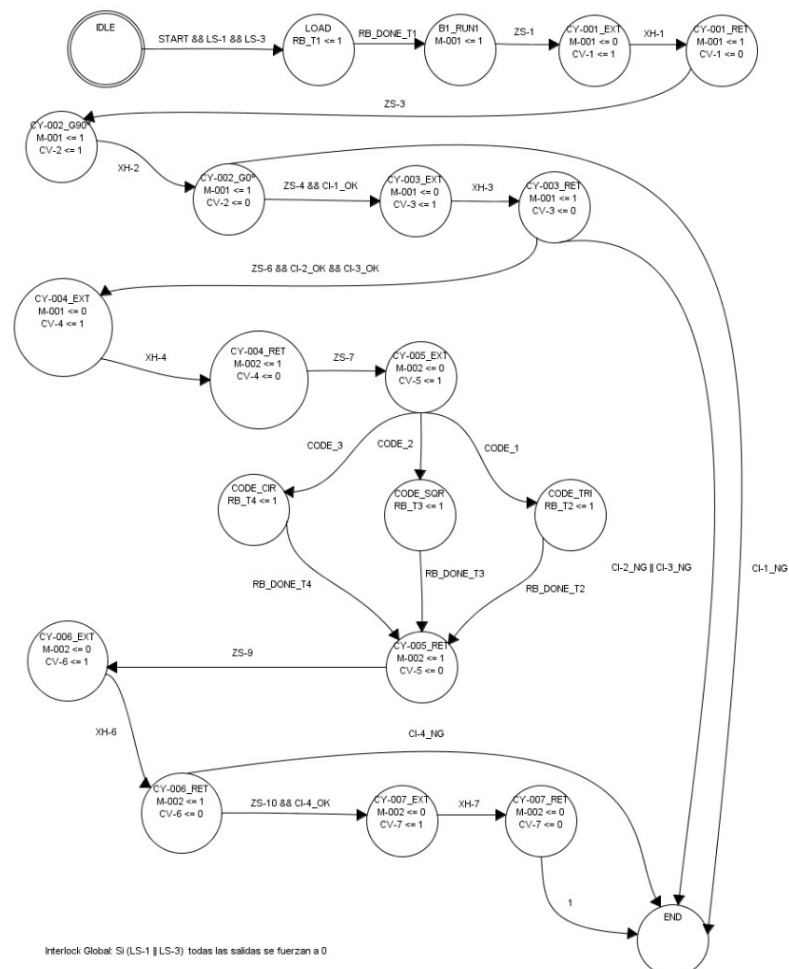


Figura 2. Máquina de estados finita Moore (representación de la secuencialidad de la célula).
Fuente: Elaboración propia, 2025.

Con el fin de garantizar la trazabilidad entre el modelo de control y la documentación técnica de la célula, se presenta a continuación una tabla en la que se detallan los símbolos asignados a cada señal de entrada y salida empleados en el proyecto.

La tabla recoge el significado de cada símbolo, su función dentro del proceso, así como su correspondencia con el diagrama P&ID elaborado previamente. De esta manera, se mantiene una nomenclatura coherente entre el diseño de instrumentación y la lógica de control, facilitando la lectura, el mantenimiento y la integración del sistema en todas sus capas (campo, control y supervisión).

N.º	Símbolo FSM	TAG P&ID	Área	Dispositivo	N.º	Descripción (Función)	Tipo de señal (PLC)
1	CS-1_R	B1- CS-1	Banda 1	Sensor de Color	1_R	Señal que indica detección de color rojo	IN
2	CS-1_G	B1- CS-1	Banda 1	Sensor de Color	1_G	Señal que indica detección de color verde	IN
3	CS-1_B	B1- CS-1	Banda 1	Sensor de Color	1_B	Señal que indica detección de color azul	IN
4	LS-1	B1- LS-1	Banda 1	Sensor Foto eléctrico retro reflectivo	1	Señal que indica nivel bajo en tolva 1 (TK-001)	IN
5	LS-2	B1- LS-2	Banda 1	Sensor Foto eléctrico difuso	2	Señal que indica nivel alto en tolva 1 (TK-001)	IN
6	LS-3	B1- LS-3	Banda 1	Sensor Foto eléctrico retro reflectivo	3	Señal que indica nivel bajo en tolva 2 (TK-002)	IN

7	LS-4	B1-LS-4	Banda 1	Sensor eléctrico difuso	Foto	4	Señal que indica nivel alto en tolva 2 (TK-002)	IN
8	ZS-1	B1-ZS-1	Banda 1	Sensor eléctrico difuso	Foto	1	Señal que indica la entrada del cubo a la estación 1 ubicada en la banda 1	IN
9	ZS-2	B1-ZS-2	Banda 1	Sensor eléctrico difuso	Foto	2	Señal que indica la salida del cubo de la estación 1 ubicada en la banda 1	IN
10	ZS-3	B1-ZS-3	Banda 1	Sensor eléctrico difuso	Foto	3	Señal que indica la presencia del cubo en la estación 2 ubicada en la banda 1 (estación de giro)	IN
11	ZS-4	B1-ZS-4	Banda 1	Sensor eléctrico difuso	Foto	4	Señal que indica la entrada del cubo a la estación 3 ubicada en la banda 1	IN
12	ZS-5	B1-ZS-5	Banda 1	Sensor eléctrico difuso	Foto	5	Señal que indica la salida del cubo de la estación 3 ubicada en la banda 1	IN
13	ZS-6	B1-ZS-6	Banda 1	Sensor eléctrico difuso	Foto	6	Señal que indica la presencia del cubo en la estación 4 ubicada en la banda 1 (estación cambio de banda)	IN
14	ZS-7	B1-ZS-7	Banda 2	Sensor eléctrico difuso	Foto	7	Señal que indica la entrada del cubo a la estación 5 ubicada en la banda 2	IN

15	ZS-8	B1-ZS-8	Banda 2	Sensor Foto eléctrico difuso	8	Señal que indica la salida del cubo de la estación 5 ubicada en la banda 2	IN
16	ZS-9	B1-ZS-9	Banda 2	Sensor Foto eléctrico difuso	9	Señal que indica la presencia del cubo en la estación 6 ubicada en la banda 2 (estación de prensado)	IN
17	ZS-10	B1-ZS-10	Banda 2	Sensor Foto eléctrico difuso	10	Señal que indica la presencia del cubo en la estación 7 ubicada en la banda 2 (estación final)	IN
18	XH-1	B1-XH-1	Banda 1	Sensor Magnético	1	Señal que indica que el vástago del cilindro 1 se encuentra extendido	IN
19	XL-1	B1-XL-1	Banda 1	Sensor Magnético	1	Señal que indica que el vástago del cilindro 1 se encuentra retraído	IN
20	XH-2	B1-XH-2	Banda 1	Sensor Magnético	2	Señal que indica que el vástago del cilindro rotatorio 2 se encuentra extendido	IN
21	XL-2	B1-XL-2	Banda 1	Sensor Magnético	2	Señal que indica que el vástago del cilindro rotatorio 2 se encuentra retraído	IN
22	XH-3	B1-XH-3	Banda 1	Sensor Magnético	3	Señal que indica que el vástago del cilindro 3 se encuentra extendido	IN

23	XL-3	B1- XL-3	Banda 1	Sensor Magnético	3	Señal que indica que el vástago del cilindro 3 se encuentra retraído	IN
24	XH-4	B1- XH-4	Banda 1	Sensor Magnético	4	Señal que indica que el vástago del cilindro 4 se encuentra extendido	IN
25	XL-4	B1- XL-4	Banda 1	Sensor Magnético	4	Señal que indica que el vástago del cilindro 4 se encuentra retraído	IN
26	XH-5	B1- XH-5	Banda 2	Sensor Magnético	5	Señal que indica que el vástago del cilindro 5 se encuentra extendido	IN
27	XL-5	B1- XL-5	Banda 2	Sensor Magnético	5	Señal que indica que el vástago del cilindro 5 se encuentra retraído	IN
28	XH-6	B1- XH-6	Banda 2	Sensor Magnético	6	Señal que indica que el vástago del cilindro 6 se encuentra extendido	IN
29	XL-6	B1- XL-6	Banda 2	Sensor Magnético	6	Señal que indica que el vástago del cilindro 6 se encuentra retraído	IN
30	XH-7	B1- XH-7	Banda 2	Sensor Magnético	7	Señal que indica que el vástago del cilindro 7 se encuentra extendido	IN
31	XL-7	B1- XL-7	Banda 2	Sensor Magnético	7	Señal que indica que el vástago del cilindro 7 se encuentra retraído	IN

32	CI-1_OK	B1- CI-1	Banda 1	Cámara de Inspección (cámara)	1	Señal que indica que la pieza es correcta	IN
33	CI-1_NG	B1- CI-1	Banda 1	Cámara de Inspección (Cámara)	1	Señal que indica que la pieza es errónea	IN
34	CI-2_OK	B1- CI-2	Banda 1	Cámara de Inspección (Cámara)	2	Señal que indica que la pieza es correcta	IN
35	CI-2_NG	B1- CI-2	Banda 1	Cámara de Inspección (Cámara)	2	Señal que indica que la pieza es errónea	IN
36	CI-3_OK	B1- CI-3	Banda 1	Cámara de Inspección (Escáner)	3	Señal que indica que la pieza es correcta	IN
37	CI-3_NG	B1- CI-3	Banda 1	Cámara de Inspección (Escáner)	3	Señal que indica que la pieza es errónea	IN
38	CI-4_OK	B1- CI-4	Banda 2	Cámara de Inspección (Checker 3G1)	4	Señal que indica que la pieza es correcta	IN
39	CI-4_NG	B1- CI-4	Banda 2	Cámara de Inspección (Checker 3G1)	4	Señal que indica que la pieza es errónea	IN
40	FAULT_V20	-	Banda 2	Variador de Frecuencia (Sinamic V20)	-	Señal que indica estado de Falla del Variador de Frecuencia	IN

41	RUNNING_V20	-	Banda 2	Variador de Frecuencia (Sinamic V20)	-	Señal que indica estado de Running del Variador de Frecuencia	IN
----	-------------	---	---------	--------------------------------------	---	---	----

Tabla 1. Tabla de Entradas Físicas - Célula FANUC

N.º	Símbolo FSM	TAG P&ID	Área	Dispositivo	N.º	Descripción (Función)	Tipo de señal (PLC)
1	EN_V20	-	Banda 2	Variador de Frecuencia (Sinamic V20)	-	Control del Enable del Variador de Frecuencia	OUT
2	V_20Hz	-	Banda 2	Variador de Frecuencia (Sinamic V20)	-	Control de Velocidad de la Banda 2 (20 Hz)	OUT
3	V_30Hz	-	Banda 2	Variador de Frecuencia (Sinamic V20)	-	Control de Velocidad de la Banda 2 (30 Hz)	OUT
4	V_40Hz	-	Banda 2	Variador de Frecuencia (Sinamic V20)	-	Control de Velocidad de la Banda 2 (40 Hz)	OUT
5	EN_BECKHOFF	-	Banda 1	Servoamplificador (AX2003-AS)	-	Control del Enable del Servoamplificador	OUT
6	STR_BECKHOFF	-	Banda 1	Servoamplificador (AX2003-AS)	-	Control de Start del Servoamplificador	OUT
7	CV-1	B1-CV-1	Banda 1	Electroválvula	1	Control de Cilindro 1	OUT
8	CV-2	B1-CV-2	Banda 1	Electroválvula	2	Control de Cilindro 2	OUT

9	CV-3	B1- CV-3	Banda 1	Electroválvula	3	Control de Cilindro 3	OUT
10	CV-4	B1- CV-4	Banda 1	Electroválvula	4	Control de Cilindro 4	OUT
11	CV-5	B2- CV-5	Banda 2	Electroválvula	5	Control de Cilindro 5	OUT
12	CV-6	B2- CV-6	Banda 2	Electroválvula	6	Control de Cilindro 6	OUT
13	CV-7	B2- CV-7	Banda 2	Electroválvula	7	Control de Cilindro 7	OUT
14	CI-4_SELJOB	B2- CI-4	Banda 2	Cámara de Inspección (Checker 3G1)	4	Control de selección de las tareas del Checker	OUT
15	CI-4_JOB0	B2- CI-4	Banda 2	Cámara de Inspección (Checker 3G1)	4	Control para Selección de tarea 1 del Checker	OUT
16	CI-4_JOB1	B2- CI-4	Banda 2	Cámara de Inspección (Checker 3G1)	4	Control para Selección de tarea 2 del Checker	OUT
17	CI-4_JOB2	B2- CI-4	Banda 2	Cámara de Inspección (Checker 3G1)	4	Control para Selección de tarea 3 del Checker	OUT

Tabla 2. Tabla de Salidas Físicas - Célula FANUC

N.º	Símbolo FSM	TAG P&ID	Área	Dispositivo	N.º	Descripción (Función)	Tipo de señal (PLC)
1	CMD_ENABLE	-	-	Comunicación DeviceNET PLC - FANUC	-	Control de Enable del Robot FANUC	OUT Comm (Comunicaciones)

2	RBT_READY	-	-	Comunicación DeviceNET PLC – FANUC	-	Señal Ready del Robot FANUC	IN Comm
3	CMD_T1_REQ	-	-	Comunicación DeviceNET PLC – FANUC	-	Control de Selección Tarea 1 robot FANUC	OUT Comm
4	CMD_T2_REQ	-	-	Comunicación DeviceNET PLC – FANUC	-	Control de Selección Tarea 2 robot FANUC	OUT Comm
5	CMD_T3_REQ	-	-	Comunicación DeviceNET PLC – FANUC	-	Control de Selección Tarea 3 robot FANUC	OUT Comm
6	CMD_T4_REQ	-	-	Comunicación DeviceNET PLC – FANUC	-	Control de Selección Tarea 4 robot FANUC	OUT Comm
7	RBT_T1_BUSY	-	-	Comunicación DeviceNET PLC – FANUC	-	Señal de Robot FANUC Ocupado en tarea 1	IN Comm
8	RBT_T2_BUSY	-	-	Comunicación DeviceNET PLC – FANUC	-	Señal de Robot FANUC Ocupado en tarea 2	IN Comm
9	RBT_T3_BUSY	-	-	Comunicación DeviceNET PLC – FANUC	-	Señal de Robot FANUC Ocupado en tarea 3	IN Comm

10	RBT_T4_BUSY	-	-	Comunicación DeviceNET PLC – FANUC	-	Señal de Robot FANUC Ocupado en tarea 4	IN Comm
11	RBT_T1_DONE	-	-	Comunicación DeviceNET PLC – FANUC	-	Señal de tarea 1 completada por robot FANUC	IN Comm
12	RBT_T2_DONE	-	-	Comunicación DeviceNET PLC – FANUC	-	Señal de tarea 2 completada por robot FANUC	IN Comm
13	RBT_T3_DONE	-	-	Comunicación DeviceNET PLC – FANUC	-	Señal de tarea 3 completada por robot FANUC	IN Comm
14	RBT_T4_DONE	-	-	Comunicación DeviceNET PLC – FANUC	-	Señal de tarea 4 completada por robot FANUC	IN Comm

Tabla 3. Señales por Comunicaciones - Célula FANUC

2.2. Sistema de Control

El sistema de control constituye el núcleo funcional de la célula robótica, al integrar los diferentes subsistemas (mecánico, eléctrico, neumático y de supervisión) en una única arquitectura coordinada. Su diseño y correcta implementación garantizan no solo el funcionamiento sincronizado de los equipos, sino también la seguridad operativa, la flexibilidad de programación y la capacidad de supervisión en tiempo real.

En este apartado se describe la arquitectura adoptada, conformada principalmente por un autómata programable Omron CJ1M encargado de la gestión de señales de campo, la comunicación con el robot industrial Fanuc mediante DeviceNet, y la interacción con el sistema SCADA para la monitorización y

control en nivel superior. Asimismo, se detallan los criterios de diseño, la lógica de operación implementada, los protocolos de intercambio de información y la integración de las rutinas de control que permiten ejecutar las tareas de manipulación definidas en el proyecto.

2.2.1. Equipos

Tal como se expuso en los apartados anteriores, en esta sección se describen de forma breve los elementos que intervienen en el proceso de la célula FANUC, abarcando tanto aquellos que interactúan mediante señales físicas como los que lo hacen a través de comunicaciones.

Elemento	Función	Cantidad	Señales	Tipo
Sensor de Color	Encargado de detectar el color de la pieza	1	Booleana	3 canales físicos independientes de carácter digital (Entradas al PLC)
Sensor fotoeléctrico difuso cuadrado	Encargado de detectar el nivel alto de las tolvas	2	Booleana	1 canal físico de carácter digital (Entrada al PLC)
Sensor fotoeléctrico reflectivo cuadrado	Encargado de detectar el nivel bajo de las tolvas	2	Booleana	1 canal físico de carácter digital (Entrada al PLC)
Sensores magnéticos	Encargado de detectar la posición del embolo de los cilindros neumáticos	14	Booleana	1 canal físico de carácter digital (Entrada al PLC)
Sensores fotoeléctricos difusos tubulares	Encargados de detectar la posición de la pieza en las bandas	10	Booleana	1 canal físico de carácter digital (Entrada al PLC)

Cámaras de inspección	Encargadas de detectar si la pieza esta correctamente procesada	2	Booleana	2 canales físicos independientes de carácter digital (Entradas al PLC)
Escaner	Encargada de detectar los códigos de barras de las piezas (String) y adicionalmente detectar la correcta lectura de los códigos (Bool)	1	Booleana y String	- 2 canales físicos independientes de carácter digital (Entradas al PLC) - Señales de carácter string obtenidas por comunicación RS232
Checker 3G1 (Cámara de inspección)	Encargada de detectar la correcta posición de la pieza que se superponen en el cubo (Pieza principal)	1	Booleana	- 4 señales de carácter digital (Salidas del PLC) - 2 señales de carácter digital (Entradas del PLC)
Controlador lógico programable (CJ1M CPU21 OMRON)	Controlador principal encargado de sincronizar el proceso en la célula	1	Señales de Salida Booleanas y Entradas Booleanas	Consta de diversas entradas y salidas de carácter digital.
Robot FANUC	Encargado de posicionar cubos y piezas en las bandas	1	Booleanas	Consta de múltiples salidas y entradas adquiridas y otorgadas por comunicaciones (DeviceNET)
Servoamplificador AX2003-AS Beckhoff	Encargado de controlar el movimiento de la	1	Booleanas	- Consta de 4 entradas físicas de

	banda 1 (Servomotor)			carácter digitales (se utilizan 3) - Consta de 2 salidas físicas de carácter digital (No utilizado)
Variador de Frecuencia Sinamic V20 Siemens	Encargado de controlar el movimiento de la banda 2 (Motor)	1	Booleanas	Consta de 4 señales físicas de carácter digital

Tabla 4. Elementos que interactúan en la célula FANUC.

2.2.2. Fases del Proceso

Para estructurar el comportamiento de la célula robótica y garantizar un control seguro y coherente, se ha adoptado la guía GEMMA (*Guide d'Étude des Modes de Marche et d'Arrêt*). Este modelo permite describir de manera normalizada las fases de parada, producción, transición y fallo de un sistema automatizado, asegurando una trazabilidad clara entre el diseño lógico y la operación real de la planta.

En el marco de esta metodología, el proceso de la célula se organiza en diferentes grupos de estados, cada uno con funciones específicas que garantizan la seguridad, la operatividad y la recuperación ante incidencias. A continuación, se presentan los principales estados definidos para el sistema, clasificados según la estructura propuesta por GEMMA.

2.2.2.1. Estados de Parada

- Parada inicial: corresponde al estado del sistema inmediatamente después de energizar el armario eléctrico o tras ejecutar un reinicio general. Todos los actuadores permanecen desactivados, las bandas transportadoras detenidas y el robot en posición segura. Este estado garantiza que la célula comience desde una condición conocida y libre de consignas residuales.
- Parada normal: representa la detención ordenada del ciclo automático tras completar la operación en curso. Se utiliza, por ejemplo, al finalizar una serie de pruebas o durante el apagado controlado de la célula. En este estado, el sistema desactiva de forma secuencial los actuadores y consignas, asegurando un retorno seguro a condiciones de reposo.

2.2.2.2. Estados de Producción

- Espera (StandBy): el sistema se encuentra operativo y en condiciones de iniciar el ciclo automático. En este estado se mantienen verificadas las condiciones de seguridad, la disponibilidad de presión neumática y la posición del robot. Todos los actuadores permanecen inactivos, pero la célula está preparada para recibir la orden de arranque.
- Producción automática: en este estado se ejecuta la secuencia de tareas definidas por el programa (T1 a T4). El PLC gobierna la lógica de control, gestionando los actuadores y consignas, mientras que el robot realiza las operaciones correspondientes a cada tarea. Durante esta fase se supervisan continuamente las condiciones de seguridad y se detectan posibles fallos de proceso.

2.2.2.3. Estados de Transición

- Arranque: fase intermedia entre la parada y la producción. Comprende acciones previas al inicio del ciclo automático, como la verificación de sensores críticos, el establecimiento de presiones neumáticas y, en caso necesario, las rutinas de homing del robot. Su correcta ejecución asegura que el sistema cumpla todas las condiciones requeridas antes de habilitar la producción.

2.2.2.4. Estados de Fallo

- Fallo de seguridad: asociado a la activación de una emergencia o a la pérdida de una condición crítica de seguridad. En este estado, la célula detiene inmediatamente su operación y permanece bloqueada hasta que el operario realice el rearme manual desde el panel de mando.
- Fallo de proceso: se origina por errores operativos o anomalías de funcionamiento, como la ausencia de pieza, tiempos de ciclo excedidos o pérdida de comunicación entre el PLC y el robot. Ante esta situación, el sistema ejecuta una detención controlada y transita al estado de "Parada por fallo".
- Rearme de fallo: tras la intervención del operario y la corrección de la causa que originó el error, el sistema puede resetear el estado de fallo y retornar a un modo de espera (StandBy), quedando listo para reanudar la producción.

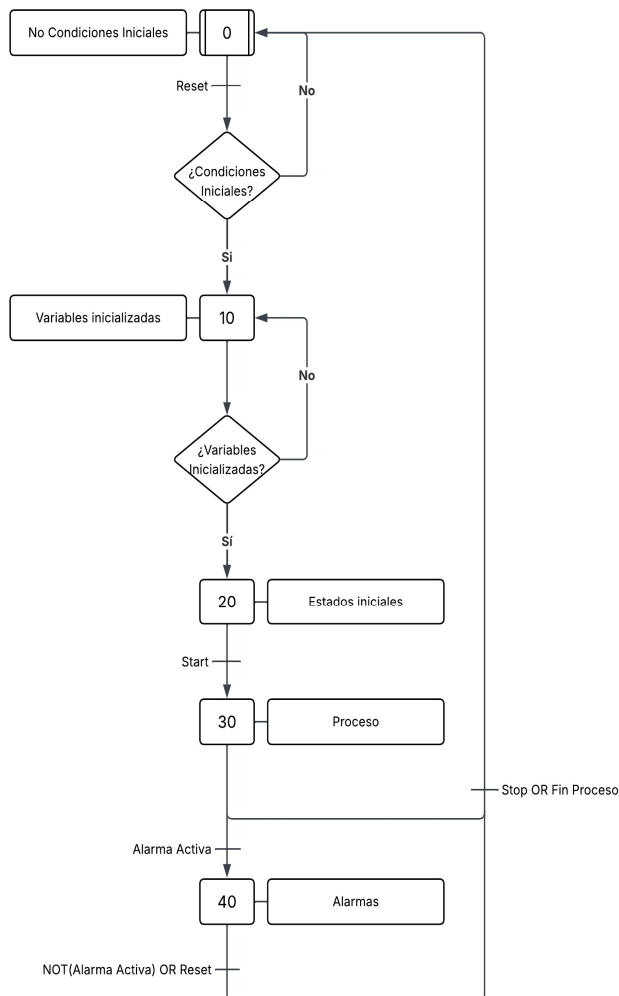


Figura 3. Proceso general de la célula industrial FANUC. Fuente: Elaboración propia, 2025.

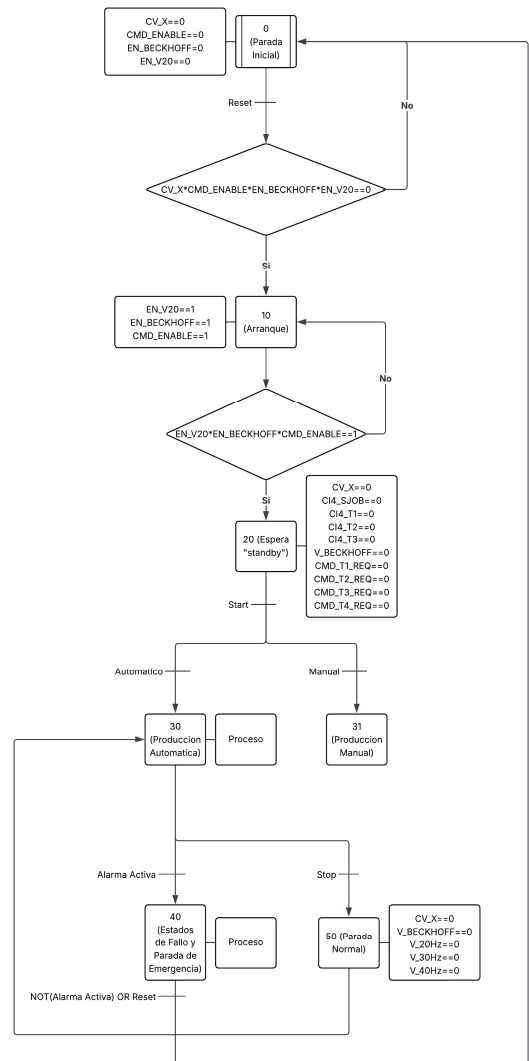


Figura 4. Diagrama GRAFCET - Célula industrial FANUC. Fuente: Elaboración propia, 2025.

2.2.3. Lazos de Control

Debido al carácter estrictamente digital de la célula FANUC, no se implementan lazos de control de proceso en el controlador, ni es necesario ajustar en él una ley de control específica. No obstante, el servoamplificador Beckhoff AX2003-AS sí requiere una configuración inicial (tuning básico) que se realiza externamente. Esta configuración se gobierna desde el controlador OMRON CJ1M-CPU21 mediante señales digitales, mientras que el ajuste de parámetros se efectúa con el software de Beckhoff durante la puesta en marcha. La comisión se realiza una sola vez y los valores quedan almacenados de forma permanente en la EEPROM del servoamplificador.

Para integrar la banda en un esquema de mando 100 % digital, el PLC OMRON CJ1M-CPU21 solo entrega las señales de habilitación y marcha, mientras que el servoamplificador Beckhoff AX2003-AS ejecuta internamente el control de velocidad (OPMODE = 0). A continuación, se describe la configuración de las entradas/salidas digitales (ventana Digital I/O 1001) utilizada para ordenar una velocidad constante desde una única entrada y cómo se verifica en línea el estado de las señales.

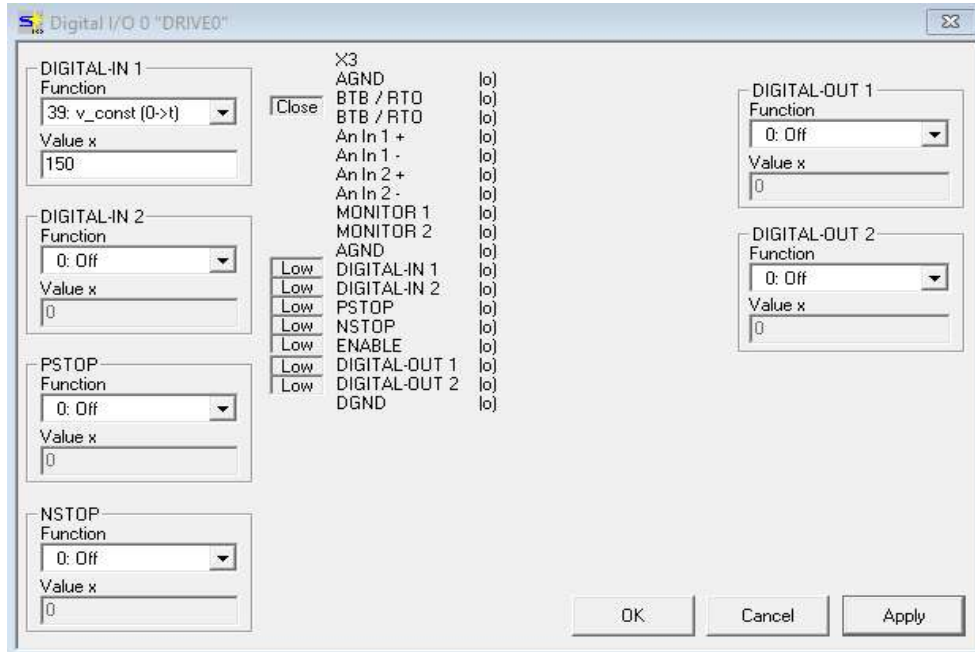


Figura 5. Ventana "Digital I/O" para configuración de función de entrada DI y Setpoint. Fuente: Elaboración propia, 2025.

En la ventana "Digital I/O" (Figura 5) se asigna a la entrada digital 1 (DI1) la función "Constant velocity (IN1MODE = 39)" y, en el campo *Value x*, se fija el *setpoint* que ejecutará el servoamplificador. Este *setpoint* puede usarse de dos formas:

- I. Marcha continua por nivel, introduciendo solo la velocidad; con el tiempo = 0 el eje mantiene esa velocidad mientras la entrada permanezca activada y se detiene con la rampa al desactivarla. El sentido se define por el signo del valor (positivo/negativo).
- II. Marcha por tiempo definido, donde *Value x* corresponde al parámetro interno *IN1TRIG* que empaqueta velocidad y tiempo (en milisegundos) en un único valor.

$$IN1TRIG = (t_{ms} \ll 16) + v_{rpm} \quad (\text{Eq. 1})$$

Por ejemplo, 1000 rpm durante 10 s (10 000 ms) se codifica como 0x2710 03E8 (655 361 000 en decimal). Para un funcionamiento correcto se recomienda trabajar con *VUNIT = rpm*, fijar un *Speed Limit* superior a la consigna, y aplicar/guardar los cambios en EEPROM.

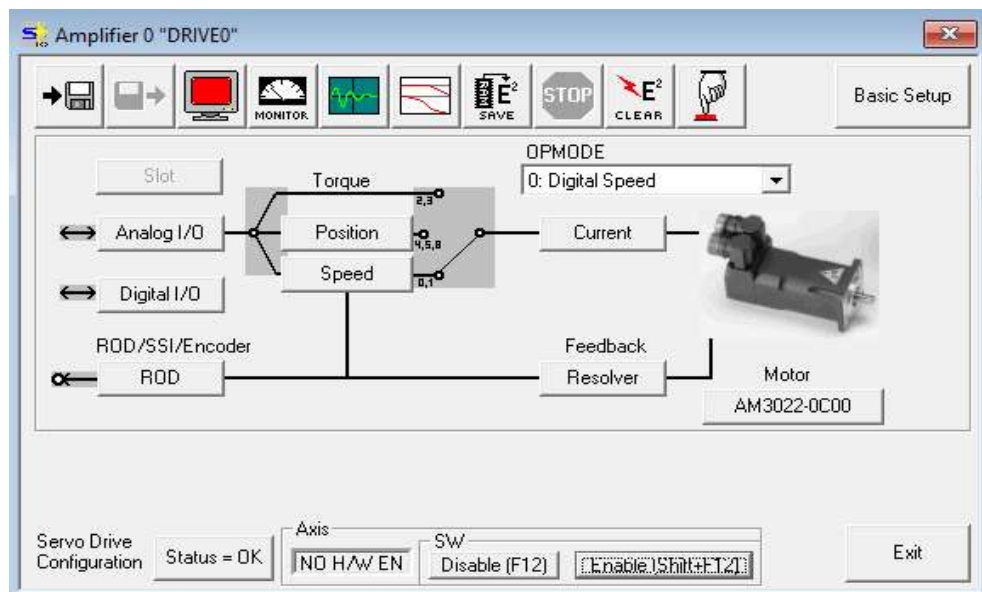


Figura 6. Ventana "Amplifier" para configuración del modo de operación. Fuente: Elaboración propia, 2025.

En la ventana "Amplifier" (Figura 6) se define el modo de operación del servomotor y la ruta de señales internas. Para la banda se seleccionó *OPMODE* = "0: Digital Speed", de modo que las órdenes de marcha llegan por Digital I/O y se procesan por el regulador de velocidad; el bloque de posición queda bypass y la cadena queda: setpoint de velocidad → lazo de velocidad (PI) → lazo de corriente → motor. En esta misma página se carga el modelo del motor (SET Motor) y se elige el tipo de realimentación el cual fija constantes eléctricas/mecánicas, límites de corriente y resolución. Antes de cerrar, se verifica que el Status sea correcto y que el eje puede habilitarse; luego se pulsa Apply y se guarda en la EEPROM para que el modo quede permanente.

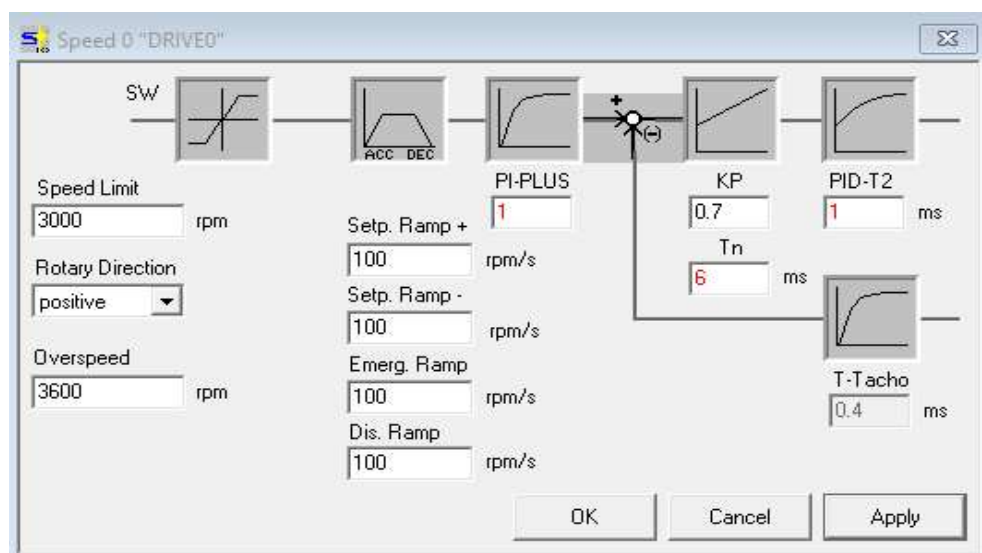


Figura 7. Ventana "Speed" para la configuración del lazo de control de velocidad. Fuente: Elaboración propia, 2025.

En la ventana “*Speed*” (Figura 7) se ajusta el lazo de velocidad del servomotor. Aquí se fija el límite de velocidad (*Speed Limit*, que recorta cualquier consigna), el umbral de sobrevelocidad (*Overspeed*), el sentido por defecto (*Rotary Direction*), y las rampas: *Setp. Ramp +/-* (subida y bajada de la referencia), *Emerg. Ramp* (parada por emergencia) y *Dis. Ramp* (parada al deshabilitar). A la derecha se parametriza el *PI* de velocidad: se activa el integrador con *PI-PLUS*, se define la ganancia proporcional (*KP*) y el tiempo integral (*Tn*), y se ajusta el filtro *T-Tacho* sobre la realimentación de velocidad.

2.3. Requerimientos Funcionales

Requerimientos	Codificación	Descripción
1	RF1	El sistema, al ser energizado, deberá inicializarse con todas las salidas desactivadas para evitar movimientos o activaciones no deseadas.
2	RF2	El sistema deberá disponer de una orden de <i>Reset</i> (desde SCADA o pulsador físico) que permita reinicializar las salidas y variables internas en caso de encontrar alguna inconsistencia tras el arranque.
3	RF3	Tras garantizar el estado seguro de las salidas, el sistema pasará al estado de Inicialización (P1), donde se establecen las condiciones previas necesarias para permitir el paso a <i>Standby</i> (P2).
4	RF4	El sistema deberá operar en dos modos excluyentes: Manual y Automático, seleccionables desde SCADA.
5	RF5	En modo Manual, el operador podrá accionar individualmente los actuadores de la planta (válvulas, VFD, servo, robot, cámaras) mediante los controles del SCADA, garantizando que solo un elemento se active por orden explícita.
6	RF6	En modo Automático, el sistema ejecutará la secuencia de producción definida (<i>GEMMA</i>) sin permitir la intervención manual sobre actuadores o consignas.

7	RF7	Ante un fallo de dispositivo, pérdida de comunicación o condición insegura (ej. enclavamiento de actuadores o pérdida de presión neumática), se deberá activar el estado de Fallo (P5), llevando la célula a una parada segura.
8	RF8	La parada segura deberá desactivar todas las salidas del PLC, detener las bandas, apagar consignas del VFD y Servo, y garantizar que el robot permanezca en estado seguro.
9	RF9	Al pulsar la señal de STOP desde SCADA, el sistema deberá transitar a Parada Normal (P4), desactivando de forma controlada los actuadores y deteniendo la secuencia sin pérdida de seguridad.
10	RF10	Ante una emergencia física (parada de emergencia o apertura de resguardo), el sistema deberá interrumpir inmediatamente todas las salidas y bloquear la secuencia hasta que el operario realice el rearme de seguridad.
11	RF11	El sistema SCADA deberá visualizar en todo momento los estados generales de la célula (RUN, STOP, FAULT, MAN, AUT, ALM) y permitir únicamente las acciones válidas según el estado actual.
12	RF12	El sistema deberá registrar contadores de producción por color de pieza y totales, actualizados automáticamente durante el modo de producción.
13	RF13	El sistema deberá asegurar que las transiciones entre modos o estados solo ocurran bajo condiciones seguras (SYS_SEG_OK = 1, sin fallos activos).
14	RF14	Los fallos críticos deberán permanecer <i>latcheados</i> (SYS_FLT_LAT = 1) hasta la orden de <i>reset</i> , impidiendo reinicios automáticos.

Tabla 5. Requerimientos Funcionales de la célula FANUC

Es importante destacar que, dado que la célula será operada por personal con distintos niveles de experiencia, toda parada del sistema, ya sea controlada o provocada por una condición anómala, deberá conducir al equipo a un estado seguro. En dicho estado se desactivarán todas las salidas del

PLC y el robot será enviado a su posición de referencia (Homing), garantizando la integridad de los operadores y de los elementos que intervienen en el proceso.

2.4. Requerimientos de Diseño

Tipo	Requisito	Codificación	Descripción
Ventanas	1	RD1_V1	En todas las pantallas del sistema deberá mostrarse la fecha y hora actual, sincronizadas con el reloj del PC <i>Station</i> .
	2	RD2_V2	En la barra superior deberá visualizarse el usuario activo. Se definirán tres roles: Desarrollador, Docente y Estudiante, con permisos diferenciados.
	3	RD3_V3	Los textos, etiquetas y mensajes del sistema deberán presentarse con fuentes legibles y de tamaño suficiente para su lectura a distancia.
	4	RD4_V4	El diseño de las interfaces deberá mantener una coherencia estética entre pantallas, utilizando un esquema de colores neutro y contrastes adecuados para un uso prolongado.
Navegación	1	RD5_N1	El árbol de navegación o menú principal deberá permanecer visible en todo momento, permitiendo el acceso rápido a las ventanas principales.
	2	RD6_N2	La navegación entre pantallas no deberá requerir más de cuatro interacciones desde cualquier ventana principal hasta una pantalla de detalle.
Codificación de Colores	1	RD7_C1	El color verde indicará el estado activo o en funcionamiento de un elemento.
	2	RD8_C2	El color naranja representará un elemento ocupado o en proceso, aplicable solo a equipos que informen dicho estado.

	3	RD9_C3	El color gris indicará que un elemento se encuentra inactivo o sin energía.
	4	RD10_C4	El color rojo indicará alarmas, fallos o condiciones de emergencia.
	5	RD11_C5	El color azul representará elementos en modo manual, distinguiéndolos de los estados automáticos.
Funcionalidad	1	RD12_F1	El sistema SCADA deberá contar con usuarios con diferentes niveles de acceso: Desarrollador, Docente y Estudiante. Cada perfil limitará las acciones disponibles (ej. modificar, observar, controlar).
	2	RD13_F2	Todos los elementos físicos y lógicos de la célula (sensores, actuadores, robot, servo, variador, cámaras y estados GEMMA) deberán estar representados en el SCADA
	3	RD14_F3	El SCADA deberá visualizar alarmas activas y permitir identificar su tipo (seguridad, nivel, fallo de comunicación o proceso).
	4	RD15_F4	El sistema deberá mostrar el estado general de la célula (RUN, STOP, FAULT, MAN, AUT, ALM) en la parte superior o inferior de la pantalla principal.
	5	RD16_F5	El SCADA deberá permitir el control manual de los actuadores únicamente cuando el sistema esté en modo manual (SCD_EST_MAN = 1).
	6	RD17_F6	Los contadores de producción deberán visualizarse en tiempo real, diferenciando el número de piezas buenas (OK) y rechazadas (NG) según los resultados de las cámaras y sensores de color.

Tabla 6. Requerimientos de Diseño de la célula FANUC

2.5. Metodología de Desarrollo

Este proyecto se enmarca dentro de un enfoque práctico, dado que tiene como objetivo diseñar e implementar un sistema automatizado en una célula industrial equipada con un robot manipulador, integrando sensores, controladores y una interfaz de supervisión.

Para dar cumplimiento al objetivo general del proyecto, la metodología se ha estructurado en cinco fases, las cuales se encuentran alineadas para el óptimo cumplimiento del objetivo general del proyecto, se plantea una metodología lineal para el desarrollo del proyecto.

Es importante aclarar que la metodología implementada, es basada en la metodología diseñada por el profesor y director de este proyecto Javier Francisco Gámiz Caro.

2.5.1. Fase 1. Descripción y análisis inicial del proceso a automatizar.

- Actividad 1.1. Elección del proceso a automatizar.
- Actividad 1.2. Breve descripción funcional del proceso.
- Actividad 1.3. Borrador del diagrama P&ID.
- Actividad 1.4. Listado de elementos y sistemas.
- Actividad 1.5. Propuesta de codificación (bajo detalle).
- Actividad 1.6. Descripción de la química del proceso.

2.5.2. Fase 2. Estudio detallado de los aspectos técnicos del proceso.

- Actividad 2.1. Definición formal de elementos/sistemas en PLC.
- Actividad 2.2. Definición de fases del proceso.
- Actividad 2.3. Definición de lazos de control.
- Actividad 2.4. Redacción de requisitos funcionales.
- Actividad 2.5. Elaboración del diagrama de Gantt.

2.5.3. Fase 3. Desarrollo de la solución de control.

- Actividad 3.1. Montaje Mecánico Célula SICMA21.
- Actividad 3.2. Esquemas Eléctrico Célula SICMA21.
- Actividad 3.3. Montaje Eléctrico Célula SICMA21.
- Actividad 3.4. Arquitectura del sistema de control.
- Actividad 3.5. Descomposición del problema de control.
- Actividad 3.6. Codificación de elementos y sistemas.

- Actividad 3.7. Definición de las interfaces del sistema de control.
- Actividad 3.8. Definición del fichero de intercambio Controlador-Scada.
- Actividad 3.9. Programación del controlador.
- Actividad 3.10. Programación del software SCADA.

2.5.4. Fase 4. Ejecución de pruebas del sistema implementado.

- Actividad 4.1. Diseño y ejecución de pruebas de entradas/salidas.
- Actividad 4.2. Diseño y ejecución de pruebas funcionales.
- Actividad 4.3. Diseño y ejecución de pruebas entre controlador PLC y SCADA.
- Actividad 4.4. Elaboración de la matriz de resultados.

2.5.5. Fase 5. Elaboración final del informe del proyecto.

- Actividad 5.1. Redacción de la memoria.
- Actividad 5.2. Normativa y conclusiones.
- Actividad 5.3. Preparación para la defensa de la presentación.

2.6. Planificación de las Tareas

Este apartado presenta la planificación de tareas del proyecto: define objetivos y entregables, desglosa el trabajo en actividades con responsables, recursos y dependencias, y establece un cronograma con hitos, fechas clave y criterios de aceptación. Incluye también los supuestos y riesgos asociados a cada actividad, junto con las acciones de mitigación y los indicadores de avance (KPIs) que se usarán para el seguimiento. La planificación se gestionará de forma iterativa (con revisiones periódicas, control de cambios y reporte de progreso) para asegurar que el alcance, el tiempo y la calidad se mantengan alineados con las metas del proyecto.

Tarea	Fecha de Entrega	Descripción
1	24/02/2025	Elección del proceso a automatizar
2	25/02/2025	Breve descripción funcional
3	01/03/2025	Borrador diagrama P&ID

4	03/03/2025	Listado de elementos y sistemas
5	05/03/2025	Propuesta de codificación (bajo detalle)
6	06/03/2025	Descripción del proceso
7	09/03/2025	Definición formal de elementos/sistemas en PLC
8	11/03/2025	Definición de Fases del Proceso
9	15/03/2025	Definición de lazos de control
10	19/03/2025	Redacción de requerimientos funcionales
11	21/03/2025	Diagrama Gantt
12	28/05/2025	Diseño y Montaje Mecánico Célula SICMA21
13	04/06/2025	Esquemas Eléctrico Célula SICMA21
14	11/07/2025	Montaje Eléctrico Célula SICMA21
15	15/07/2025	Descomposición del Problema de Control
16	19/07/2025	Descomposición del Problema de Control
17	26/07/2025	Codificación de Elementos y Sistemas
18	30/07/2025	Definición de las Interfaces del Sistema de Control
19	04/08/2025	Definición del fichero de intercambio Controlador-SCADA
20	10/08/2025	Programación del Controlador
21	29/08/2025	Programación del Software SCADA
22	12/08/2025	Diseño y ejecución pruebas de entradas / salidas
23	29/08/2025	Diseño y ejecución pruebas funcionales
24	03/09/2025	Diseño y ejecución de las pruebas entre controlador PLC y SCADA

25	06/09/2025	Elaboración de la matriz de resultados
26	24/09/2025	Memoria
27	22/09/2025	Normativa y conclusiones
28	25/09/2025	Preparación presentación defensa

Tabla 7. Descripción de Tareas para desarrollo del proyecto

2.7. Recursos

Los recursos utilizados en el proyecto conllevan todos aquellos elementos suministrados por la Empresa SICMA21, entre los cuales constan:

- PLC CJ1M CPU21 de OMRON
- Servoamplificador AX2003-AS de Beckhoff
- Variador de Frecuencia Sinamic V20 de Siemens
- Robot M-6iB/6S de FANUC
- Chapas de Aluminio para diseño de soportes mecánicos
- Tableros eléctricos para montaje del armario
- Borneras eléctricas
- Sensórica para diseño del proceso
- Servomotor Beckhoff
- Motor eléctrico con auto freno BGR
- Panel Touch S17L500-PMM1
- Cámaras de inspección COGNEX
- Checker 3G1 de COGNEX
- Escáner Datalogic
- PC Station para montaje de SCADA
- Pantalla de Control COGNEX para cámaras de inspección
- Herramientas para montaje

Entre otros materiales indispensables para el desarrollo del proyecto.

Capítulo 3: Diseño e implementación de la Solución

3.1. Arquitectura del Sistema de Control

3.1.1. Hardware del Sistema

Dentro del sistema interactúan diversos subsistemas, entre los cuales destacan un controlador lógico programable (PLC) de la marca OMRON, un servoamplificador BECKHOFF, un variador de frecuencia SIEMENS y, finalmente, un robot industrial FANUC. Asimismo, se emplean actuadores neumáticos FESTO, junto con distintos elementos de sensórica que complementan el conjunto.



Figura 8. PLC OMRON CJ1M CPU21 con carta DeviceNET, Entradas Digitales y Salidas Digitales. Fuente: Elaboración propia, 2025



Figura 9. Robot FANUC M6iB 6S de 6 grados de libertad (GDL) con controladora FANUC R-J3C. Fuente: Elaboración propia, 2025.



Figura 10. Servoamplificador Beckhoff AX2003-AS. Fuente: eBay, anuncio "BECKHOFF AX2003-AS S60301-520" [en línea]. Disponible en: <https://www.ebay.com/itm/255952947520> (Consultado el 27 de septiembre de 2025). Uso académico y sin fines comerciales.



Figura 11. Variador de frecuencia SINAMIC V20 (modelo 6SL3210-5BB15-5BV1). Fuente: RS Online, "Variador de frecuencia Siemens serie SINAMIC V20" [en línea]. Disponible en: <https://es.rs-online.com/web/p/variadores-de-velocidad/1368122> (Consultado el 27 de septiembre de 2025). Uso académico, sin fines comerciales.

3.1.2. Software del Sistema

Para el desarrollo del proyecto se emplearon diversos programas de software. Uno de los principales retos consistió en compatibilizar la amplia variedad de sistemas que interactuaban entre sí. A ello se sumó el hecho de que varios de los dispositivos utilizados correspondían a hardware con varios años de antigüedad, lo que dificultó en numerosas ocasiones la disponibilidad del software adecuado para establecer comunicación con ellos.

- **VMware Workstation 17 Pro:** se utilizó para ejecutar la máquina virtual que albergó todos los programas necesarios para el desarrollo del proyecto.
- **Autodesk Inventor Professional 2025:** se utilizó para el diseño de las piezas mecánicas.
- **EPLAN Student 2025:** se utilizó para el diseño de los tableros eléctricos.
- **FluidSIM Neumática 4.5:** software empleado para el desarrollo del sistema neumático de la célula.
- **ROBOGUIDE FANUC:** se utilizó para la simulación y programación del robot industrial FANUC. (El entorno solo simula los movimientos del robot y permite exportar la programación diseñada al robot físico).
- **CX-Programmer:** se utilizó para desarrollar y depurar la lógica de control implementada en el PLC OMRON. Este entorno de programación, incluido en la suite CX-One, permite la creación, edición y monitoreo de programas en lenguaje Ladder, SFC o Structured Text, ofreciendo herramientas de diagnóstico en tiempo real para la supervisión del estado de entradas, salidas, temporizadores y contadores. Asimismo, facilita la asignación simbólica de variables, la estructuración modular del programa mediante subrutinas y la documentación del código a través de comentarios y etiquetas descriptivas, garantizando un desarrollo ordenado y trazable del sistema de control.
- **CX-Integrator:** software incluido en la suite CX-One de OMRON, utilizado para diseñar e implementar las redes de comunicación del entorno, principalmente aquellas basadas en protocolos de comunicación serial.
- **Drive:** se utilizó para realizar la puesta en marcha (comisionado) del servoamplificador Beckhoff AX2003-AS.
- **KepServerEX 6:** se utilizó como gateway de comunicación entre el PLC y la PC Station, gracias a su amplia compatibilidad de drivers para diversas marcas.
- **SCADA Ignition:** se utilizó para diseñar y ejecutar el sistema SCADA encargado de supervisar el proceso. Además, se conecta al servidor OPC UA generado por KepServerEX 6.

3.1.3. Vista Global de las Comunicaciones

En este apartado se presenta una visión general de las comunicaciones diseñadas e implementadas en la célula FANUC. Con el fin de mantener una mejor organización, el contenido se ha subdividido en dos secciones, dado que se emplearon distintos protocolos de comunicación.

3.1.3.1. Comunicación Robot FANUC – PLC CJ1M CPU21 de OMRON con Carta CJ1W DRM21 (Master DeviceNET)

Para establecer y mantener una comunicación estable entre el PLC y el robot, se determinó utilizar el protocolo de bus de campo *DeviceNet*, un estándar abierto promovido por la organización ODVA. La elección de este protocolo se fundamentó en su facilidad de implementación y en su disponibilidad inmediata, dado que tanto el robot como el PLC disponían de sus respectivas tarjetas de comunicación *DeviceNet*.

El protocolo *DeviceNet* emplea como tecnología base el bus CAN (*Controller Area Network*), lo que proporciona una comunicación serie robusta y de configuración relativamente sencilla entre el controlador y los dispositivos de campo.

No obstante, durante el proceso de implementación surgió una dificultad relacionada con el establecimiento del enlace de comunicación. Esta problemática se originó por la ausencia de algunos archivos EDS (*Electronic Data Sheet*), indispensables para definir y configurar la estructura de datos intercambiada entre el PLC y el robot. Dado que dichos archivos no se encontraban fácilmente disponibles en línea, fue necesario elaborar manualmente el archivo EDS correspondiente al robot, en el cual se definieron las longitudes de las tramas que este debía enviar y recibir.

```

$ DeviceNet Configurator Generated Electronic Data Sheet
$

[File]
DescText = "";
CreateTime = 04-08-2005;
CreateTime = 15:01:29;
ModDate = 04-24-2012;
ModTime = 20:23:15;
Revision = 1.2;
HomeURL = "";

[Device]
VendCode = 591;
VendName = "FANUC Ltd.";
ProdType = 12;
ProdTypeStr = "";
ProdCode = 3;
MajRev = 1;
MinRev = 2;
ProdName = "A20B-8101-0330";
Catalog = "";
Icon = "";

[IO_Info]
Default = 0x0001;
PollInfo = 0x0001,
1,
1;
Input1 = 8,
0,
0x0001,
"",
6,
"20 04 24 64 30 03",
"",
Output1 = 8,
0,
0x0001,
"",
6,
"20 04 24 65 30 03",
"";

```

Figura 12. Diseño del archivo EDS perteneciente al robot FANUC. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Al integrar este archivo EDS en el software *CX-Integrator* de OMRON, fue posible establecer el enlace entre la tarjeta de comunicación *DeviceNet* del robot y la tarjeta maestra *CJ1W-DRM21* asociada al PLC OMRON *CJ1M-CPU21*.

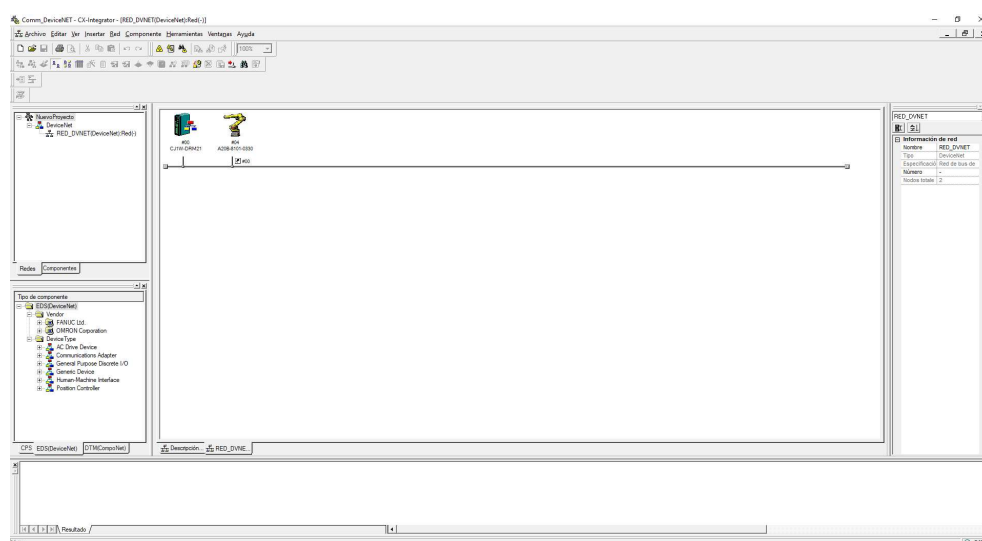


Figura 13. Software *CX Integrator* con red *DeviceNet*. Fuente: Elaboración propia, 2025.

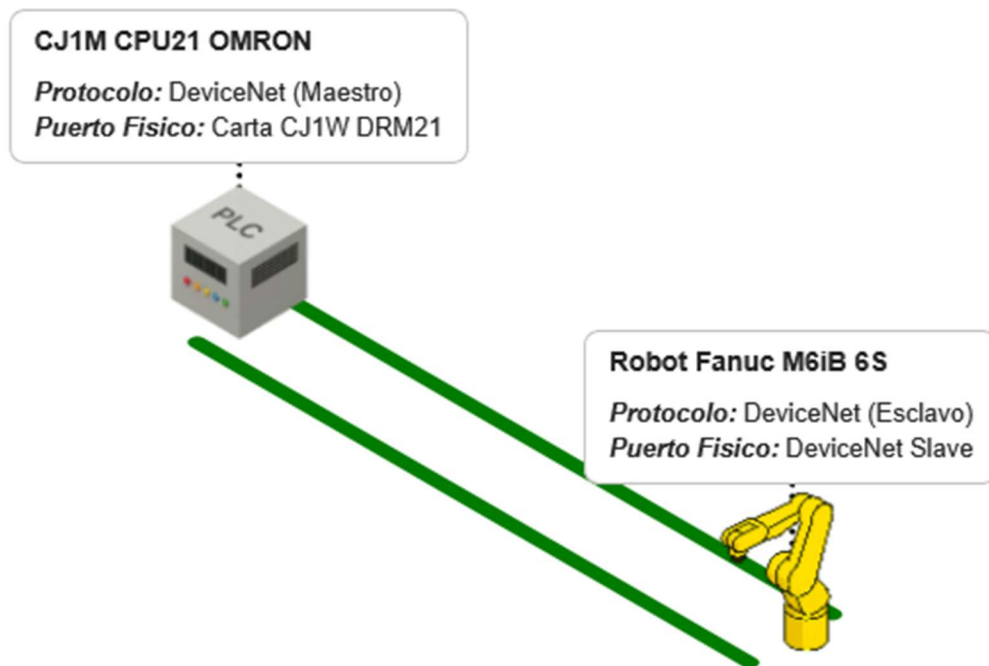


Figura 14. Arquitectura de Comunicación PLC – FANUC, Enlace DeviceNet. Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.1.3.2. Comunicación PLC – PC Station

La comunicación entre el PLC y la PC Station (dispositivo en el que se aloja el servidor encargado de almacenar las variables (tags) para su posterior acceso desde el sistema SCADA) se basó en el protocolo Toolbus, propietario de OMRON. Dicho protocolo opera sobre comunicación serie RS-232C; sin embargo, en el PLC OMRON empleado no fue posible establecer la conexión a través de este puerto, por lo que se recurrió al puerto periférico (Peripheral Port) característico de la marca.

En consecuencia, en la capa física se configuró una comunicación en la cual, en un extremo (la PC Station), se empleó el puerto RS-232C, mientras que, en el otro, se utilizó el puerto periférico propietario de OMRON.

Al tratarse de una comunicación estrictamente serie, fue necesario emplear un software intermedio que tradujera este enlace a un formato de mayor accesibilidad. En este punto intervino el driver KepServerEX 6, encargado de transformar la información hacia un protocolo de integración más universal, como OPC UA.

El driver almacena las direcciones de memoria a las que debe acceder en el PLC y, posteriormente, expone esta información en un servidor OPC, lo que facilita la comunicación con la mayoría de los sistemas SCADA disponibles en el mercado.

3.1.4. Comunicaciones SCADA – Controlador – Proceso

En este apartado se detalla la configuración y la puesta en marcha de la comunicación entre el sistema SCADA, el controlador y el proceso. Para ello, se describen de manera individual las configuraciones pertinentes que deben realizarse en cada uno de los elementos, con el objetivo de garantizar que la comunicación quede correctamente establecida.

3.1.4.1. CONTROLADOR

En el controlador (PLC) es necesario configurar adecuadamente el protocolo mediante el cual se establecerá la comunicación con el driver de comunicaciones alojado en la PC Station. Para ello, se accede a la configuración del PLC a través del software CX-Programmer y se selecciona el protocolo correspondiente tanto para el puerto periférico como para el puerto serie (RS-232C), que en este caso es *Toolbus*.

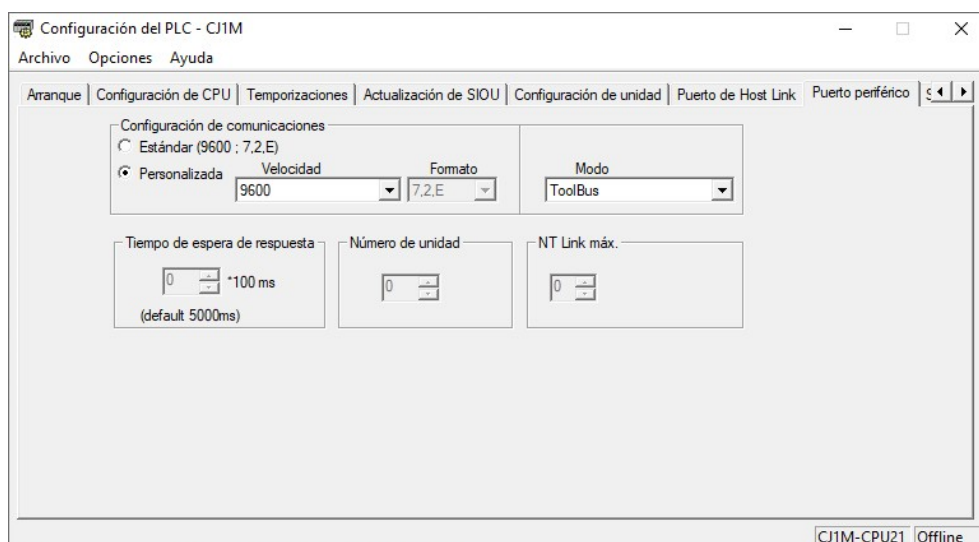


Figura 15. Configuraciones del puerto periférico en modo ToolBus. Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.1.4.2. SCADA

En el caso del sistema SCADA, el dispositivo lógico empleado corresponde a la PC Station, en la cual se alojan tanto el driver de comunicación como el propio software SCADA.

El primer paso consiste en configurar el driver para que establezca comunicación con el PLC y pueda extraer de sus unidades de memoria la información requerida. Para ello, es necesario definir un canal y un dispositivo dentro del software del driver, asegurando la selección del mismo protocolo previamente configurado en el controlador.

Las configuraciones resultantes se presentan a continuación:

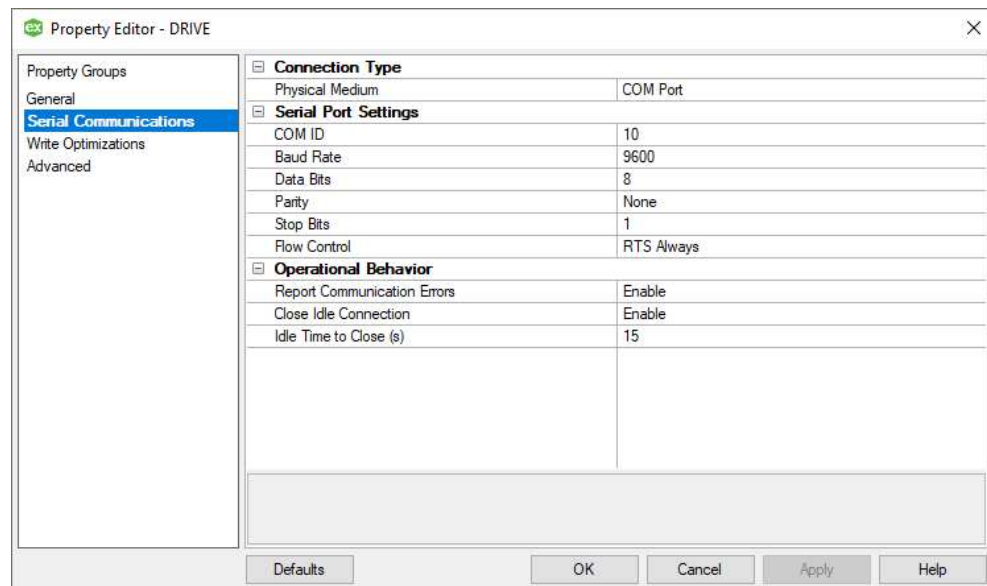


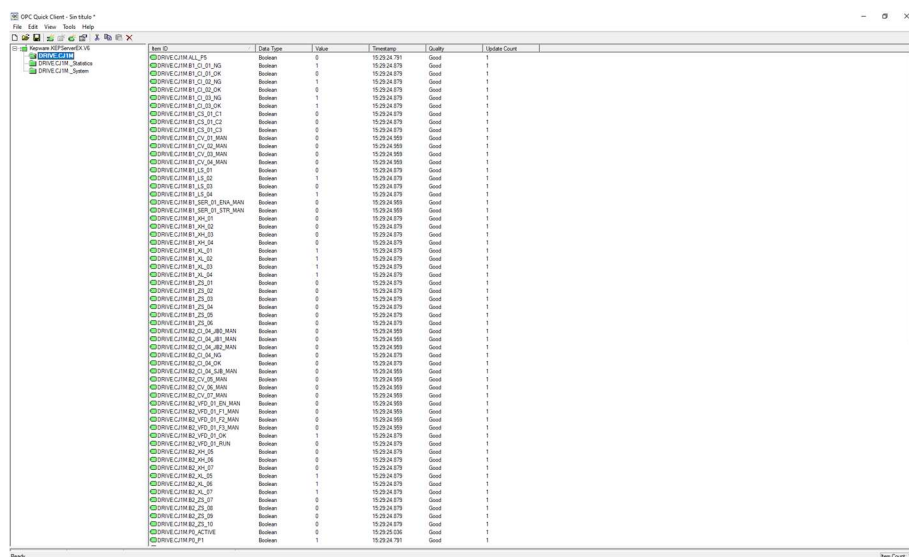
Figura 16. Configuración de la comunicación serial del KepServerEX 6 (PLC - PC Station). Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tag Name	Address	Data Type	Scan Rate	Scaling	Description
PLC_P1	H012.13	Boolean	100	None	
PLC_P2	H012.14	Boolean	100	None	
PLC_P3	H012.15	Boolean	100	None	
PLC_P4	H012.16	Boolean	100	None	
PLC_P5	H012.17	Boolean	100	None	
PLC_P6	H012.18	Boolean	100	None	
PLC_P7	H012.19	Boolean	100	None	
PLC_P8	H012.20	Boolean	100	None	
PLC_P9	H012.21	Boolean	100	None	
PLC_P10	H012.22	Boolean	100	None	
PLC_P11	H012.23	Boolean	100	None	
PLC_P12	H012.24	Boolean	100	None	
PLC_P13	H012.25	Boolean	100	None	
PLC_P14	H012.26	Boolean	100	None	
PLC_P15	H012.27	Boolean	100	None	
PLC_P16	H012.28	Boolean	100	None	
PLC_P17	H012.29	Boolean	100	None	
PLC_P18	H012.30	Boolean	100	None	
PLC_P19	H012.31	Boolean	100	None	
PLC_P20	H012.32	Boolean	100	None	
PLC_P21	H012.33	Boolean	100	None	
PLC_P22	H012.34	Boolean	100	None	
PLC_P23	H012.35	Boolean	100	None	
PLC_P24	H012.36	Boolean	100	None	
PLC_P25	H012.37	Boolean	100	None	
PLC_P26	H012.38	Boolean	100	None	
PLC_P27	H012.39	Boolean	100	None	
PLC_P28	H012.40	Boolean	100	None	
PLC_P29	H012.41	Boolean	100	None	
PLC_P30	H012.42	Boolean	100	None	
PLC_P31	H012.43	Boolean	100	None	
PLC_P32	H012.44	Boolean	100	None	
PLC_P33	H012.45	Boolean	100	None	
PLC_P34	H012.46	Boolean	100	None	
PLC_P35	H012.47	Boolean	100	None	
PLC_P36	H012.48	Boolean	100	None	
PLC_P37	H012.49	Boolean	100	None	
PLC_P38	H012.50	Boolean	100	None	
PLC_P39	H012.51	Boolean	100	None	
PLC_P40	H012.52	Boolean	100	None	
PLC_P41	H012.53	Boolean	100	None	
PLC_P42	H012.54	Boolean	100	None	
PLC_P43	H012.55	Boolean	100	None	
PLC_P44	H012.56	Boolean	100	None	
PLC_P45	H012.57	Boolean	100	None	
PLC_P46	H012.58	Boolean	100	None	
PLC_P47	H012.59	Boolean	100	None	
PLC_P48	H012.60	Boolean	100	None	
PLC_P49	H012.61	Boolean	100	None	
PLC_P50	H012.62	Boolean	100	None	
PLC_P51	H012.63	Boolean	100	None	
PLC_P52	H012.64	Boolean	100	None	
PLC_P53	H012.65	Boolean	100	None	
PLC_P54	H012.66	Boolean	100	None	
PLC_P55	H012.67	Boolean	100	None	
PLC_P56	H012.68	Boolean	100	None	
PLC_P57	H012.69	Boolean	100	None	
PLC_P58	H012.70	Boolean	100	None	
PLC_P59	H012.71	Boolean	100	None	
PLC_P60	H012.72	Boolean	100	None	
PLC_P61	H012.73	Boolean	100	None	
PLC_P62	H012.74	Boolean	100	None	
PLC_P63	H012.75	Boolean	100	None	
PLC_P64	H012.76	Boolean	100	None	
PLC_P65	H012.77	Boolean	100	None	
PLC_P66	H012.78	Boolean	100	None	
PLC_P67	H012.79	Boolean	100	None	
PLC_P68	H012.80	Boolean	100	None	
PLC_P69	H012.81	Boolean	100	None	
PLC_P70	H012.82	Boolean	100	None	
PLC_P71	H012.83	Boolean	100	None	
PLC_P72	H012.84	Boolean	100	None	
PLC_P73	H012.85	Boolean	100	None	
PLC_P74	H012.86	Boolean	100	None	
PLC_P75	H012.87	Boolean	100	None	
PLC_P76	H012.88	Boolean	100	None	
PLC_P77	H012.89	Boolean	100	None	
PLC_P78	H012.90	Boolean	100	None	
PLC_P79	H012.91	Boolean	100	None	
PLC_P80	H012.92	Boolean	100	None	
PLC_P81	H012.93	Boolean	100	None	
PLC_P82	H012.94	Boolean	100	None	
PLC_P83	H012.95	Boolean	100	None	
PLC_P84	H012.96	Boolean	100	None	
PLC_P85	H012.97	Boolean	100	None	
PLC_P86	H012.98	Boolean	100	None	
PLC_P87	H012.99	Boolean	100	None	
PLC_P88	H012.100	Boolean	100	None	
PLC_P89	H012.101	Boolean	100	None	
PLC_P90	H012.102	Boolean	100	None	
PLC_P91	H012.103	Boolean	100	None	
PLC_P92	H012.104	Boolean	100	None	
PLC_P93	H012.105	Boolean	100	None	
PLC_P94	H012.106	Boolean	100	None	
PLC_P95	H012.107	Boolean	100	None	
PLC_P96	H012.108	Boolean	100	None	
PLC_P97	H012.109	Boolean	100	None	
PLC_P98	H012.110	Boolean	100	None	
PLC_P99	H012.111	Boolean	100	None	
PLC_P100	H012.112	Boolean	100	None	

Figura 17. Tags Grabados en el KepServerEX 6. Fuente: Elaboración propia, 2025.

De esta manera, se establece el enlace entre el controlador y la PC Station, quedando únicamente pendiente la comunicación con el sistema SCADA. El software KepServerEX 6 almacena los tags configurados en forma de base de datos, la cual es accesible a través de un servidor OPC UA previamente definido en el propio entorno.

Gracias a esta arquitectura, el acceso a la información requerida desde cualquier software SCADA resulta sencillo, ya que este únicamente debe establecer una conexión como cliente OPC UA con el servidor previamente habilitado.



Item ID	Data Type	Value	Timestamp	Quality	Update Count
DRIVE_CIM_AL_F1	Boolean	0	15.25.24.791	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F2	Boolean	1	15.25.24.792	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F3	Boolean	0	15.25.24.793	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F4	Boolean	0	15.25.24.794	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F5	Boolean	1	15.25.24.795	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F6	Boolean	0	15.25.24.796	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F7	Boolean	1	15.25.24.797	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F8	Boolean	0	15.25.24.798	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F9	Boolean	0	15.25.24.799	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F10	Boolean	0	15.25.24.800	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F11	Boolean	0	15.25.24.801	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F12	Boolean	0	15.25.24.802	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F13	Boolean	0	15.25.24.803	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F14	Boolean	0	15.25.24.804	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F15	Boolean	0	15.25.24.805	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F16	Boolean	0	15.25.24.806	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F17	Boolean	0	15.25.24.807	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F18	Boolean	0	15.25.24.808	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F19	Boolean	0	15.25.24.809	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F20	Boolean	0	15.25.24.810	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F21	Boolean	0	15.25.24.811	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F22	Boolean	0	15.25.24.812	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F23	Boolean	0	15.25.24.813	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F24	Boolean	0	15.25.24.814	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F25	Boolean	0	15.25.24.815	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F26	Boolean	0	15.25.24.816	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F27	Boolean	0	15.25.24.817	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F28	Boolean	0	15.25.24.818	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F29	Boolean	0	15.25.24.819	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F30	Boolean	0	15.25.24.820	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F31	Boolean	0	15.25.24.821	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F32	Boolean	0	15.25.24.822	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F33	Boolean	0	15.25.24.823	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F34	Boolean	0	15.25.24.824	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F35	Boolean	0	15.25.24.825	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F36	Boolean	0	15.25.24.826	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F37	Boolean	0	15.25.24.827	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F38	Boolean	0	15.25.24.828	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F39	Boolean	0	15.25.24.829	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F40	Boolean	0	15.25.24.830	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F41	Boolean	0	15.25.24.831	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F42	Boolean	0	15.25.24.832	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F43	Boolean	0	15.25.24.833	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F44	Boolean	0	15.25.24.834	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F45	Boolean	0	15.25.24.835	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F46	Boolean	0	15.25.24.836	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F47	Boolean	0	15.25.24.837	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F48	Boolean	0	15.25.24.838	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F49	Boolean	0	15.25.24.839	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F50	Boolean	0	15.25.24.840	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F51	Boolean	0	15.25.24.841	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F52	Boolean	0	15.25.24.842	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F53	Boolean	0	15.25.24.843	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F54	Boolean	0	15.25.24.844	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F55	Boolean	0	15.25.24.845	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F56	Boolean	0	15.25.24.846	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F57	Boolean	0	15.25.24.847	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F58	Boolean	0	15.25.24.848	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F59	Boolean	0	15.25.24.849	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F60	Boolean	0	15.25.24.850	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F61	Boolean	0	15.25.24.851	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F62	Boolean	0	15.25.24.852	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F63	Boolean	0	15.25.24.853	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F64	Boolean	0	15.25.24.854	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F65	Boolean	0	15.25.24.855	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F66	Boolean	0	15.25.24.856	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F67	Boolean	0	15.25.24.857	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F68	Boolean	0	15.25.24.858	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F69	Boolean	0	15.25.24.859	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F70	Boolean	0	15.25.24.860	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F71	Boolean	0	15.25.24.861	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F72	Boolean	0	15.25.24.862	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F73	Boolean	0	15.25.24.863	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F74	Boolean	0	15.25.24.864	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F75	Boolean	0	15.25.24.865	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F76	Boolean	0	15.25.24.866	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F77	Boolean	0	15.25.24.867	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F78	Boolean	0	15.25.24.868	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F79	Boolean	0	15.25.24.869	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F80	Boolean	0	15.25.24.870	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F81	Boolean	0	15.25.24.871	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F82	Boolean	0	15.25.24.872	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F83	Boolean	0	15.25.24.873	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F84	Boolean	0	15.25.24.874	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F85	Boolean	0	15.25.24.875	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F86	Boolean	0	15.25.24.876	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F87	Boolean	0	15.25.24.877	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F88	Boolean	0	15.25.24.878	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F89	Boolean	0	15.25.24.879	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F90	Boolean	0	15.25.24.880	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F91	Boolean	0	15.25.24.881	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F92	Boolean	0	15.25.24.882	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F93	Boolean	0	15.25.24.883	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F94	Boolean	0	15.25.24.884	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F95	Boolean	0	15.25.24.885	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F96	Boolean	0	15.25.24.886	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F97	Boolean	0	15.25.24.887	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F98	Boolean	0	15.25.24.888	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F99	Boolean	0	15.25.24.889	Good	1
DRIVE_CIM_AL_F100	Boolean	0	15.25.24.890	Good	1

Figura 18. Prueba de conexión con el Quick Client de KepSever EX 6. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Para la configuración del cliente OPC UA se empleó el sistema SCADA Ignition, en el cual el establecimiento de la comunicación con el servidor resulta bastante intuitivo.

A través del Ignition Gateway, basta con crear una nueva conexión OPC UA e introducir los datos requeridos, que corresponden a la dirección URL del endpoint (información proporcionada por el driver KepServerEX 6), aceptar los certificados de encriptación y seguridad, y definir un usuario y contraseña (configurados previamente en KepServerEX 6). No obstante, también es posible omitir el uso de credenciales y acceder al servidor sin esta autenticación.

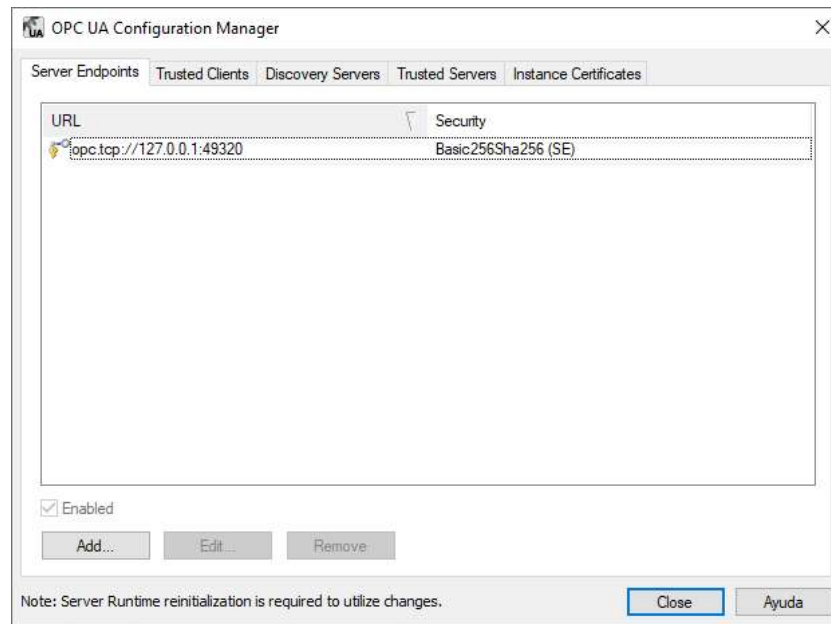


Figura 19. Dirección de enlace al servidor OPC UA en el KepServerEX 6. Fuente: Elaboración propia, 2025.

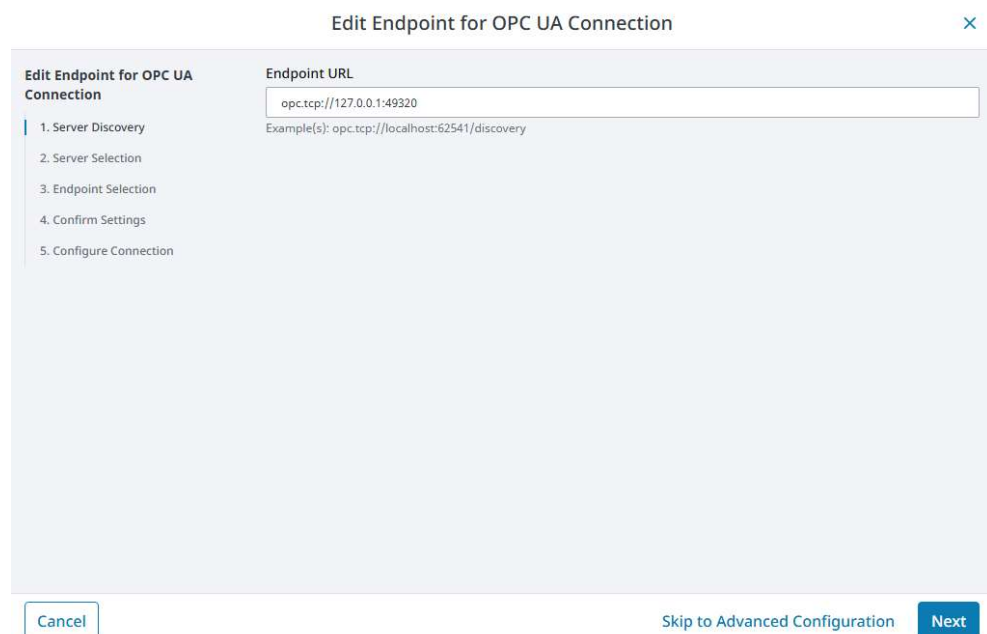


Figura 20. Configuraciones en Gateway Ignition para comunicación OPC UA – Descubrimiento del Servidor. Fuente: Elaboración propia, 2025.

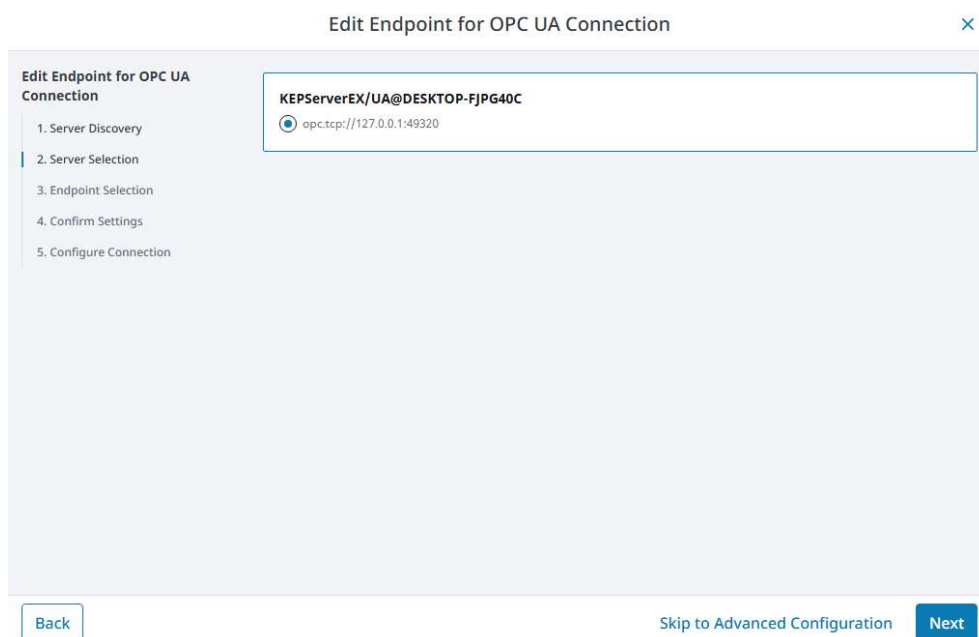


Figura 21. Configuraciones en Gateway Ignition para comunicación OPC UA – Selección del Servidor.
Fuente: Elaboración propia, 2025.

Teniendo en cuenta toda la estructura anterior se deja de manera grafica el diagrama de las comunicaciones globales, donde se evidencia el diseño de la arquitectura de comunicaciones general del sistema entre el PLC y el SCADA.

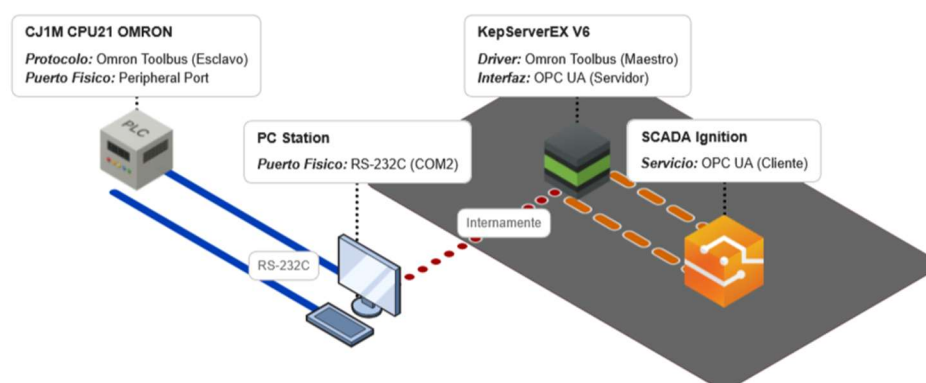


Figura 22. Arquitectura de Comunicación PLC - SCADA. Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.2. Diseño de la Célula

Como se mencionó en apartados anteriores, el proceso no requiere de simulación alguna, dado que se trata de un sistema completamente físico. Por este motivo, antes de iniciar, resulta pertinente ofrecer un breve contexto sobre el estado en que se encontraba la célula FANUC de SICMA21 al comienzo del proyecto.

En su fase inicial, la célula carecía de actuadores, sensores y cableado eléctrico; únicamente estaban presentes las dos bandas transportadoras y el robot FANUC, aunque dichas bandas no disponían de ningún tipo de conexionado. En conclusión, la célula se hallaba en una etapa completamente preliminar. Además, no se contaba con planos mecánicos ni eléctricos que sirvieran de referencia para el desarrollo posterior. Fue a partir de esta situación que se inició el proceso de diseño y puesta a punto de la célula FANUC.

3.2.1. Diseño Mecánico

Con el contexto previamente expuesto, resulta evidente que, para iniciar el proyecto, fue necesario diseñar las piezas mecánicas que permitieran soportar los actuadores y sensores dispuestos alrededor de las bandas transportadoras. Por este motivo, se procedió con el diseño mecánico de la célula.

El primer modelo de la célula se elaboró una vez definido el proceso que se deseaba implementar. Se desarrollaron planos mecánicos iniciales, acompañados de su respectivo despiece, destinados a la fabricación de chapas de aluminio que servirían como soporte para los actuadores y sensores. Además, se propuso el diseño de las tolvas que se ubicarían en el entorno de la célula.

Posteriormente, tras efectuar diversas modificaciones al modelo inicial, se elaboró una segunda versión que dio lugar al modelo definitivo de todos los elementos mecánicos que interactúan en la célula FANUC. Asimismo, se generó la documentación técnica correspondiente para proceder con la fabricación de las piezas.

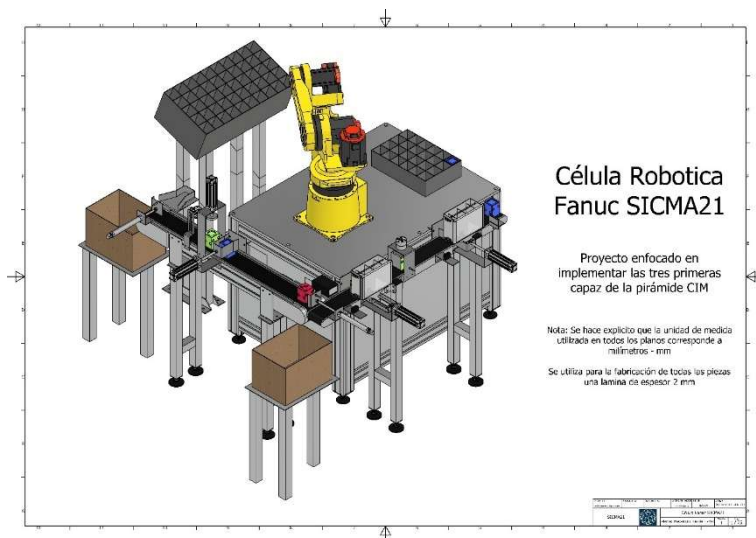


Figura 23. Plano de presentación del proyecto mecánico. Fuente: Elaboración propia, 2025.

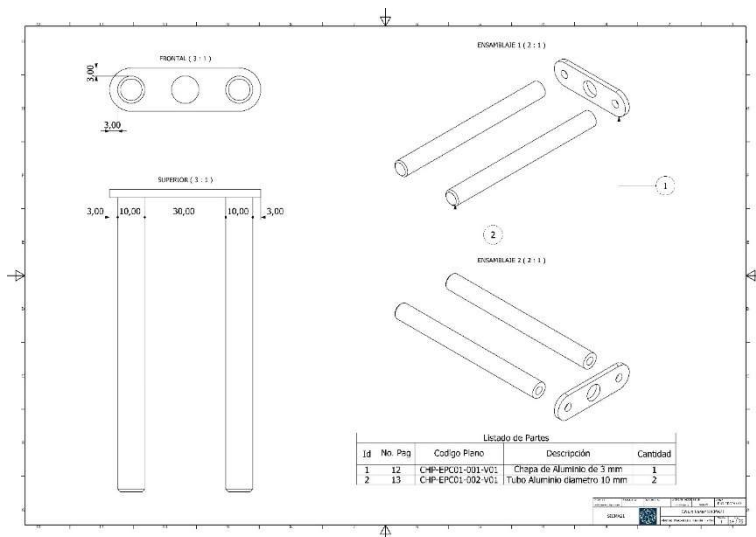


Figura 24. Plano demostrativo de diseño mecánico. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Una vez enviados a producción todos los elementos mecánicos destinados a la célula, se procedió con el montaje de cada uno de ellos sobre las bandas transportadoras. Durante esta etapa se identificaron algunas deficiencias, ya que ciertos soportes generaban vibraciones significativas que, como se preveía, podían afectar el desarrollo del proceso. Ante esta situación, se efectuaron los ajustes pertinentes, lo que permitió garantizar un funcionamiento óptimo del sistema. No obstante, aún persiste un margen de mejora orientado a corregir y optimizar este aspecto en futuras intervenciones.

Para ver la totalidad de los planos remitirse al Anexo A.

3.2.2. Diseño Eléctrico

Una vez definida la cantidad y ubicación de cada elemento en el diseño mecánico, se procedió con el diseño eléctrico, encargado de integrar tanto los elementos de campo como los dispositivos instalados en el armario de control.

Se tuvo la precaución de dotar a cada componente perteneciente a los tableros eléctricos de su correspondiente protección. Muchos de estos dispositivos especifican de antemano el tipo de protección requerida, por lo que se siguieron dichas recomendaciones de manera estricta y rigurosa. Este aspecto resultó fundamental, ya que los tableros constituyen el núcleo principal para el correcto funcionamiento de la planta.

Cabe destacar que, durante el montaje eléctrico, se aplicaron diversas normativas, lo que facilitó en gran medida el desarrollo de los planos eléctricos. Por ejemplo, se consideró el desacople de las salidas hacia el PLC, con el objetivo de evitar posibles picos de sobrecorriente que pudieran comprometer la integridad tanto del controlador como de los demás elementos del sistema.

PSE_008_2006



DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES,S.L.

c/ Cerámica nº 1 – Pol. Ind. La Ferraia
 08110 c/ Cerámica nº 1 – Pol. Ind. La Ferraia
 Tel. +34 619 09 28 94

Empresa/cliente

SICMA21

Descripción de proyecto

Celosa Robotica Implementada con base en la Piramide de la Automatizacion

Número de proyecto

001

Comisión

SICMA21



Fabricante (empresa)

DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES,S.L.

Circuito

Proyecto solicitado por SICMA21

Nombre de proyecto

Celosa Robotica SICMA21

Producto

Celula Industrial Automatizada

Tipo

Proceso de ingeniería

Lugar de instalación

Aula21

Responsable del proyecto

Andrés Mauricio Villegas Zapata

Particularidad de pieza

Creado

14/05/2025

Modificado

15/07/2025

de (aprobatura) avillegas

Número de páginas 66

Controla y provee (firma de cliente)

Celosa Robotica Implementada con base en la Piramide de la Automatizacion

Nombre de Proyecto

0001

DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES,S.L.

Plazo de firma y portada

Fecha: 15/07/2025

Controla y provee (firma de cliente)

Celosa Robotica Implementada con base en la Piramide de la Automatizacion

Nombre de Proyecto

0001

DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES,S.L.

Plazo de firma y portada

Fecha: 15/07/2025

Figura 25. Plano de presentación del proyecto eléctrico. Fuente: Elaboración propia, 2025.

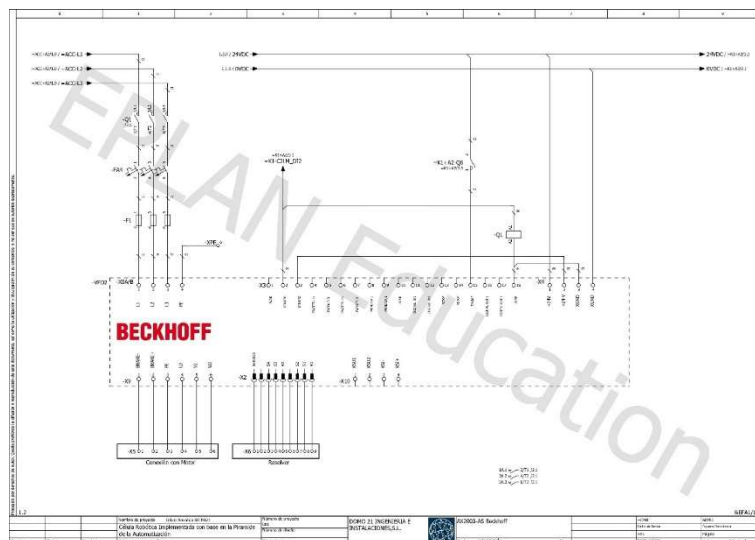


Figura 26. plano demostrativo del diseño eléctrico. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Para ver la totalidad de los planos remitirse al Anexo B.

Adicionalmente, se especifica que, además del diseño eléctrico, se llevó a cabo el correspondiente montaje, siguiendo en todo momento los planos previamente elaborados. Al finalizar esta etapa, se ejecutó un estricto plan de energización de los tableros, con el objetivo de garantizar la seguridad y el correcto funcionamiento del sistema.

Para la verificación del correcto funcionamiento de los tableros eléctricos, se llevó a cabo un plan de pruebas y energización que incluyó las siguientes etapas:

- Prueba de continuidad antes de energizar el tablero.
- Verificación de tensión aguas arriba de cada disyuntor termomagnético.
- Energización individual de cada elemento.
- Energización secuencial del tablero, iniciando por los elementos alimentados a 400 VAC, continuando con los de 220 VAC y, finalmente, los de 24 VDC.

De esta manera, se garantizó el correcto funcionamiento y la seguridad operativa de los tableros eléctricos.



Figura 27. Tablero de Potencia. Fuente: Elaboración propia, 2025.



Figura 28. Tablero de Control. Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.2.1. Diseño Neumático

El sistema neumático de la célula robótica fue concebido como complemento a la manipulación realizada por el robot FANUC, garantizando la sujeción, el posicionamiento y el prensado de las piezas durante el ciclo de trabajo. Su diseño se centró en la simplicidad, la seguridad y la eficiencia, siguiendo criterios de ingeniería industrial aplicables a sistemas de automatización con fines educativos.

La instalación está compuesta principalmente por cilindros neumáticos de doble efecto, accionados mediante electroválvulas controladas desde el PLC OMRON. Estos cilindros permiten realizar funciones específicas, como el prensado de piezas en estaciones intermedias, el aseguramiento de la pieza durante su manipulación y la liberación de componentes una vez finalizado el proceso.

Con el fin de garantizar la seguridad del sistema, se incorporaron válvulas de corte rápido y elementos de regulación de caudal, que permiten controlar la velocidad de avance y retroceso de los actuadores. Asimismo, se implementó un conjunto de sensores de posición (finales de carrera magnéticos)

montados en los cilindros, los cuales envían retroalimentación directa al PLC, permitiendo verificar la posición del émbolo en todo momento y evitando colisiones o fallos de sincronización.

El diseño del esquema neumático se documentó en un diagrama específico, elaborado conforme a la norma ISO 1219-1:2012, que establece la simbología aplicable a sistemas neumáticos e hidráulicos. En dicho diagrama se representan los actuadores, las electroválvulas, las líneas de alimentación y retorno de aire, así como los elementos de protección y control.

En cuanto al suministro energético, la célula se alimenta de una red de aire comprimido a presión regulada, filtrada y lubricada de acuerdo con las recomendaciones técnicas del fabricante. Este acondicionamiento del aire garantiza la durabilidad de los componentes neumáticos y un funcionamiento confiable del sistema.

En conclusión, el diseño neumático de la célula constituye un complemento esencial al control digital y robótico, al proporcionar un medio robusto y eficiente para la manipulación mecánica de las piezas. Su integración con el PLC, a través de sensores y electroválvulas, permite una operación sincronizada y segura, en coherencia con los objetivos de automatización planteados en el proyecto.

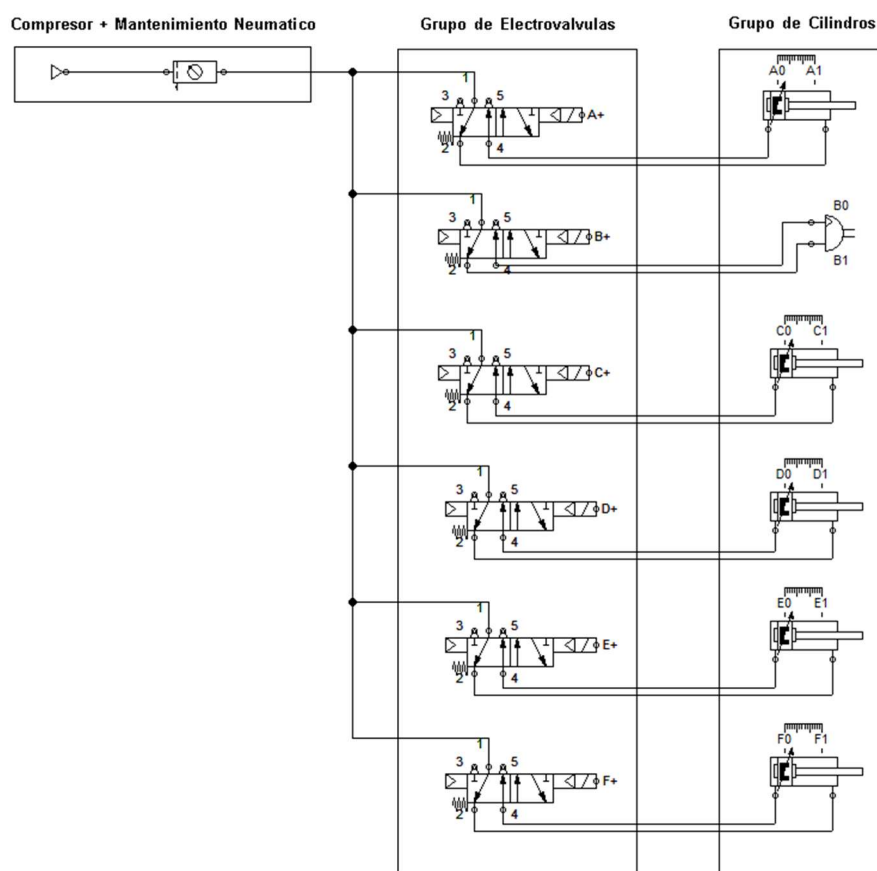


Figura 29. Esquema Neumático Diseñado y simulado en FluidSIM Neumática 4.5. Fuente: Elaboración propia, 2025

3.3. Descomposición del Problema de Control

Con el objetivo de simplificar y facilitar la programación del controlador, se planteó una lógica combinada entre los lenguajes Ladder y SFC, los cuales trabajan de manera conjunta para ejecutar el proceso. El principio fundamental de este esquema radica en el desacoplamiento de las entradas y salidas físicas y por comunicaciones. Para ello, se implementaron dos programas en Ladder: uno en el que las entradas físicas y por comunicación escriben sobre un área de memoria del PLC, y otro en el que un área de memoria distinta del PLC escribe directamente sobre las salidas físicas y por comunicación. De esta manera, se evita la sobrescritura de salidas, práctica considerada una buena metodología de programación que, además, facilita el diagnóstico de fallas. Adicional a esto se generan diferentes secciones de programa para gestionar las alarmas, fallas, modos y seguridades del sistema.

El lenguaje SFC (Grafcet) se encargó de gobernar la lógica automática del proceso. Esta elección se justificó en que, al tratarse de un proceso estrictamente secuencial, la representación mediante diagramas Grafcet facilita la lectura, comprensión y depuración del programa. Asimismo, cada área de memoria fue mapeada con un símbolo descriptivo y significativo, lo que contribuye a mejorar la claridad en el análisis y mantenimiento del sistema.

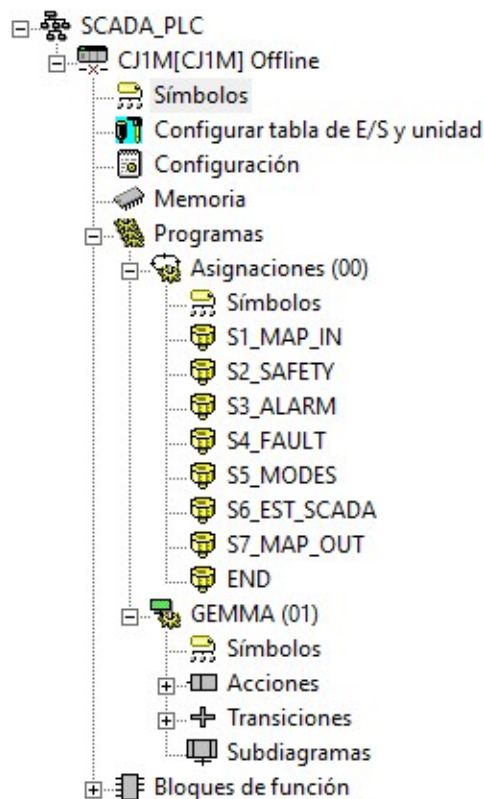


Figura 30. Estructura del Programa. Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.4. Codificación de los Elementos y Sistemas

Con el fin de mantener la trazabilidad, organización y claridad en la programación del PLC, así como en la supervisión a través del sistema SCADA, se estableció una nomenclatura estandarizada para todos los elementos de la célula.

Esta codificación permite identificar de manera inmediata el tipo de dispositivo, su ubicación o zona de influencia, y su número secuencial, facilitando la depuración, el mantenimiento y la futura ampliación del sistema.

3.4.1. Estructura general de la codificación

La estructura adoptada sigue el formato:

$$AA - XX - NN$$

Donde:

Campo	Descripción	Ejemplo
AA	Área o zona de influencia del elemento.	B1 (Banda 1), RB (Robot)
XX	Tipo o familia del dispositivo según su función.	ZS (Sensor de posición), CV (Electroválvula)
NN	Identificador secuencial del elemento dentro de su categoría.	B1-CV-03, B2-ZS-07

Tabla 8. estructura general de codificación.

3.4.1.1. Ejemplos de codificación por tipo de elemento

Tipo de elemento	Código base	Ejemplo de símbolo	Descripción
Sensor de posición	ZS	B1-ZS-03	Sensor fotoeléctrico de detección de pieza
Sensor de nivel	LS	B1-LS-02	Detección de nivel alto o bajo de tolva

Sensor magnético de cilindro neumático (extendido)	XH	B1-XH-01	Detecta embolo extendido
Sensor magnético de cilindro neumático (retraído)	XL	B1-XL-01	Detecta embolo retraído
Electroválvula	CV	B1-CV-02	Control de actuadores neumáticos
Variador de frecuencia	VFD	B2-VFD-01	Controla la velocidad del motor de la banda 2
Servoamplificador	SER	B1-SER-01	Control del motor servo Beckhoff AX2003-AS
Cámara o sistema de visión	CI	B1-CI-01	Cámara Cognex o Checker para inspección o clasificación
Robot FANUC	RB	RB-ROB-1	Comunicación y estados del robot vía DeviceNet
SCADA / Señales de supervisión	SCD	SCD_CMD_START	Comandos y estados intercambiados entre el SCADA e IEC

Tabla 9. Ejemplo de codificaciones.

3.4.1.2. Sufijos de modo de operación

Para las salidas controladas por el PLC, se agregan sufijos que permiten distinguir si la señal pertenece al modo manual o automático:

Sufijo	Modo	Ejemplo	Descripción
_MAN	Manual	B1-CV-01_MAN	Señal activa solo en modo manual
_AUT	Automático	B1-CV-01_AUT	Señal gestionada por la lógica automática (GEMMA)

Tabla 10. Referencia de elementos utilizados.

3.4.1.3. Sufijos de estado del sistema (SCADA)

Las señales intercambiadas con el sistema de supervisión utilizan un prefijo común SCD_ y sufijos que describen su propósito:

Prefijo/Sufijo	Tipo de señal	Ejemplo
SCD_CMD_*	Comandos del operador (Start, Stop, Reset, Automático, Manual)	SCD_CMD_START
SCD_EST_*	Estados reportados al SCADA (Run, Stop, Fault, Alarm, Manual, Automático)	SCD_EST_RUN

Tabla 11. Señales intercambiadas con el sistema SCADA.

3.4.1.4. Banderas y variables internas

Las variables internas del sistema, empleadas para control, seguridad y estados intermedios, utilizan el prefijo SYS_:

Prefijo	Descripción	Ejemplo
SYS_	Variables globales del sistema (Latches, habilitaciones, seguridad).	SYS_RUN_ENA, SYS_FLT_LAT, SYS_SEG_OK

Tabla 12. Nomenclatura de las Banderas y Variables internas.

3.4.1.5. Estandarización de Colores SCADA

En la interfaz gráfica, se estableció un código de colores estandarizado que complementa la codificación textual:

Color	Significado	Ejemplo de aplicación
Verde	Elemento activo o en funcionamiento	Banda en marcha, válvula abierta.

Gris	Elemento inactivo o detenido	Actuador desenergizado.
Naranja	Elemento ocupado o en proceso	Robot ejecutando tarea.
Rojo	Falla o alarma	Error del VFD o emergencia.
Azul	Elemento en modo manual	Válvula activada por operador.

Tabla 13. Estándar de Colores SCADA.

3.5. Definición de la Interfaz del Sistema de Control

En la Figura 31 se observa la interfaz del entorno de programación CX-Programmer, utilizado para el desarrollo de la lógica de control del autómatas OMRON CJ1M-CPU21. Este entorno forma parte del paquete Omron CX-One, el cual permite la configuración, programación y monitorización de los dispositivos conectados al PLC.

El entorno de trabajo de CX-Programmer se encuentra organizado en distintas áreas funcionales, que facilitan la estructuración y supervisión del programa:

- Panel izquierdo (Organizador del proyecto): presenta la jerarquía del proyecto, donde se pueden observar los bloques principales de programación. En este caso, el software está estructurado en secciones lógicas
 - S1_MAP_IN
 - S2_SAFETY
 - S3_ALARM
 - S4_FAULT
 - S5_MODES
 - S6_EST_SCADA
 - S7_MAP_OUT
 - GEMMA (01)

Cada una encargada de una parte específica del proceso (asignación de E/S, gestión de seguridad, alarmas, fallos, modos de operación, control SCADA y secuenciación del proceso).

- Panel central (Editor de lógica): es el área donde se escribe y visualiza el código del PLC, ya sea en lenguaje Ladder (LD) o SFC. En este espacio se desarrollan las redes lógicas, los enclavamientos, las condiciones de transición y los bits de estado del sistema.

- Panel inferior (Mensajes y compilación): muestra información sobre errores de programación, resultados de compilación y transferencias entre el PLC y el entorno de desarrollo. Además, permite realizar la depuración y el monitoreo de variables en tiempo real.
- Barra de herramientas superior: contiene los accesos directos a las funciones de conexión, carga y descarga de programa, simulación, creación de símbolos y documentación del proyecto.

Gracias a esta estructura, CX-Programmer proporciona una interfaz clara y organizada, que permite mantener una programación modular, favoreciendo la trazabilidad del proceso y la integración con el servidor KepServerEX 6 y el sistema SCADA Ignition.

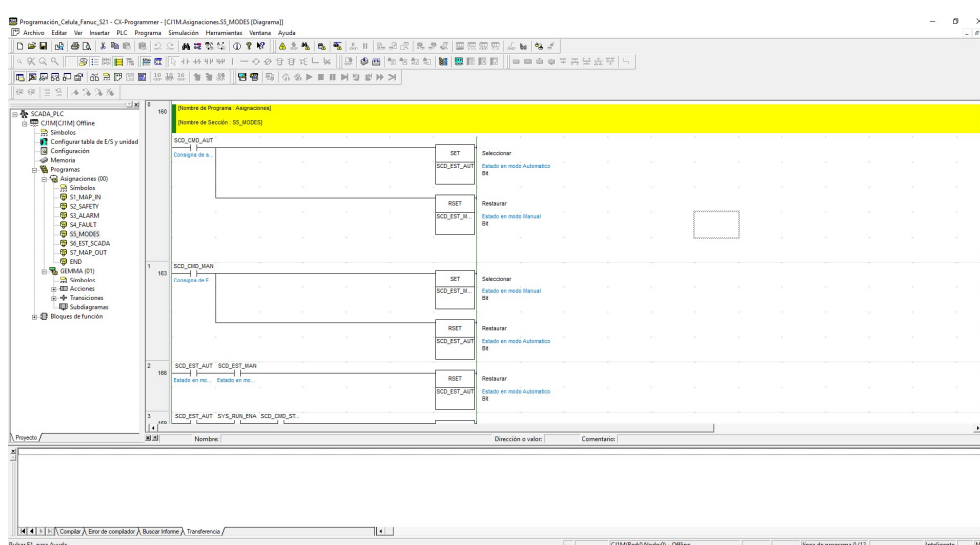


Figura 31. Entorno de programación CX Programmer. Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.6. Definición del Fichero de Intercambio Controlador - Scada

El fichero de intercambio entre el PLC Omron CJ1M-CPU21 y el sistema SCADA Ignition constituye el vínculo de comunicación entre el nivel de control y el nivel de supervisión.

A través de este fichero se definen las variables compartidas, sus direcciones de memoria, tipo de dato, función dentro del proceso y nivel de acceso desde el SCADA.

El intercambio se realiza mediante el servidor KepServerEX 6, configurado con el driver Omron Toolbus Serial, actuando como gateway OPC UA entre el PLC y el software Ignition.

Las variables están organizadas en bloques funcionales coherentes con la estructura del programa del PLC (ver Figura 30):

- Bloque S1_MAP_IN / S7_MAP_OUT: Asignación de entradas y salidas físicas.
- Bloque S2_SAFETY: Variables del sistema de seguridad (permisos, fallos, paradas seguras).
- Bloque S5_MODES: Control de modos de operación (Manual/Automático).
- Bloque S6_EST_SCADA: Estados globales del sistema mostrados en SCADA.
- Bloque S4_FAULT: Gestión de alarmas y fallos detectados en campo.
- Bloque GEMMA: Control secuencial automático basado en los estados P0–P5 definidos según la guía GEMMA.

Cada bloque cuenta con símbolos declarados en la tabla de variables del PLC, cuyos nombres se mantienen idénticos en el entorno SCADA para garantizar coherencia y trazabilidad.

Tag Name	Address	Data Type	Client Access
ALL_P5	H0525.02	Boolean	RO
B1_CI_01_NG	W002.09	Boolean	RO
B1_CI_01_OK	W002.08	Boolean	RO
B1_CI_02_NG	W002.11	Boolean	RO
B1_CI_02_OK	W002.10	Boolean	RO
B1_CI_03_NG	W002.13	Boolean	RO
B1_CI_03_OK	W002.12	Boolean	RO
B1_CS_01_C1	W000.09	Boolean	RO
B1_CS_01_C2	W000.10	Boolean	RO
B1_CS_01_C3	W000.11	Boolean	RO
B1_CV_01_MAN	W100.00	Boolean	R/W
B1_CV_02_MAN	W100.01	Boolean	R/W
B1_CV_03_MAN	W100.02	Boolean	R/W
B1_CV_04_MAN	W100.03	Boolean	R/W
B1_LS_01	W001.06	Boolean	RO
B1_LS_02	W001.07	Boolean	RO

B1_LS_03	W001.08	Boolean	RO
B1_LS_04	W001.09	Boolean	RO
B1_SER_01_ENA_MAN	W100.07	Boolean	R/W
B1_SER_01_STR_MAN	W100.08	Boolean	R/W
B1_XH_01	W001.10	Boolean	RO
B1_XH_02	W001.12	Boolean	RO
B1_XH_03	W001.14	Boolean	RO
B1_XH_04	W002.00	Boolean	RO
B1_XL_01	W001.11	Boolean	RO
B1_XL_02	W001.13	Boolean	RO
B1_XL_03	W001.15	Boolean	RO
B1_XL_04	W002.01	Boolean	RO
B1_ZS_01	W000.12	Boolean	RO
B1_ZS_02	W000.13	Boolean	RO
B1_ZS_03	W000.14	Boolean	RO
B1_ZS_04	W000.15	Boolean	RO
B1_ZS_05	W001.00	Boolean	RO
B1_ZS_06	W001.01	Boolean	RO
B2_CI_04_JB0_MAN	W100.14	Boolean	R/W
B2_CI_04_JB1_MAN	W100.15	Boolean	R/W
B2_CI_04_JB2_MAN	W101.00	Boolean	R/W
B2_CI_04_NG	W002.15	Boolean	RO
B2_CI_04_OK	W002.14	Boolean	RO
B2_CI_04_SJB_MAN	W100.13	Boolean	R/W
B2_CV_05_MAN	W100.04	Boolean	R/W

B2_CV_06_MAN	W100.05	Boolean	R/W
B2_CV_07_MAN	W100.06	Boolean	R/W
B2_VFD_01_EN_MAN	W100.09	Boolean	R/W
B2_VFD_01_F1_MAN	W100.10	Boolean	R/W
B2_VFD_01_F2_MAN	W100.11	Boolean	R/W
B2_VFD_01_F3_MAN	W100.12	Boolean	R/W
B2_VFD_01_OK	W003.00	Boolean	RO
B2_VFD_01_RUN	W003.01	Boolean	RO
B2_XH_05	W002.02	Boolean	RO
B2_XH_06	W002.04	Boolean	RO
B2_XH_07	W002.06	Boolean	RO
B2_XL_05	W002.03	Boolean	RO
B2_XL_06	W002.05	Boolean	RO
B2_XL_07	W002.07	Boolean	RO
B2_ZS_07	W001.02	Boolean	RO
B2_ZS_08	W001.03	Boolean	RO
B2_ZS_09	W001.04	Boolean	RO
B2_ZS_10	W001.05	Boolean	RO
P0_ACTIVE	W511.00	Boolean	RO
P0_P1	H0512.13	Boolean	RO
P1_ACTIVE	W511.01	Boolean	RO
P1_P2	H0512.14	Boolean	RO
P2_ACTIVE	W511.02	Boolean	RO
P2_P3	H0512.15	Boolean	RO
P3_ACTIVE	W511.03	Boolean	RO

P3_P4	H0525.01	Boolean	RO
P4_ACTIVE	W511.04	Boolean	RO
P4_P1	H0525.07	Boolean	RO
P5_ACTIVE	W511.05	Boolean	RO
P5_P0	H0525.03	Boolean	RO
RB_ROB_01_B1	W000.01	Boolean	RO
RB_ROB_01_B2	W000.03	Boolean	RO
RB_ROB_01_B3	W000.05	Boolean	RO
RB_ROB_01_B4	W000.07	Boolean	RO
RB_ROB_01_COMFLT	W005.01	Boolean	RO
RB_ROB_01_D1	W000.02	Boolean	RO
RB_ROB_01_D2	W000.04	Boolean	RO
RB_ROB_01_D3	W000.06	Boolean	RO
RB_ROB_01_D4	W000.08	Boolean	RO
RB_ROB_01_ENA_MAN	W101.01	Boolean	R/W
RB_ROB_01_FLT	W005.00	Boolean	RO
RB_ROB_01_RDY	W000.00	Boolean	RO
RB_ROB_01_RT1_MAN	W101.02	Boolean	R/W
RB_ROB_01_RT2_MAN	W101.03	Boolean	R/W
RB_ROB_01_RT3_MAN	W101.04	Boolean	R/W
RB_ROB_01_RT4_MAN	W101.05	Boolean	R/W
SCD_CMD_AUT	W200.03	Boolean	R/W
SCD_CMD_MAN	W200.04	Boolean	R/W
SCD_CMD_RESET	W200.02	Boolean	R/W
SCD_CMD_START	W200.00	Boolean	R/W

SCD_CMD_STOP	W200.01	Boolean	R/W
SCD_EST_ALM	W200.11	Boolean	R/W
SCD_EST_AUT	W200.05	Boolean	R/W
SCD_EST_EMG	W200.10	Boolean	R/W
SCD_EST_FAULT	W200.09	Boolean	R/W
SCD_EST_MAN	W200.06	Boolean	R/W
SCD_EST_REQ_RESET	W200.12	Boolean	RO
SCD_EST_RUN	W200.07	Boolean	R/W
SCD_EST_STOP	W200.08	Boolean	R/W
STAT_BLUE_CNT	W401	Word	RO
STAT_GREEN_CNT	W400	Word	RO
STAT_RED_CNT	W402	Word	RO

Tabla 14. fichero de intercambio entre PLC - SCADA, Tags del KepWareEX 6.

3.7. Programa del Controlador

En este apartado se explica de manera detallada la lógica empleada para la programación del controlador. El programa se estructuró en dos modos de operación: automático y manual, cada uno gobernado por una sección específica del código. Esta organización facilita la comprensión de la secuencia de funcionamiento, la lectura de los modos, así como la gestión de los estados de falla y alarma implementados.

Se empleó el lenguaje Ladder para la lectura de estados de entrada, la escritura de salidas, la definición de fallos y alarmas, y la activación de los modos seguros, elementos cruciales para el funcionamiento confiable de la célula. Además, siguiendo las directrices de la guía GEMMA, se estructuró una secuencia en SFC, la cual desencadena una lógica secuencial que permite alternar entre los distintos modos de operación y definir los estados de la célula.

Todo este desarrollo se presenta de forma secuencial y lógica, con el fin de facilitar la comprensión integral del proceso de control.

3.7.1. Estructura del Programa

La estructura del programa de control desarrollado en el autómata Omron CJ1M-CPU21 se compone principalmente de varias secciones dentro del entorno CX-Programmer, las cuales permiten organizar de manera jerárquica y funcional toda la lógica del sistema. Estas secciones son las siguientes:

- La carpeta SCADA_PLC, que contiene el controlador principal y los bloques de programación. Dentro de este se definen los símbolos globales, las secciones de programa (Ladder y SFC), así como los archivos de intercambio de datos con el sistema SCADA Ignition mediante KepServerEX 6.
- La carpeta Memoria, donde se estructuran las áreas de trabajo del PLC (CIO, W, D, HR, etc.) y se gestionan las variables simbólicas empleadas en el control, comunicación y supervisión del proceso.
- La carpeta Programa, que agrupa las diferentes secciones lógicas del sistema, tales como:
 - S1_MAP_IN / S7_MAP_OUT, dedicadas al mapeo de entradas y salidas físicas.
 - S2_SAFETY, encargada de las condiciones de seguridad, enclavamientos y paradas seguras.
 - S3_ALARM y S4_FAULT, responsables de la gestión de alarmas y fallos.
 - S5_MODES, para la selección de modos de operación Manual / Automático.
 - S6_EST_SCADA, que actualiza los estados generales del sistema hacia la interfaz SCADA.
 - GEMMA (SFC), donde se desarrolla la lógica secuencial automática basada en los estados P0 a P5 del proceso.
- La carpeta Símbolos, donde se almacenan y documentan todas las variables empleadas en el programa, asignando nombre simbólico, dirección y descripción a cada elemento de hardware o tag de comunicación.
- La carpeta Bloques de Función, destinada a encapsular rutinas reutilizables o funciones auxiliares que permiten simplificar la programación y el mantenimiento del sistema.

Esta organización modular facilita la lectura, depuración y escalabilidad del programa, permitiendo una clara correspondencia entre la estructura lógica del PLC y las capas superiores del sistema de supervisión e interfaz hombre-máquina.

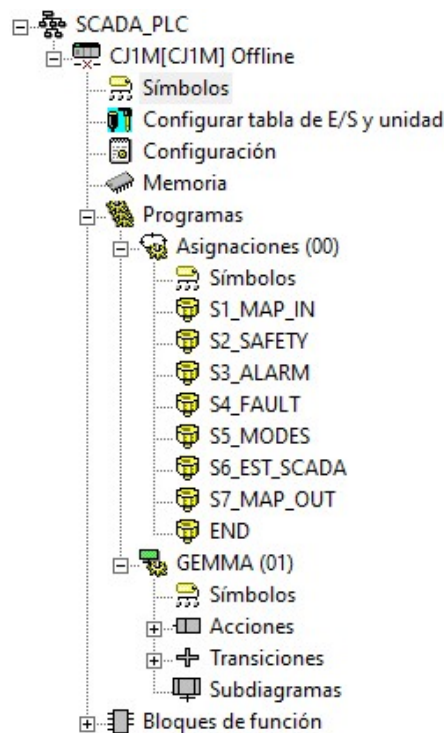


Figura 32. Estructura del programa. Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.7.2. Lógica de Control

En primera instancia, se expone el desacoplamiento de las entradas y salidas implementado en la lógica Ladder. De manera detallada, este proceso consistió en diferenciar entre un área de memoria asignada a componentes físicos o a dispositivos que intercambian información mediante comunicaciones (área CIO) y un área de memoria de trabajo (área W). La nomenclatura de estas áreas se encuentra previamente definida por el proveedor del controlador OMRON.

De esta forma, desde un área CIO asociada a un módulo de entradas o a un módulo de comunicación digital, se escribe sobre un área de memoria de trabajo. En sentido contrario, las salidas se gestionan desde un área de trabajo que escribe directamente sobre un área CIO vinculada a los módulos de salida o de comunicación. Con esta estructura se logra un desacoplamiento por software de las señales manejadas en la célula, favoreciendo la organización lógica y la trazabilidad del programa.

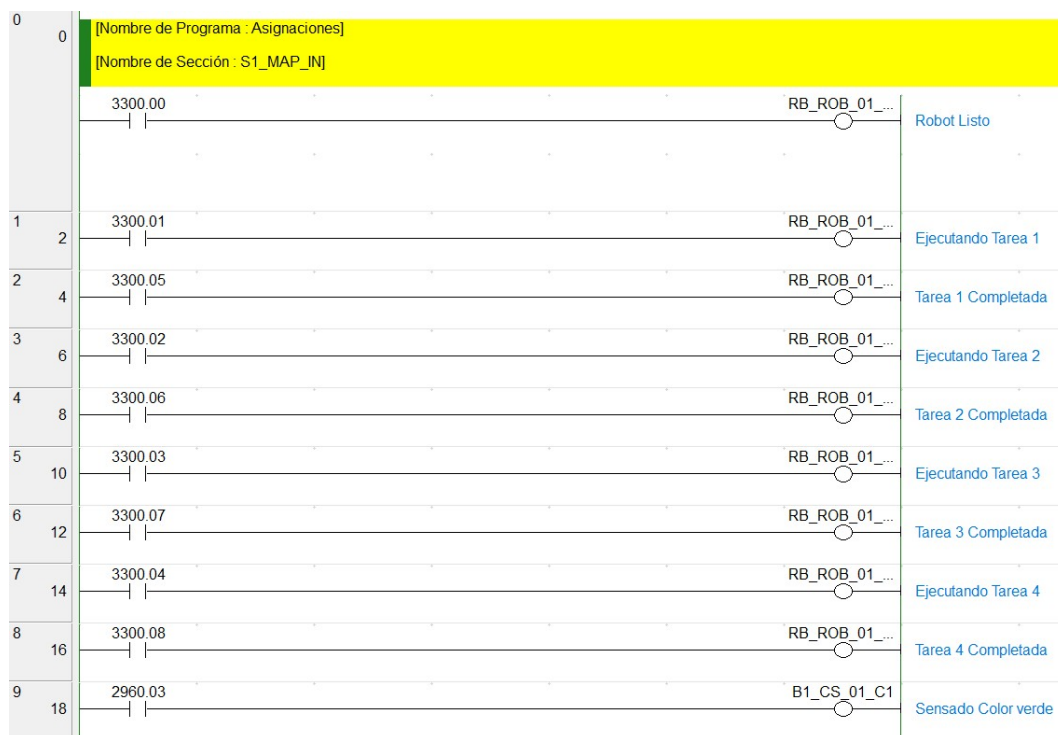


Figura 33. Mapeo de Entradas Parte 1. Fuente: Elaboración propia, 2025.



Figura 34. Mapeo de Entradas Parte 2. Fuente: Elaboración propia, 2025.

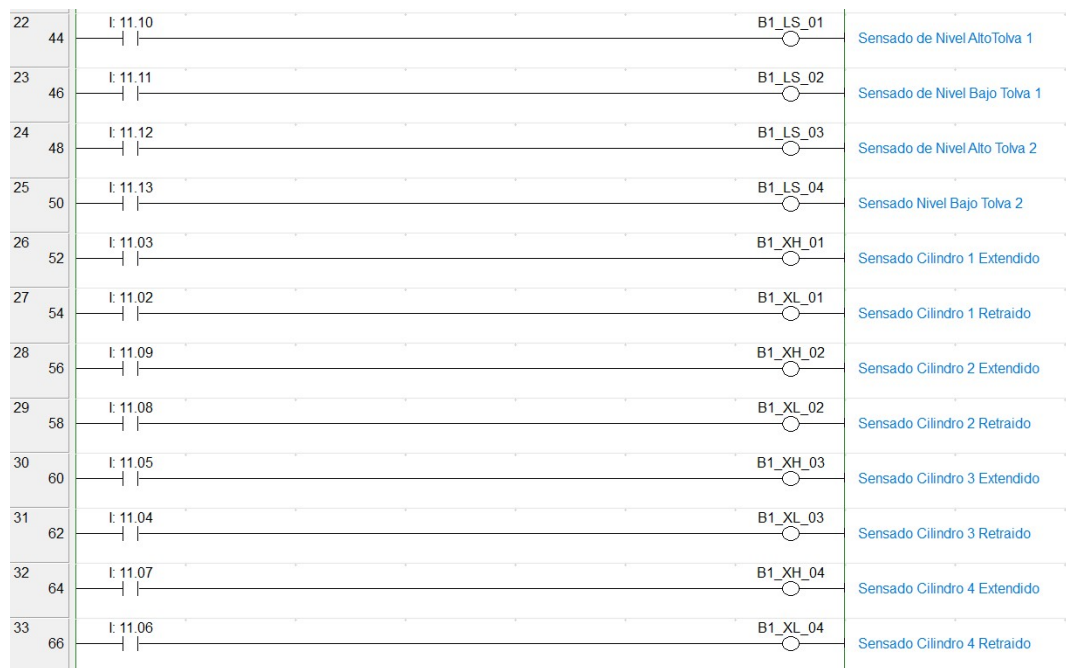


Figura 35. Mapeo de Entradas Parte 3. Fuente: Elaboración propia, 2025.

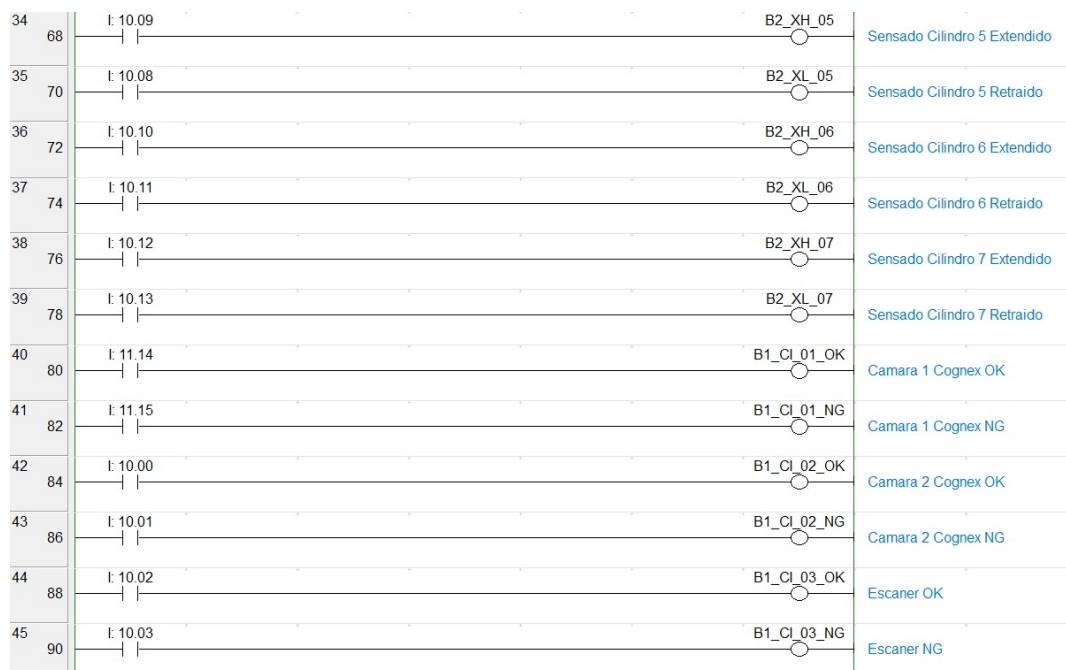


Figura 36. Mapeo de Entradas Parte 4. Fuente: Elaboración propia, 2025.

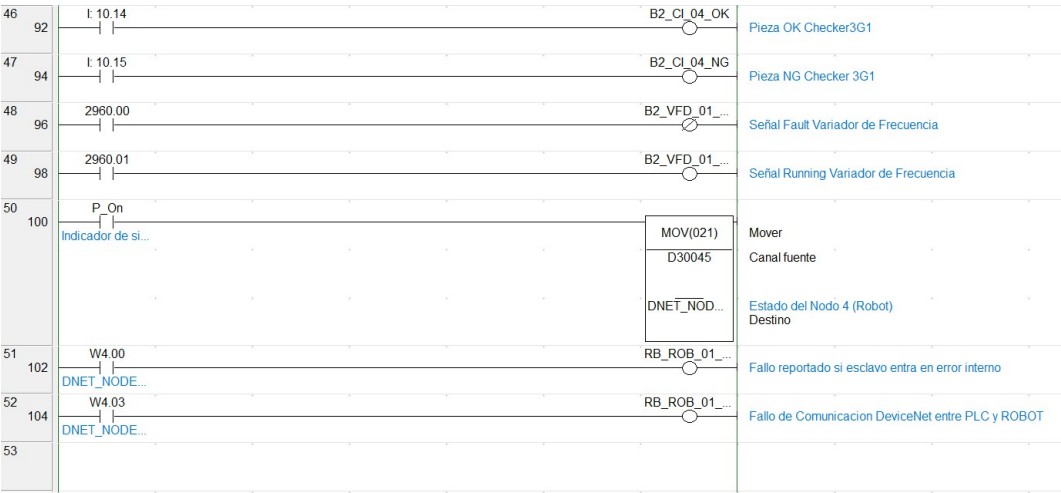


Figura 37. Mapeo de Entradas Parte 5. Fuente: Elaboración propia, 2025.

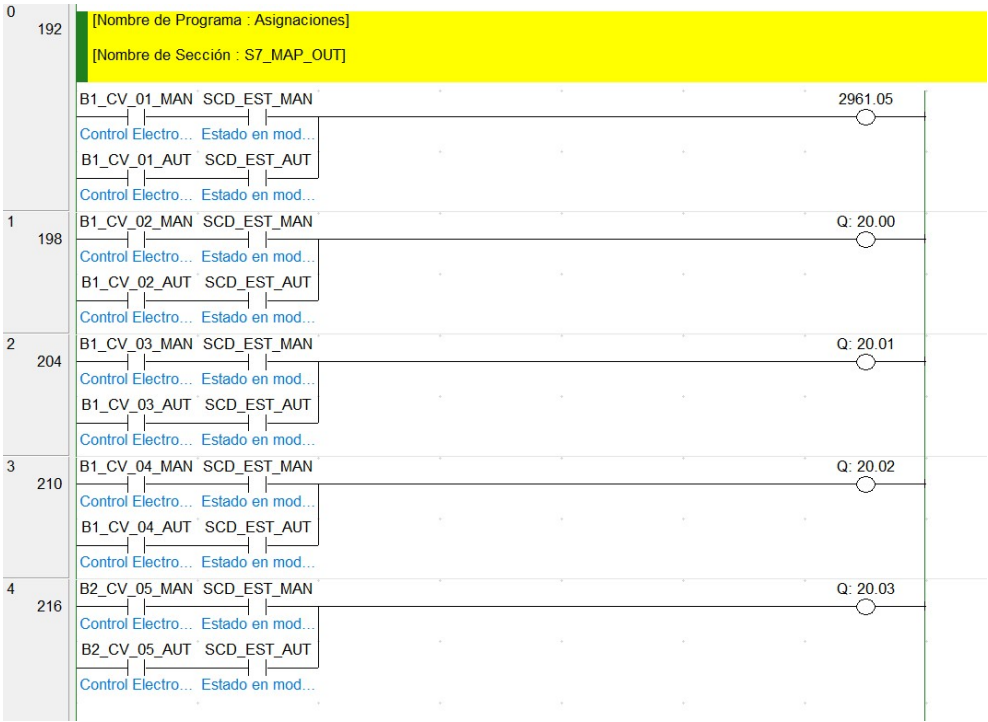


Figura 38. Mapeo de Salidas Parte 1. Fuente: Elaboración propia, 2025.



Figura 39. Mapeo de Salidas Parte 2. Fuente: Elaboración propia, 2025.



Figura 40. Mapeo de Salidas Parte 3. Fuente: Elaboración propia, 2025.



Figura 41. Mapeo de Salidas Parte 4. Fuente: Elaboración propia, 2025.

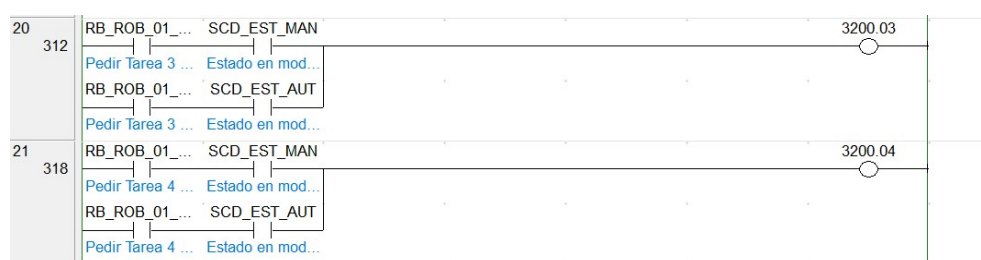


Figura 42. Mapeo de Salidas Parte 5. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Una vez realizado el desacoplamiento por software de las señales, se establecieron criterios para identificar los diferentes estados de la célula. En primera instancia, se definieron los estados de falla y alarma, los cuales son gestionados por la lógica de control en distintas secciones del programa.

Los criterios para diferenciar entre una falla y una alarma se determinaron en función del nivel de criticidad de las señales, la disponibilidad de información en la célula y la prioridad operativa necesaria para continuar con la ejecución del proceso.

En el apartado de fallas, se consideraron tanto las señales de error directas proporcionadas por cada dispositivo como las condiciones incoherentes de la planta. En este sentido, se contemplaron señales de falla directa provenientes del variador de frecuencia y del módulo de comunicación DeviceNet CJ1W-DRM21 de OMRON, así como situaciones anómalas, por ejemplo, que los sensores de extensión y retracción del émbolo de un cilindro se encuentren activos simultáneamente. Esta condición,



 **UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA**
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

deben ser mutuamente excluyentes, condición que se aborda específicamente en esta parte del código.

Para garantizar dicha exclusión, y en función de las órdenes enviadas desde el sistema SCADA, se realiza la operación de ajuste del bit correspondiente al modo seleccionado y, de manera simultánea, la desactivación del modo opuesto. Asimismo, se establece la suposición de que, en caso de que ambos modos se encuentren activos por cualquier circunstancia, se privilegia el modo manual, garantizando así la intervención directa y segura del operador.

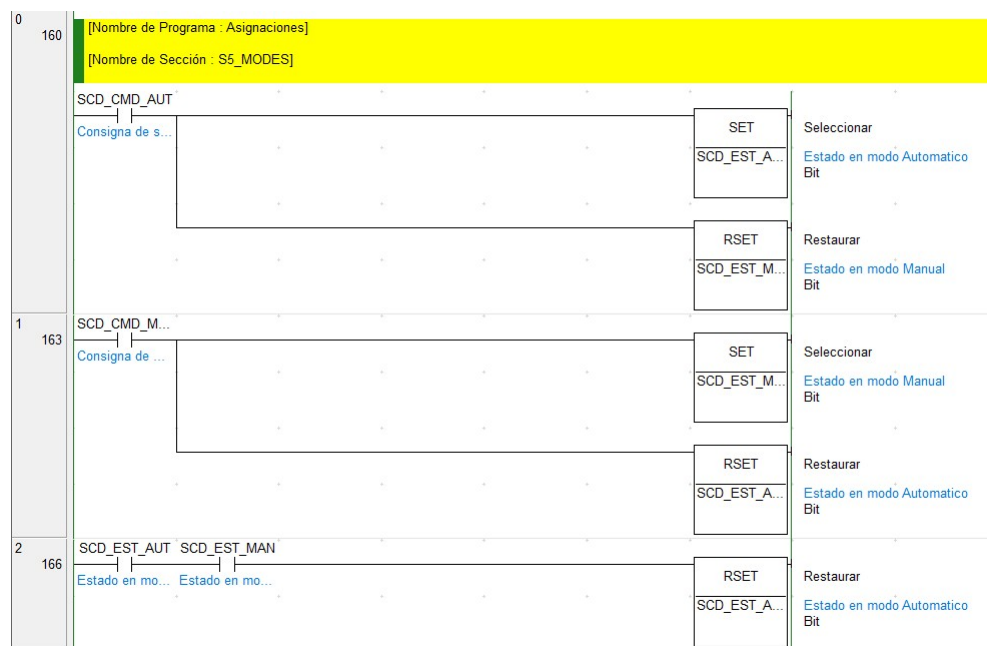


Figura 47. Construcción de la sección de modos de operación – Parte 1. Fuente: Elaboración propia, 2025.

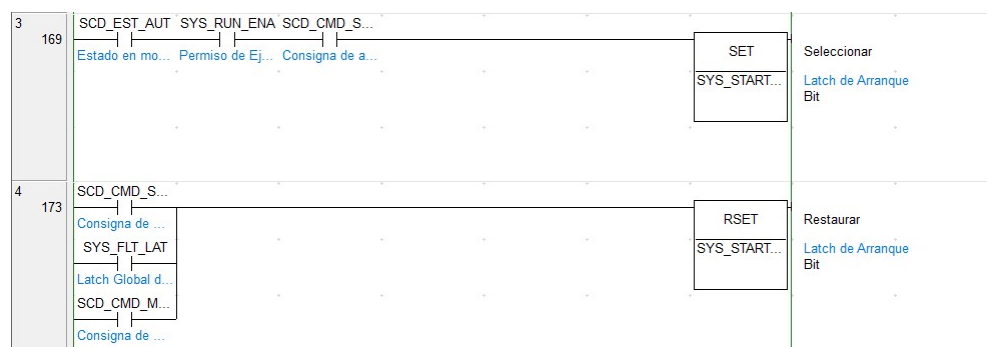


Figura 48. Construcción de la sección de modos de operación – Parte 2. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Para finalizar la sección desarrollada en Ladder, se implementó un bloque del programa encargado de gestionar los estados operativos de la célula (RUN y STOP). Estos estados se controlan en función del

estado SFC en el que se encuentre la célula en cada momento, garantizando así la coherencia entre la lógica secuencial y el modo operativo del sistema.

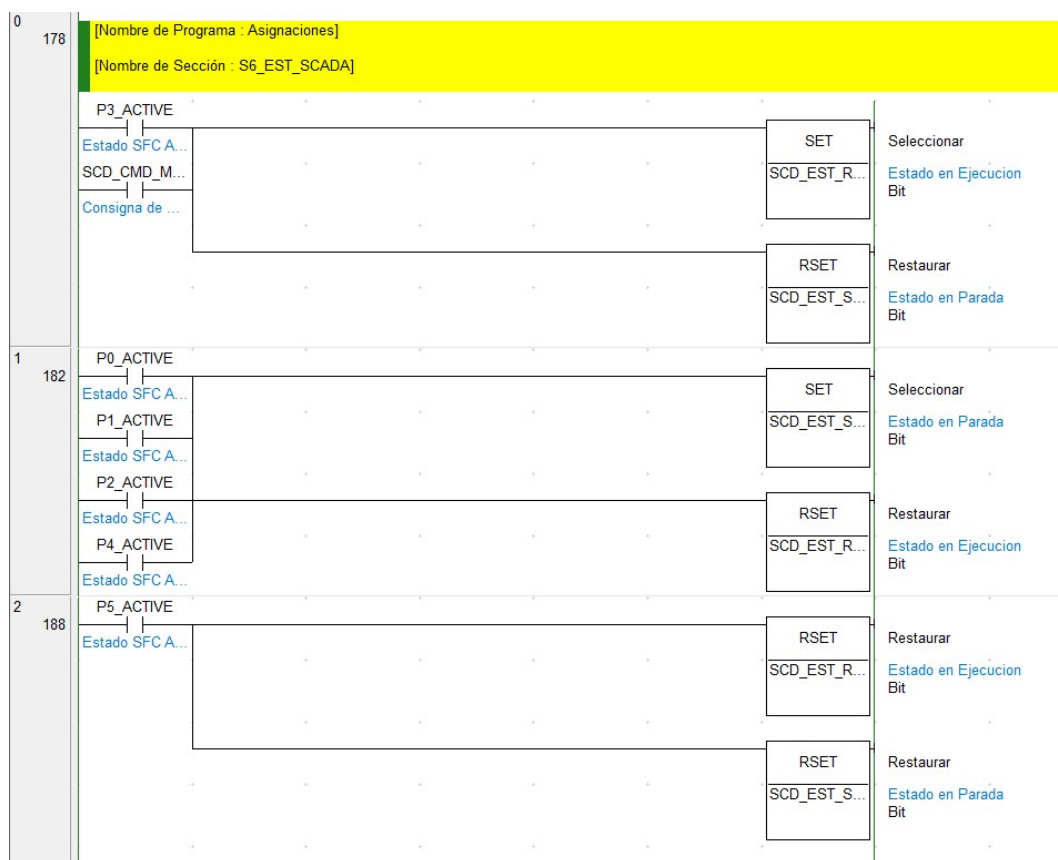


Figura 49. Construcción de la sección de Estados del SCADA. Fuente: Elaboración propia, 2025.

De forma simultánea a la ejecución de la sección Ladder, se ejecuta una sección en SFC, encargada de controlar el proceso de la célula conforme a las directrices de la guía GEMMA. Es en esta parte donde el control automático adquiere protagonismo, dado que la lógica secuencial fue implementada en SFC debido al carácter estrictamente secuencial del funcionamiento de la célula.

De acuerdo con la guía GEMMA, el proceso puede dividirse en seis estados principales, los cuales controlan los puntos críticos de operación de la célula. Los estados definidos son los siguientes:

- P0: Parada inicial
- P1: Arranque
- P2: Standby
- P3: Producción automática
- P4: Parada normal
- P5: Falla

Cada uno de estos estados cumple una función específica dentro del ciclo de vida operativo de la célula, asegurando que las transiciones se realicen de forma ordenada y bajo condiciones seguras. A continuación, se describen las acciones asociadas a cada estado, su propósito y las condiciones que permiten la transición entre ellos, con el objetivo de garantizar un control confiable, estructurado y comprensible tanto para el sistema como para el operador.

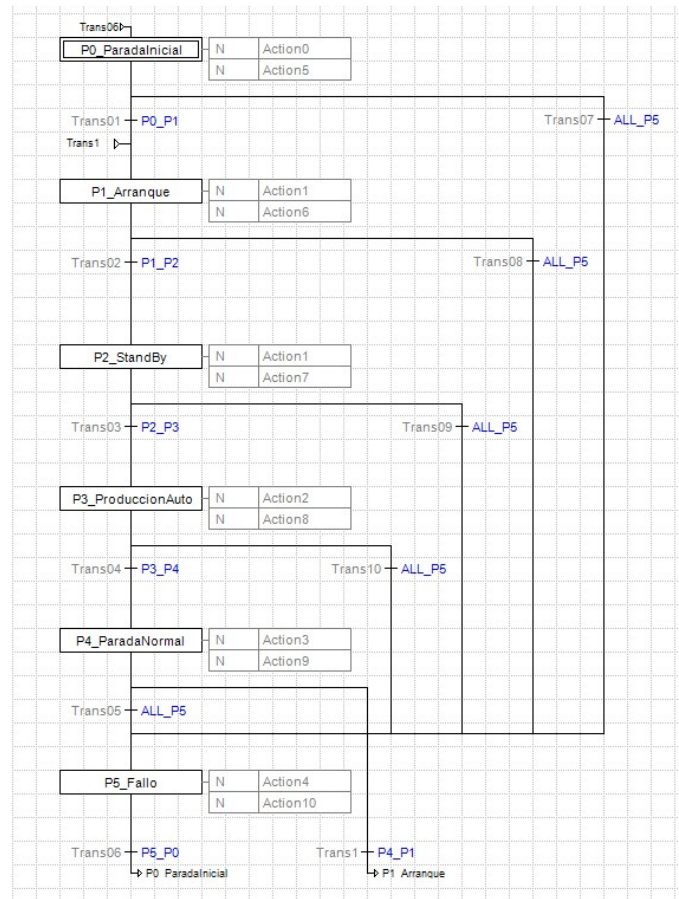


Figura 50. Diagrama SFC de la célula FANUC. Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.7.3. Parada Inicial

Este estado representa la condición de inicio absoluto del sistema, ya sea tras la energización del PLC o la ejecución de un reinicio por fallo. Su función principal es garantizar que todas las salidas, consignas y banderas internas se encuentren en estado cero, llevando la célula a una condición segura y conocida. Desde este punto se asegura que el arranque se realice sin residuos ni interferencias provenientes de ciclos anteriores.

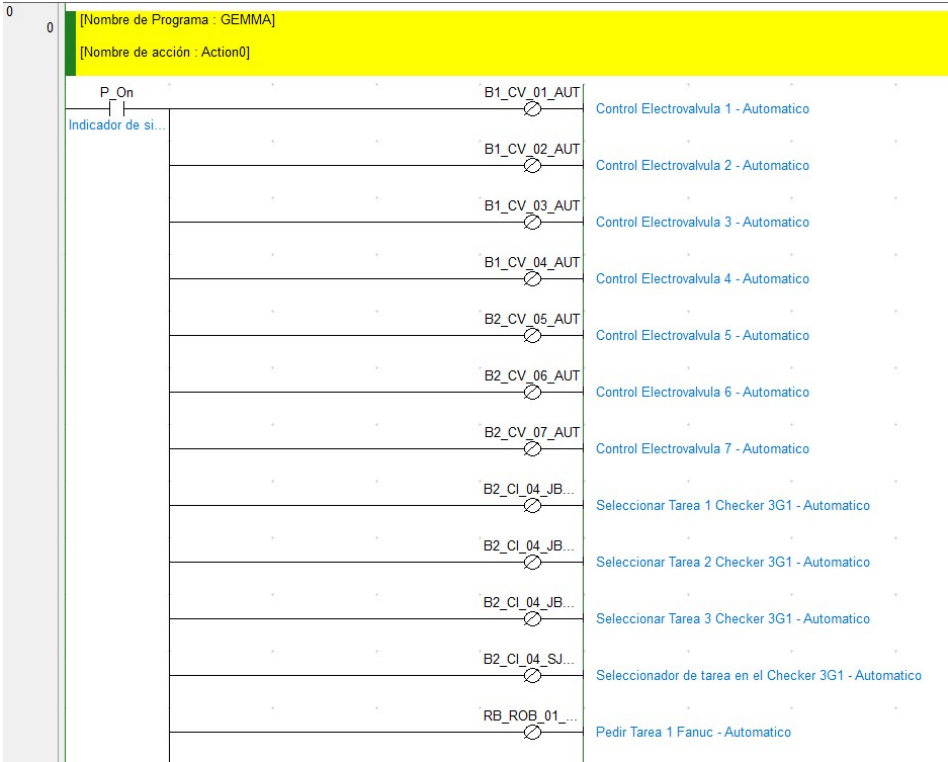


Figura 51. Acciones generales del Estado 'Parada Inicial' – Parte 1. Fuente: Elaboración propia, 2025.

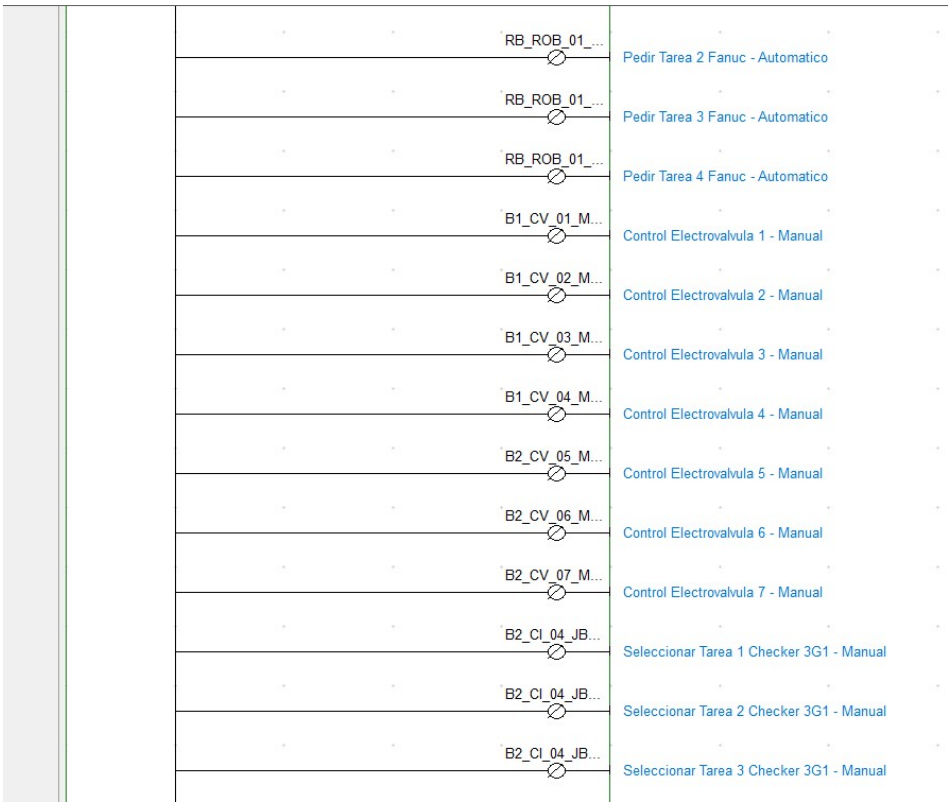


Figura 52. Acciones generales del Estado 'Parada Inicial' – Parte 2. Fuente: Elaboración propia, 2025.

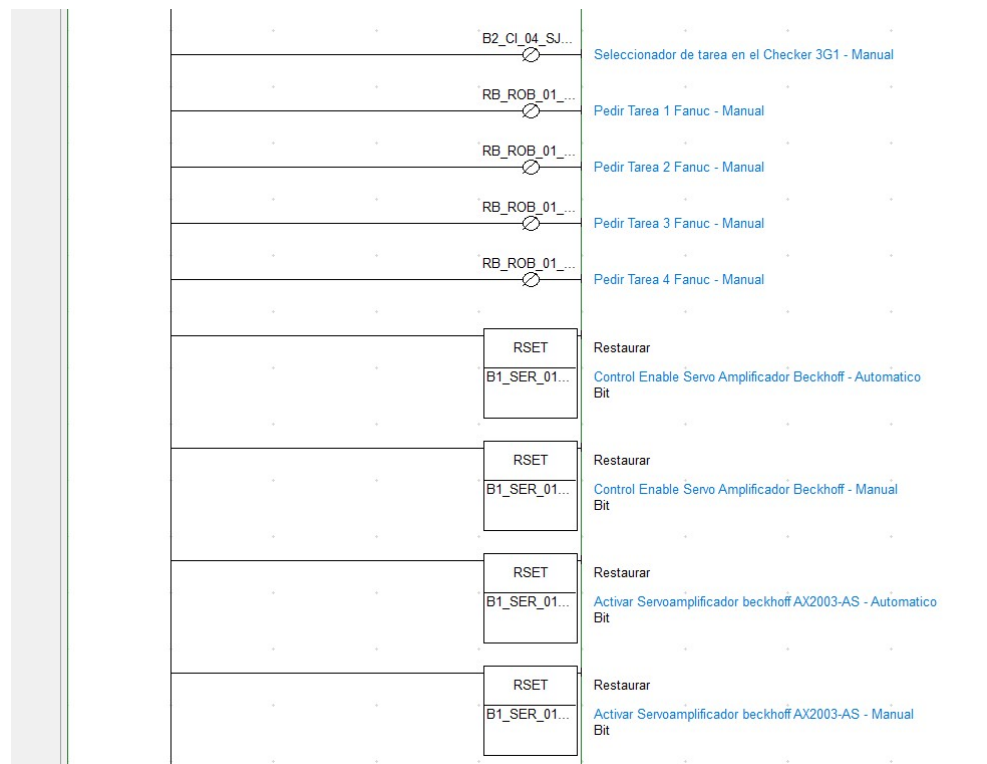


Figura 53. Acciones generales del Estado 'Parada Inicial' – Parte 3. Fuente: Elaboración propia, 2025.

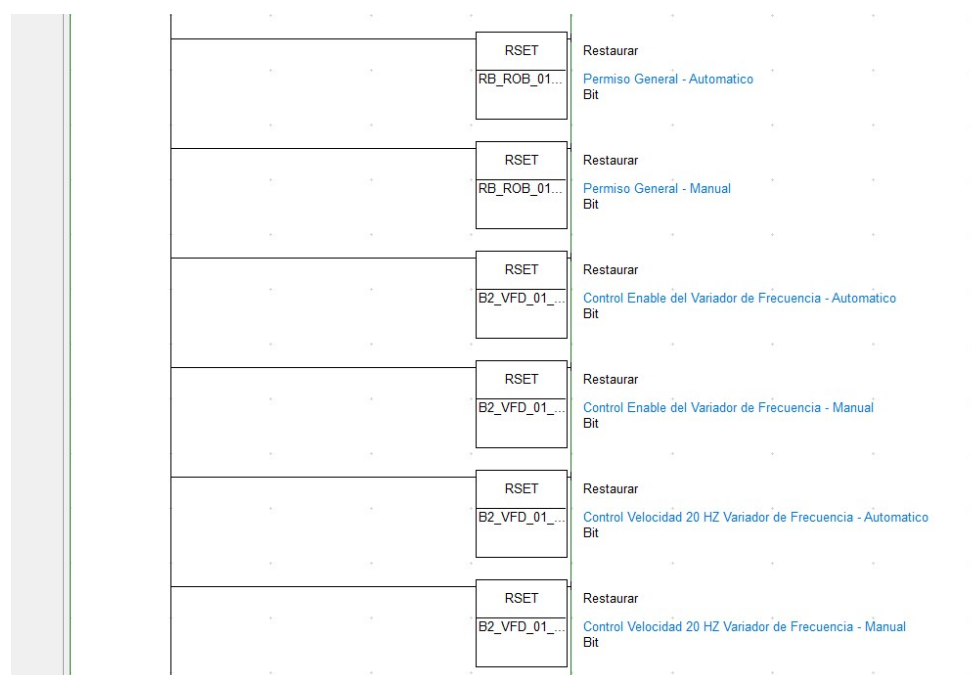


Figura 54. Acciones generales del Estado 'Parada Inicial' – Parte 4. Fuente: Elaboración propia, 2025.

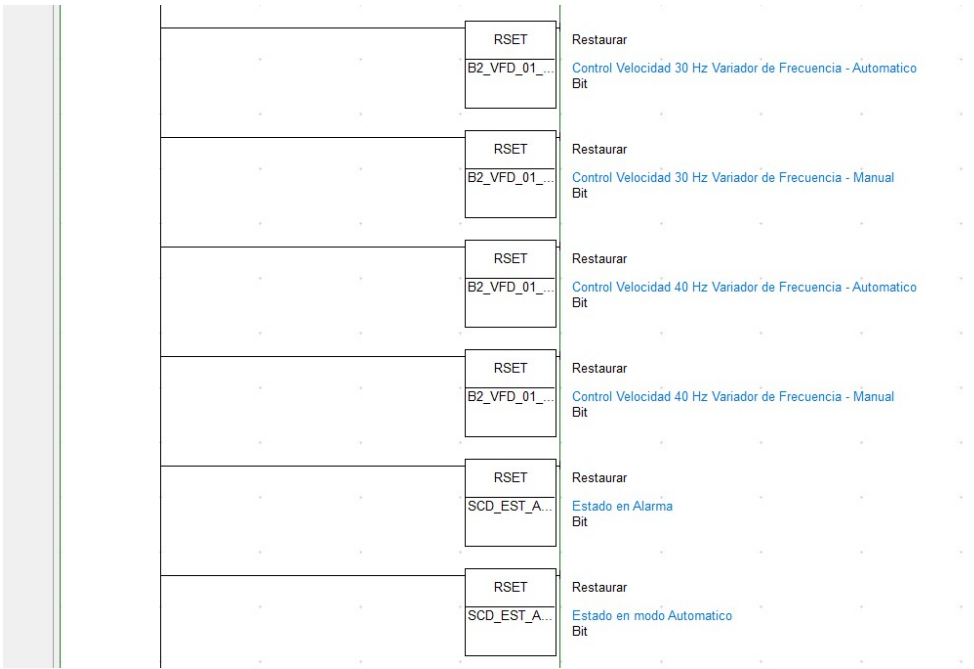


Figura 55. Acciones generales del Estado 'Parada Inicial' – Parte 5. Fuente: Elaboración propia, 2025.

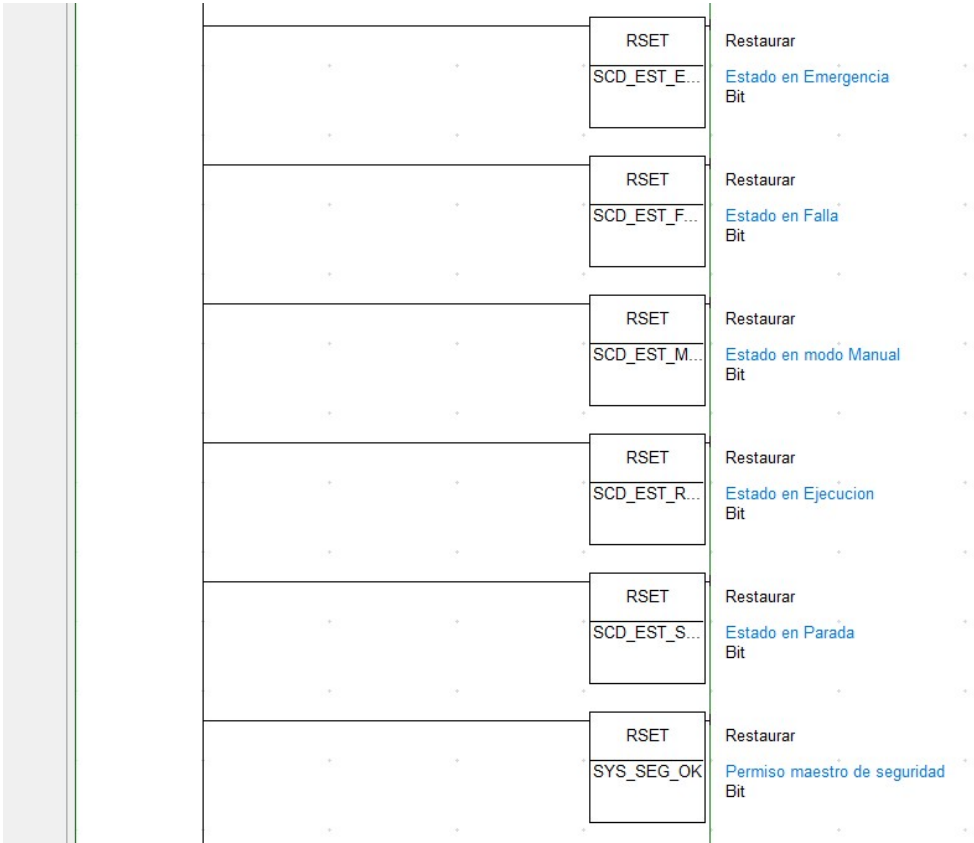


Figura 56. Acciones generales del Estado 'Parada Inicial' – Parte 6. Fuente: Elaboración propia, 2025.

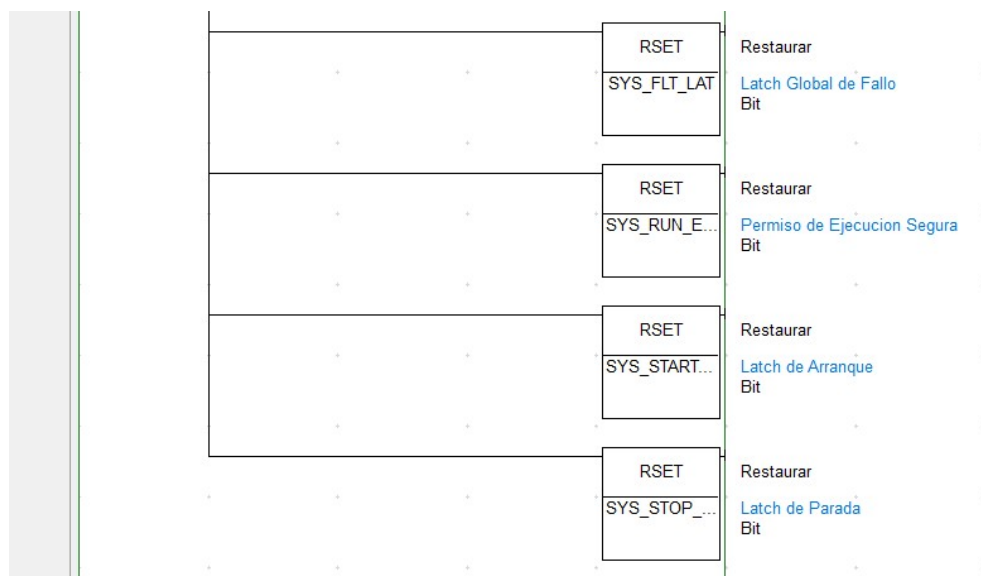


Figura 57. Acciones generales del Estado 'Parada Inicial' – Parte 7. Fuente: Elaboración propia, 2025.

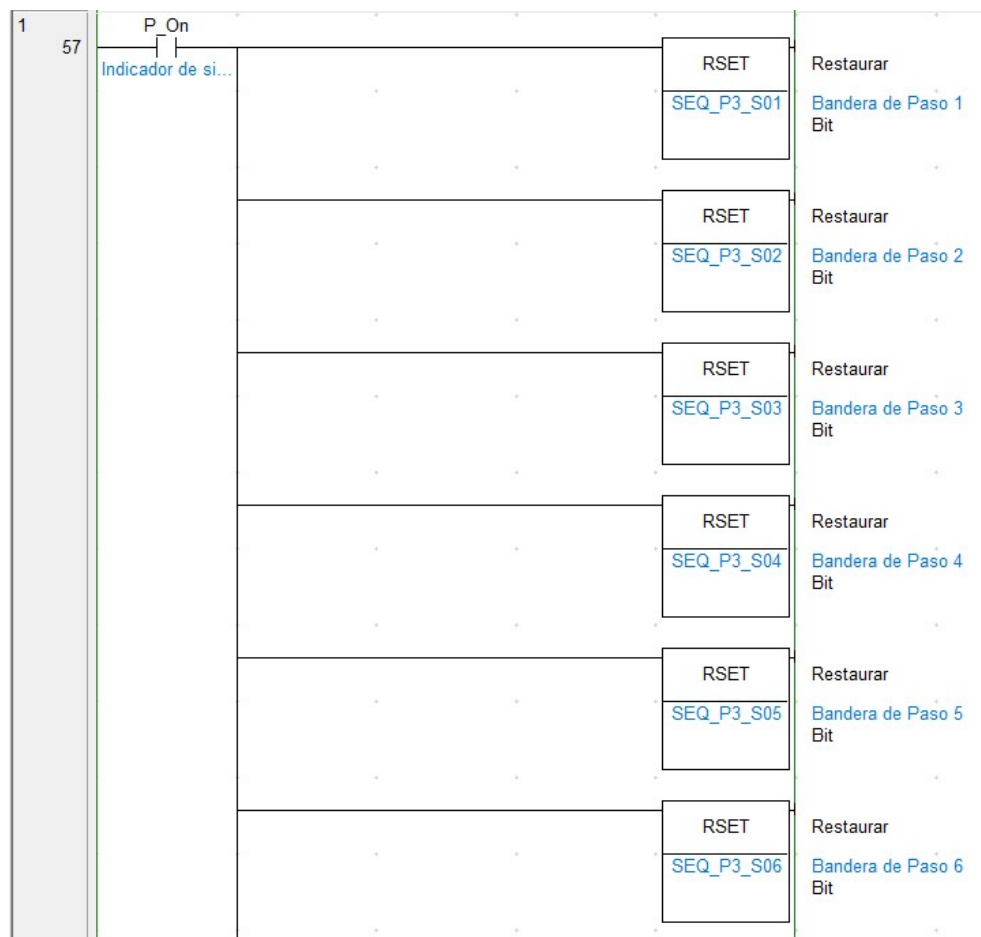


Figura 58. Acciones generales del Estado 'Parada Inicial' – Parte 8. Fuente: Elaboración propia, 2025.

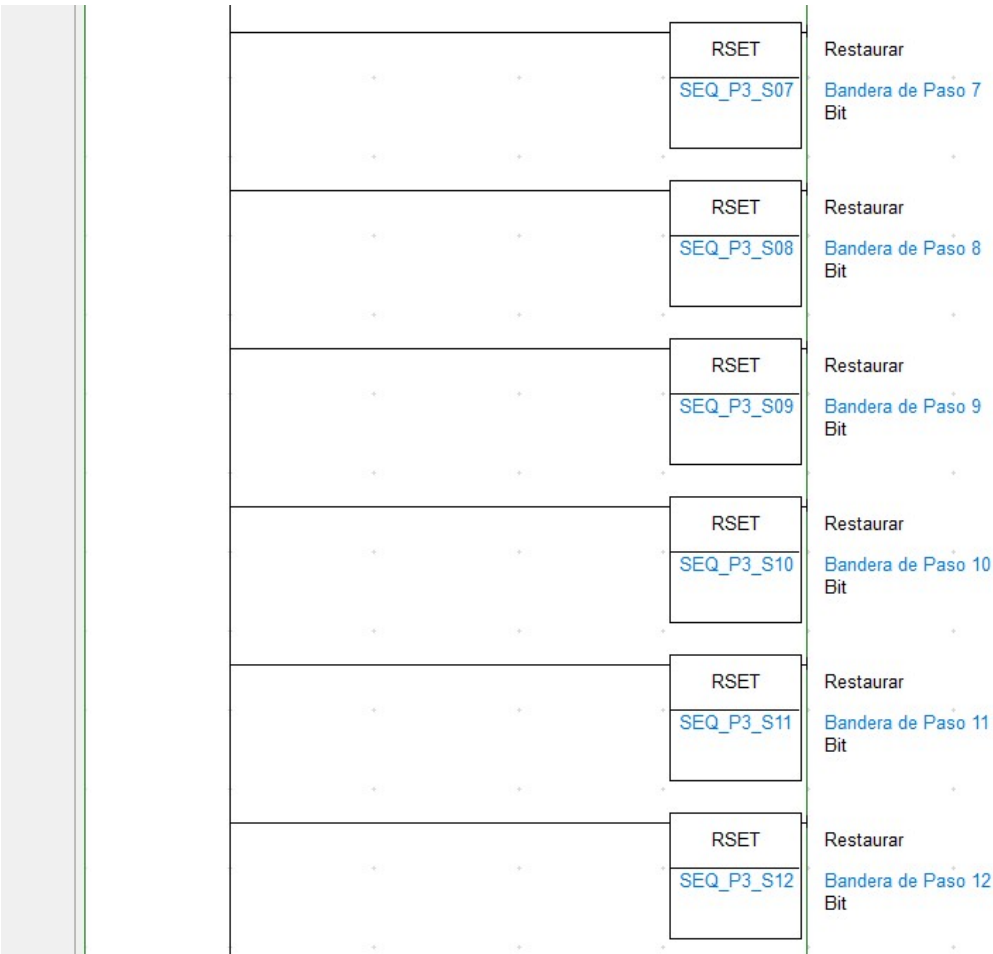


Figura 59. Acciones generales del Estado 'Parada Inicial' – Parte 9. Fuente: Elaboración propia, 2025.

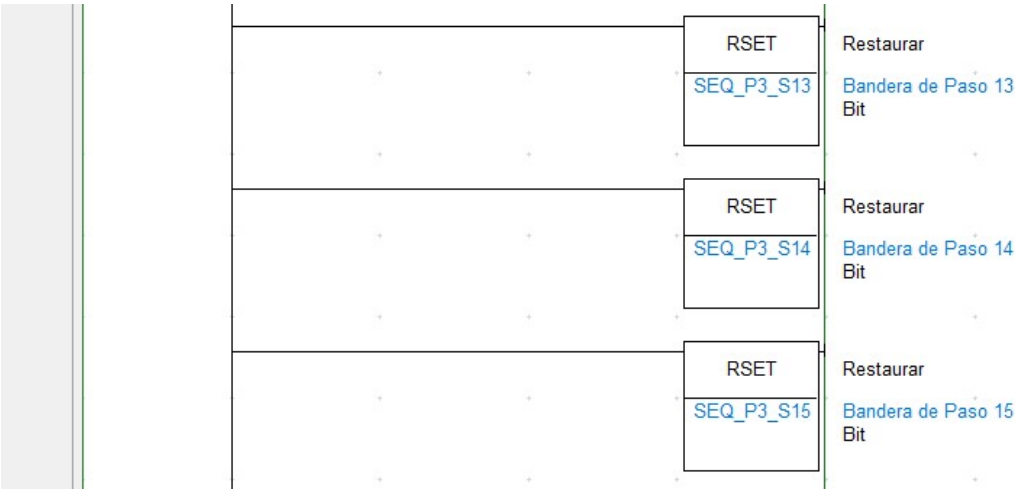


Figura 60. Acciones generales del Estado 'Parada Inicial' – Parte 10. Fuente: Elaboración propia, 2025.

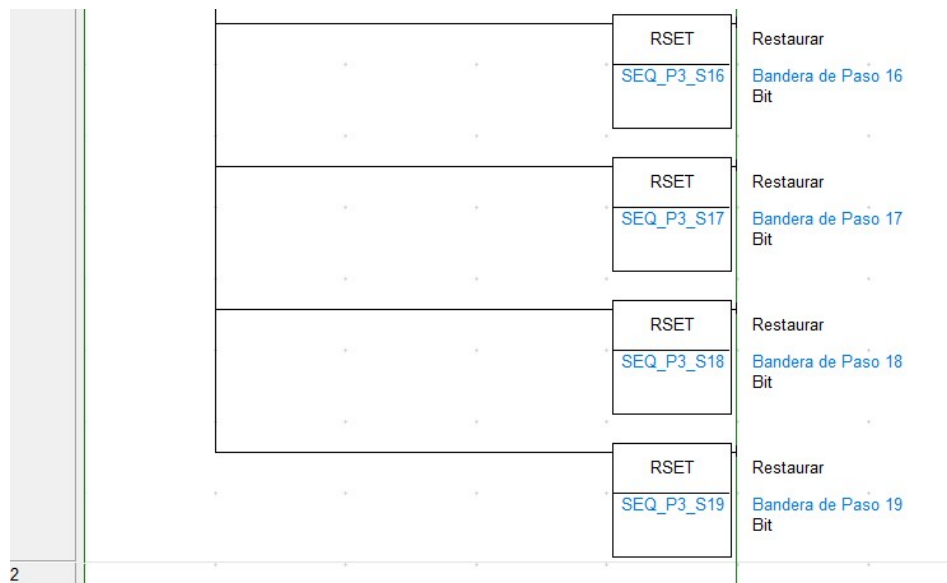


Figura 61. Acciones generales del Estado 'Parada Inicial' – Parte 11. Fuente: Elaboración propia, 2025.

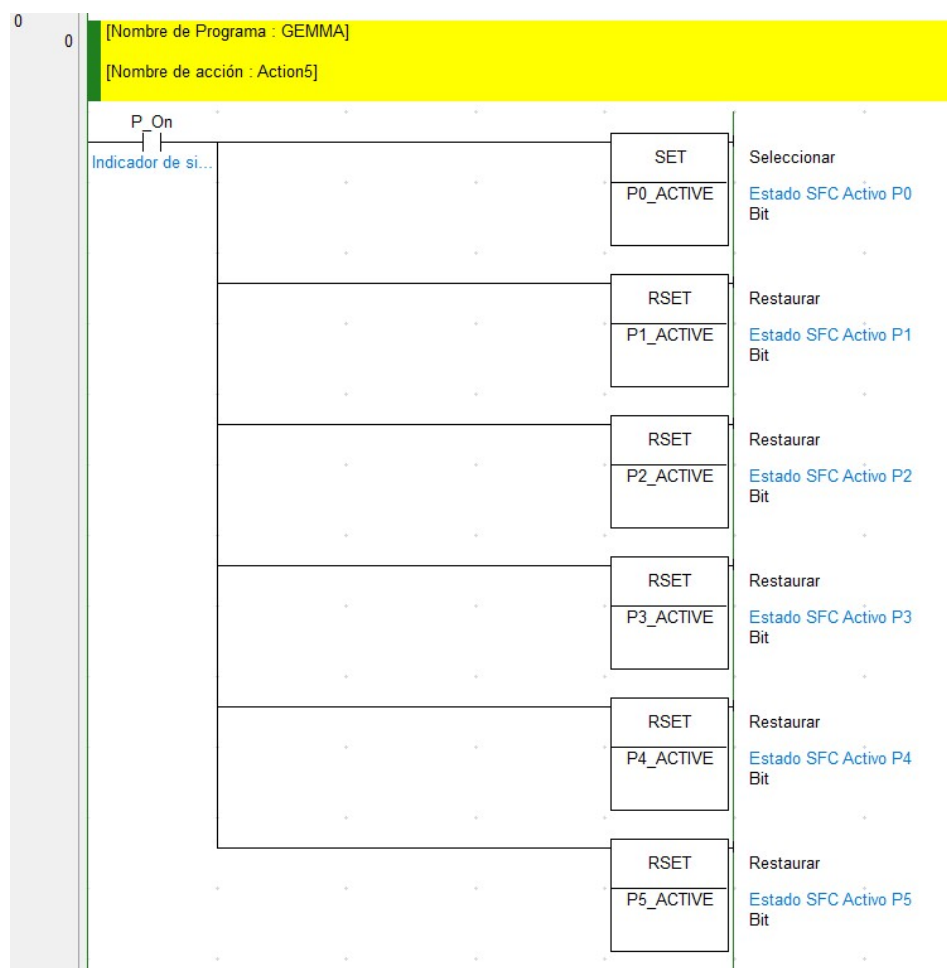


Figura 62. Acciones de activación del Estado 'Parada Inicial'. Fuente: Elaboración propia, 2025.

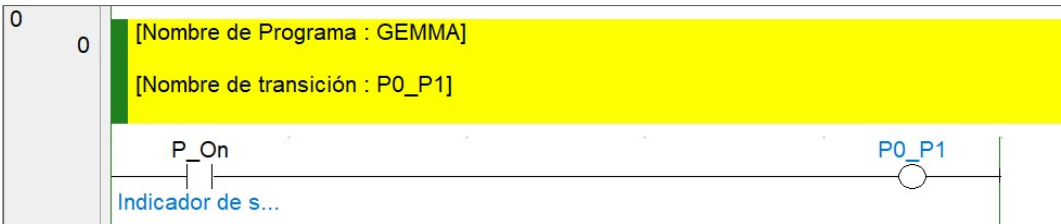


Figura 63. Condiciones de Transición 'Parada Inicial a Arranque'. Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.7.4. Arranque

En este estado se validan las condiciones iniciales necesarias para habilitar la operación. Se verifica que los sistemas de seguridad estén activos, que no existan fallos latentes y que el modo de operación se encuentre correctamente definido. Aunque los actuadores permanecen deshabilitados, el estado P1 permite preparar la transición hacia el estado de espera (P2), garantizando que la planta se halle en condiciones seguras y completamente lista para operar.

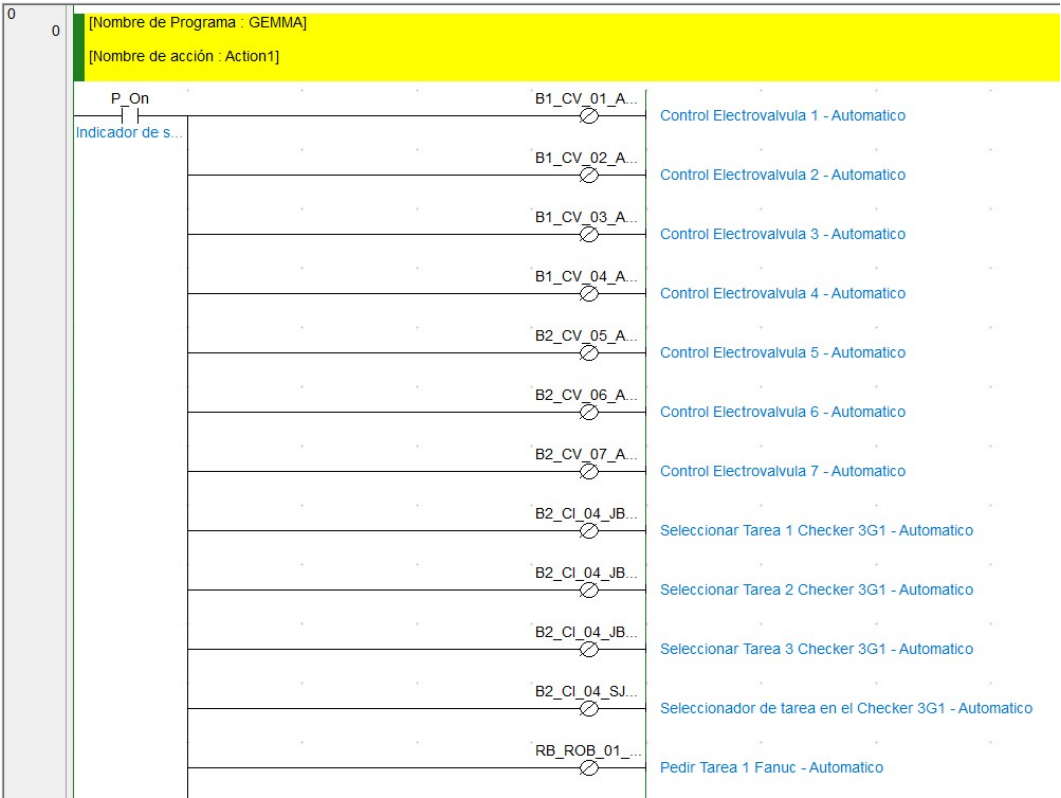


Figura 64. Acciones Generales del Estado 'Arranque' – Parte 1. Fuente: Elaboración propia, 2025.

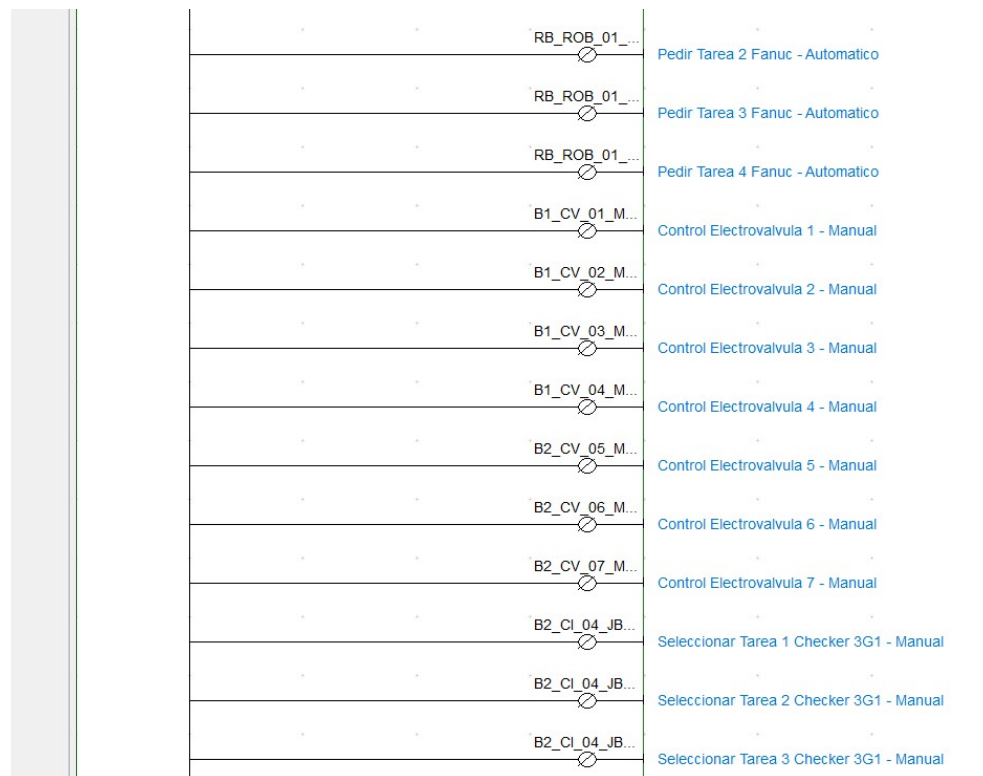


Figura 65. Acciones Generales del Estado 'Arranque' – Parte 2. Fuente: Elaboración propia, 2025.

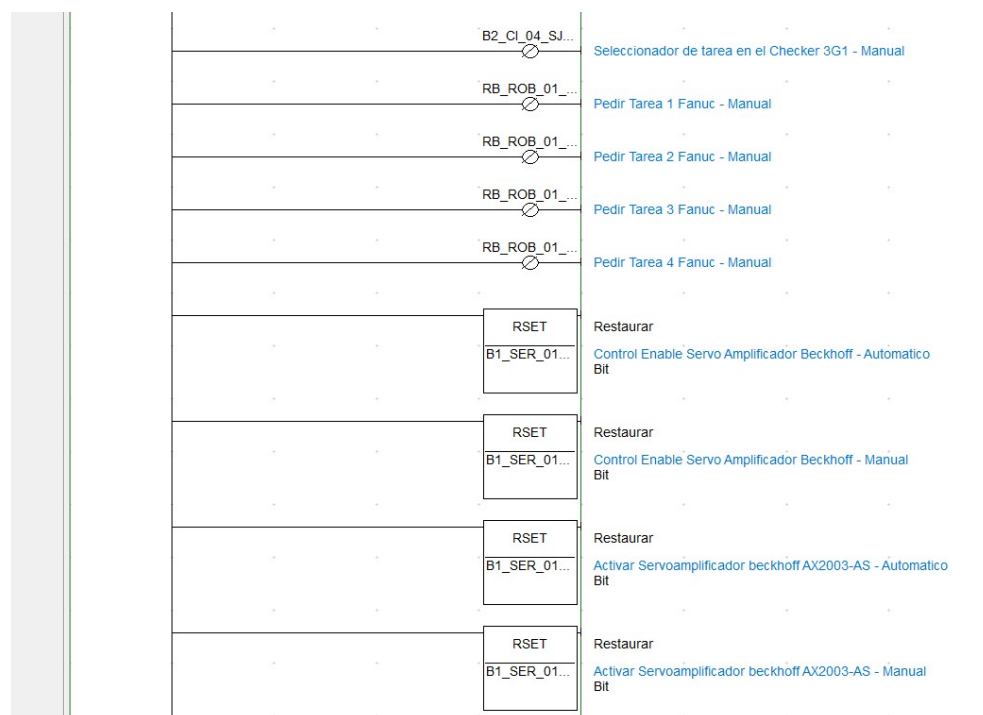


Figura 66. Acciones Generales del Estado 'Arranque' – Parte 3. Fuente: Elaboración propia, 2025.

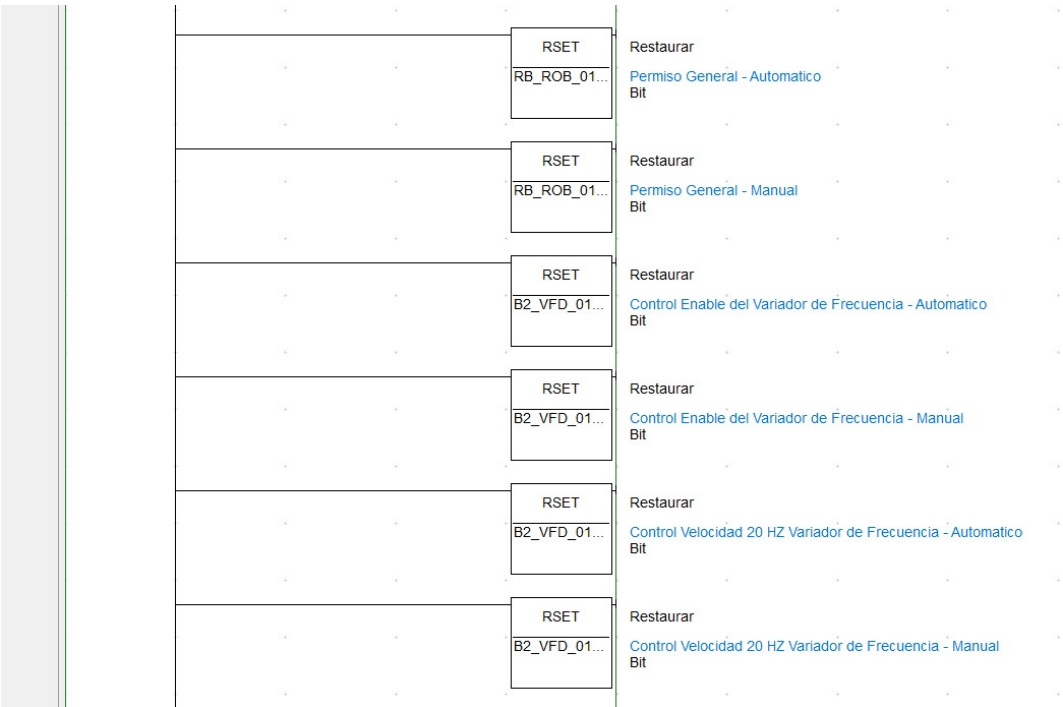


Figura 67. Acciones Generales del Estado 'Arranque' – Parte 4. Fuente: Elaboración propia, 2025.

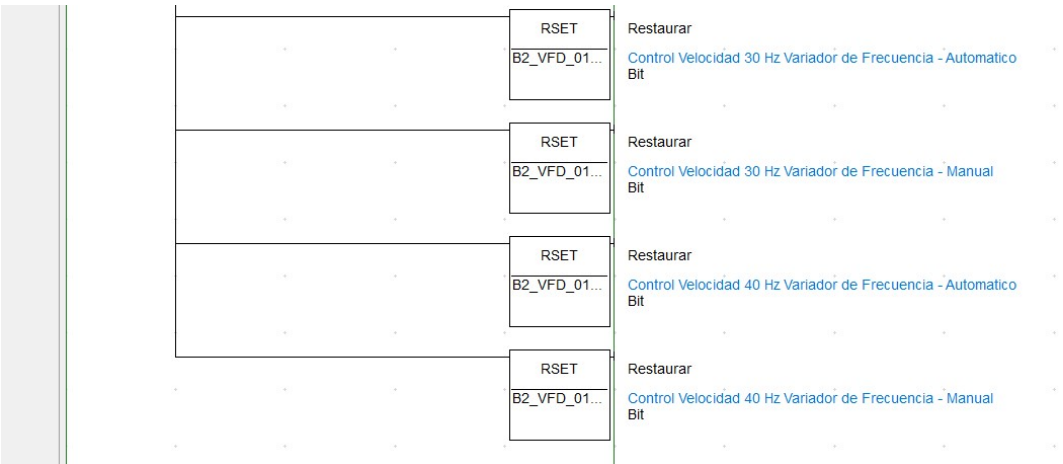


Figura 68. Acciones Generales del Estado 'Arranque' – Parte 5. Fuente: Elaboración propia, 2025.

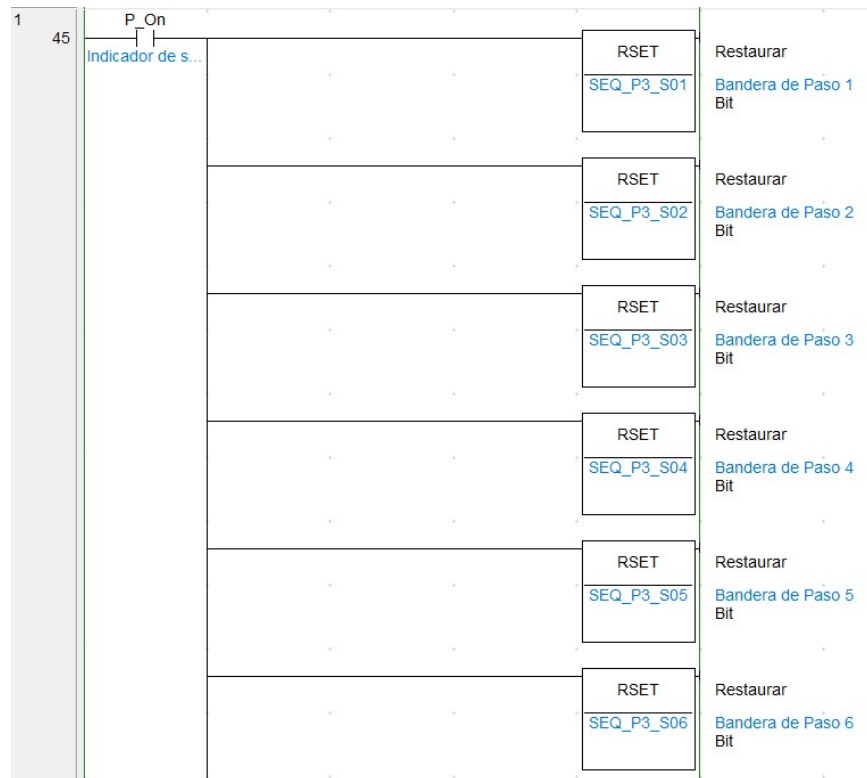


Figura 69. Acciones Generales del Estado 'Arranque' – Parte 6. Fuente: Elaboración propia, 2025.

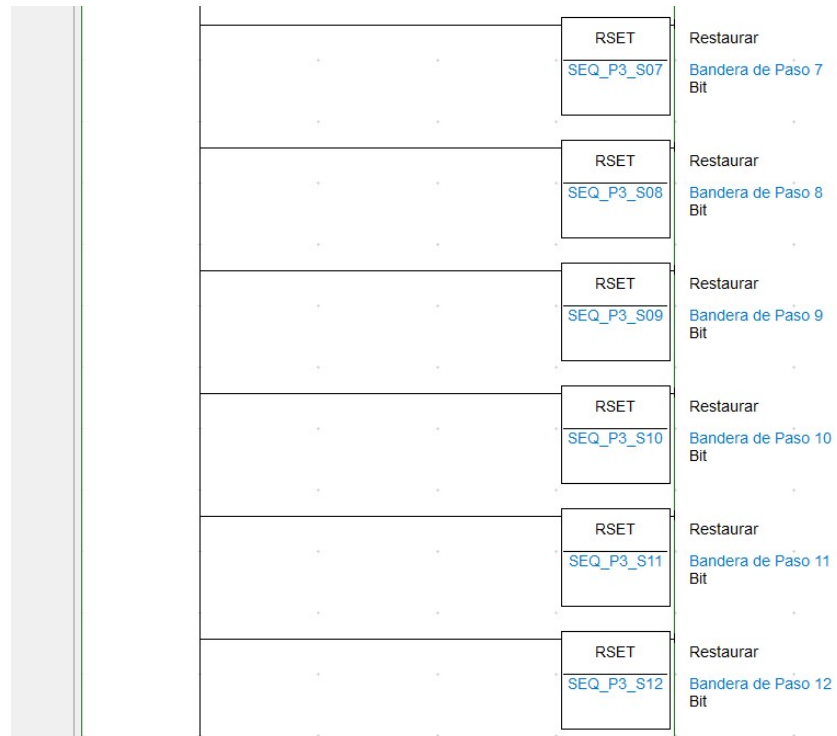


Figura 70. Acciones Generales del Estado 'Arranque' – Parte 7. Fuente: Elaboración propia, 2025.

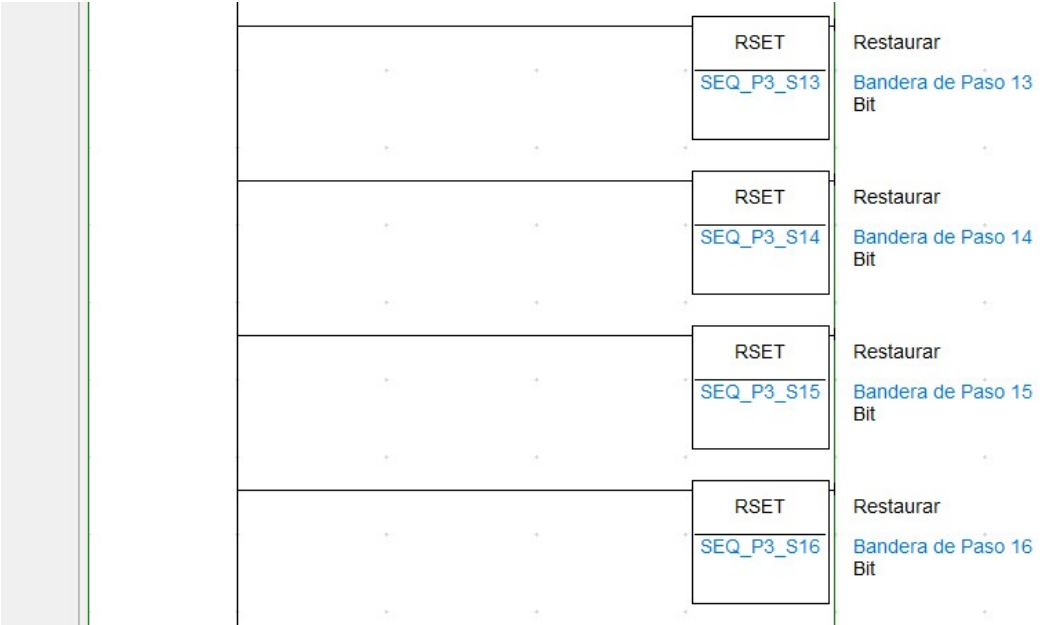


Figura 71. Acciones Generales del Estado 'Arranque' – Parte 8. Fuente: Elaboración propia, 2025.

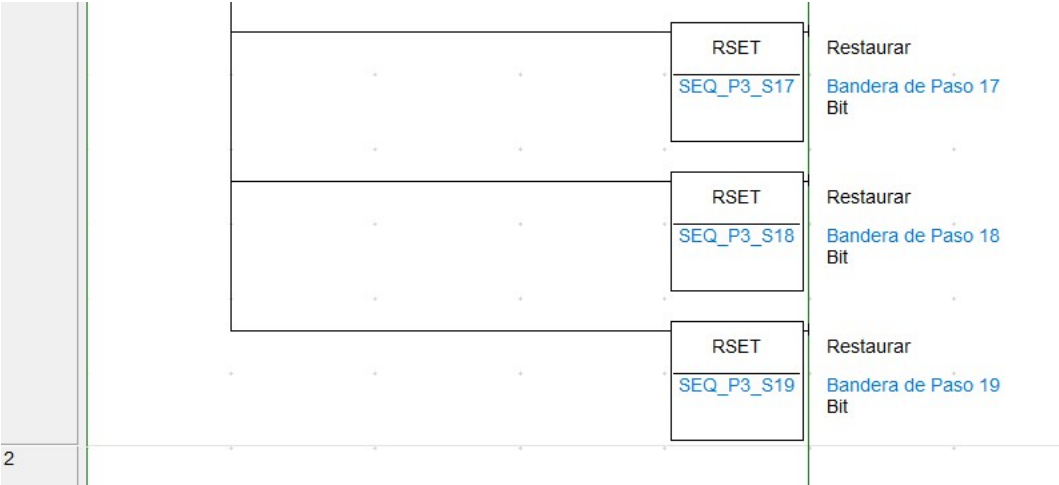


Figura 72. Acciones Generales del Estado 'Arranque' – Parte 9. Fuente: Elaboración propia, 2025.

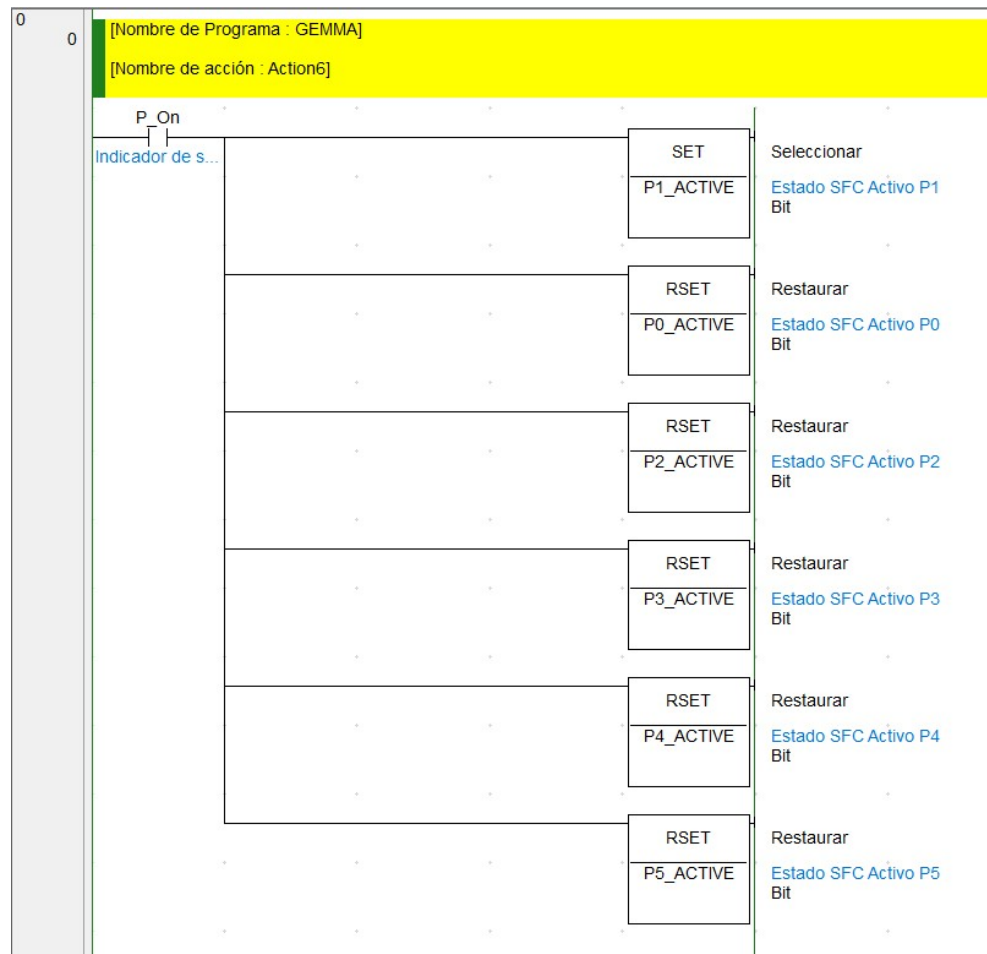


Figura 73. Acciones de activación del Estado 'Arranque'. Fuente: Elaboración propia, 2025.

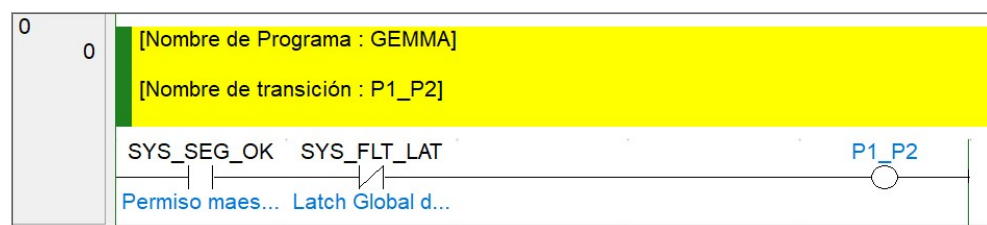


Figura 74. Condiciones de Transición 'Arranque a StandBy'. Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.7.5. StandBy

El estado de Standby corresponde a la condición en la que la célula se encuentra en reposo seguro y lista para iniciar el modo de producción automática. Todos los actuadores permanecen desactivados, aunque el sistema ya ha superado las validaciones iniciales y está preparado para recibir la orden de arranque. Se trata de un estado de espera estable, que permite al operador decidir el momento exacto

en el que comienza la producción, es por esto que las acciones generales realizadas en este estado del SFC son las mismas utilizadas en el estado anterior.

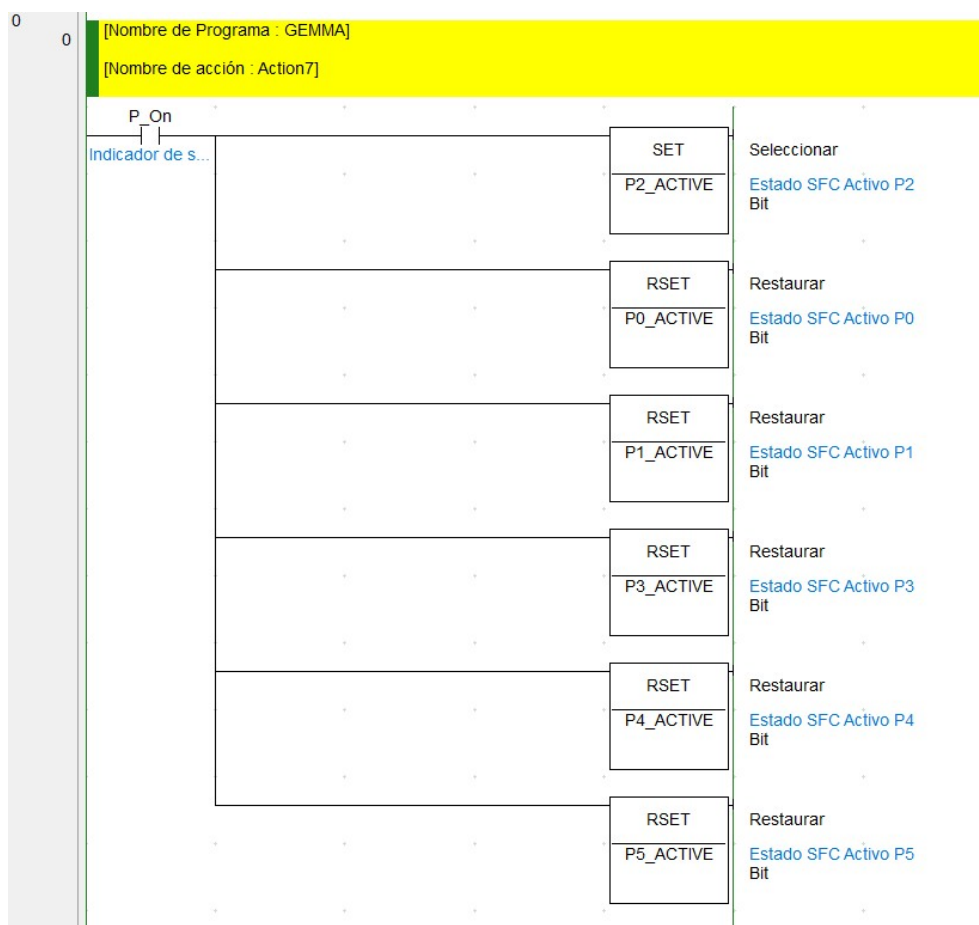


Figura 75. Acciones de activación del Estado 'StandBy'. Fuente: Elaboración propia, 2025.

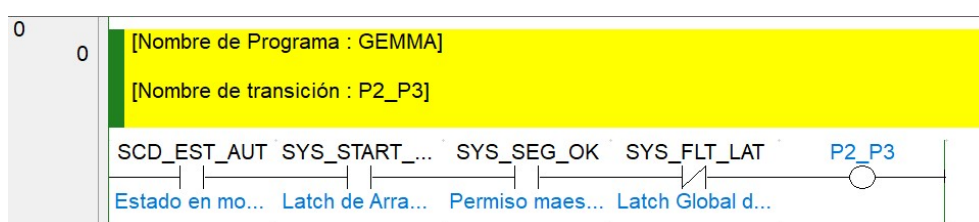


Figura 76. Condiciones de Transición 'StandBy a Producción Automática'. Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.7.6. Producción Automática

El estado de Producción automática concentra la lógica secuencial principal de la célula y constituye la fase en la que se ejecuta el proceso de producción de forma completamente automática. A partir de este estado se activan las acciones de control sobre los actuadores, las bandas transportadoras, el robot y los dispositivos asociados, siguiendo la secuencia definida en el programa. Durante la

producción, se mantienen activas las supervisiones de seguridad y de fallos, garantizando que cualquier condición anómala provoque la interrupción inmediata del proceso, preservando así la integridad del sistema y la seguridad operativa.

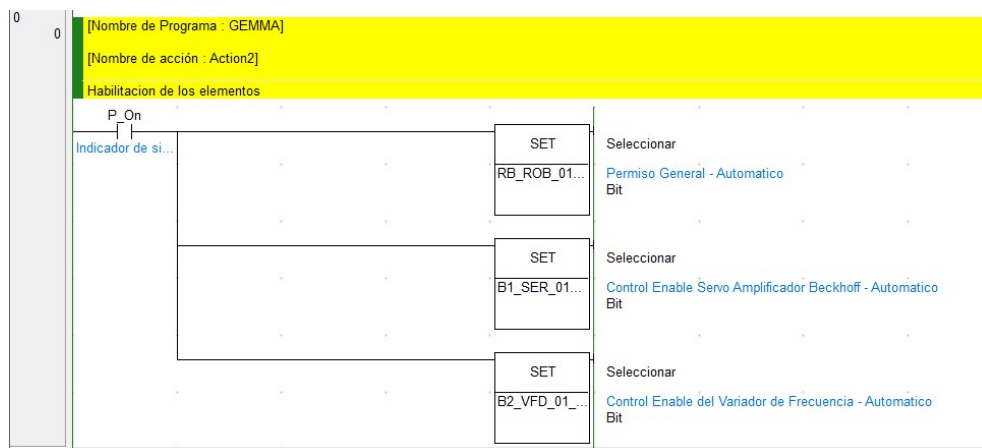


Figura 77. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Habilitación de los Elementos. Fuente: Elaboración propia, 2025.

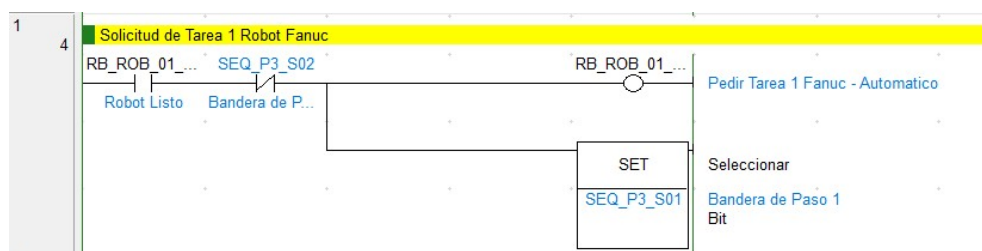


Figura 78. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Solicitud de Tarea 1 Robot FANUC. Fuente: Elaboración propia, 2025.

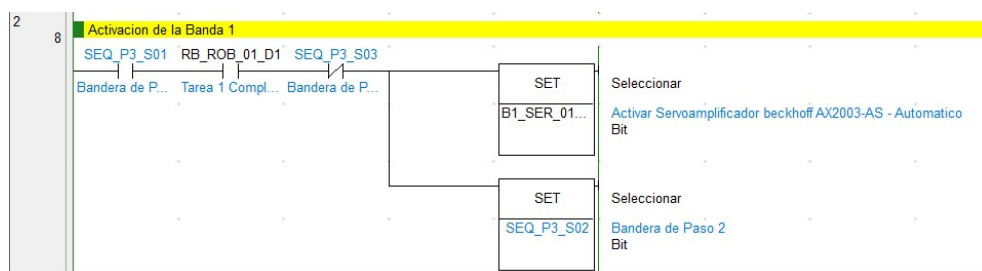


Figura 79. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Activación de la Banda 1. Fuente: Elaboración propia, 2025.

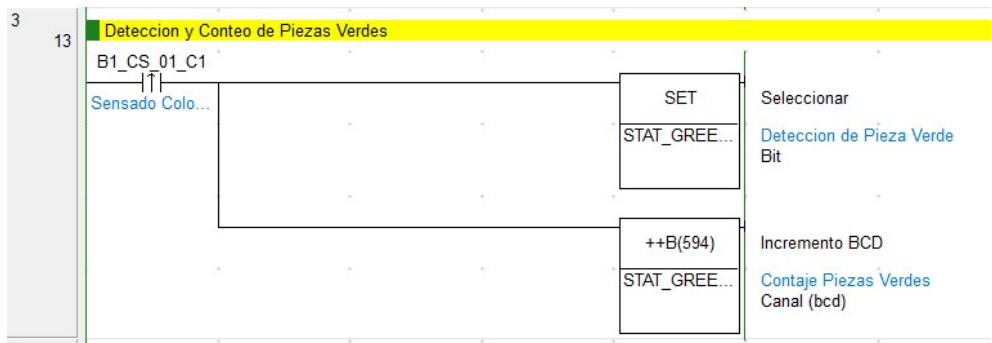


Figura 80. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Detección y Conteo de Piezas Verdes. Fuente: Elaboración propia, 2025.

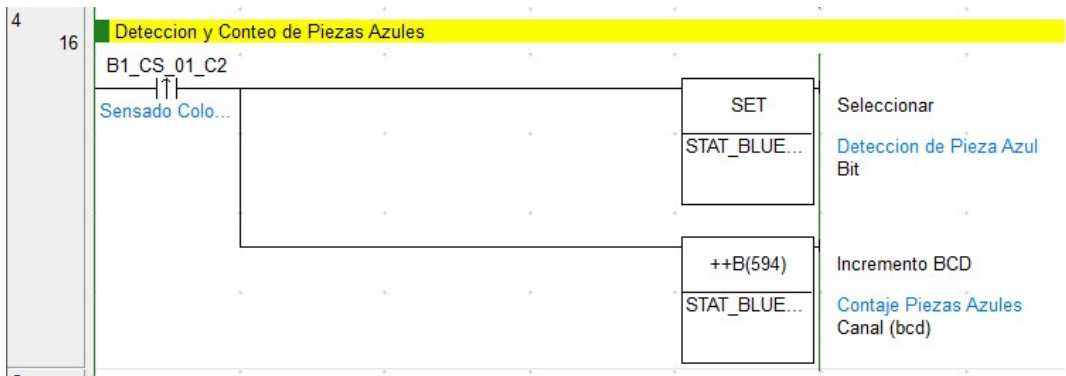


Figura 81. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Detección y Conteo de Piezas Azules. Fuente: Elaboración propia, 2025.

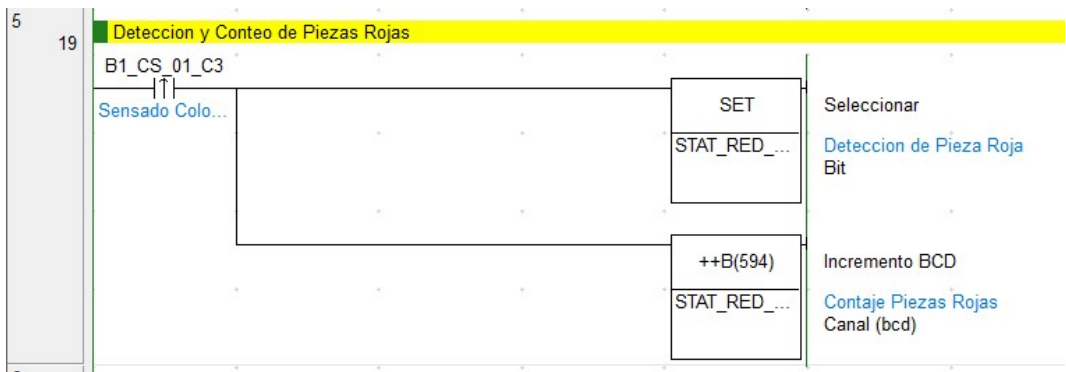


Figura 82. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Detección y Conteo de Piezas Rojas. Fuente: Elaboración propia, 2025.

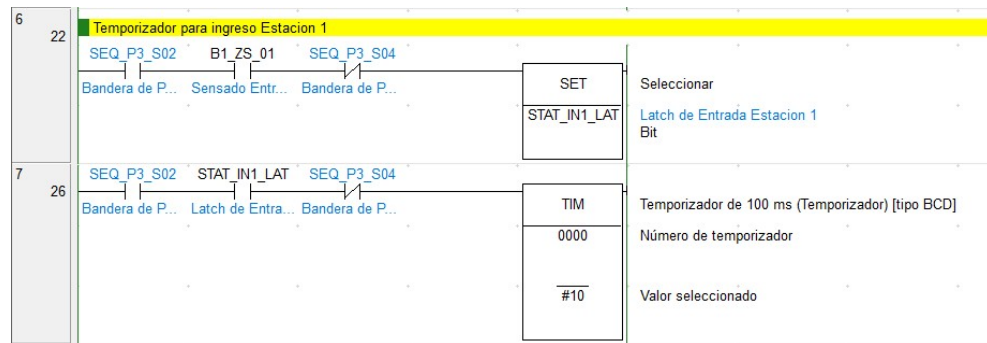


Figura 83. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Temporizador para ingreso Estación 1. Fuente: Elaboración propia, 2025.

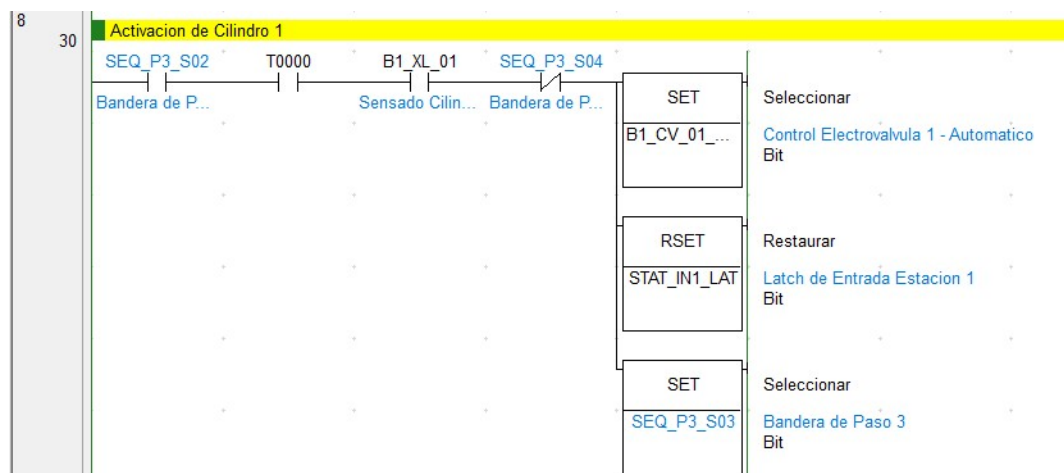


Figura 84. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Activación de Cilindro 1. Fuente: Elaboración propia, 2025.

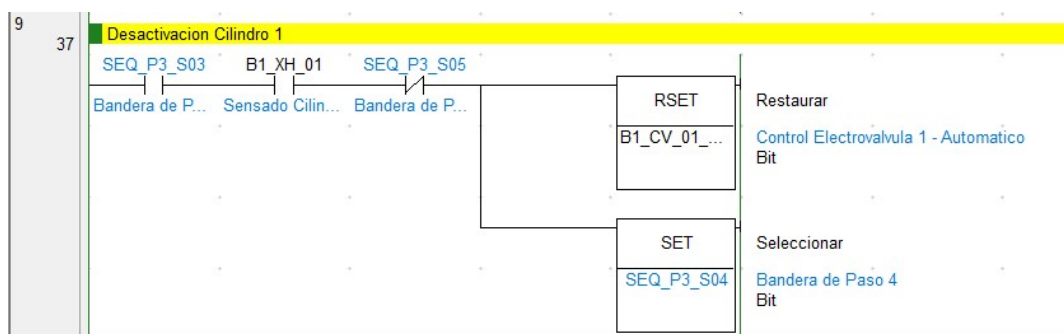


Figura 85. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Desactivación Cilindro 1. Fuente: Elaboración propia, 2025.

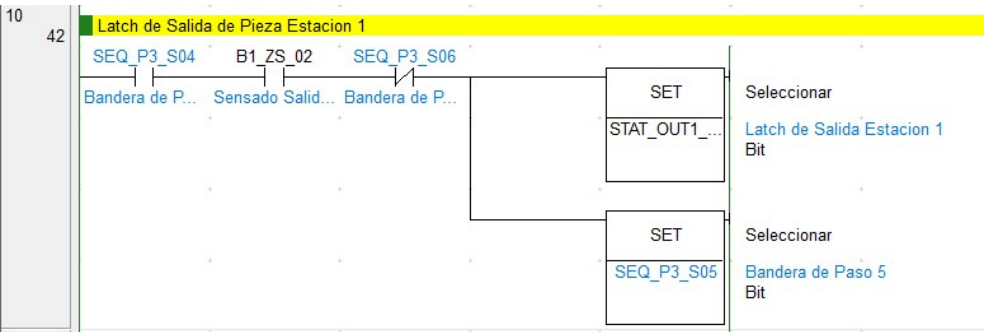


Figura 86. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Latch de Salida Estación 1. Fuente: Elaboración propia, 2025.

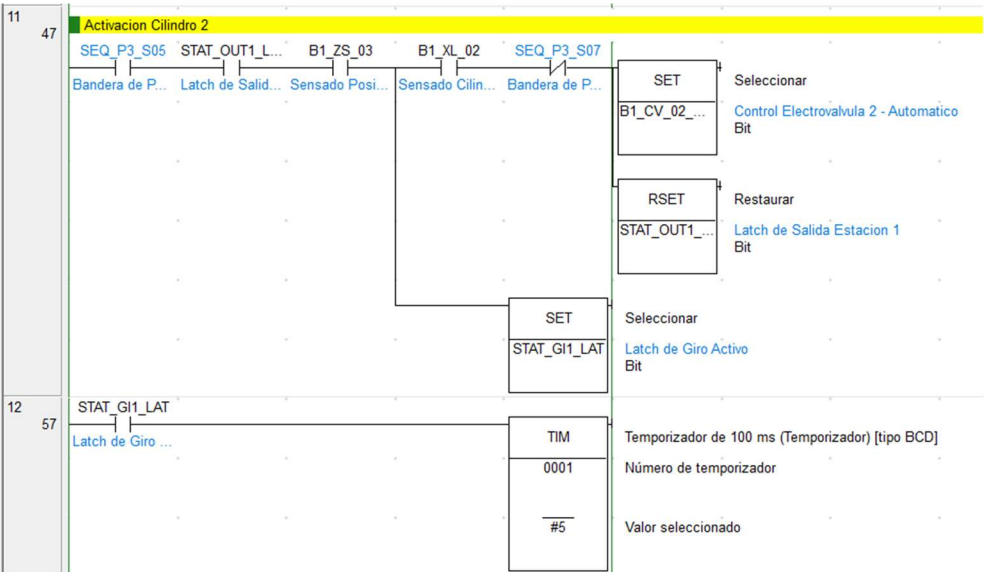


Figura 87. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Activación Cilindro 2. Fuente: Elaboración propia, 2025.

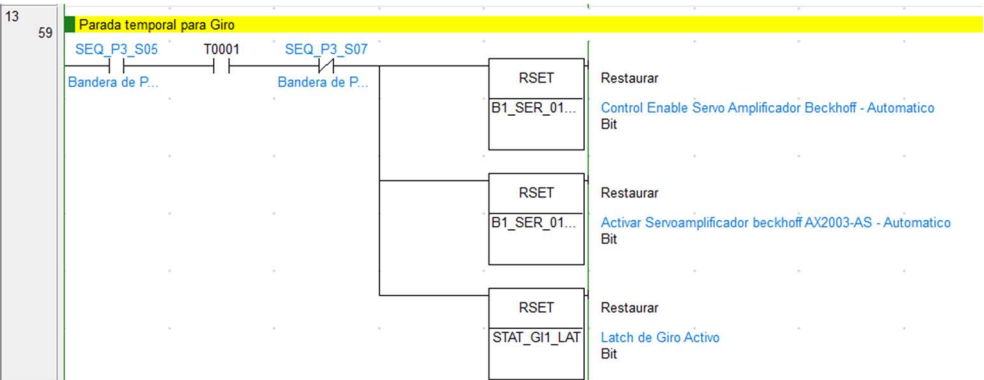


Figura 88. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Parada Temporal para Giro. Fuente: Elaboración propia, 2025.

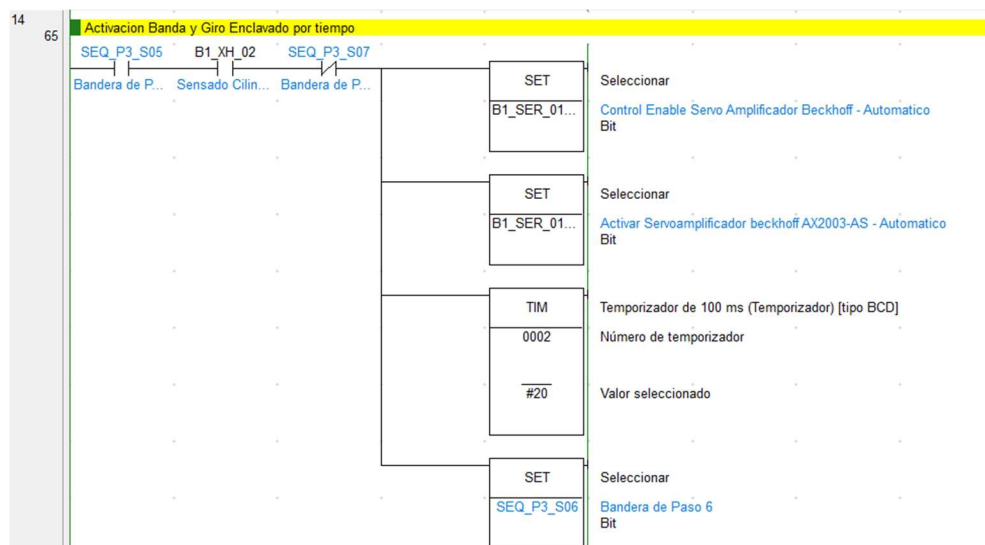


Figura 89. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Activación Banda y Giro Enclavado por tiempo. Fuente: Elaboración propia, 2025.

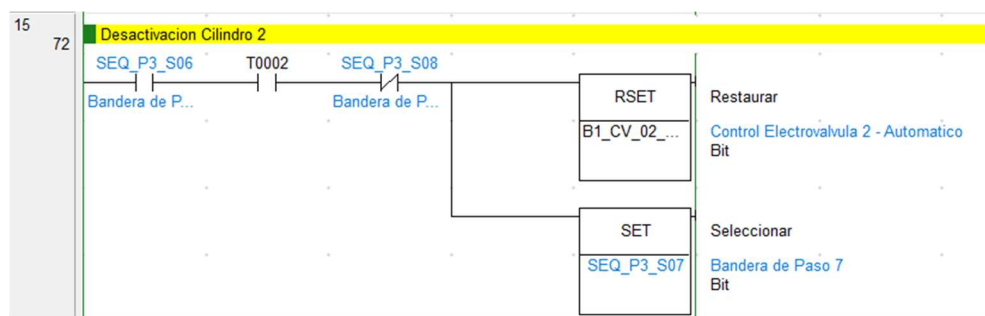


Figura 90. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Desactivación Cilindro 2. Fuente: Elaboración propia, 2025.

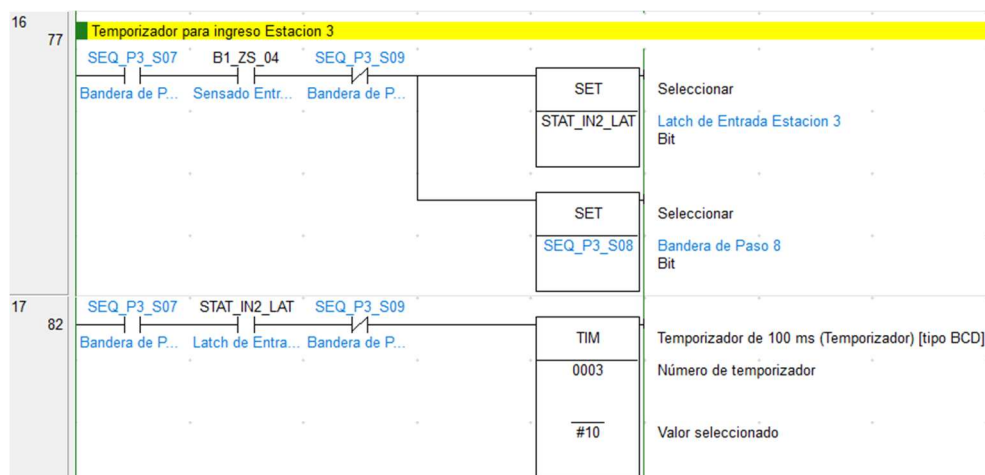


Figura 91. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Temporizador para ingreso Estación 3. Fuente: Elaboración propia, 2025.

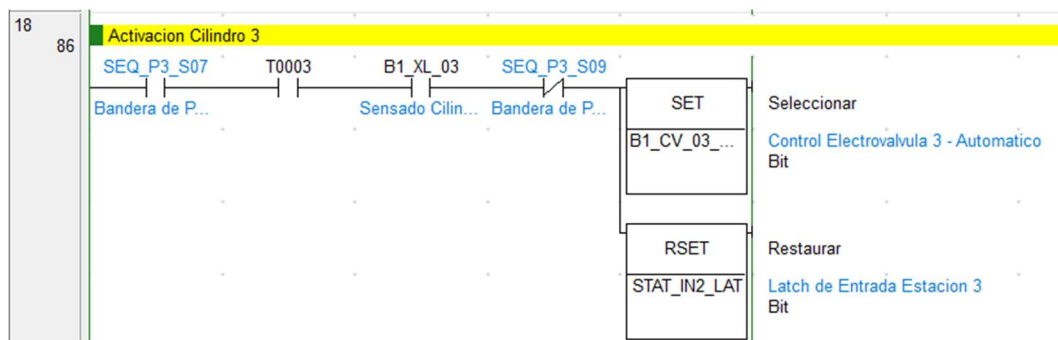


Figura 92. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Activación Cilindro 3. Fuente: Elaboración propia, 2025.

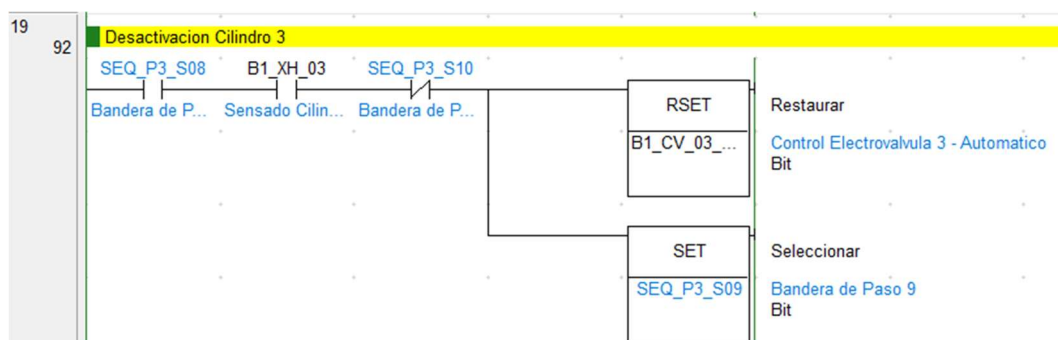


Figura 93. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Desactivación Cilindro 3. Fuente: Elaboración propia, 2025.

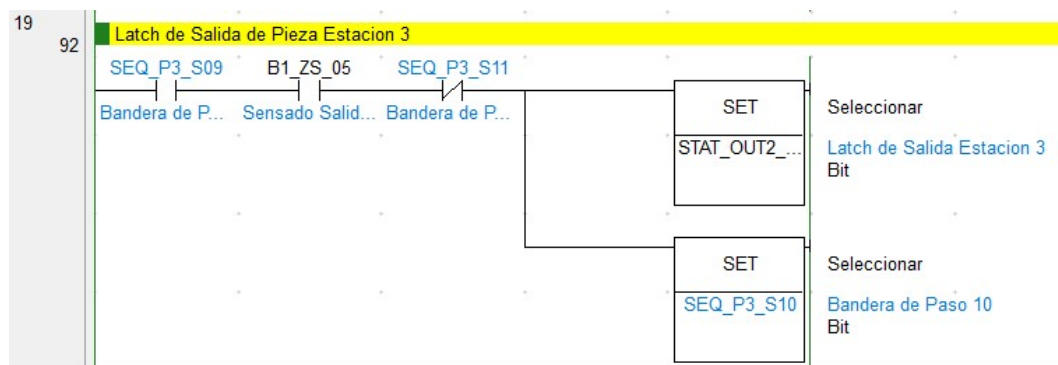


Figura 94. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Latch de Salida de Pieza Estación 3. Fuente: Elaboración propia, 2025.

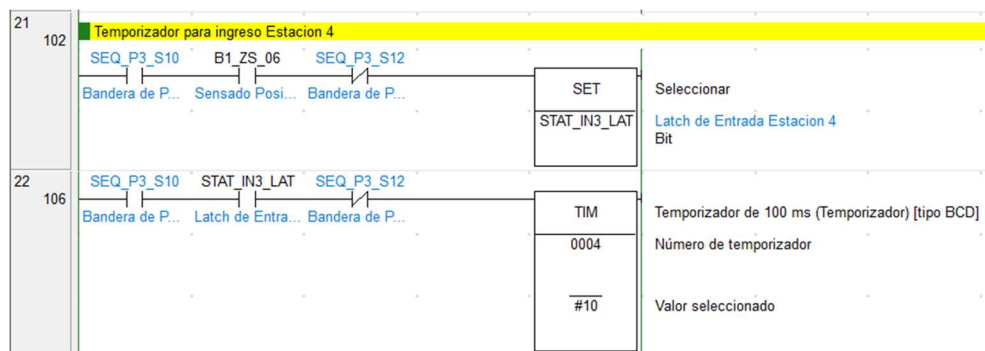


Figura 95. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Temporizador para ingreso Estación 4. Fuente: Elaboración propia, 2025.

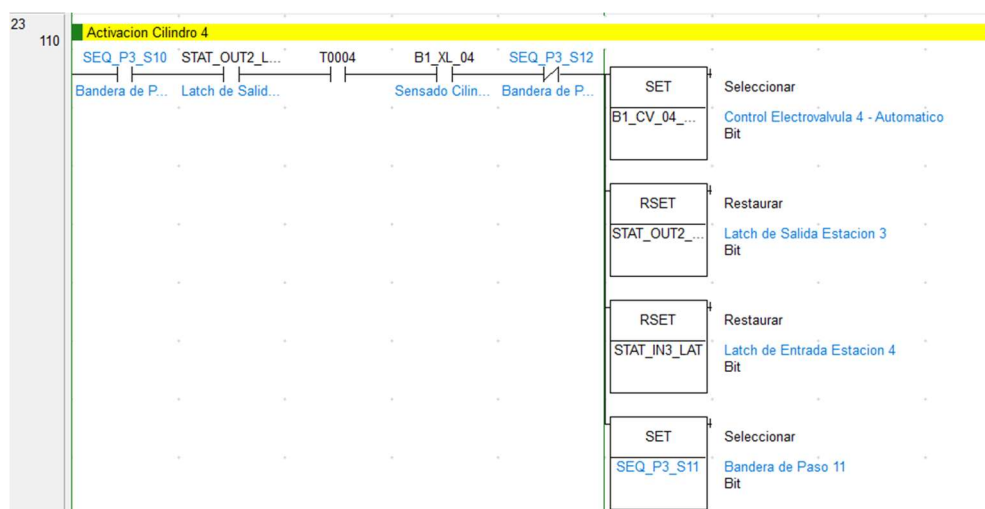


Figura 96. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Activación Cilindro 4. Fuente: Elaboración propia, 2025.

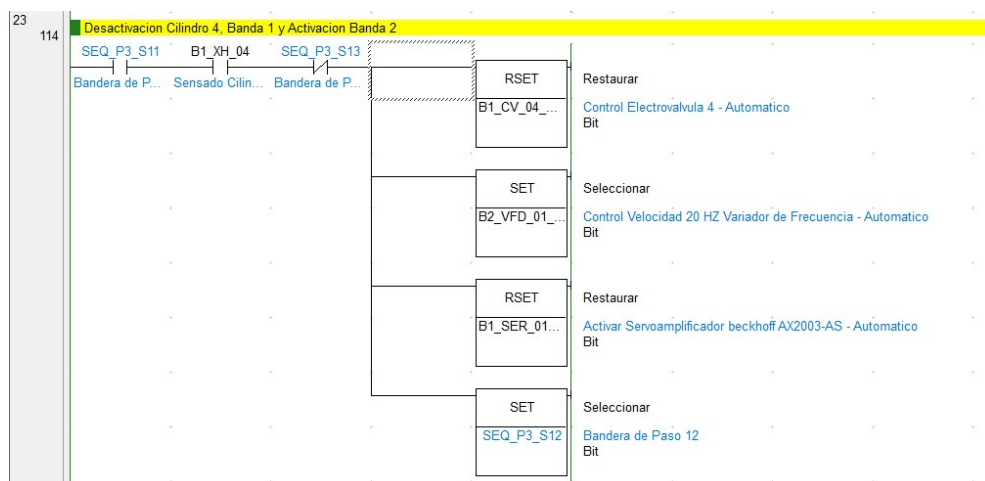


Figura 97. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Desactivación de Cilindro 4 y Banda 1, Activación de Banda 2. Fuente: Elaboración propia, 2025.

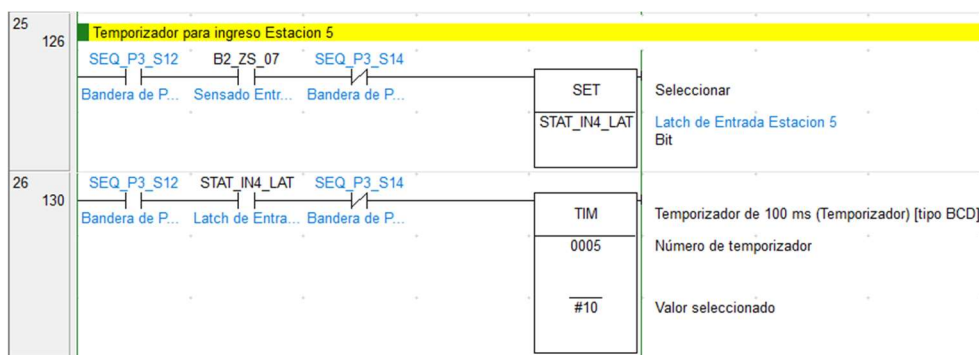


Figura 98. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – temporizador para ingreso Estación 5. Fuente: Elaboración propia, 2025.

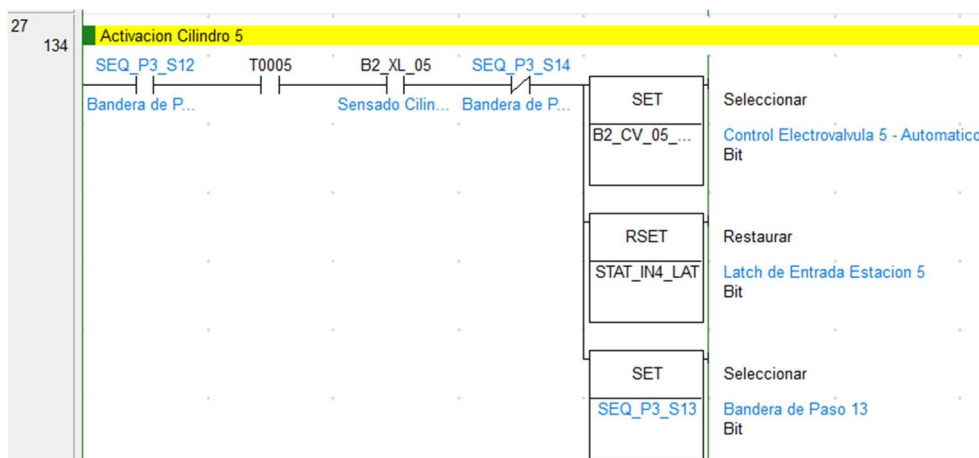


Figura 99. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Activación Cilindro 5. Fuente: Elaboración propia, 2025.

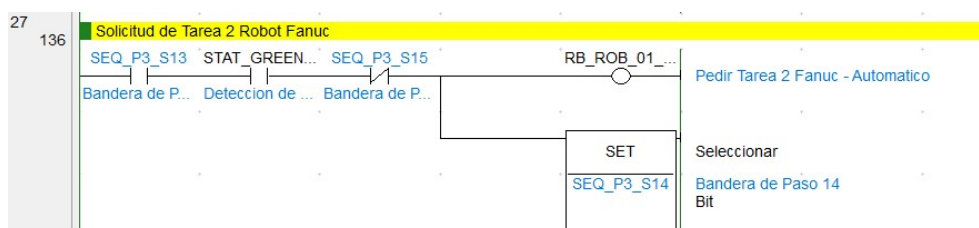


Figura 100. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Solicitud Tarea 2 Robot FANUC. Fuente: Elaboración propia, 2025.

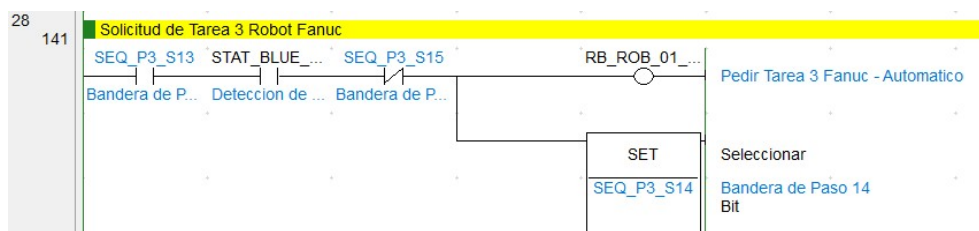


Figura 101. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Solicitud de Tarea 3 Robot FANUC. Fuente: Elaboración propia, 2025.

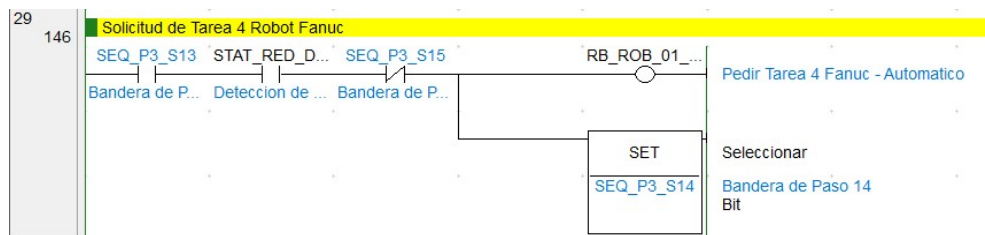


Figura 102. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Solicitud de tare 4 Robot FANUC. Fuente: Elaboración propia, 2025.

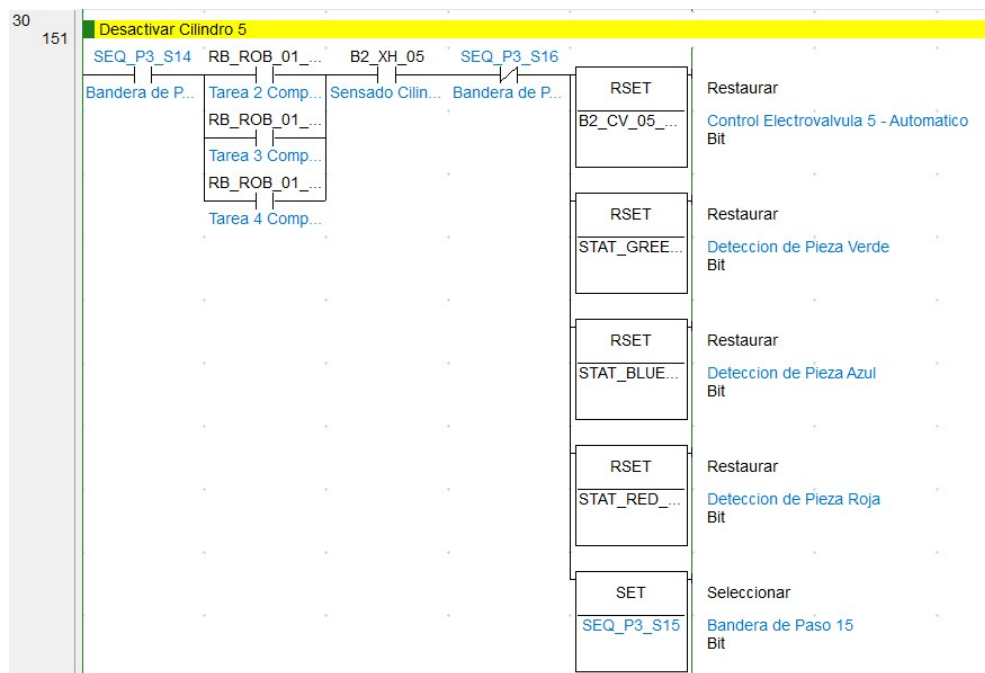


Figura 103. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Desactivación Cilindro 5. Fuente: Elaboración propia, 2025.

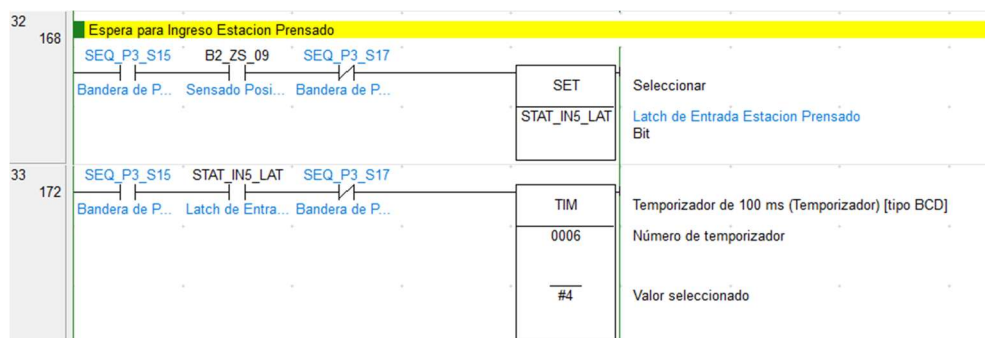


Figura 104. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Espera para ingreso Estación Prensado. Fuente: Elaboración propia, 2025.

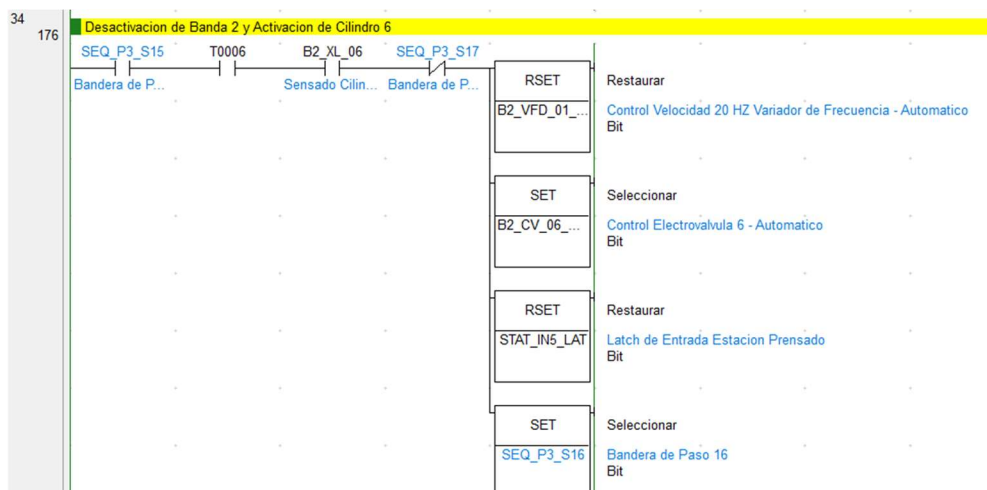


Figura 105. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Desactivación de Banda 2 y Activación de Cilindro 6. Fuente: Elaboración propia, 2025.

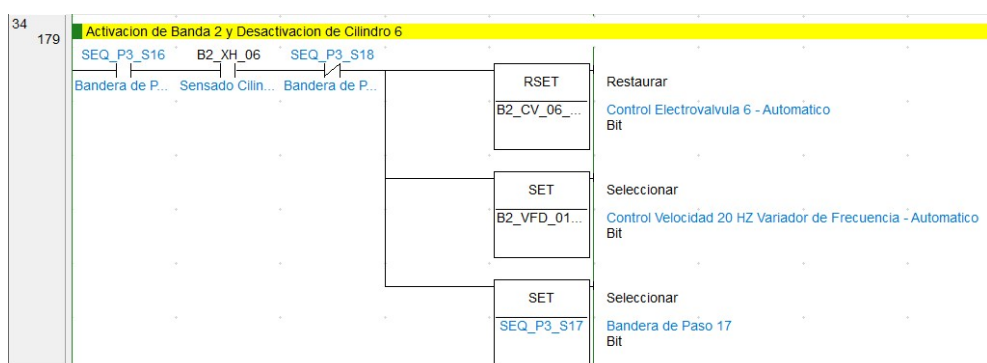


Figura 106. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Activación de Banda 2 y Desactivación de Cilindro 6. Fuente: Elaboración propia, 2025.

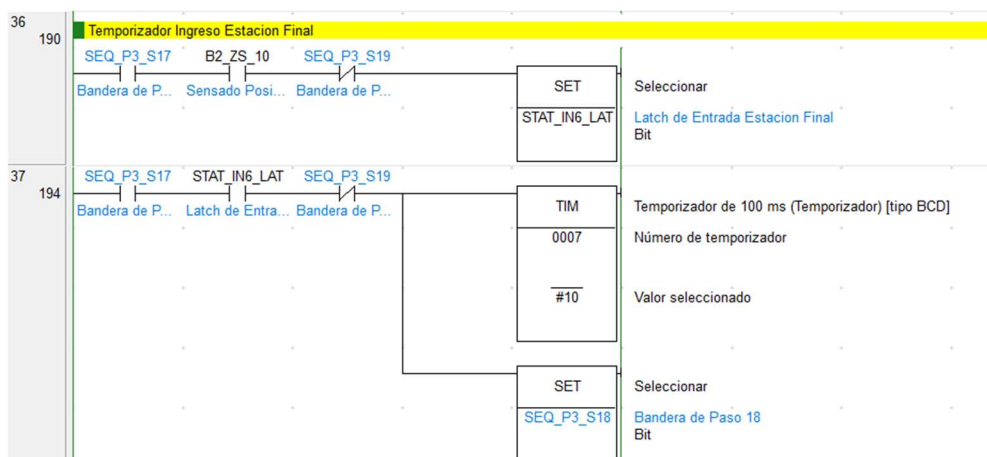


Figura 107. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Temporizador Ingreso Estación Final. Fuente: Elaboración propia, 2025.

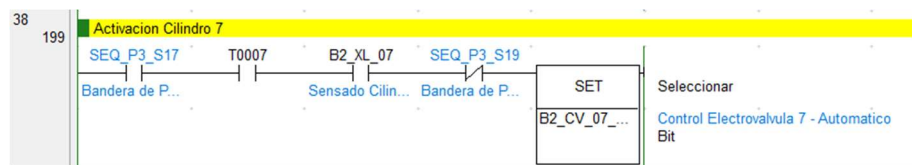


Figura 108. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Activación Cilindro 7. Fuente: Elaboración propia, 2025.

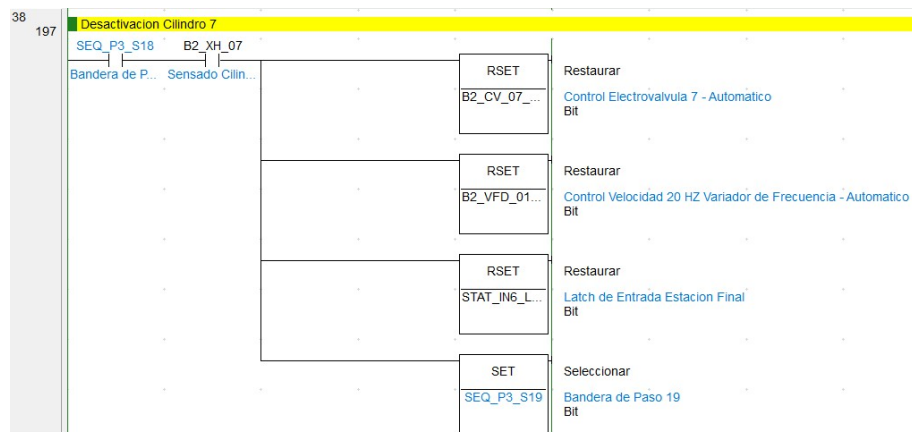


Figura 109. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Desactivación Cilindro 7. Fuente: Elaboración propia, 2025.

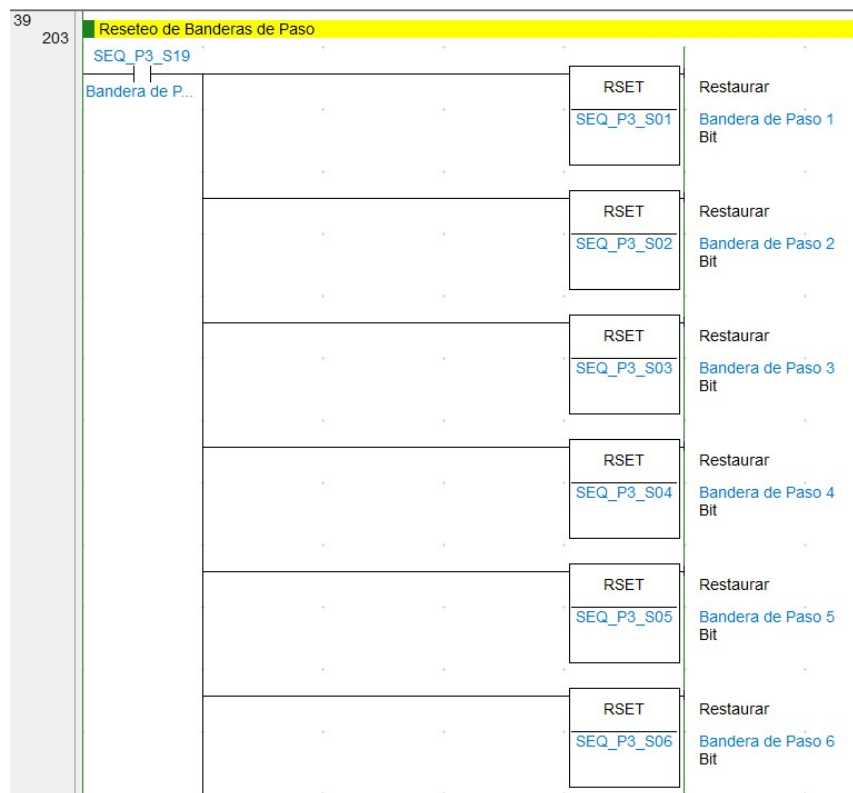


Figura 110. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Reseteo de Banderas de Paso (Parte 1). Fuente: Elaboración propia, 2025.

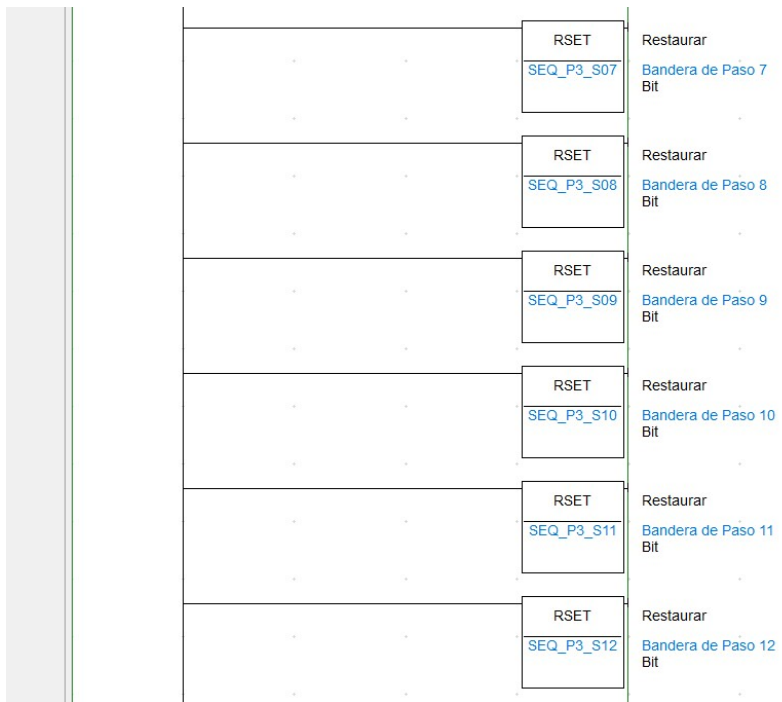


Figura 111. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Reseteo de Banderas de Paso (Parte 2). Fuente: Elaboración propia, 2025.



Figura 112. Acciones generales del Estado 'Producción Automática' – Reseteo de Banderas de Paso (Parte 3). Fuente: Elaboración propia, 2025.

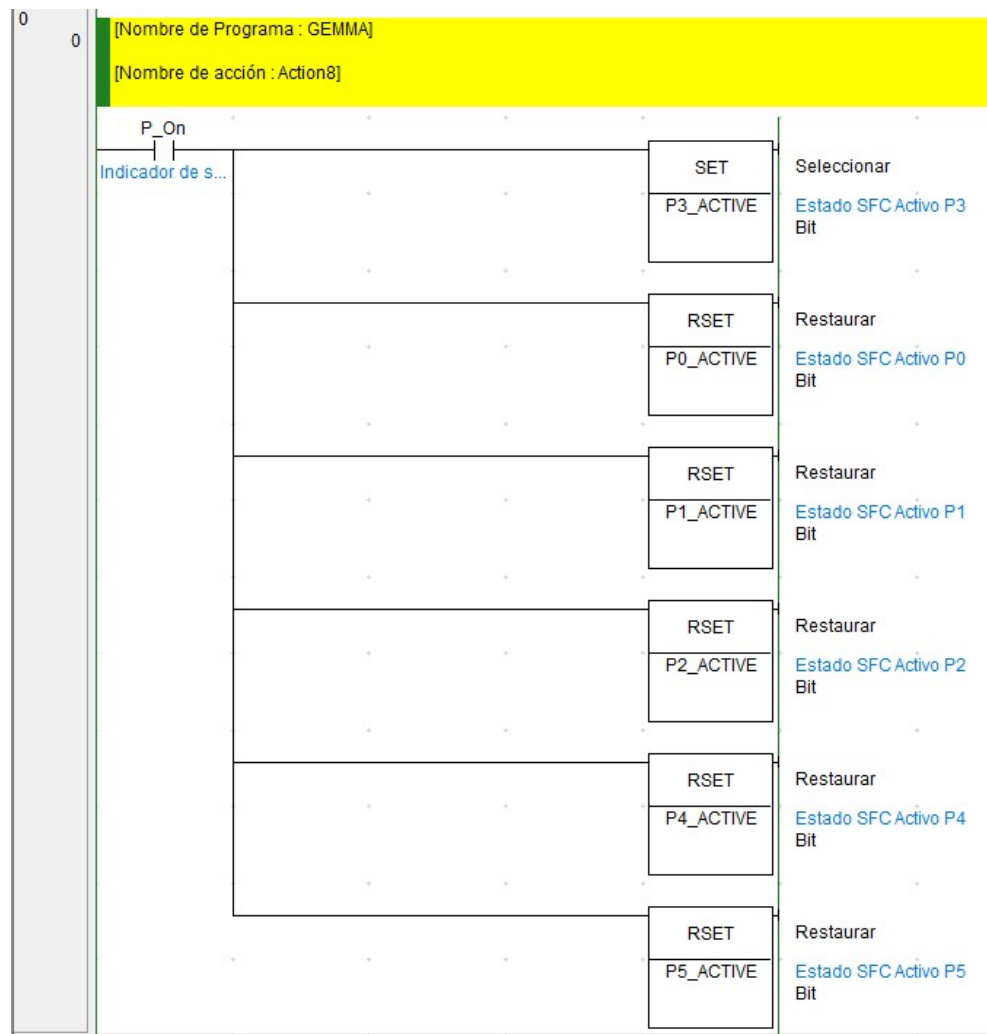


Figura 113. Acciones de activación del Estado 'ProducciónAuto'. Fuente: Elaboración propia, 2025.

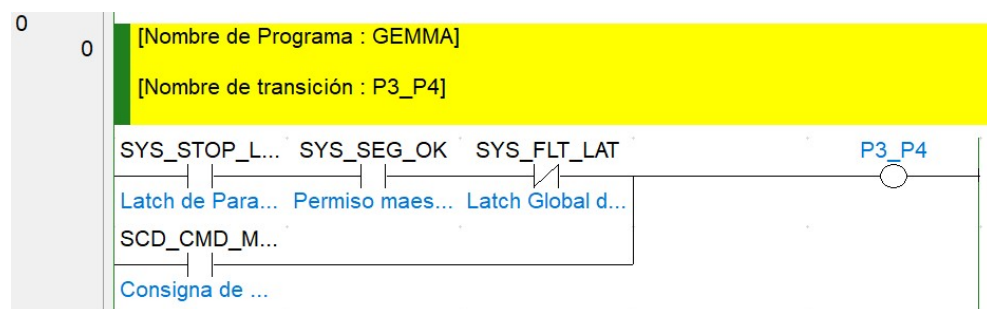


Figura 114. Condiciones de Transición 'Producción Automática a Parada Normal'. Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.7.7. Parada Normal

El estado de Parada normal se activa cuando el operador solicita una orden de STOP bajo condiciones seguras. En esta fase, el sistema desactiva de manera controlada las consignas de producción, deteniendo las bandas transportadoras, los cilindros neumáticos, el robot y el variador de frecuencia, evitando la generación de estados intermedios potencialmente peligrosos. Se trata de un estado de reposo controlado, desde el cual es posible retornar al modo Arranque o, si las condiciones lo requieren, al estado de fallo (P5).

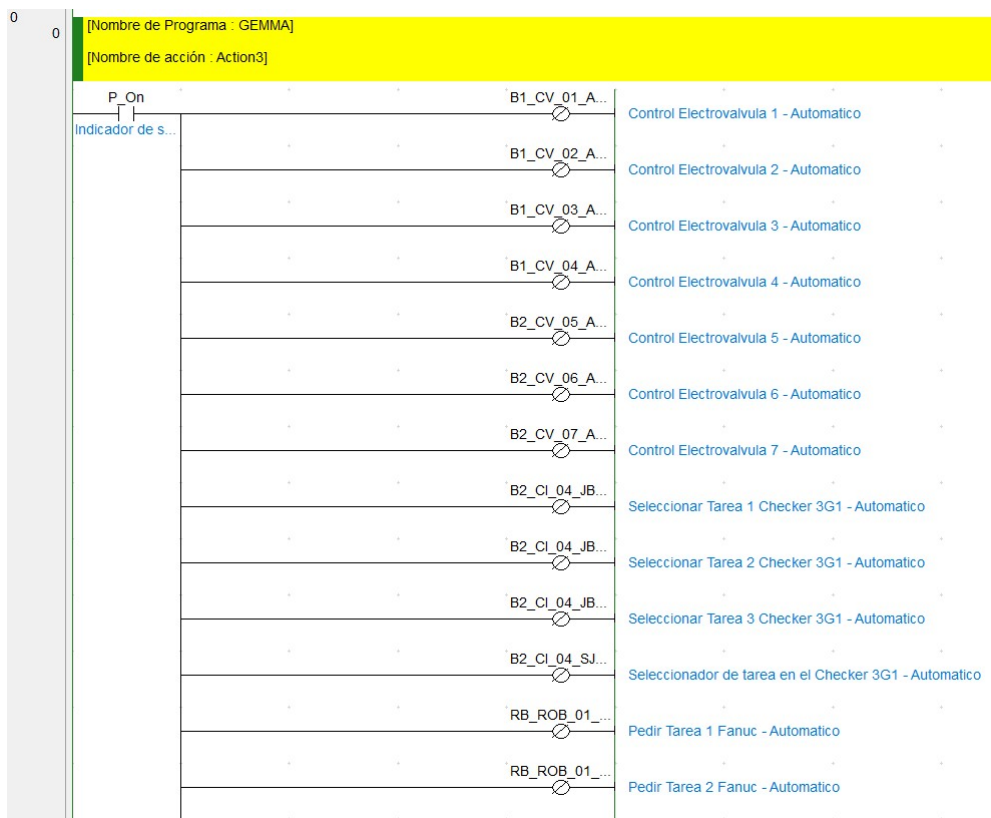


Figura 115. Acciones del Estado 'Parada Normal' – Parte 1. Fuente: Elaboración propia, 2025.



Figura 116. Acciones del Estado 'Parada Normal' – Parte 2. Fuente: Elaboración propia, 2025.

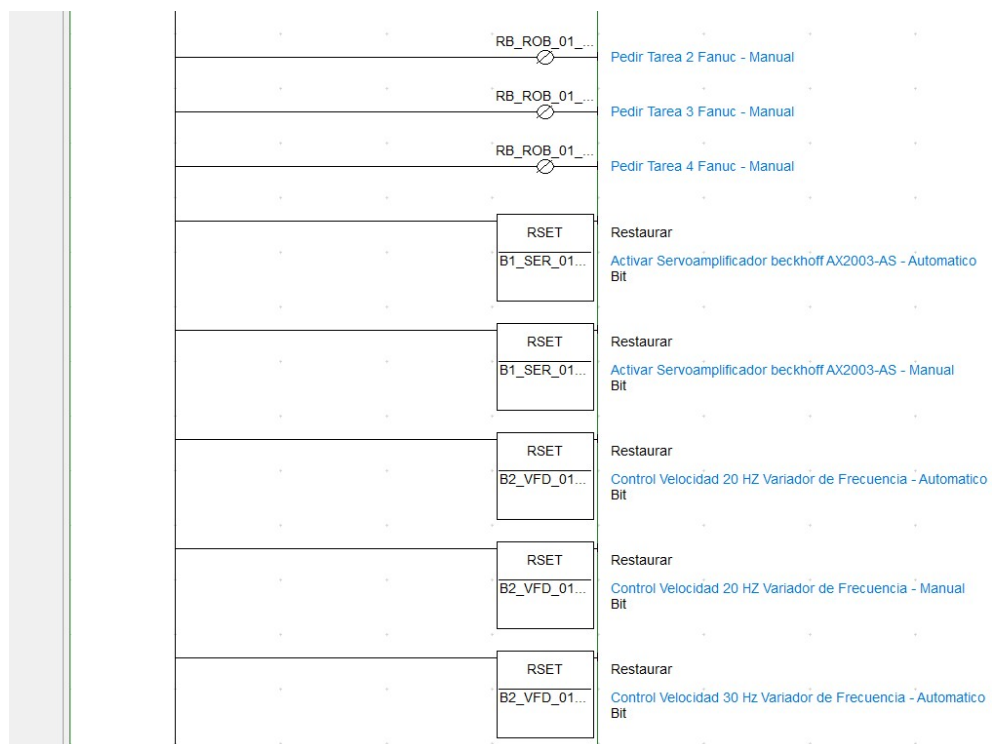


Figura 117. Acciones del Estado 'Parada Normal' – Parte 3. Fuente: Elaboración propia, 2025.

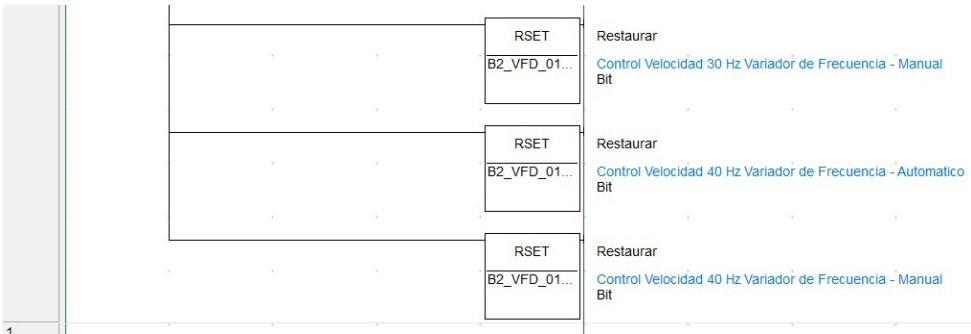


Figura 118. Acciones del Estado 'Parada Normal' – Parte 4. Fuente: Elaboración propia, 2025.

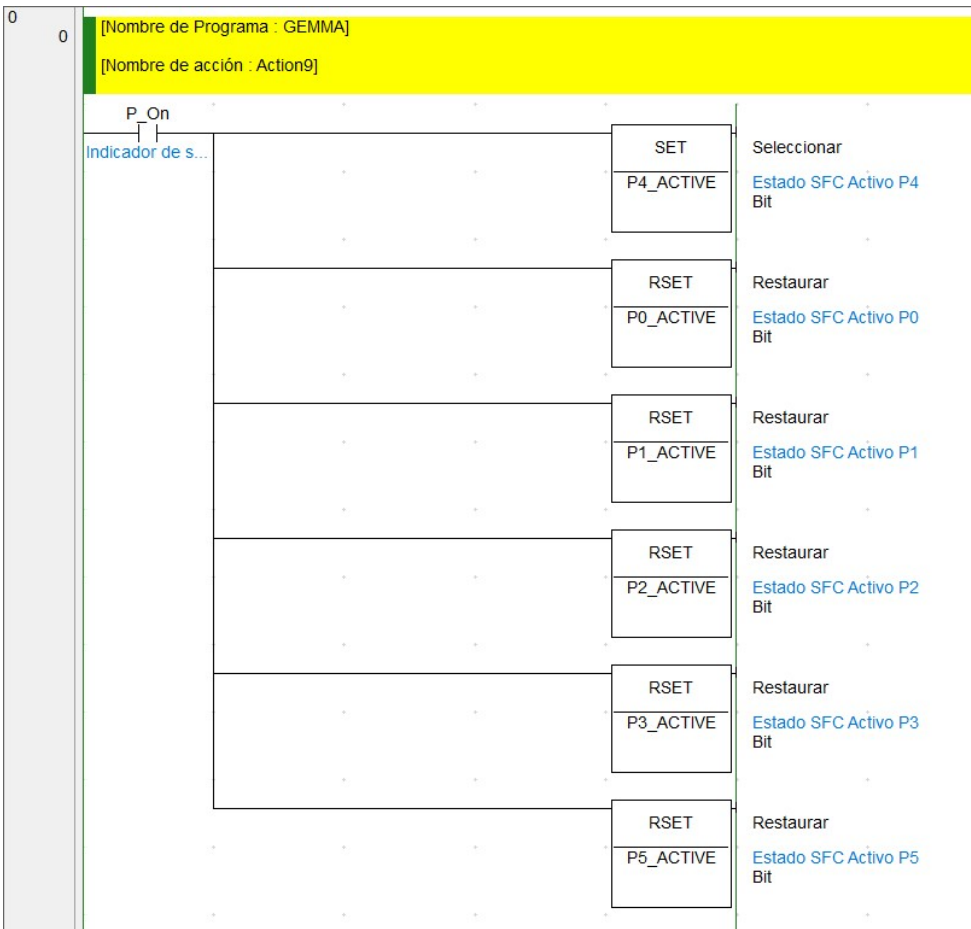


Figura 119. Acciones de activación del Estado 'Parada Normal'. Fuente: Elaboración propia, 2025.

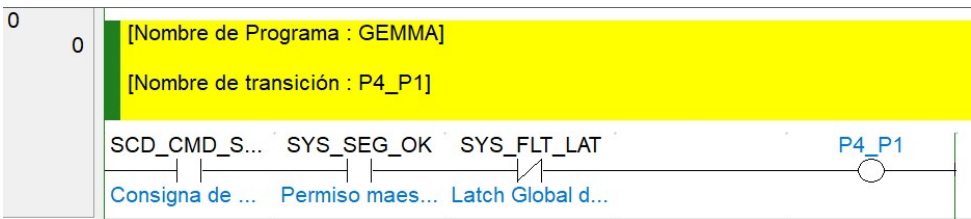


Figura 120. Condiciones de Transición 'Parada Normal a Arranque'. Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.7.8. Fallo

El estado P5: Falla representa la condición de error crítico en la célula. Se activa de manera inmediata cuando se pierde alguna señal de seguridad o se detecta una condición de fallo en cualquiera de los dispositivos principales. En este estado, todos los actuadores y consignas se desactivan, el sistema comunica el estado de fallo al SCADA y se bloquea cualquier posibilidad de arranque hasta que el operador ejecute un reinicio (reset) explícito. De esta manera, se garantiza que la recuperación del sistema se realice únicamente desde condiciones iniciales seguras (P0).

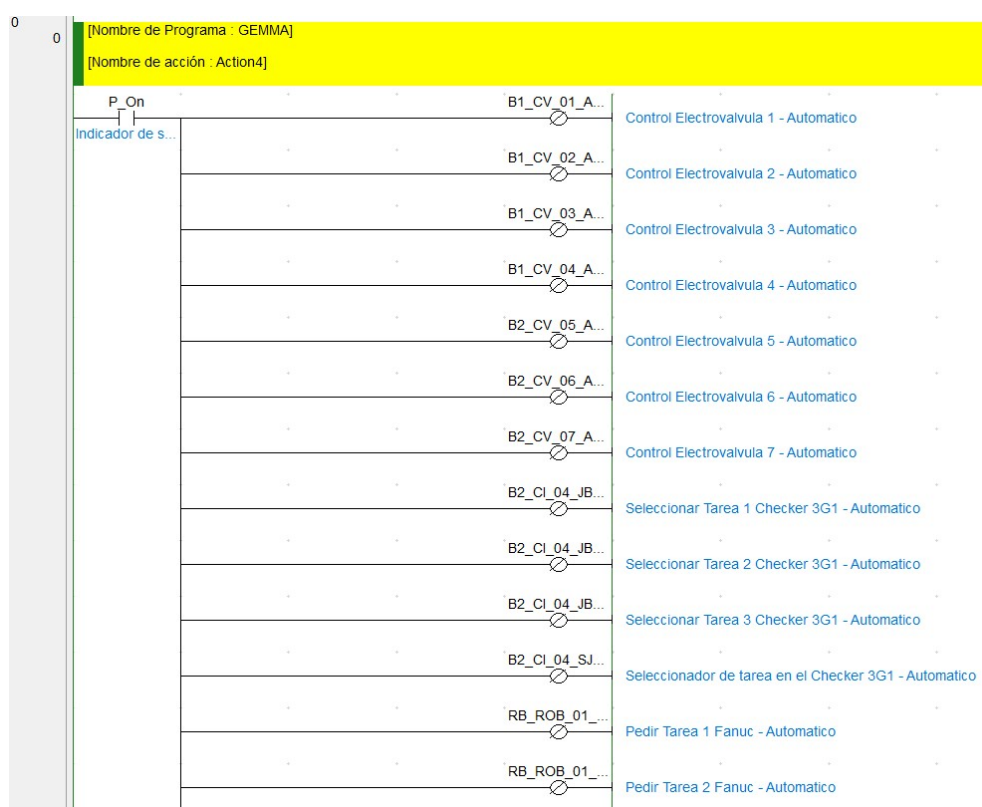


Figura 121. Acciones del Estado 'Fallo' – Parte 1. Fuente: Elaboración propia, 2025.

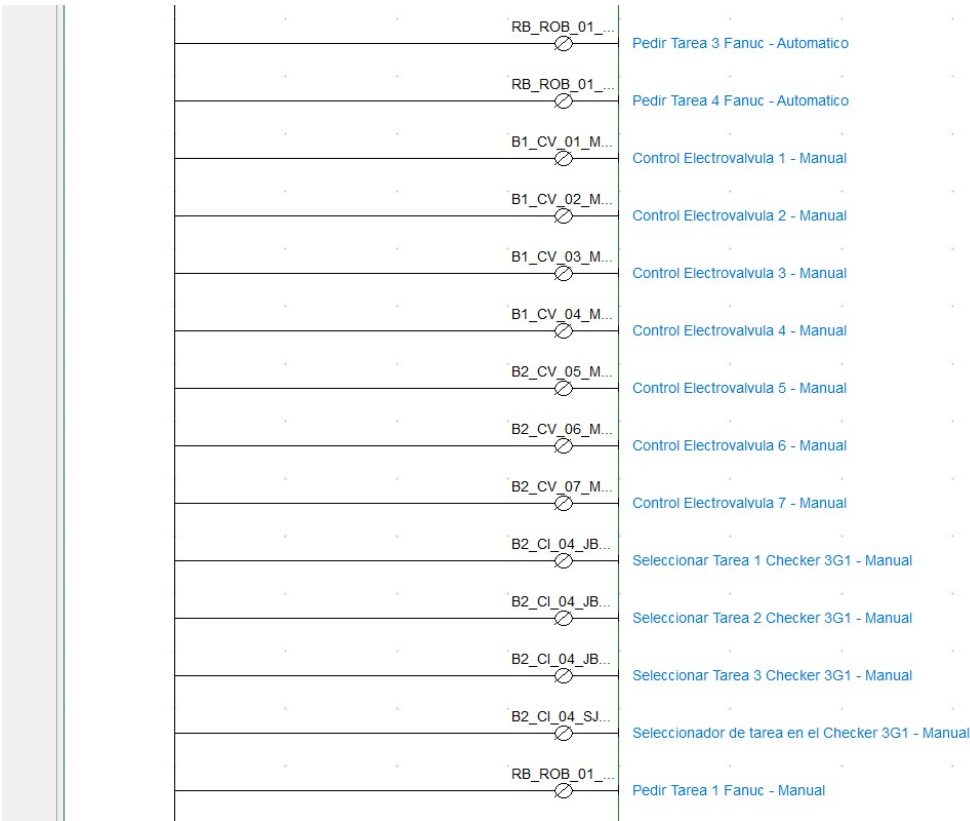


Figura 122. Acciones del Estado 'Fallo' – Parte 2. Fuente: Elaboración propia, 2025.

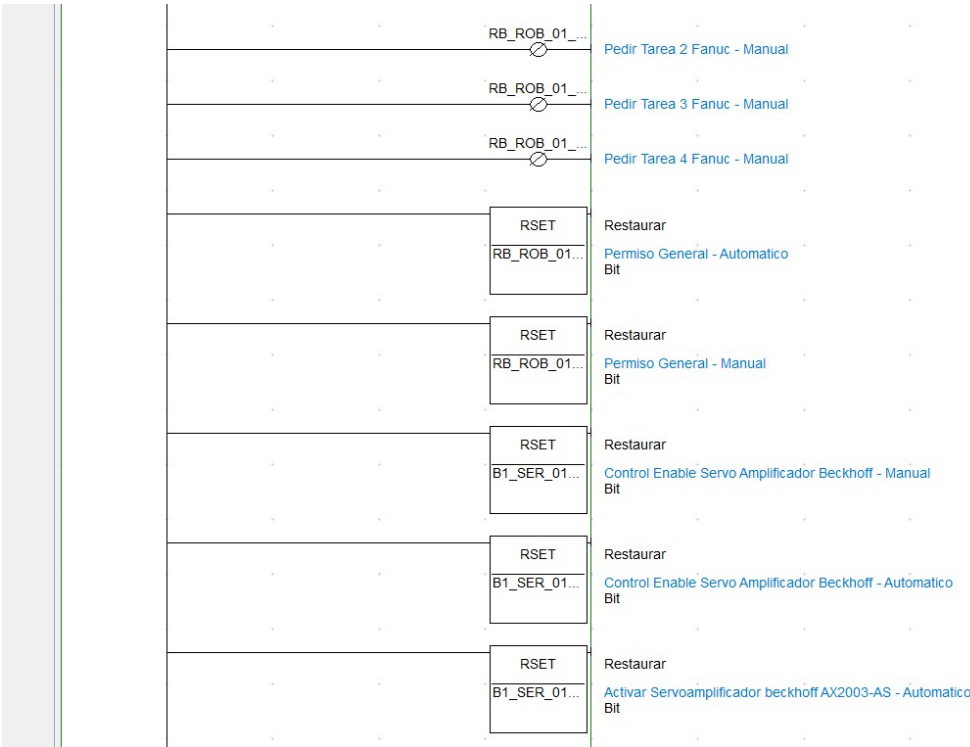


Figura 123. Acciones del Estado 'Fallo' – Parte 3. Fuente: Elaboración propia, 2025.

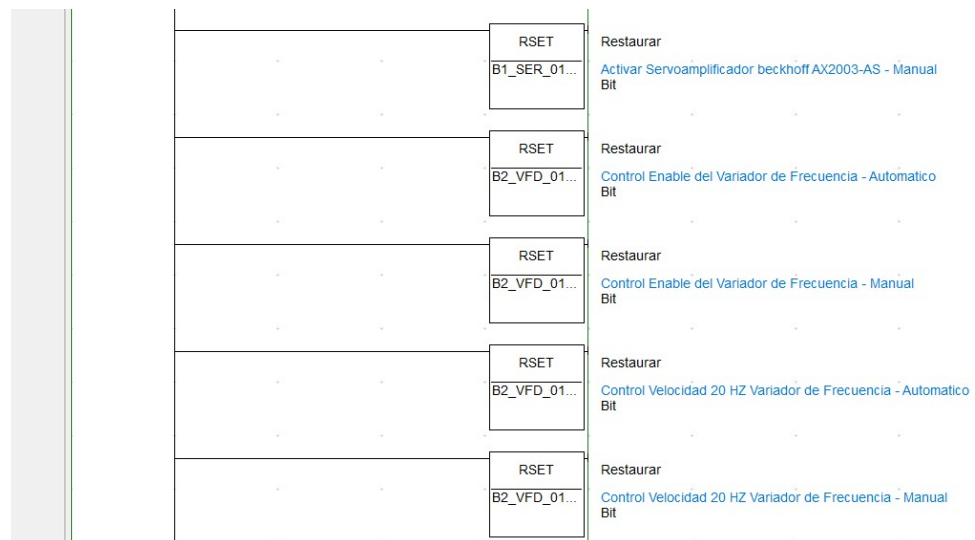


Figura 124. Acciones del Estado 'Fallo' – Parte 4. Fuente: Elaboración propia, 2025.

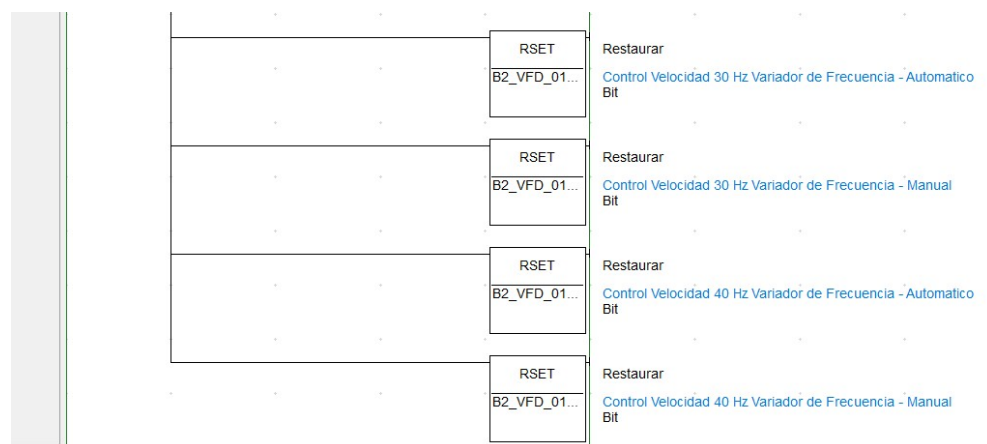


Figura 125. Acciones del Estado 'Fallo' – Parte 5. Fuente: Elaboración propia, 2025.

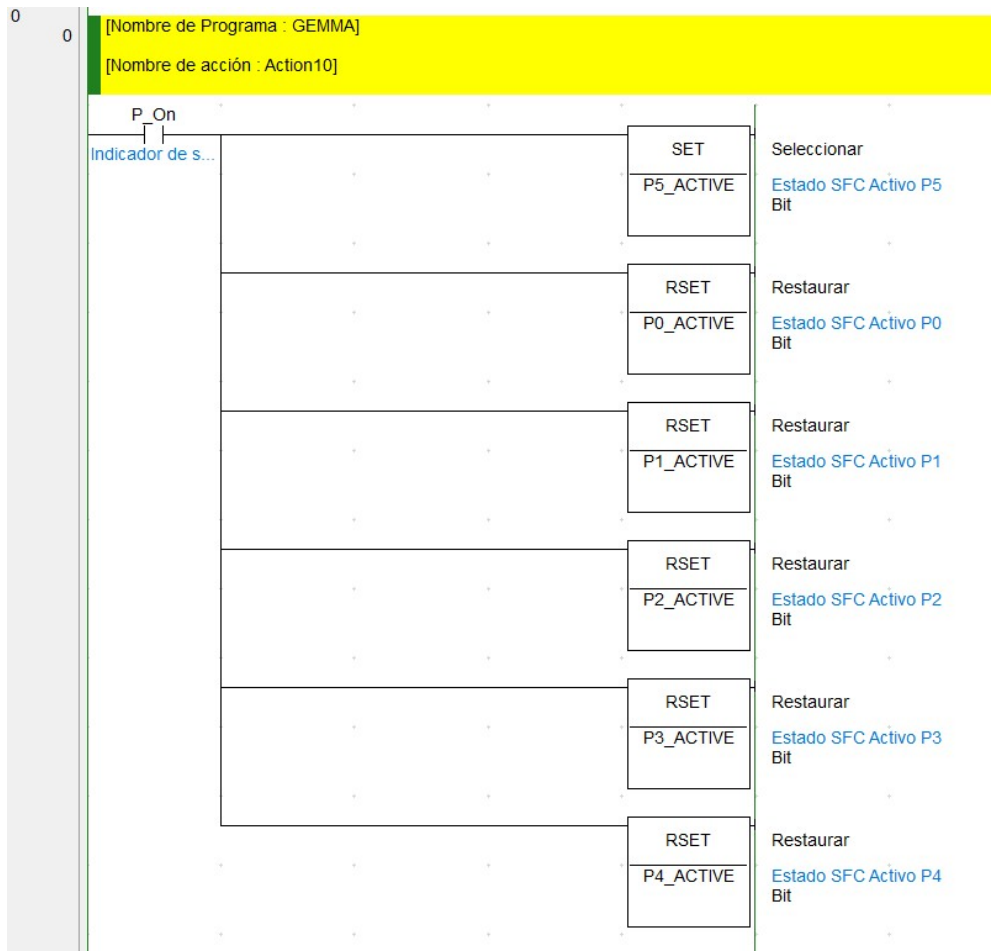


Figura 126. Acciones de activación del Estado 'Falla'. Fuente: Elaboración propia, 2025.

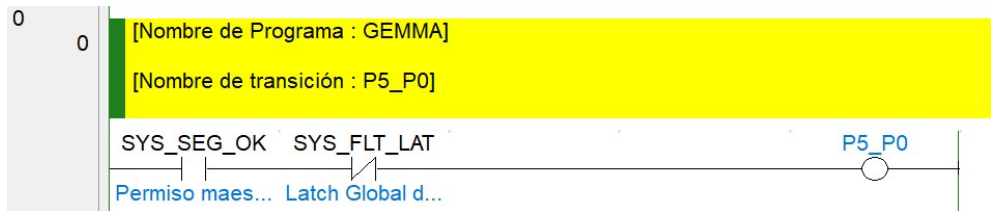


Figura 127. Condiciones de Transición 'Fallo a Parada Inicial'. Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.7.9. Información Adicional de Transiciones

Adicionalmente, se establece que, desde cada estado, debe existir la posibilidad de transitar hacia el estado de Falla (P5) cuando así lo requieran las condiciones de seguridad de la célula. En consecuencia, desde todos los estados se incorpora una divergencia adicional hacia P5, garantizando que cualquier condición anómala pueda activar una parada segura del sistema.

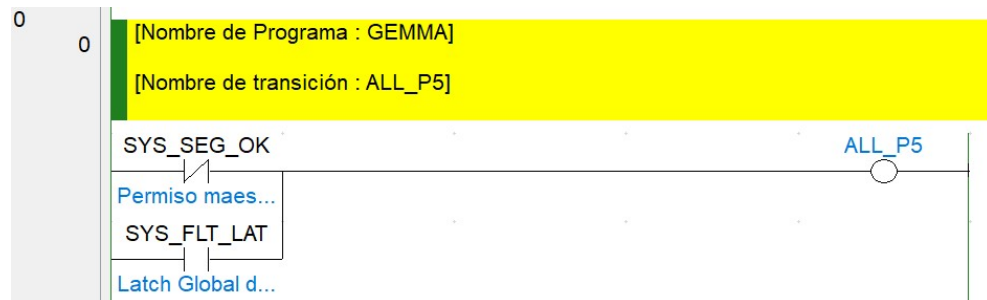


Figura 128. condiciones de transición para salto a estado de Fallo. Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.8. Programa del Robot FANUC

3.8.1. Definición de Puntos y Referencias

En la programación de robots industriales, como los de la marca FANUC, la definición de puntos de referencia constituye una etapa fundamental para garantizar la correcta ejecución de las trayectorias y tareas encomendadas. Estos puntos, también denominados puntos de enseñanza (reference points), corresponden a posiciones específicas en el espacio que el robot debe alcanzar durante su ciclo de trabajo.

El procedimiento habitual consiste en desplazar manualmente el robot mediante el teach pendant hasta la ubicación deseada y, posteriormente, registrar dicha posición en la memoria del controlador. Cada punto almacena información relativa a la posición cartesiana (coordenadas X, Y, Z), la orientación (rotaciones respecto a los ejes), así como parámetros adicionales tales como velocidades, tiempos de espera o configuraciones de ejes.

La correcta definición de los puntos de referencia permite:

- Asegurar que las trayectorias del robot se adapten a la disposición física de la célula de trabajo.
- Evitar colisiones con otros elementos del entorno, gracias a la programación de movimientos intermedios.
- Optimizar el tiempo de ciclo mediante la selección adecuada de trayectorias y velocidades.
- Facilitar la repetitividad y precisión en la ejecución de tareas, garantizando la calidad del proceso automatizado.

En resumen, la definición de puntos de referencia en un robot FANUC constituye una práctica esencial dentro de la programación, ya que establece la base sobre la cual se desarrolla la secuencia completa de movimientos y operaciones del sistema robótico.

3.8.2. Programas

Se realizan diferentes programas para controlar el robot FANUC, desde el ENABLE hasta la petición de cada tarea que realiza el robot.

3.8.2.1. Habilitación del ENABLE

En este apartado se restablece la señal RBT_READY, dado que aún no se ha enviado el comando de habilitación (CDM_ENABLE). Una vez que el PLC emite dicho comando, se ejecuta la llamada al programa SEL_JOB, en el cual se realiza la activación del robot y se especifica el estado correspondiente en el bit RBT_READY.

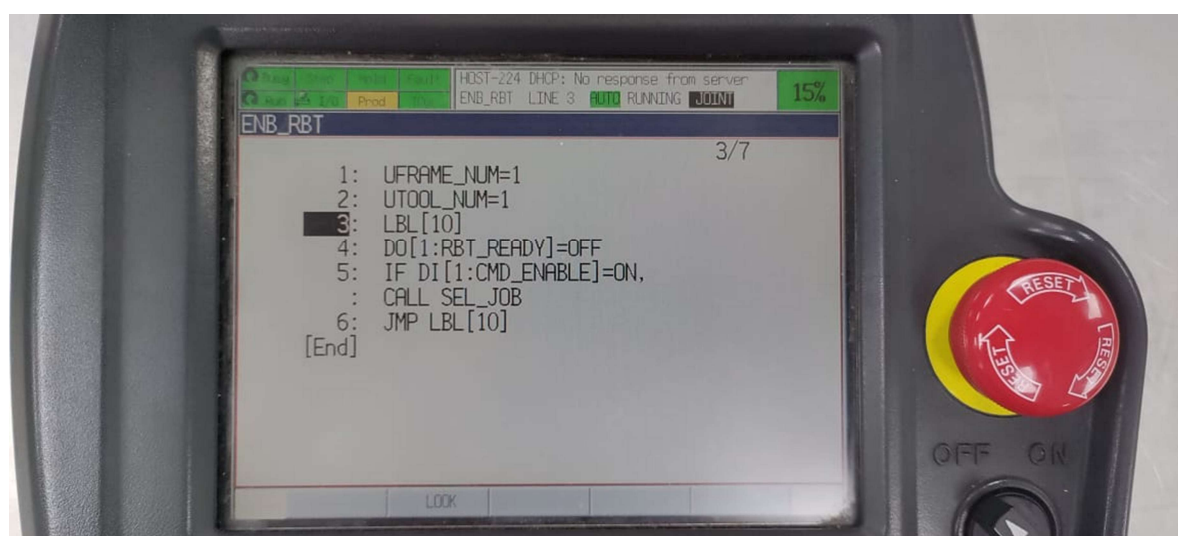


Figura 129. Habilitador del Robot FANUC. Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.8.2.2. Selección de Tarea del Robot FANUC

En este subprograma se habilita la señal RBT_READY y se analiza la solicitud de ejecución de programas, gestionando así los trabajos que el robot FANUC debe realizar durante el ciclo de operación. Además, en caso de desactivarse el bit CMD_ENABLE, el subprograma retorna al programa anterior ENB_RBT, restableciendo el flujo lógico de control.



Figura 130. Selector de Tarea del Robot FANUC – Parte 1. Fuente: Elaboración propia, 2025.

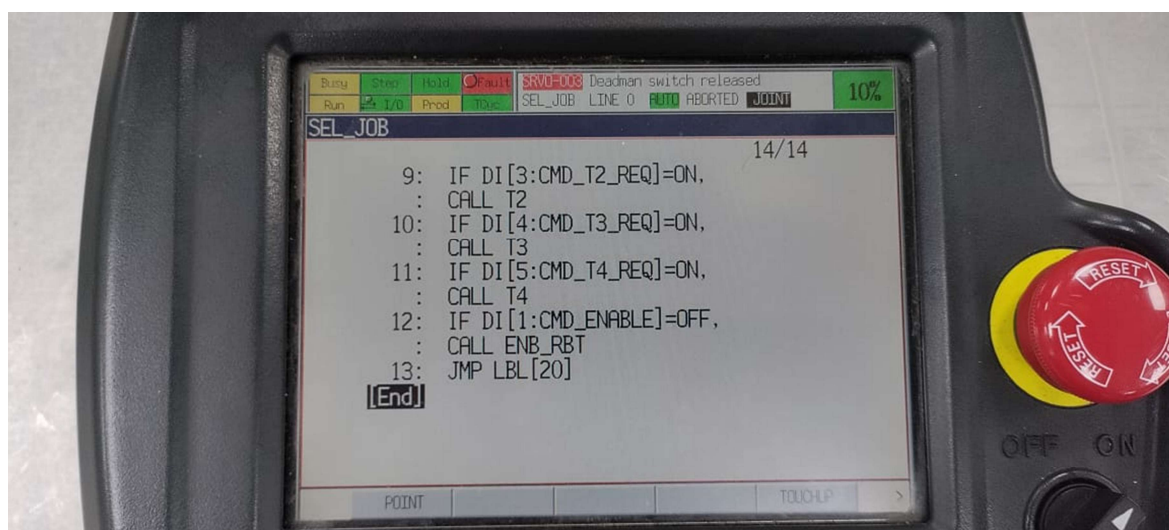


Figura 131. Selector de Tarea del Robot FANUC – Parte 2. Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.8.2.3. Tareas del Robot FANUC

En este apartado se especifican las cuatro tareas diseñadas para ser ejecutadas por el robot FANUC, las cuales son solicitadas directamente desde el PLC. Durante su ejecución, se gestionan los bits RBT_TX_BUSY y RBT_TX_DONE, encargados de supervisar el estado de transmisión y finalización de cada tarea.

3.8.2.3.1 Tarea 1 del Robot FANUC

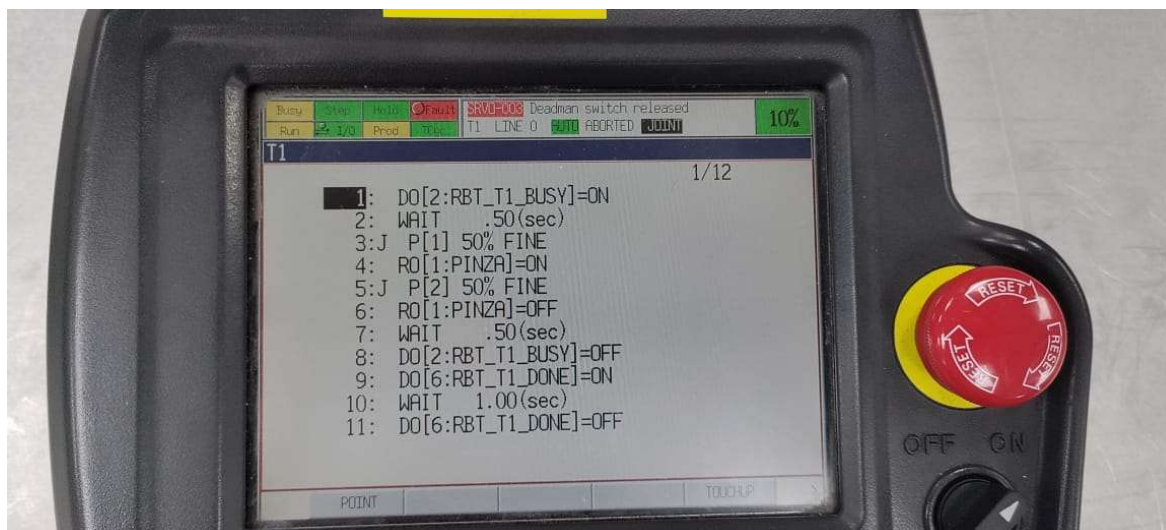


Figura 132. Tarea 1 del Robot FANUC. Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.8.2.3.2 Tarea 2 del Robot FANUC

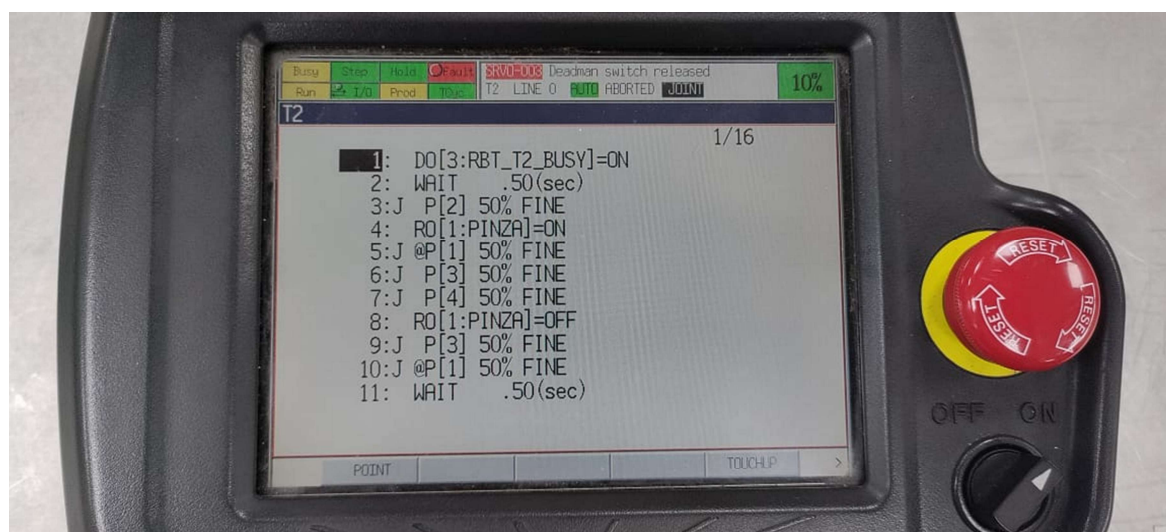


Figura 133. Tarea 2 del Robot FANUC – Parte 1. Fuente: Elaboración propia, 2025.

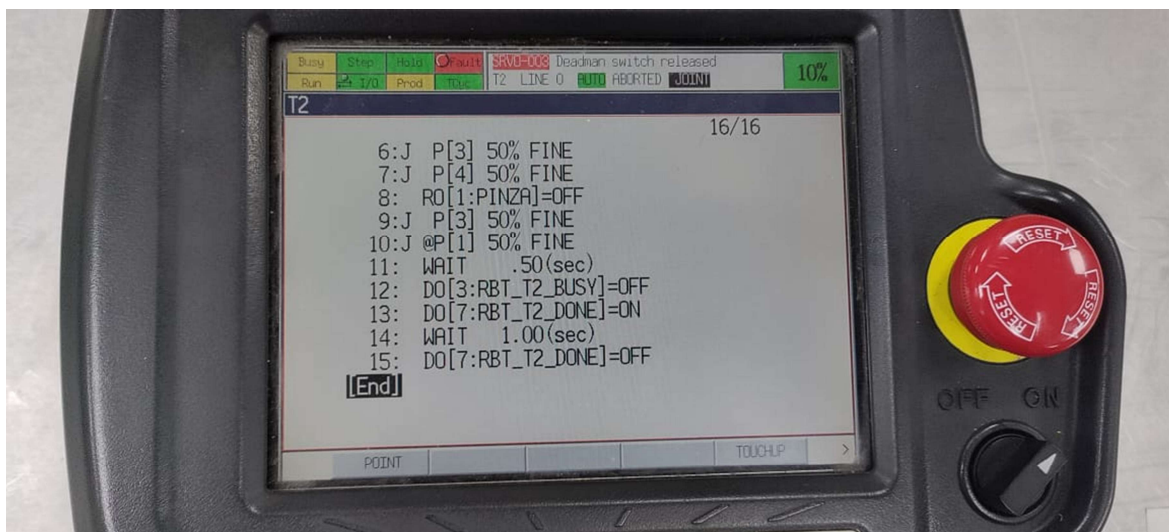


Figura 134. Tarea 2 del Robot FANUC – Parte 2. Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.8.2.3.3 Tarea 3 del Robot FANUC

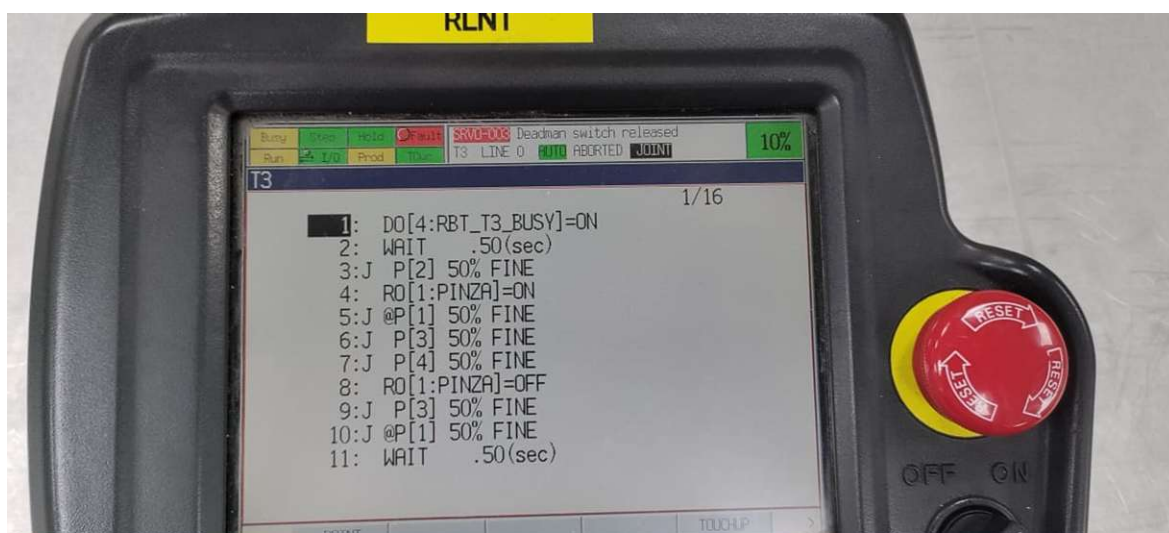


Figura 135. Tarea 3 del Robot FANUC – Parte 1. Fuente: Elaboración propia, 2025.



Figura 136. Tarea 3 del Robot FANUC – Parte 2. Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.8.2.3.4 Tarea 4 del Robot FANUC



Figura 137. Tarea 4 del Robot FANUC – Parte 1. Fuente: Elaboración propia, 2025.



Figura 138. Tarea 4 del Robot FANUC – Parte 2. Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.9. Programa del Software SCADA

En este apartado se detalla el desarrollo y la construcción del sistema de supervisión de la célula industrial FANUC. Además, se explica la configuración implementada para garantizar el correcto funcionamiento del sistema SCADA, abarcando desde la implementación de la base de datos hasta la asociación de los tags con los elementos del proceso, incluyendo la gestión de historiales de alarmas, historiales de usuario e historiales de tags. Todo implementado en el sistema SCADA Ignition.

3.9.1. Configuraciones iniciales

Durante la configuración del sistema de supervisión, se procedió a la creación del proyecto principal dentro de la plataforma Ignition Gateway, el cual fue denominado *SCADA_CELULA_SICMA21*. Este proyecto se desarrolló con el objetivo de representar y controlar la célula industrial FANUC, perteneciente a la empresa SICMA21. En esta fase inicial se definieron los parámetros generales del proyecto, tales como el nombre, la descripción, la habilitación y el modo de ejecución.

PROJECT SETTINGS

Description

Sistema SCADA desarrollado para la supervisión y control de la célula robótica FANUC de la empresa SICMA21. El proyecto integra el PLC Omron CJ1M, el robot FANUC M-6iB y los elementos de campo mediante DeviceNet, con monitoreo y control desde Ignition Vision.

Title

SCADA CELULA SICMA21

The title for the project. This can contain more characters than the name (space, etc) and will be used to represent the project to users. If empty, the name will be used.

Enabled

☒ A disabled project will not be active on the Gateway, but will remain editable in the Designer.

Inheritable

☐ Inheritable projects are not runnable as a stand-alone project, but are intended to provide shared resources to one or more child projects.

Parent Project

-None-

Figura 139. Creación del proyecto en Ignition.
Fuente: Elaboración propia, 2025.

Una vez creado el proyecto, se procedió a configurar los elementos fundamentales para su correcto funcionamiento. Se definió una fuente de usuarios independiente, denominada *User_Sicma21*, una base de datos local llamada *Sicma21_DB_Local*, que actúa como repositorio central de información, y un proveedor de tags propio bajo el nombre *Sicma21_TagsProvider*, encargado de almacenar y gestionar las variables de comunicación entre el PLC, el SCADA y las capas de supervisión.

CONNECTIONS

User Source

User_Sicma21

Default Database

Sicma21_DB_Local

Default Tag Provider

Sicma21_TagsProvider

Figura 140. Conexiones del Proyecto con los gestores de Base de Datos, Fuentes de Usuario y Proveedor de Tags. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura 141. Creación del Proveedor de Tags, Facilita la futura Implementación de un sistema MES y ERP.
Fuente: Elaboración propia, 2025.

Para la gestión de datos, se implementó una base de datos local en formato SQLite. Esta base, identificada como *Sicma21_DB_Local*, fue configurada mediante el panel de conexión del Gateway, seleccionando el controlador JDBC correspondiente y verificando que la conexión presentara el estado VALID, lo que confirmó la comunicación correcta entre Ignition y el archivo de base de datos.

Figura 142. Creación de la Base de Datos Sicma21_DB_Local. Fuente: Elaboración propia, 2025.

☐	Sicma21_DB_Local	SQLite	0 / 8
	SQLITE	0.1 queries/sec	✓ VALID

Figura 143. Validación de la Base de Datos
Sicma21_DB_Local. Fuente: Elaboración propia,
2025.

En cuanto a la seguridad de acceso, se creó una nueva fuente de usuarios, reemplazando la predeterminada. En User_Sicma21 se establecieron políticas de autenticación más restrictivas, tales como contraseñas de al menos ocho caracteres, verificación de complejidad mínima y bloqueo temporal tras varios intentos fallidos. Asimismo, se definieron los roles principales de usuario, diferenciando el rol de Administrador del resto de operadores del sistema.

×

Edit User_Sicma21

⋮

GENERAL

Description

Gestión de los Usuarios Manejados para la Célula FANUC de SICMA21

Enabled

☒ Set whether this user source is enabled or disabled within the Gateway.

Schedule Restricted

☐ Users are only able to log in when their assigned schedule is active.

Failover Source

Select

If this source is unreachable for authentication, this failover source will be used instead

Failover Mode

Hard

The failover mode to use if a failover source is set.

Hard: Failover only if this source is un-reachable.

Soft: Try the failover source when a user fails to authenticate with this source.

Cache Validation Timeout

15

The amount of time in minutes between cache updates of the user source. Values less than one disable the cache.

Lockout Enabled

☒ Lock out a user's account after more than the maximum allowed number of failed authentication attempts occur within the lockout window

Lockout Attempts

5

Maximum number of failed authentication attempts allowed within the lockout window before locking the user out. Values less than one disables lockout.

Lockout Window

15

The duration of the lockout window in minutes. Values less than one disables lockout.

PASSWORD POLICY

Password Max Age

0

The maximum age (in days) that a password is valid for. A value of zero disables password expiration.

Password Min Length

8

Passwords must be at least this many characters long.

Password Complexity

3

The number of character types (lowercase letters, uppercase letters, digits, punctuation) each password must contain. For example, a value of 3 means passwords must have 3 of the 4 character types to be considered valid.

Password History

0

The number of previous passwords to store. Passwords in the history list may not be re-used. A value of zero disables this feature.

Prohibit Password

☒ If enabled, passwords may not contain any form of the word "password". This includes: password, pass, word, pwd, passwd and pword.

Prohibit Username

☒ If enabled, passwords may not contain any form of the username.

Maximum Consecutive Repeated Characters

3

The maximum number of consecutive repeated characters allowed in a password. Set to 0 to disable.

Figura 144. Creación del Proveedor de
Usuarios User_Sicma21. Fuente:
Elaboración propia, 2025.

Figura 145. Políticas de Creación de la Contraseña del
Usuario. Fuente: Elaboración propia, 2025.

User_Sicma21 Manage Users			
Users		Roles	
			Create User +
USERNAME	ROLES	SCHEDULE	
AVillegas	Administrador	Always	
Operador	Operador	Always	
Tecnico	Mantenimiento	Always	

Figura 146. Usuarios creados y Roles asignados. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Para llevar un registro completo de la actividad dentro del SCADA, se creó un perfil de auditoría denominado *Audit_SICMA21*, encargado de almacenar los eventos asociados a los usuarios, tales como inicios y cierres de sesión, accesos a ventanas o modificaciones de valores. Este perfil fue asociado a la base de datos Sicma21_DB_Local y posteriormente habilitado en la configuración del proyecto, activando la opción “Enable Auditing” y seleccionando el perfil correspondiente.

×

Edit Audit_SICMA21

⋮

GENERAL

Description

Registro de auditoría interno del proyecto de automatización “Célula FANUC – SICMA21”. Guarda los eventos de usuario, inicios y cierres de sesión, así como las acciones ejecutadas.

Enabled

☒ Set whether this audit profile is enabled or disabled within the Gateway.

Retention *

Restore Default

0

How long (in days) should audit records be kept? If set to 0, pruning will be disabled.

DATABASE SETTINGS

*Required

Database *

Sicma21_DB_Local

The database connection to use to store audit events.

Pruning Enabled

☐ If false, this audit profile will never prune records, regardless of the retention field. Otherwise, the retention field will be followed.

Auto Create

☒ If true, the table schema specified here will be automatically verified and created if necessary.

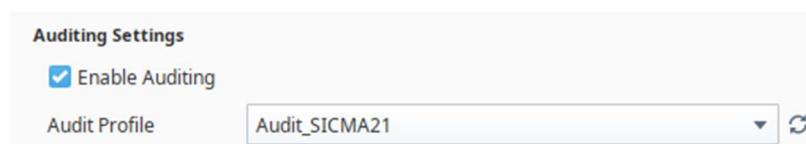
Table Name

audit_events

The name of the table to store audit events.

Figura 147. Creación del Perfil de Auditorías.

Fuente: Elaboración propia, 2025.



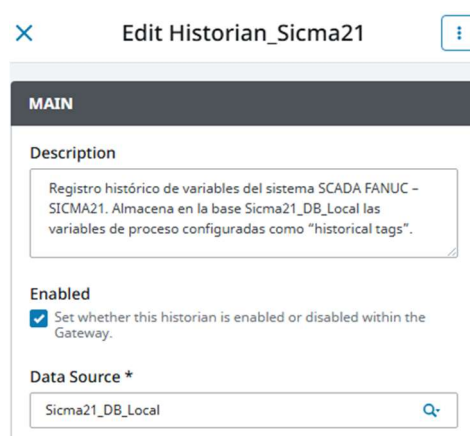
Auditing Settings

☒ Enable Auditing

Audit Profile: Audit_SICMA21

Figura 148. Habilitación de Auditorias para el Proyecto. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Con el fin de almacenar el historial de las variables de proceso, se implementó un SQL Historian bajo el nombre *Historian_Sicma21*, vinculado a la misma base de datos local. Este historiador fue configurado con particiones mensuales y una retención de datos de un año, garantizando una organización eficiente y la eliminación automática de registros antiguos, optimizando así el rendimiento y la gestión de almacenamiento del sistema.



Edit Historian_Sicma21

MAIN

Description

Registro histórico de variables del sistema SCADA FANUC - SICMA21. Almacena en la base Sicma21_DB_Local las variables de proceso configuradas como "historical tags".

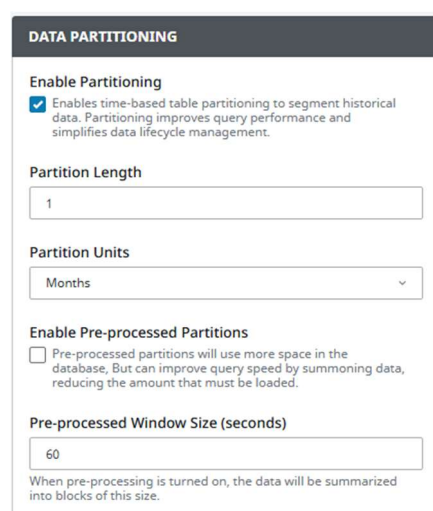
Enabled

☒ Set whether this historian is enabled or disabled within the Gateway.

Data Source *

Sicma21_DB_Local

Figura 149. Creación del Histórico de Tags. Fuente: Elaboración propia, 2025.



DATA PARTITIONING

Enable Partitioning

☒ Enables time-based table partitioning to segment historical data. Partitioning improves query performance and simplifies data lifecycle management.

Partition Length

1

Partition Units

Months

Enable Pre-processed Partitions

☐ Pre-processed partitions will use more space in the database, But can improve query speed by summoning data, reducing the amount that must be loaded.

Pre-processed Window Size (seconds)

60

When pre-processing is turned on, the data will be summarized into blocks of this size.

Figura 150. Ajuste del Particionamiento de la información del Histórico. Fuente: Elaboración propia, 2025.

DATA PRUNING

Enabled Data Pruning

☒ Data will be deleted after the specified time period. Important; data pruning works by deleting old partitions. Therefore, data will only be removed when a partition has no data younger than the prune age.

Prune Age

1

Prune Age Units

Years

Figura 151. Auto borrado de la información (1 año).
Fuente: Elaboración propia, 2025.

Paralelamente, se creó un *Alarm Journal* con la denominación *Alarmas_SICMA21*, también asociado a la base de datos *Sicma21_DB_Local*. Este componente es el encargado de registrar cada evento de alarma generado en el sistema, incluyendo su activación, reconocimiento y restablecimiento. De esta manera, se garantiza la trazabilidad de los eventos críticos y la posibilidad de analizarlos directamente desde el entorno de supervisión.

Edit Alarmas_SICMA21

GENERAL *Required

Description

Registro histórico de alarmas del sistema SCADA FANUC - SICMA21. Almacena en la base Sicma21_DB_Local los eventos de activación, reconocimiento y restablecimiento.

Enabled

☒ Set whether this alarm journal profile is enabled or disabled within the Gateway.

Query Only

☐ If true, this alarm journal will not be capable of storing events. Any attempt to store events will be discarded.

Datasource *

Sicma21_DB_Local

Events will be stored to this datasource.

Figura 152. Creación del Alarm Journal. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Una vez definidos los perfiles de almacenamiento, se procedió a configurar el registro histórico de los tags pertenecientes al proveedor *Sicma21_TagsProvider*. En los tags provenientes del PLC se activó la opción “*History Enabled*” y se seleccionó como Storage Provider el historiador *Historian_Sicma21*.

Por ejemplo, para el contador STAT_BLUE_CNT se establecieron los siguientes parámetros: Sample Mode: On Change, Historical Deadband: 0.0, y Min Time Between Samples: 1 s. Con esta configuración, únicamente se almacenan los cambios significativos en el valor, optimizando así el tamaño de la base de datos y evitando duplicidades innecesarias.

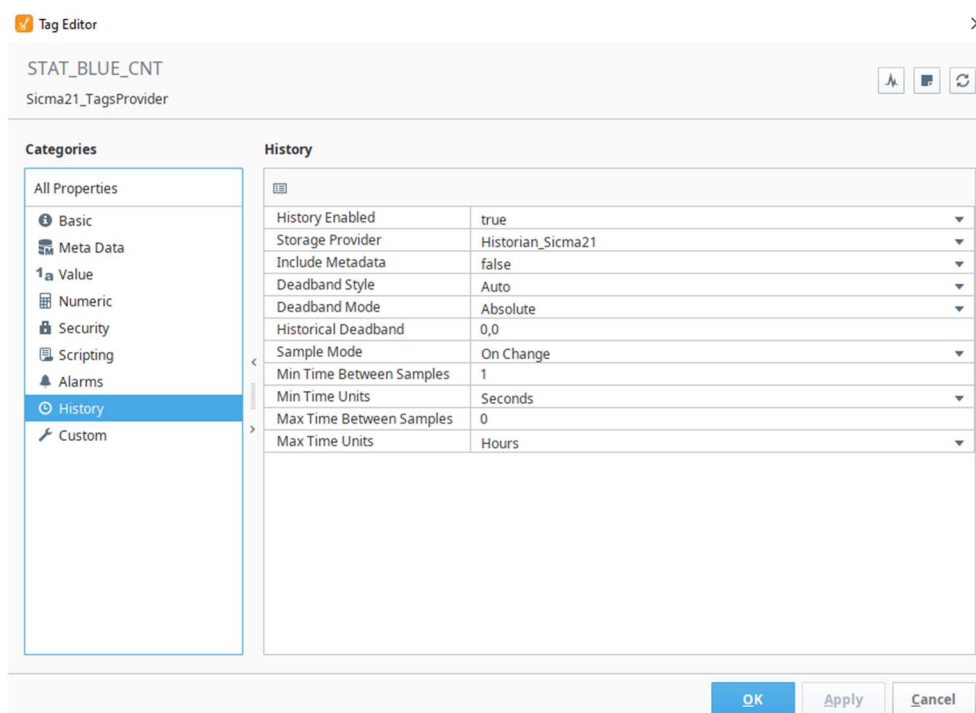


Figura 153. Configuración de Tag 'STAT_BLUE_CNT' con Histórico. Fuente: Elaboración propia, 2025.

En relación con las alarmas, se configuraron condiciones sobre las señales booleanas provenientes del PLC, específicamente los tags *SCD_EST_ALM* y *SCD_EST_FAULT*. Para ambos se definió el modo de comparación Equal, con un valor de consigna igual a 1, de modo que la alarma se activara cuando la variable cambiara de estado bajo dicha condición.

La alarma *SCD_EST_ALM* se estableció con prioridad baja y reconocimiento automático, mientras que *SCD_EST_FAULT* se configuró con prioridad alta y reconocimiento manual. Ambas fueron habilitadas para almacenamiento y envío al *Alarm Journal* correspondiente, garantizando su trazabilidad dentro del sistema de supervisión.

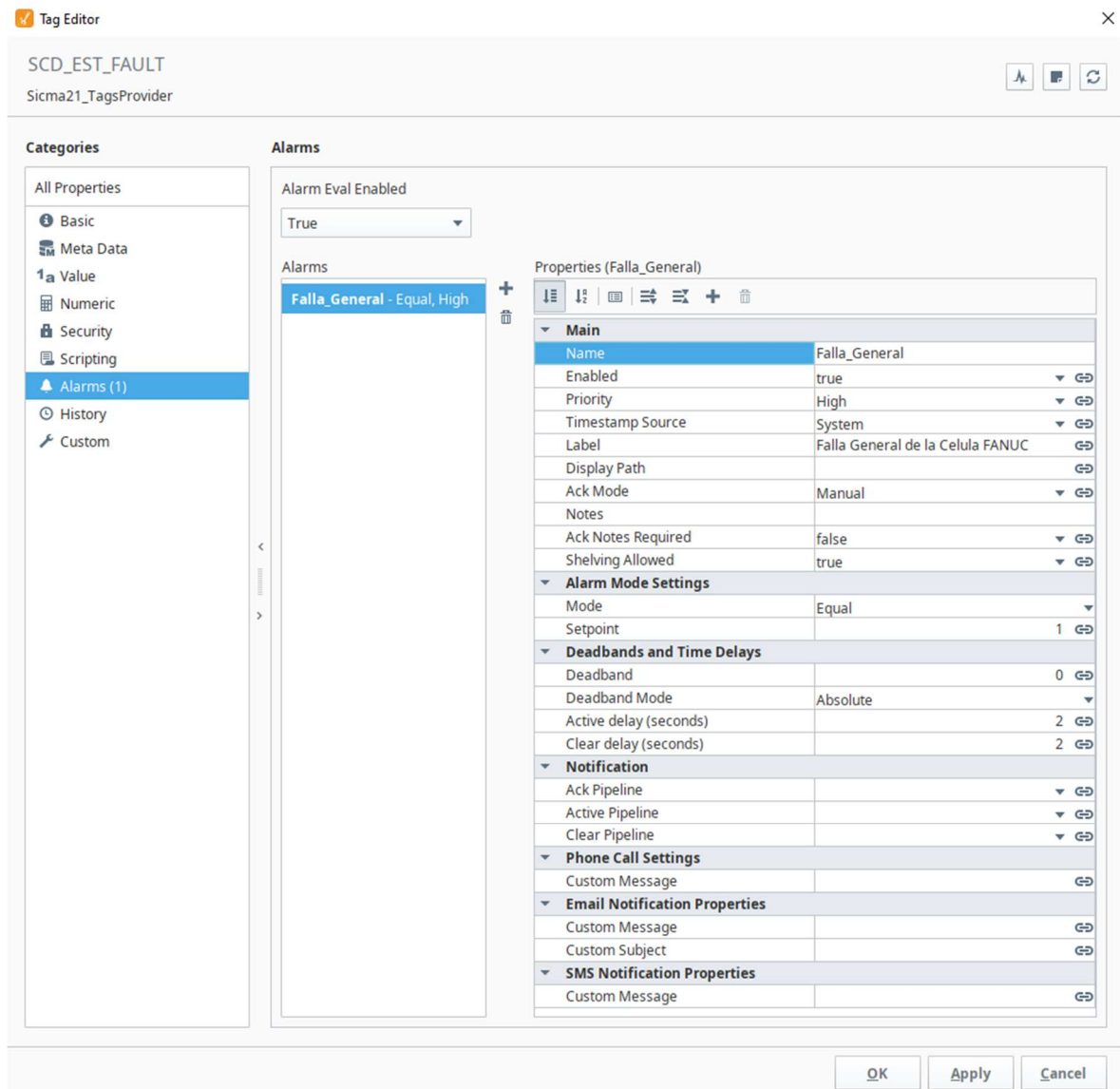


Figura 154. Configuración de Tag 'SCD_EST_FAULT' con Alarma. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Posteriormente, se desarrollaron las consultas SQL necesarias para la visualización de los registros históricos. Estas *Named Queries* permiten acceder a las tablas de auditoría y alarmas, extrayendo información relacionada con los usuarios, acciones realizadas, fechas y elementos afectados.

Los resultados de dichas consultas se muestran en el SCADA mediante componentes de tabla dinámica, desde los cuales el operador puede filtrar la información por usuario o por rango de fechas, garantizando así un seguimiento completo y trazable de las operaciones efectuadas en el sistema.

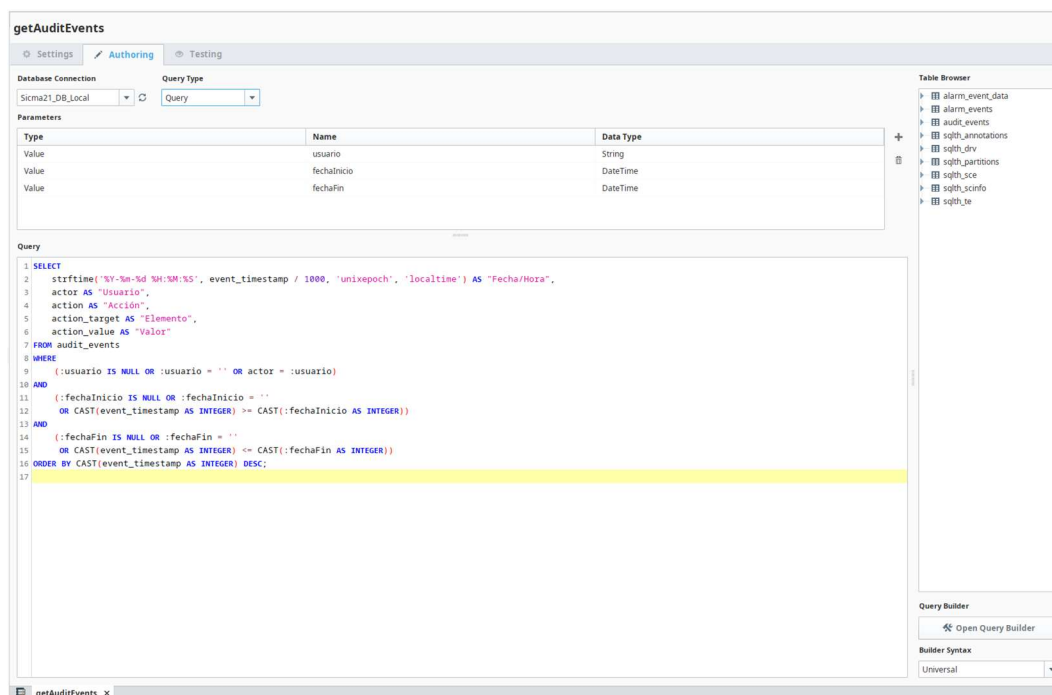


Figura 155. Creación de la Consulta SQL Para Obtención de Eventos de Usuario (Auditoria del Proyecto). Fuente: Elaboración propia, 2025.

Con el mismo criterio, se configuró la visualización del historial de variables de proceso mediante el componente *Easy Chart*, el cual se vinculó al historiador *Historian_Sicma21*. Este gráfico permite representar la evolución temporal de las variables almacenadas, como los contadores de piezas azules, rojas y verdes. La herramienta facilita el análisis de tendencias y la verificación del comportamiento del sistema a lo largo del tiempo, constituyendo un recurso esencial para el monitoreo y diagnóstico del proceso.

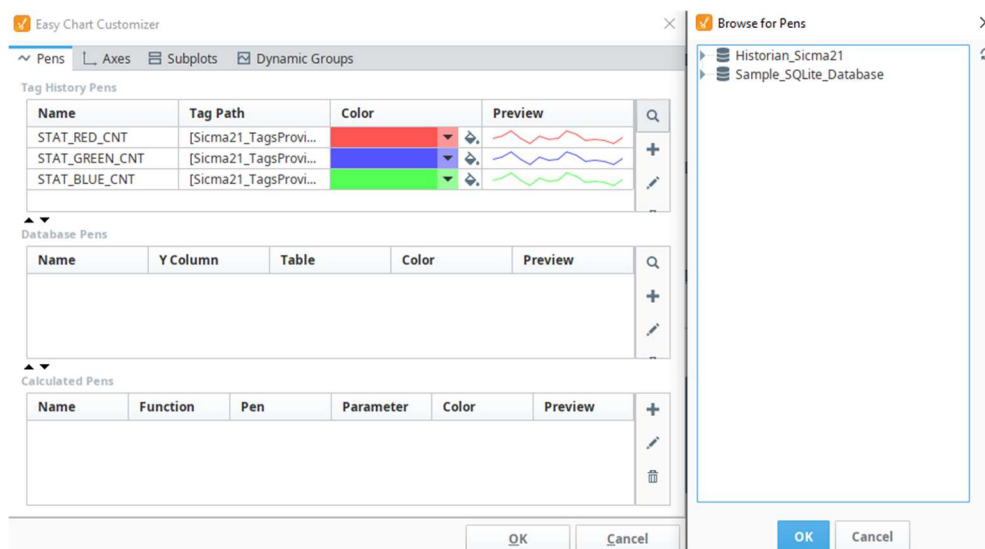


Figura 156. Configuración el Easy Chart con el Historian_Sicma21. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Finalmente, se verificó la correcta integración de todos los módulos del sistema y la comunicación entre ellos. El sistema mostró la base de datos conectada, los perfiles *Historian*, *Audit* y *Alarm Journal* en estado *VALID*, los usuarios autenticables a través de la fuente *User_Sicma21*, y los tags operativos dentro del *Tag Browser*, confirmando el correcto funcionamiento general de la arquitectura de supervisión.

3.9.2. Árbol de Navegación

Se generó un árbol de navegación intuitivo y de fácil acceso para los operadores de la célula, el cual facilita la interacción con todas las ventanas principales (Main Windows) del sistema SCADA.

Para las pantallas principales del sistema (Principal, Usuarios, Alarmas, Tags e Información), se utilizó una plantilla unificada que agrupa, mediante contenedores, los siguientes apartados: la cabecera del proyecto, el cuerpo principal y la sección de navegación. Esta estructura garantiza una distribución coherente y homogénea en todas las interfaces, facilitando el uso y mantenimiento del sistema de supervisión.

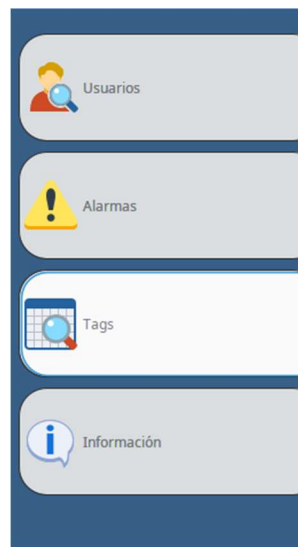


Figura 157. Pantalla Principal del Sistema SCADA (Árbol de navegación del sistema). Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.9.3. Definición del Tipo de Datos

Debido al carácter netamente discreto de la célula FANUC perteneciente a SICMA21, la mayoría de los datos utilizados son de naturaleza booleana (1 bit). No obstante, mediante el uso de contadores, se obtuvieron tres tags de tipo Word (16 bits), los cuales son representados en *Ignition* como datos

enteros (Integer) y también fueron implementados en el SCADA, ya que representan el número de piezas por color que ingresan al proceso.

Todos los tags utilizados se obtienen del servidor OPC UA gestionado por el driver *KepServerEX 6*; por tanto, estos se registran en el *SCADA Ignition* bajo la denominación OPC Tag.

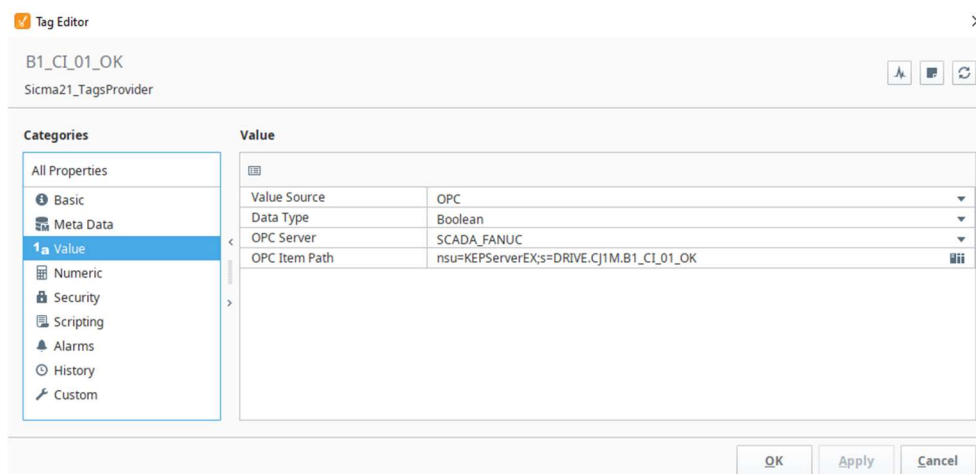


Figura 158. Ejemplo de Tag tipo Booleano. Fuente: Elaboración propia, 2025.

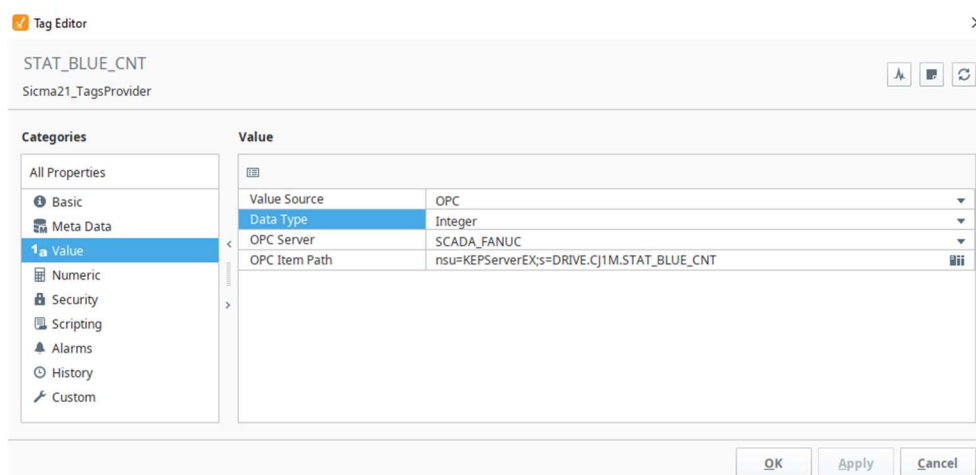


Figura 159. Ejemplo de Tag tipo Integer. Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.9.4. Diseño de las Pantallas de Aplicación y Comandos

3.9.4.1. Pantalla Principal (Main Windows)

Como se mencionó en apartados anteriores, el diseño de las pantallas del SCADA siguió una plantilla previamente elaborada, con el objetivo de mantener un estilo uniforme en todas las ventanas desarrolladas dentro del sistema. Se empleó una paleta de colores acorde con la colorimetría

corporativa de SICMA21, reflejada en su logotipo, lo que otorga al SCADA una identidad visual propia y coherente con la imagen de la empresa.

Al iniciar el sistema SCADA en la PC Station, lo primero que se muestra es la solicitud de ingreso de credenciales de usuario, las cuales fueron configuradas previamente (Figura 146), cumpliendo así con los requisitos de diseño establecidos. Una vez introducidas las credenciales correctas, el sistema carga la pantalla principal, que alberga el diagrama general de la célula, el árbol de navegación, la caja de comandos, los estados y contadores, así como la cabecera del proyecto, donde se visualizan el logotipo, el nombre del proyecto, la fecha y la hora actual.

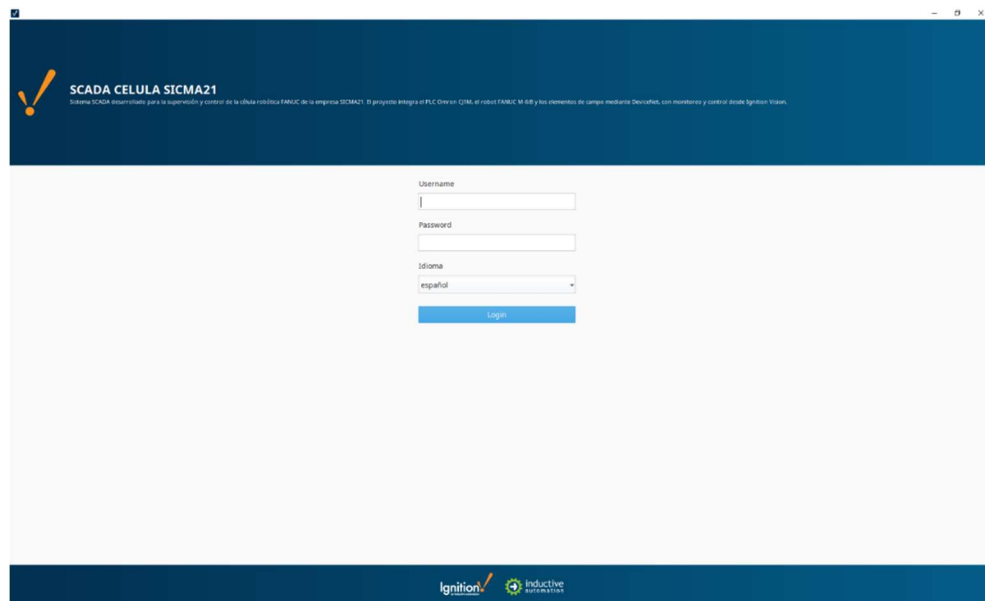


Figura 160. solicitud de credenciales de usuario. Fuente: Elaboración propia, 2025.



Figura 161. Pantalla principal del sistema SCADA. Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.9.4.2. Pantalla de Gestión de Usuarios (Main Windows)

Mediante consultas SQL (queries) en la base de datos, se implementó un histórico de usuarios, el cual muestra información relevante para un diagnóstico rápido de situaciones. Adicionalmente, se incorporaron filtros por usuario y por fecha, permitiendo una búsqueda y detección más ágil y simplificada.

La tabla implementada presenta las acciones realizadas por cada usuario y el elemento sobre el cual recae la acción. Asimismo, muestra el historial de inicios de sesión, lo que constituye un aporte informativo significativo, ya que permite identificar quién utilizó la célula y en qué momento lo hizo, facilitando el seguimiento y la trazabilidad de la operación.

Además, este registro resulta fundamental para las tareas de mantenimiento y auditoría, al permitir detectar operaciones no autorizadas o comportamientos anómalos, contribuyendo así al mejoramiento continuo de la seguridad y confiabilidad del sistema SCADA.

08/10/2025
03:55:56 p. ...

CELULA FANUC - SICMA21

ANDRES VILLEGAS - TFG

USUARIO

AVillegas

6/10/25 - 8/10/25

3 de sept13 de sept18 de sept23 de sept28 de sept3 de oct8 de oct

Principal

Alarmas

Tags

Información

Fecha/Hora	Usuario	Acción	Elemento
2025-10-08 13:17:58	AVillegas	project save	SCADA_CELULA_FANUC
2025-10-08 13:17:58	AVillegas	resources modified	SCADA_CELULA_FANUC
2025-10-08 13:15:42	AVillegas	tag edit	[sicma21_tagsprovider]STA...
2025-10-08 13:15:24	AVillegas	tag edit	[sicma21_tagsprovider]STA...
2025-10-08 13:13:55	AVillegas	tag write	[default]SCD_CMD_START
2025-10-08 13:13:54	AVillegas	tag write	[default]SCD_CMD_START
2025-10-08 13:13:53	AVillegas	tag write	[default]SCD_CMD_AUT
2025-10-08 13:13:52	AVillegas	tag write	[default]SCD_CMD_AUT
2025-10-08 13:09:23	AVillegas	tag write	[default]SCD_CMD_START
2025-10-08 13:09:22	AVillegas	tag write	[default]SCD_CMD_START
2025-10-08 13:09:20	AVillegas	tag write	[default]SCD_CMD_MAN
2025-10-08 13:09:19	AVillegas	tag write	[default]SCD_CMD_MAN
2025-10-08 13:09:06	AVillegas	tag write	[default]SCD_CMD_RESET
2025-10-08 13:09:05	AVillegas	tag write	[default]SCD_CMD_RESET

USUARIO CONECTADO: AVillegas

Figura 162. Pantalla de historico de usuarios. Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.9.4.3. Pantalla de Histórico de Alarmas (Main Windows)

Con relación al histórico de alarmas, se implementó una tabla vinculada a la base de datos, específicamente a la tabla *Alarmas_SICMA21*. La tabla desarrollada muestra tanto las alarmas de campo, provenientes de la programación del PLC, como las alarmas asociadas al propio sistema SCADA.

Dicha tabla consulta toda la información almacenada en la base de datos mencionada, ya que los datos registrados resultan relevantes para diferentes áreas de la empresa, permitiendo su análisis desde el punto de vista operativo, de mantenimiento y de supervisión. Las alarmas de campo corresponden a las señales definidas directamente en la lógica de control del PLC, mientras que las alarmas del sistema SCADA reflejan condiciones propias de la capa de supervisión, como errores de comunicación o fallos de conexión con el servidor.

Gracias a esta estructura, el histórico de alarmas garantiza una trazabilidad completa de los eventos críticos, contribuyendo al diagnóstico rápido de fallas y al mejoramiento continuo de la confiabilidad del sistema.

Además, este módulo puede integrarse con los historiales de usuario y de variables de proceso, permitiendo correlacionar eventos, acciones de operador y cambios de estado del sistema. Esta capacidad de análisis cruzado representa una herramienta de gran valor para el mantenimiento preventivo y predictivo, así como para la optimización de la operación de la célula.

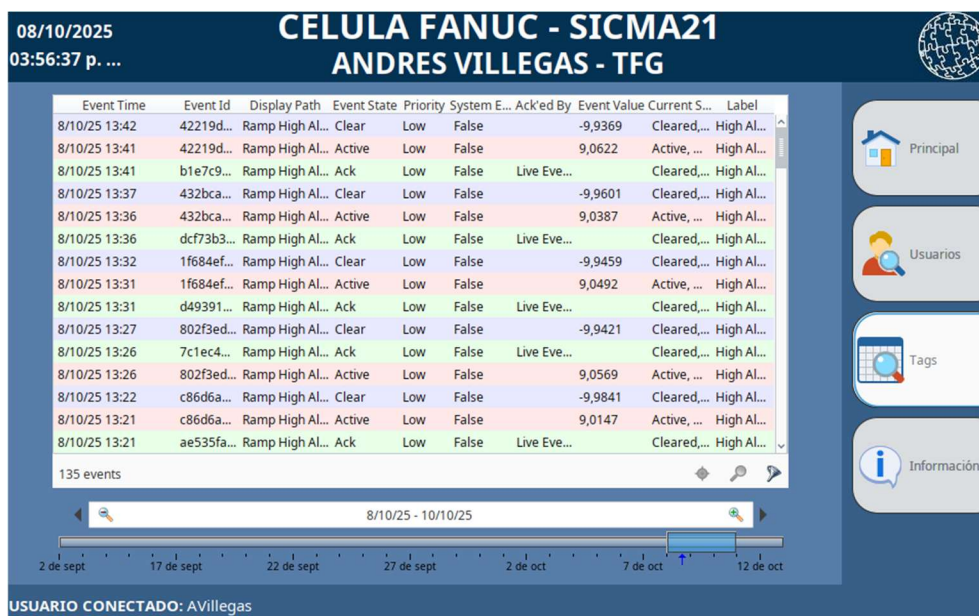


Figura 163. Pantalla de histórico de alarmas. Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.9.4.4. Pantalla de Histórico de Tags (Main Windows)

Con respecto a la pantalla del histórico de tags —también conocida como pantalla de tendencias—, se implementó una tabla vinculada a la sección de la base de datos correspondiente al Historian_Sicma21. En esta pantalla se visualizan los tags que fueron previamente configurados como históricos dentro del sistema.

Cabe destacar que, incluso tras realizar un reseteo del PLC, la información no se pierde en ningún momento, ya que proviene directamente de la base de datos del historiador. Gracias a ello, es posible consultar qué color de pieza fue procesado en un instante determinado y en qué ciclo de producción ocurrió, lo que proporciona una trazabilidad temporal precisa del proceso y facilita el análisis del rendimiento y comportamiento operativo de la célula.

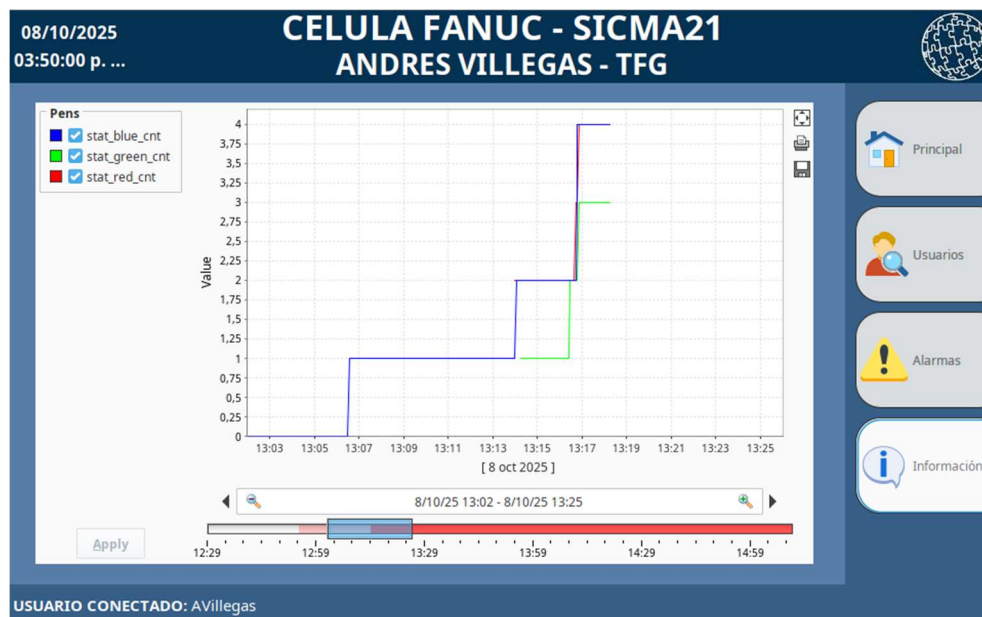


Figura 164. Pantalla de Tendencia de Tags. Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.9.4.5. Pantallas de Activación en Manual (*Popups Windows*)

Las pantallas presentadas en esta sección poseen una configuración distinta a las descritas anteriormente. Las pantallas de históricos y la pantalla principal ocupan la totalidad del área de visualización, ya que están configuradas como Main Windows. En contraste, las pantallas mostradas a continuación corresponden a ventanas emergentes (Popups), las cuales son de menor tamaño y se superponen temporalmente sobre las Main Windows.

Las pantallas Popups se emplearon para realizar los accionamientos en modo manual de la célula. El acceso a ellas se realiza haciendo clic sobre los elementos actuantes del sistema —como los cilindros neumáticos, el servomotor, el motor o el robot—. Cada ventana cuenta con su propia caja de comandos, así como con los elementos y señales de sensórica asociados al subsistema correspondiente, lo que permite un control manual preciso y seguro durante las pruebas y operaciones de ajuste.



Figura 165. Ejemplo de Popup relacionado a Electroválvula (01). Fuente: Elaboración propia, 2025.



Figura 166. Ejemplo de Popup relacionado a Servomotor (Banda 1). Fuente: Elaboración propia, 2025.



Figura 167. Ejemplo de Popup relacionado a Motor (Banda 2). Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.9.5. Diseño de la interfaz de Alarmas del Sistema

En este apartado se explica la configuración utilizada para la tabla de histórico de alarmas. La manera en que se asocia la tabla a la sección de la base de datos específica para las alarmas, solo es escribiendo el nombre del Journal implementado en el Gateway Ignition; elemento que se creo en las configuraciones iniciales del proyecto SCADA; Adicional a esto se le asocio un elemento conocido como Date Range, el cual nos ayuda a filtrar por fecha las alarmas mostradas en la tabla. La configuración se presenta en la figura XX y XX.

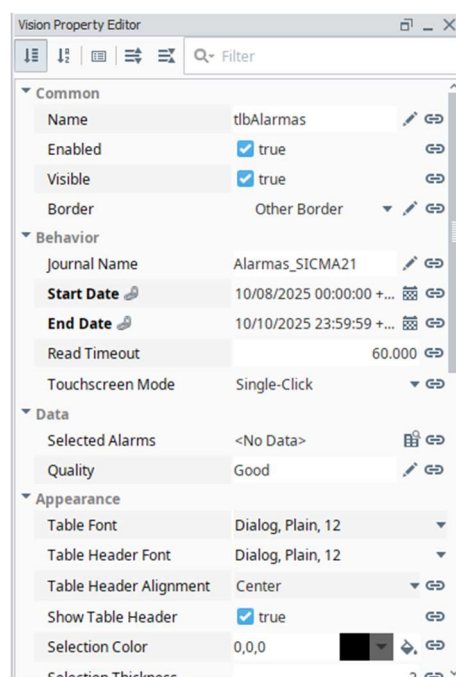


Figura 168. Configuración del Journal Name (Alarmas_SICMA21). Fuente: Elaboración propia, 2025.

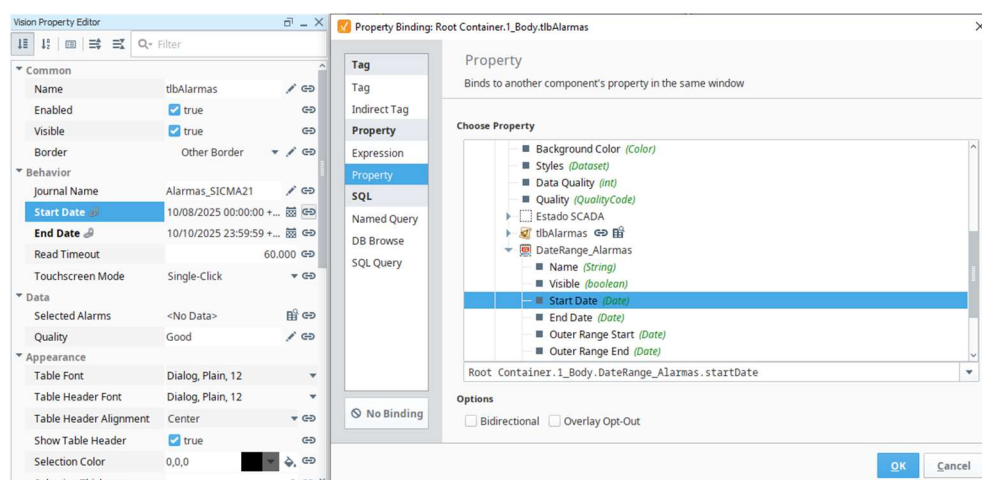


Figura 169. Configuración de los parámetros del Date Range. Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.9.6. Gestión de Usuarios

En las configuraciones de la tabla asociada a la gestión de usuarios, se implementó una consulta de base de datos (Figura 155). En dicha consulta se incorporaron parámetros que fueron asociados a los elementos encargados de realizar los filtros para la búsqueda correspondiente.

Posteriormente, se vinculó la consulta con la tabla y se definió a qué componente del proyecto estaba asociado cada parámetro, permitiendo así una interacción dinámica entre el formulario de filtrado y los resultados mostrados en la interfaz del SCADA.

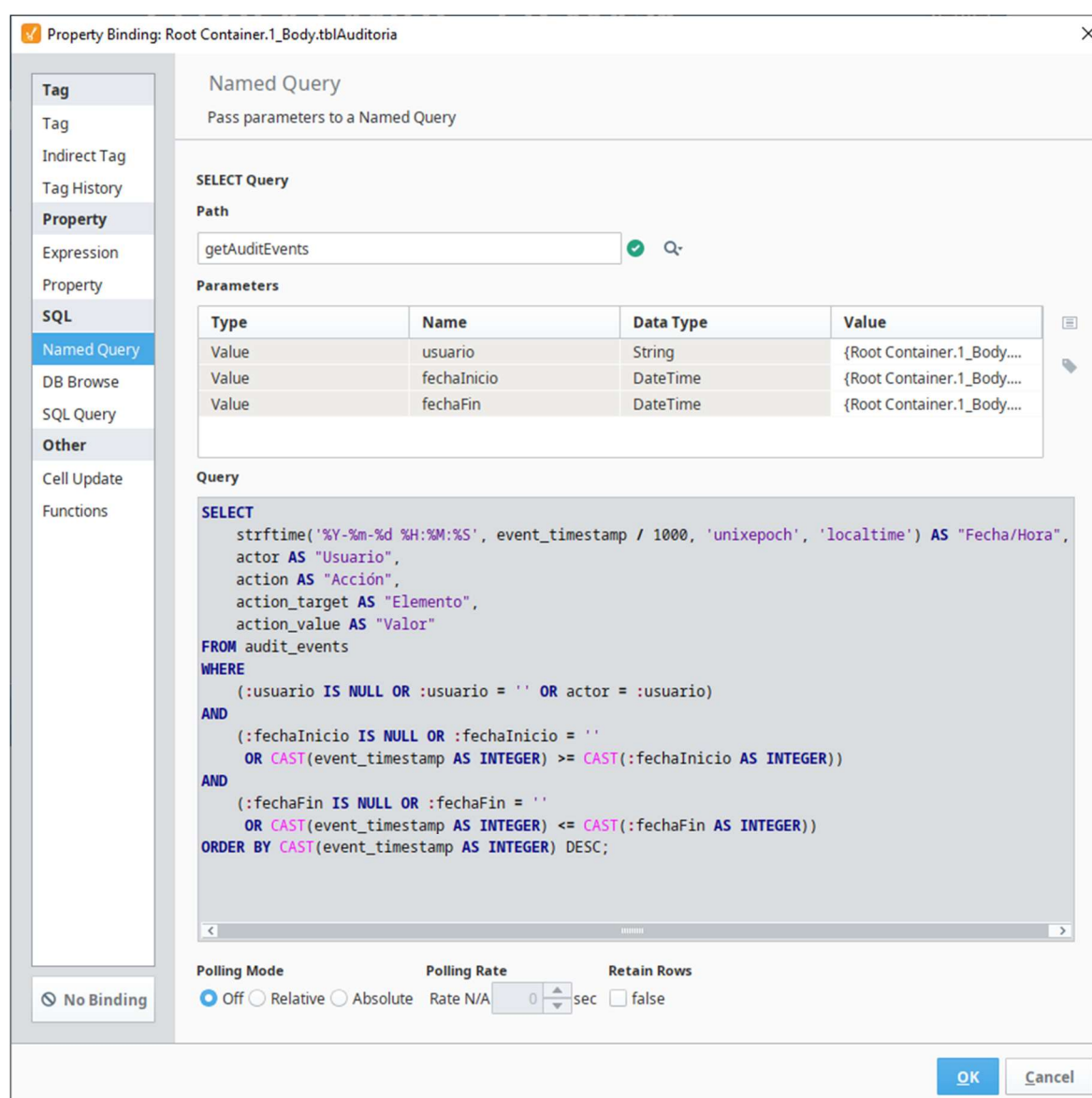


Figura 170. Configuración de la Tabla de gestión de Usuarios. Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.9.7. Gráfico de Históricos de Tags y Tendencias

Con respecto al histórico de tags, como se muestra en la Figura 164, se utilizó un objeto gráfico denominado *Easy Chart* dentro de Ignition. Para su configuración, basta con asociarlo a la tabla perteneciente a la base de datos *Historian_Sicma21*, en la cual se almacena la información de los tags que fueron previamente configurados como históricos, junto con su correspondiente marca temporal (*timestamp*).

El objeto Easy Chart gestiona internamente esta información y genera de forma automática los gráficos de tendencias en tiempo real, permitiendo visualizar la evolución de las variables configuradas y analizar su comportamiento durante la operación de la célula.

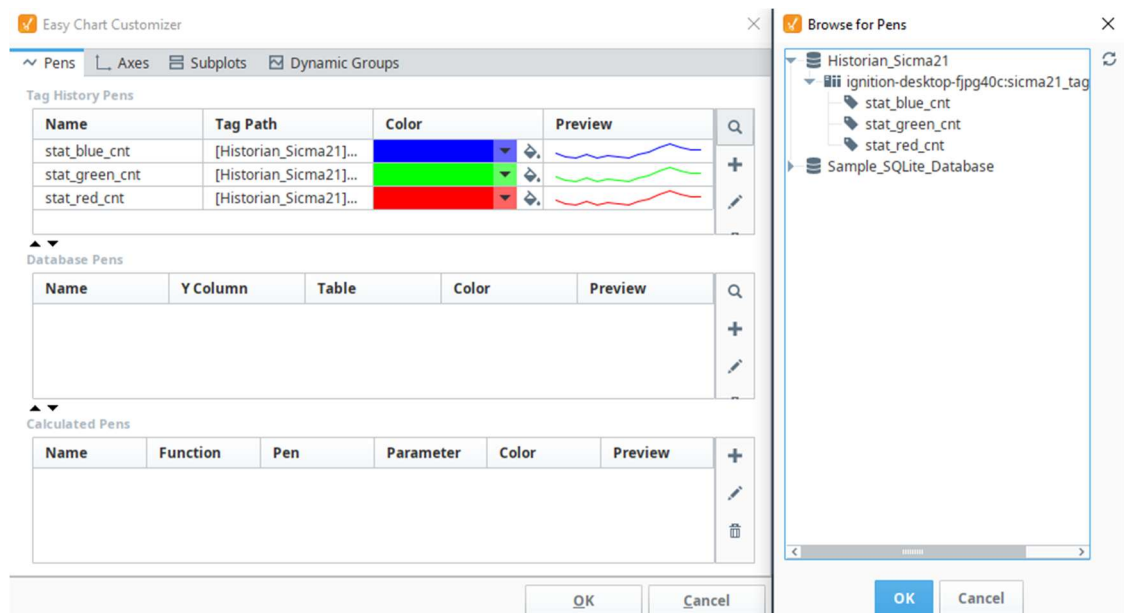


Figura 171. Configuración del Easy Chart para tendencia de tags. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Capítulo 4: Pruebas y Resultados

4.1. Diseño de las Pruebas de Entradas y Salidas Físicas

Estas pruebas tienen como objetivo comprobar la correcta correspondencia entre los elementos de campo (sensores y actuadores) y las direcciones asignadas en el PLC (CJ1M CPU21).

Se realizaron durante la fase FAT antes de integrar la lógica de control.

Nº	Tipo	Elemento	Descripción	Resultado Esperado
IOT-01	Entrada digital	Sensor de nivel bajo B1_LS_02	Activar manualmente el sensor y verificar en CX-Programmer la variable correspondiente.	La entrada cambia de 0 a 1.
IOT-02	Entrada digital	Sensor de posición cilindro B2_XL_05	Extender el cilindro y comprobar la activación del bit asignado.	Lectura estable sin rebotes.
IOT-03	Salida digital	Electroválvula V1_CV_01	Activar manualmente la bobina desde el PLC.	El cilindro realiza el movimiento esperado.
IOT-04	Salida digital	ENA_VFD	Activar señal de habilitación del variador.	El variador muestra "RUN ENABLE".
IOT-05	Salida digital	ENA_ROBOT	Activar salida desde PLC hacia el Fanuc M6iB.	El robot muestra estado <i>READY</i> .

Tabla 15. Diseño de Pruebas de Entradas y Salidas.

Criterio de aceptación: todas las señales deben responder correctamente y sin interferencias cruzadas.

4.2. Diseño de las Pruebas de Funcionalidad

Estas pruebas verifican la correcta ejecución de la lógica programada en el PLC, incluyendo la secuencia automática (GEMMA), la gestión de fallos y la conmutación de modos.

Se realizaron tanto en FAT como en SAT.

Nº	Función	Descripción de la prueba	Resultado esperado
FCT-01	Arranque de la célula	Energizar el sistema. Verificar que se entra automáticamente en estado P0 y todas las salidas están a 0.	Transición automática a P0, sin salidas activas.
FCT-02	Cambio de modo	Cambiar de <i>Manual</i> a <i>Automático</i> mediante SCADA.	SCD_EST_MAN=0 y SCD_EST_AUT=1, sin conflictos.
FCT-03	Ciclo automático	Activar "START" y observar la secuencia de P1 → P2 → P3.	Avance controlado, ejecución correcta de tareas T1–T4.
FCT-04	Parada normal	Pulsar STOP durante P3.	Transición a P4, desactivación de salidas y robot en espera.
FCT-05	Parada por fallo	Simular pérdida de comunicación con el nodo DeviceNet.	Activación de SYS_FLT_LAT y transición a P5.
FCT-06	Rearme del sistema	Pulsar botón RESET en SCADA.	Retorno a P0 y posibilidad de nuevo arranque.

Tabla 16. Diseño de las Pruebas de Funcionalidad.

Criterio de aceptación: el flujo de estados debe seguir la lógica definida en GEMMA sin bloqueos ni inconsistencias.

4.3. Diseño de las Pruebas entre Controlador y SCADA

Estas pruebas se centraron en verificar la correcta comunicación OPC UA entre KepServerEX (pasarela Omron Toolbus → OPC UA) y el SCADA Ignition, así como la coherencia de los valores mostrados en pantalla.

Se realizaron en la etapa SAT.

Nº	Tipo	Descripción de la prueba	Resultado esperado
COM-01	Comunicación OPC UA	Validar conexión entre KepServerEX e Ignition (puerto 49320).	Conexión estable sin errores en logs.
COM-02	Lectura de variables	Verificar lectura de un tag BOOL (ej. SCD_EST_MAN).	Coincidencia de valor entre CX-Programmer y SCADA.
COM-03	Escritura desde SCADA	Activar SCD_CMD_START desde pantalla principal.	Bit correspondiente se refleja en PLC.
COM-04	Supervisión de alarmas	Forzar una alarma de nivel bajo.	SCADA muestra aviso en pantalla “Alarmas”.
COM-05	Registro de datos	Observar tendencia de contadores de color (Statistics_Green/Red/Blue).	Gráficas actualizan en tiempo real.

Tabla 17. Diseño de Pruebas entre Controlador y SCADA.

Criterio de aceptación: La comunicación debe ser bidireccional, sin pérdida de datos ni desfases perceptibles entre PLC y SCADA.

4.4. Resultado de Pruebas

Con el objetivo de validar el correcto funcionamiento del sistema de automatización antes de su entrega final, se realizaron las pruebas de aceptación en fábrica (FAT — *Factory Acceptance Test*) y en sitio (SAT — *Site Acceptance Test*) dentro de las instalaciones de SICMA21, donde se encuentra instalada la célula robotizada.

Estas pruebas tuvieron como finalidad comprobar la integridad funcional, la seguridad operativa y la fiabilidad del sistema de control, abarcando desde la capa de campo hasta la supervisión SCADA. La ejecución completa de las pruebas en el entorno de SICMA21 permitió verificar tanto el hardware (sensores, actuadores, cableado, módulos de E/S) como el software de control y supervisión, garantizando que la célula opera bajo las condiciones de seguridad y rendimiento esperadas.

El plan de pruebas se estructuró en tres bloques principales:

- Pruebas de Entradas y Salidas Físicas: validación del mapeo entre los dispositivos de campo y las direcciones asignadas en el PLC Omron CJ1M, asegurando la correcta correspondencia entre señales físicas y simbólicas.
- Pruebas de Funcionalidad: verificación del comportamiento lógico del autómatas, de las transiciones de estados según la guía GEMMA, y del cumplimiento de las condiciones de seguridad y enclavamientos.
- Pruebas de Comunicación PLC–SCADA: comprobación de la conexión entre el PLC, el servidor KepServerEX (OPC UA) y el sistema de supervisión Ignition, garantizando el intercambio correcto y en tiempo real de las variables del proceso.

Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente matriz, donde se detallan los objetivos, criterios de aceptación y veredictos asociados a cada prueba ejecutada. Todas las pruebas fueron satisfactorias, confirmando que el sistema cumple con los requerimientos de diseño y seguridad establecidos durante el desarrollo del proyecto.

Código	Tipo de Prueba	Elemento / Función	Objetivo	Resultado Obtenido	Criterio de Aceptación	Veredicto
IOT-01	Entradas / Salidas Físicas	B1_LS_01 – Sensor Nivel Bajo	Verificar activación correcta del sensor.	Cambio 0→1 detectado en PLC y SCADA.	Señal visible y estable en CX-Programmer.	OK
IOT-02	Entradas / Salidas Físicas	B2_XL_05 – Cilindro 5 Retraído	Validar detección del final de carrera.	Lectura correcta, sin rebote.	Estado estable al accionar manualmente.	OK
IOT-03	Entradas / Salidas Físicas	B1_CV_01 – Electroválvula 1	Confirmar actuación del cilindro.	Movimiento completo observado.	Activación reproducible desde PLC.	OK
IOT-04	Entradas / Salidas Físicas	ENA_VFD	Validar habilitación del variador.	Indicador RUN activo en VFD.	Respuesta del variador confirmada.	OK

IOT-05	Entradas / Salidas Físicas	ENA_ROBOT	Comprobar habilitación del robot Fanuc.	Estado <i>READY</i> mostrado en robot.	Comunicación DeviceNet correcta.	OK
FCT-01	Funcionalidad	P0 – Parada Inicial	Verificar inicio con todas las salidas desactivadas.	Sistema inicia con todas las salidas a 0.	Sin salidas activas tras energizado.	OK
FCT-02	Funcionalidad	Cambio MAN/AUT	Verificar exclusividad de modos.	Cambio entre modos sin conflicto de bits.	Solo un modo activo simultáneamente.	OK
FCT-03	Funcionalidad	Ejecución Automática (P3)	Validar transiciones P1→P2→P3.	Secuencia fluida, sin bloqueos.	Transiciones según GEMMA.	OK
FCT-04	Funcionalidad	Parada Normal (P4)	Detener el ciclo de forma segura.	Actuadores regresan a posición segura.	Secuencia de parada correcta.	OK
FCT-05	Funcionalidad	Falla Controlada (P5)	Simular fallo del robot.	Sistema entra automáticamente a P5.	Activación de SYS_FLT_LAT.	OK
FCT-06	Funcionalidad	Rearme de Falla	Validar reinicio tras error.	Rearme manual exitoso.	Retorno a estado P0 disponible.	OK

COM-01	Comunicación PLC–SCADA	Conectividad OPC UA	Verificar enlace KepServer–Ignition.	Comunicación estable sin errores.	Conexión activa por puerto 49320.	OK
COM-02	Comunicación PLC–SCADA	Lectura de Tags	Confirmar actualización en tiempo real.	Valores coherentes <1 s.	Refresco constante de variables.	OK
COM-03	Comunicación PLC–SCADA	Escritura desde SCADA	Validar control remoto de bits.	Comandos reflejados en PLC.	Comunicación bidireccional estable.	OK
COM-04	Comunicación PLC–SCADA	Alarmas del Sistema	Simular nivel bajo de tolva.	SCADA muestra alarma en ventana principal.	Registro y visualización correctos.	OK
COM-05	Comunicación PLC–SCADA	Estadísticas por Color	Verificar actualización de contadores	Contadores Green/Red/Blue actualizan.	Coincidencia entre conteo físico y SCADA.	OK

Tabla 18. Matriz de Resultados de Pruebas FAT y SAT.

Capítulo 5: Normativa

5.1. Metodología de Desarrollo

El desarrollo del presente proyecto se llevó a cabo siguiendo una metodología estructurada y alineada con las buenas prácticas de la ingeniería de automatización. Se adoptó un enfoque basado en la norma IEC 61131-3, que establece los lenguajes de programación estándar para controladores lógicos programables (PLC), asegurando la portabilidad y legibilidad del código. Asimismo, se aplicaron principios de la metodología GEMMA (Guide d'Étude des Modes de Marches et d'Arrêts), la cual permite modelar de manera clara y sistemática los modos de operación, parada y fallo de la célula.

En cuanto al desarrollo documental, se siguieron las recomendaciones de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) para la redacción de trabajos de final de grado, con especial atención a la claridad en la descripción técnica y a la integración de esquemas, diagramas y tablas normalizadas.

5.2. Codificación e Identificación

La codificación de señales, variables y dispositivos se realizó de acuerdo con criterios estandarizados que favorecen la trazabilidad y el mantenimiento del sistema.

- Las entradas y salidas físicas fueron identificadas conforme a la norma IEC 81346, asignando códigos funcionales y direcciones claras en la tabla de símbolos del PLC.
- Las variables internas se agruparon en áreas de memoria diferenciadas (W, HR, DM) para facilitar su integración con el SCADA.
- Se aplicó un sistema de nomenclatura descriptivo, de modo que cada bit o palabra refleja su función en el proceso (ejemplo: DI_RBT_READY, DO_EN_V20, SCADA_START).

Este esquema de codificación facilita tanto la depuración del programa como la futura ampliación o modificación de la célula robótica.

5.3. Implementación del Programa del PLC

El programa del PLC fue desarrollado en CX-Programmer, empleando una combinación de diagramas de escalera (Ladder) y gráficos secuenciales de funciones (SFC), ambos estandarizados por IEC 61131-3. La lógica se organizó en secciones independientes que corresponden a:

-
- Seguridad y enclavamientos.
 - Selección de modos de operación (manual/automático).
 - Ejecución secuencial del ciclo (basado en GEMMA).
 - Intercambio de señales con el robot FANUC (handshake START, BUSY, DONE).
 - Gestión de alarmas y fallos.

El código fue comentado y estructurado de forma modular, garantizando su legibilidad y facilitando el análisis de la lógica de control.

5.4. Programa del SCADA

El entorno SCADA se desarrolló siguiendo criterios de diseño de interfaces industriales y conforme a estándares de comunicación OPC/OPC UA. Se empleó KEPServerEX como servidor de comunicaciones, lo que permitió enlazar el PLC OMRON con las pantallas de supervisión.

Las pantallas del SCADA fueron diseñadas según buenas prácticas de ergonomía y usabilidad definidas en normas como ISA-101 (Human Machine Interfaces for Process Automation Systems), incluyendo:

- Pantalla general de overview del proceso.
- Pantallas de operación en modo manual y automático.
- Gestión de alarmas y avisos de seguridad.
- Tendencias de señales críticas y registro de eventos.

De este modo, el SCADA cumple su función como capa de supervisión y control, asegurando accesibilidad a los datos y garantizando una operación intuitiva y segura de la célula robótica.

Capítulo 6. Impacto Medioambiental

La implementación de una célula robótica industrial como la desarrollada en este proyecto conlleva un análisis de su posible impacto ambiental, tanto en la fase de diseño como en la etapa de operación.

En primer lugar, cabe destacar que el sistema planteado es de carácter educativo y experimental, por lo que su escala de consumo energético y de recursos es reducida en comparación con entornos productivos de gran capacidad. Aun así, se han considerado los siguientes aspectos:

- **Consumo eléctrico:** El uso de un robot FANUC, un autómatas programable OMRON y los equipos auxiliares (servoamplificador, variador de frecuencia, dispositivos de control y PC de supervisión) implica un gasto energético constante durante las sesiones de operación. Sin embargo, la célula se activa únicamente en jornadas de prácticas o pruebas, lo que limita considerablemente la huella de consumo. Además, el empleo de un variador para el accionamiento de la banda permite una gestión más eficiente de la energía al adaptar la velocidad a las necesidades del ciclo.
- **Uso de materiales y componentes:** Los elementos mecánicos, neumáticos y eléctricos utilizados provienen de componentes estándar ya fabricados, evitando procesos adicionales de manufactura y reduciendo así el impacto ambiental asociado a la producción. Asimismo, el sistema está concebido para un uso prolongado en el tiempo, minimizando la generación de residuos por sustitución frecuente de equipos.
- **Residuos y emisiones:** La célula no genera emisiones contaminantes ni residuos directos durante su funcionamiento, dado que se trata de un proceso estrictamente digital y de manipulación de piezas sin transformación material. Los únicos residuos posibles provienen del mantenimiento (embalajes, cableado desechado o componentes eléctricos al final de su vida útil), que pueden ser gestionados mediante protocolos de reciclaje y recuperación de materiales.
- **Seguridad y ergonomía:** El diseño contempla la integración de paradas de emergencia, protecciones y sistemas de seguridad que evitan incidentes que pudieran suponer daños no solo personales, sino también materiales o energéticos. Esto contribuye indirectamente a una operación más sostenible.

En conclusión, el impacto medioambiental del proyecto es bajo, debido a la naturaleza educativa, la ausencia de procesos productivos contaminantes y la limitada escala de consumo. No obstante, se

recomienda fomentar buenas prácticas en la gestión de residuos eléctricos y electrónicos, así como en la optimización del uso energético durante las pruebas de la célula



Capítulo 7. Conclusiones

Se logró el objetivo principal del proyecto, consistente en la puesta a punto de la célula FANUC perteneciente a la empresa SICMA21. No obstante, el proyecto contempla aún mejoras futuras que podrán implementarse de forma progresiva. Entre ellas, se recomienda optimizar las piezas mecánicas para incrementar la rigidez estructural y evitar vibraciones en las chapas de aluminio, ya que estas pueden generar fallos durante la operación de la célula. Asimismo, se considera necesaria la incorporación de un mayor número de sensores, con el fin de mejorar el control del proceso y ampliar la capacidad de adquisición de información.

El proyecto presenta un carácter escalable, dado que, por solicitud de SICMA21, se prevé la incorporación de nuevos PLCs para la simulación de fallas en el proceso. La implementación de un servidor OPC UA constituye una base sólida que permitirá, en el futuro, la integración con sistemas MES y ERP, los cuales conforman los niveles superiores de la pirámide CIM. Cabe destacar que el presente proyecto abarcó únicamente las tres primeras capas de dicha pirámide; sin embargo, la célula fue diseñada de manera que la información pueda extraerse fácilmente para futuras integraciones con otros sistemas.

Durante el desarrollo se evidenció una dificultad en la programación e integración de la cámara de inspección. Aunque se dejaron conectadas todas las señales de las cámaras de supervisión hacia el PLC, no fue posible completar la programación correspondiente debido a limitaciones de tiempo en la fase final del proyecto. Como alternativa, se realizaron ajustes en las condiciones físicas iniciales de la célula.

Finalmente, se presentaron inconvenientes en la comunicación entre el PLC y la PC Station. Inicialmente se había previsto el uso del protocolo nativo de OMRON Host Link; sin embargo, este no logró establecer comunicación directa con el driver KepServerEX 6. El problema principal radicó en errores de direccionamiento hacia el dispositivo físico: aunque la configuración coincidía en ambos nodos, la comunicación no era reconocida por el sistema.

Presupuesto y/o Análisis Económico

En este apartado se presentan de manera detallada los costes incurridos en la ejecución del proyecto. Se tienen en cuenta la adquisición de materiales, así como los costes asociados al desarrollo y la implementación. Dado que se trata de un proyecto realizado en el marco de una práctica, se asume también un valor estimado en euros por hora de trabajo.

A continuación, se desglosan los diferentes costes considerados:

Apartado	Concepto	Coste	Total
Valor Humano	Coste de mano de obra	8 €/h (654 Horas)	5.232,00€
Material	Procesado de Chapa de Aluminio	-	260,00 €
	Cableado	-	120,00 €
	Actuadores	-	647,50 €
	Sensórica	-	-
	Controlador	-	-
	Distribución Beckhoff	-	-
	Variador de Frecuencia	-	-
	Robot FANUC	-	-
Software	CX One OMRON	-	446,00 €
	KepServer EX V6	Licencia Demo	-
	SCADA Ignition	Licencia Demo	-
	Drive	Gratuito	-

	EPlan Student	Licencia de Estudiante	-
	Autodesk Inventor Profession	Licencia de Estudiante	-
	Software Cognex	Free	

Tabla 19. Costes

Se evidencia que gran parte del material utilizado ya se encontraba a disposición de SICMA21; por lo tanto, el uso de dichos elementos no se considera un coste incurrido dentro del proyecto.

De acuerdo con la tabla anterior, se observa que el valor total del proyecto asciende aproximadamente a 6.705,5 €.

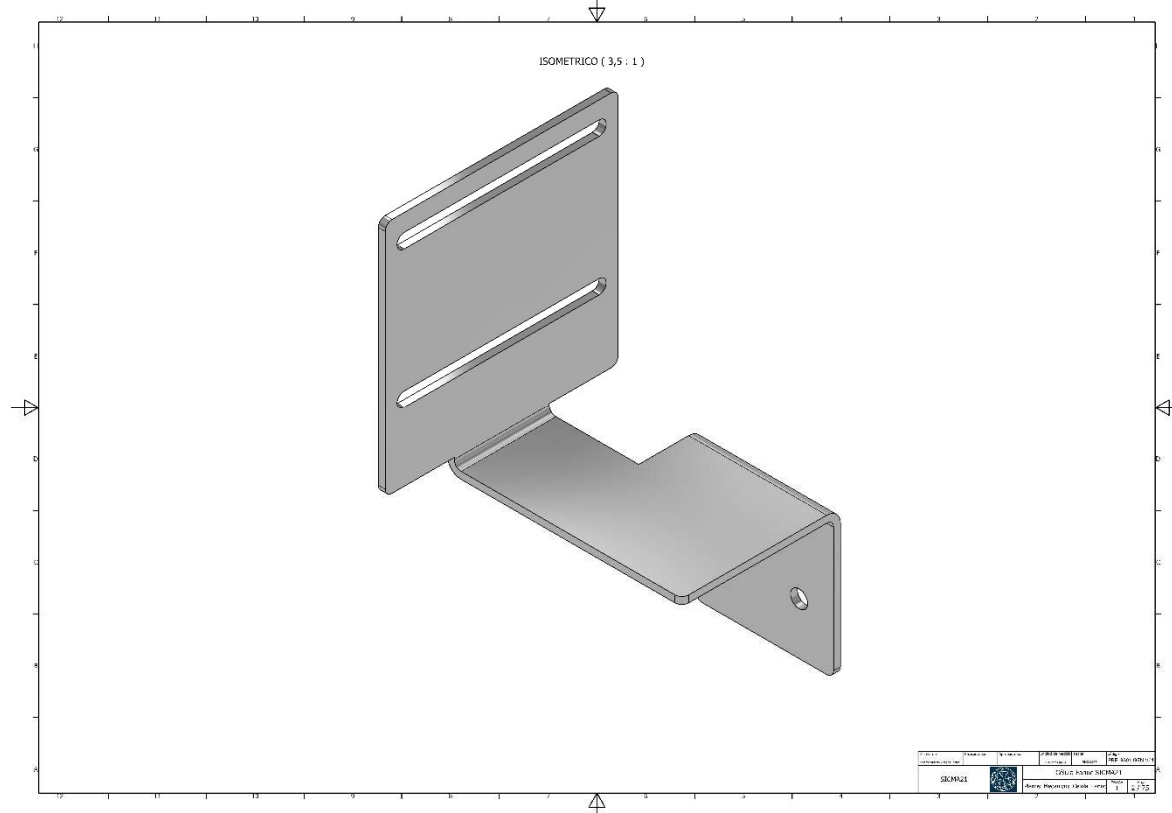
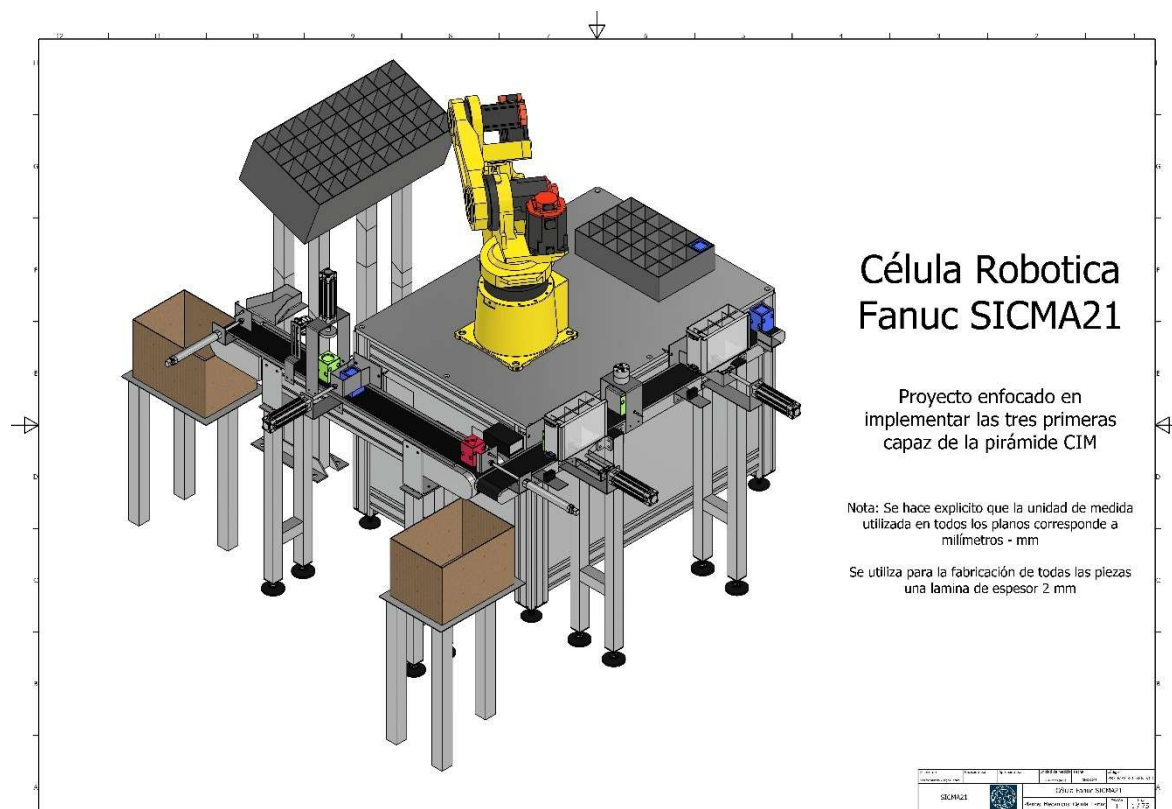
Adicionalmente, se especifica que pueden existir costes asociados que no se incluyen en este informe por motivos de confidencialidad con la empresa SICMA21.

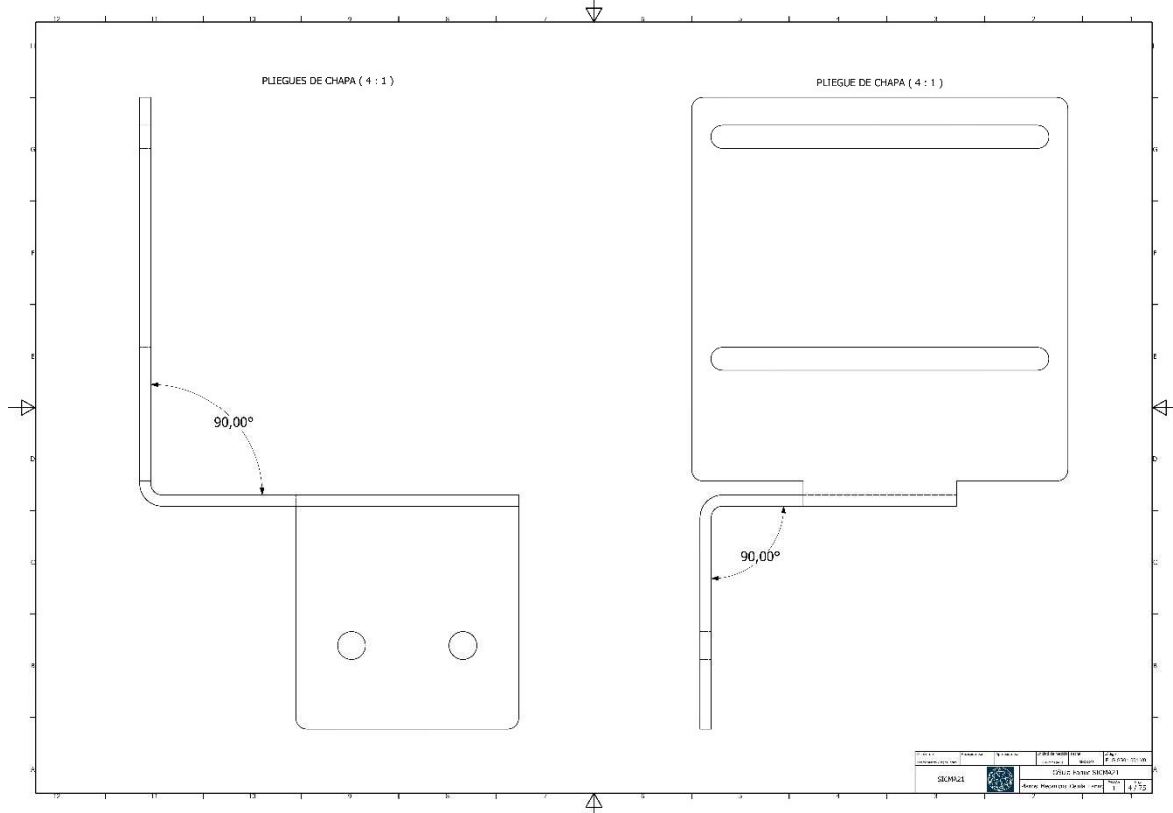
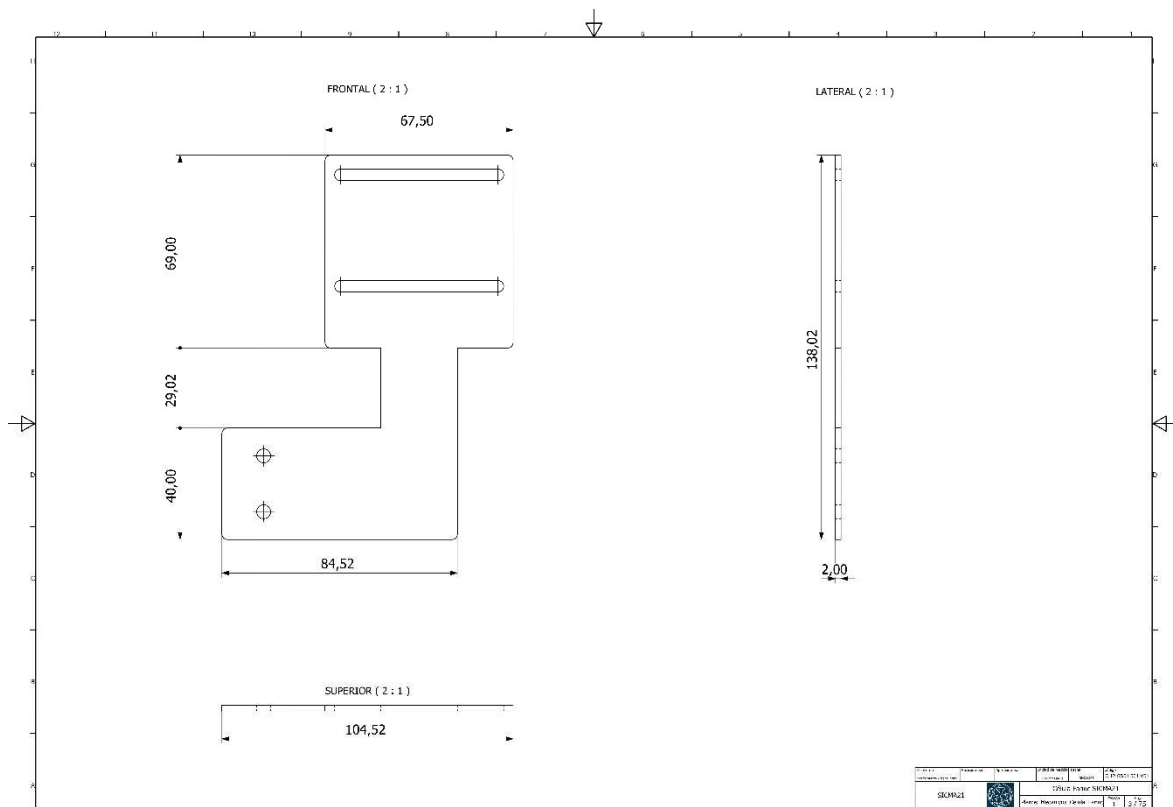
Bibliografía

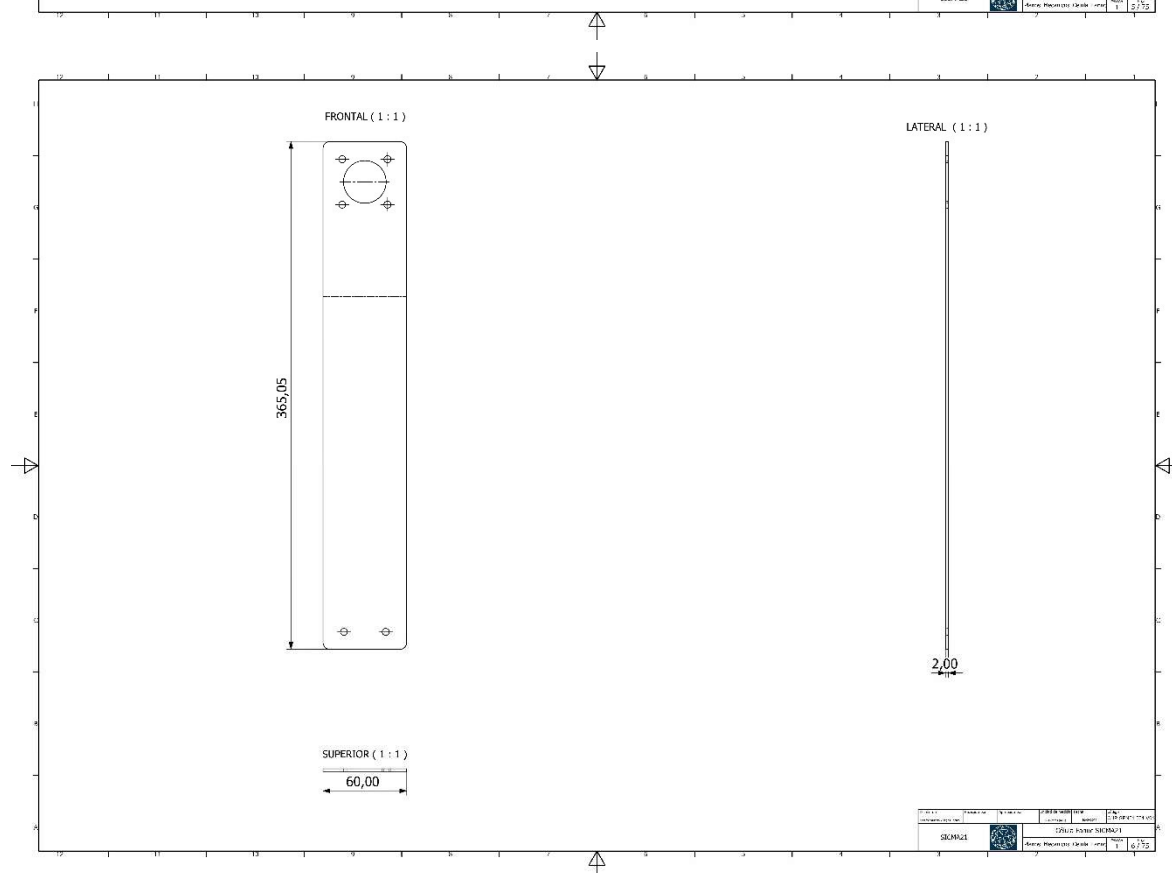
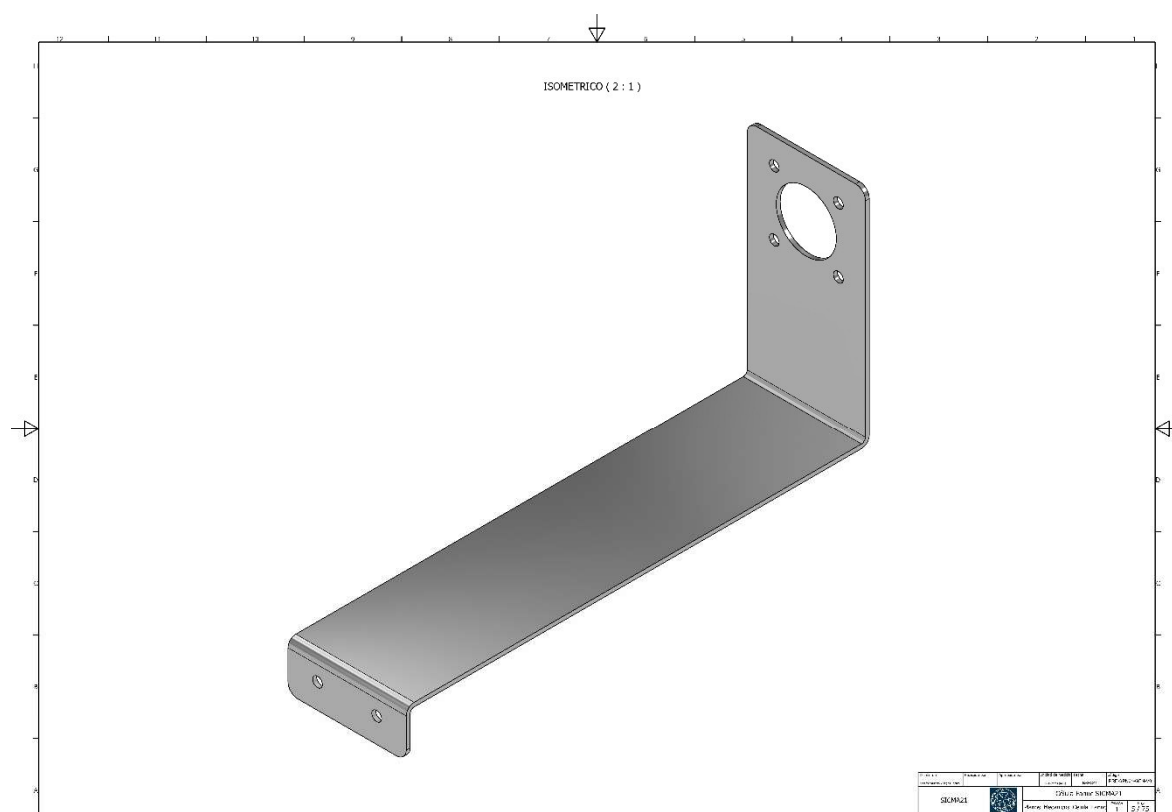
- [1] G. Barona López y L. E. Velasteguí, Automatización de procesos industriales mediante Industria 4.0, Alfaomega Grupo editor, 2021.
- [2] D. Páez Molina y J. Gutiérrez Peña, Diseño y análisis del funcionamiento estructural de un brazo robótico de nivel industrial de cuatro grados de libertad, #ashtag, 2020.
- [3] R. Miranda Colorado, Cinemática y dinámica de robots manipuladores, Alfaomega Grupo Editor, 2016.
- [4] A. B. Latorre Angel y J. C. Rodríguez Rueda, «Aplicación didáctica de la plataforma IQWORKS en el campo de la automatización industrial,» Bogota, 2014.
- [5] F. Garcia Fernández y R. Ortiz Campos, «Integración de un brazo robot en una estacion de almacenamiento de un producto final,» 2005.
- [6] S. Muñoz Restrepo, «Repotenciación del Robot Scora_ER14 de la celda de manufactura flexible del laboratorio de estudio y medición de trabajo de la Universidad Autonoma de Occidente,» Santiago de Cali, 2023.
- [7] E. García Trinidad, I. R. Aguilar Martínez y J. D. Pérez Vásquez, «Diseño de un manipulador robótico de cinco grados de libertad como herramienta para un sistema de detección de fallas mediante ultrasonido derivado del proyecto de investigación SIP 2008 2653,» Mexico, D.F., 2008.
- [8] J. S. Pasaca Valdivieso y M. J. Simbaña Albuja, «Automatización e integración mediante redes industriales de los módulos MAS-202 y MAS-205A al sistema MAS-200 del laboratorio CIM de la Universidad de las Fuerzas Armadas, campus Sangolquí,» Sangolquí, 2021.

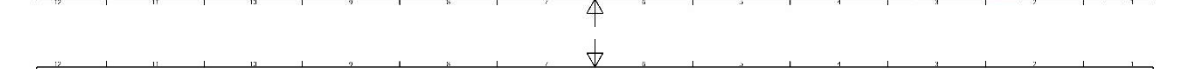
Anexo A: Planos mecánicos

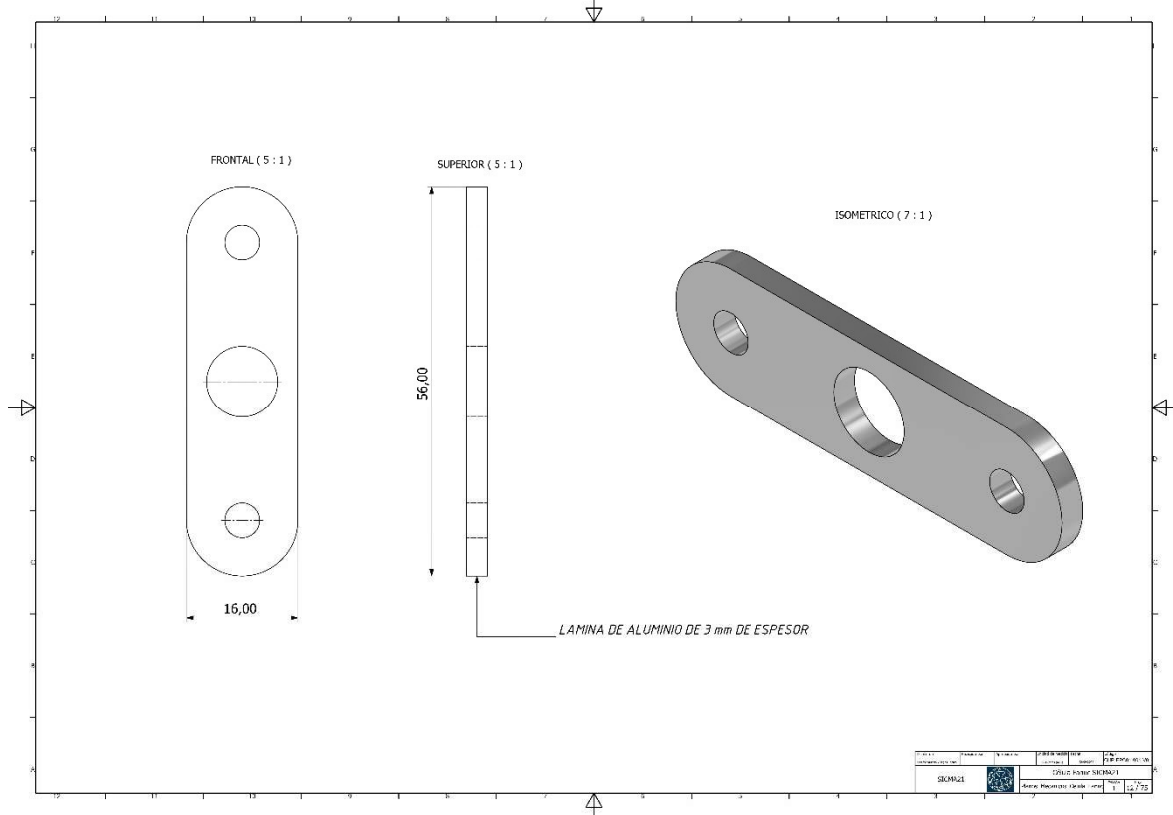
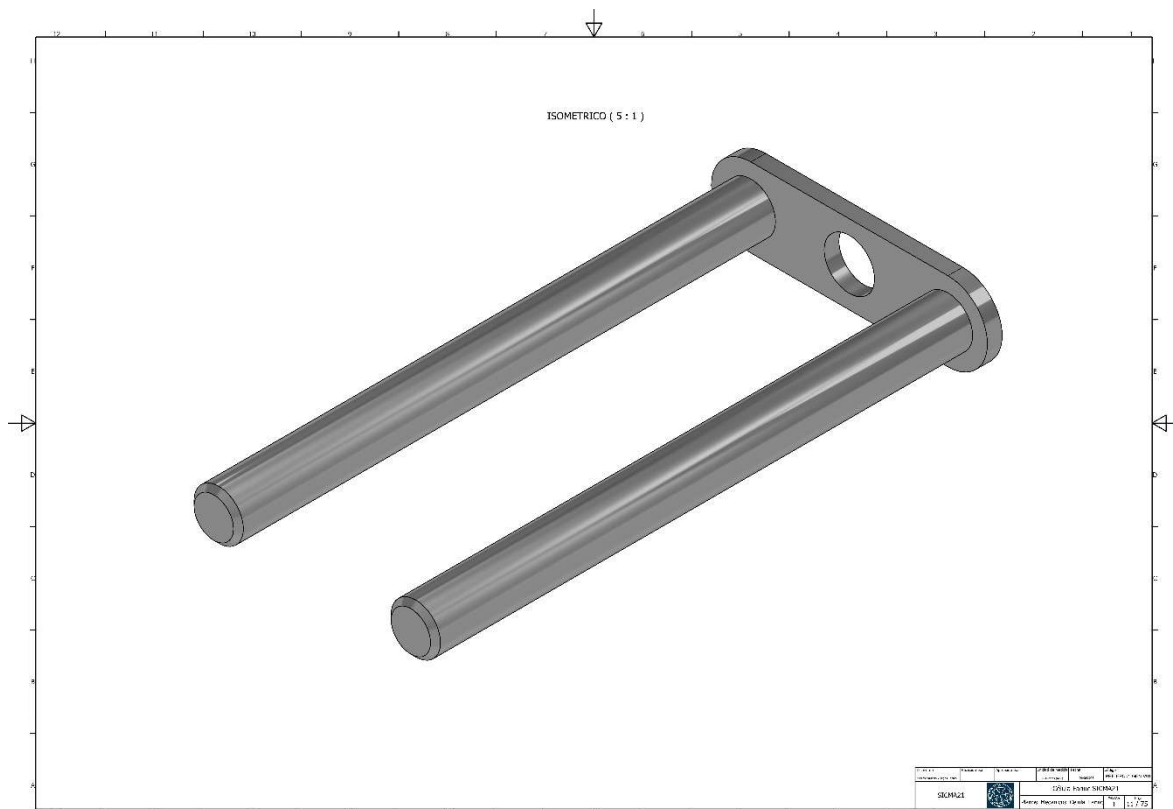


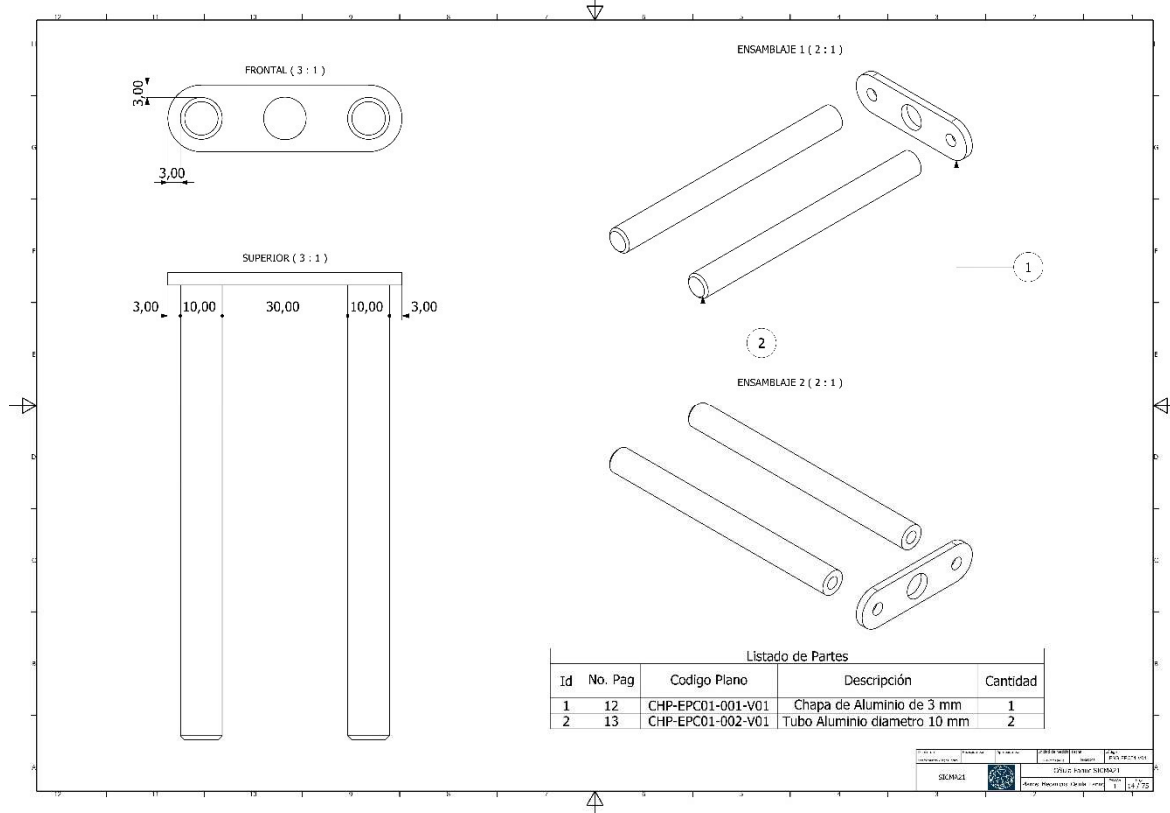
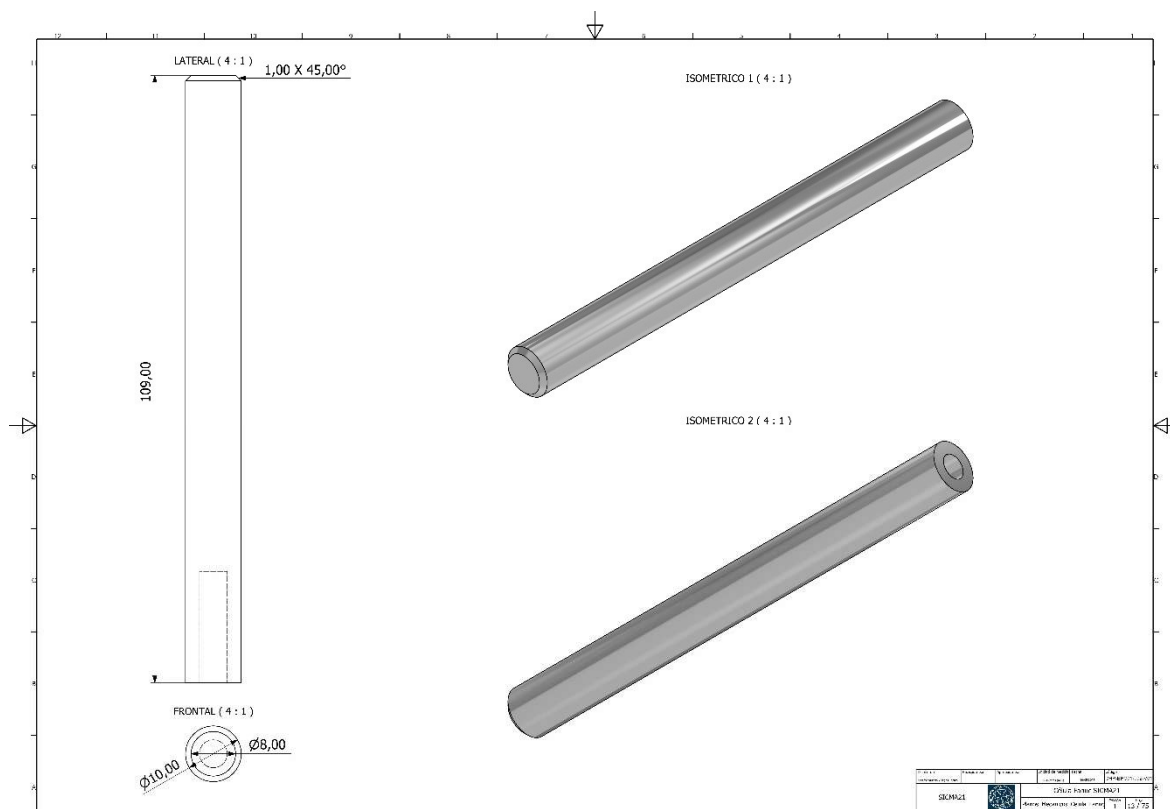


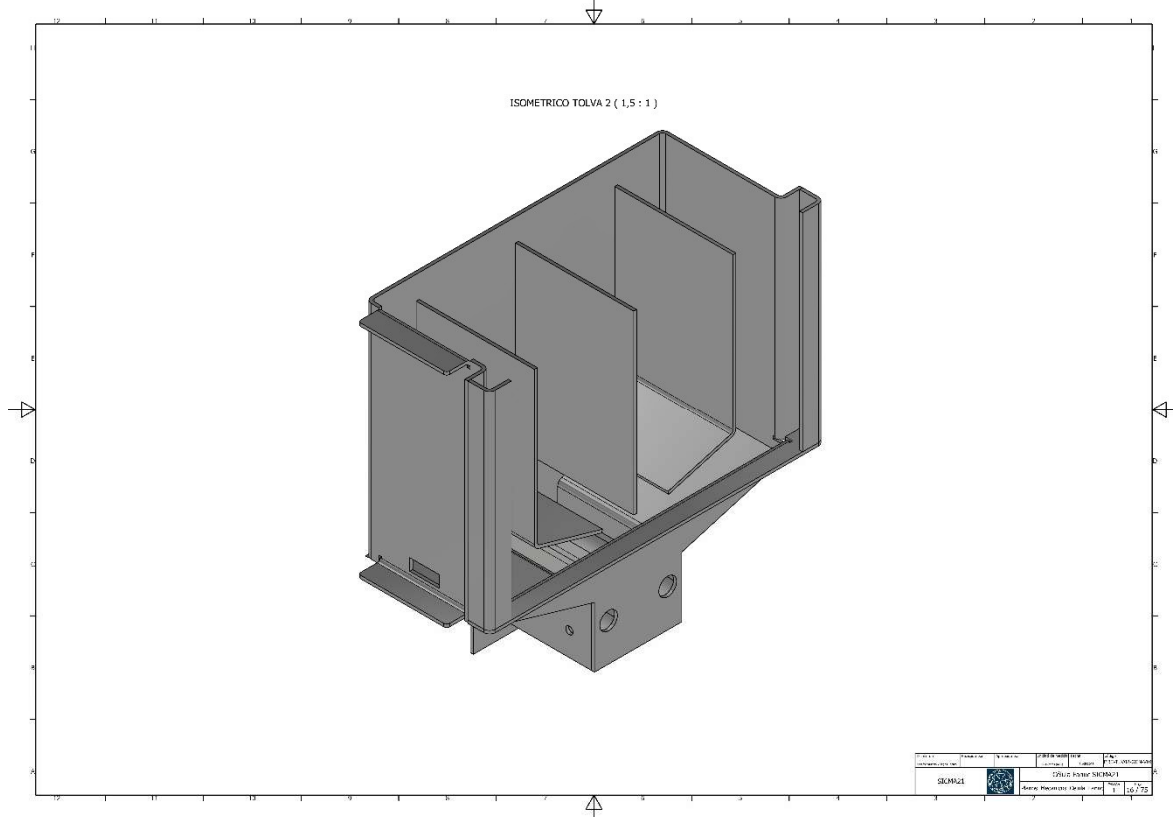
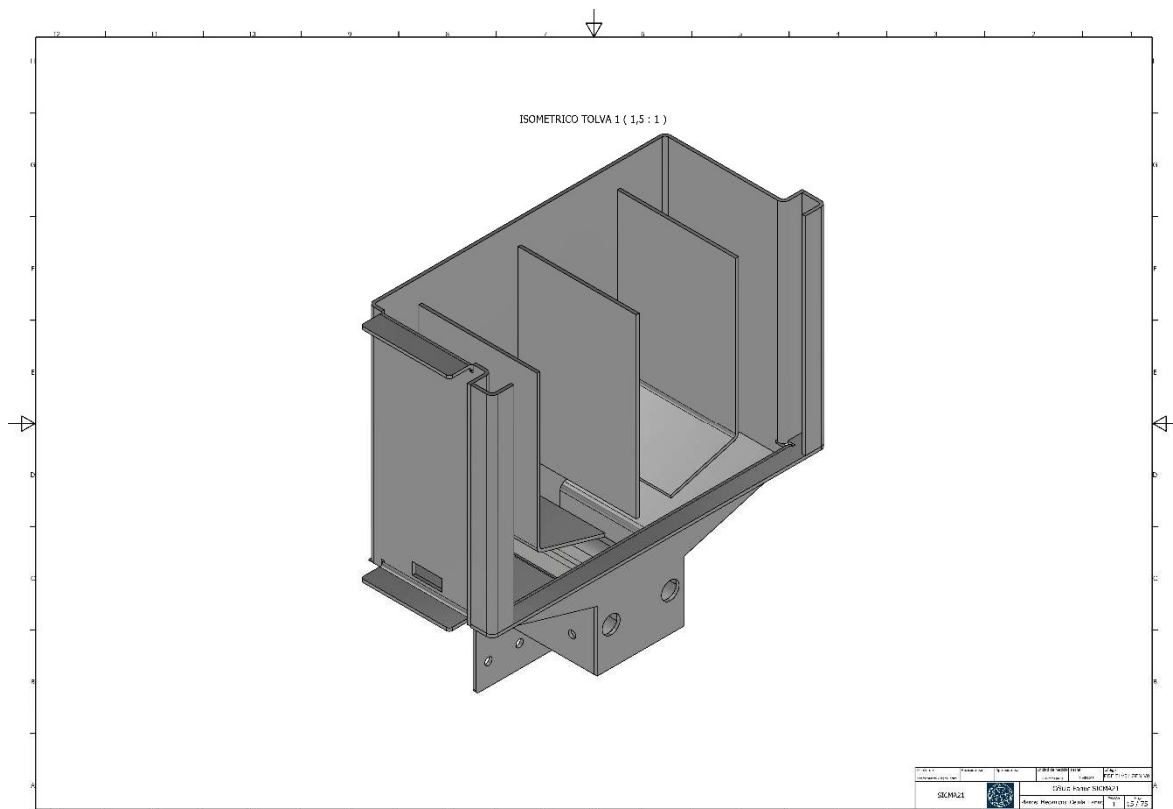


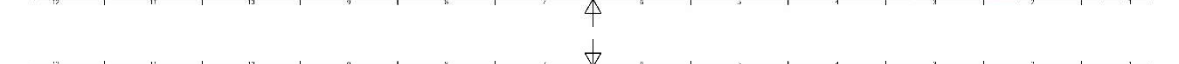


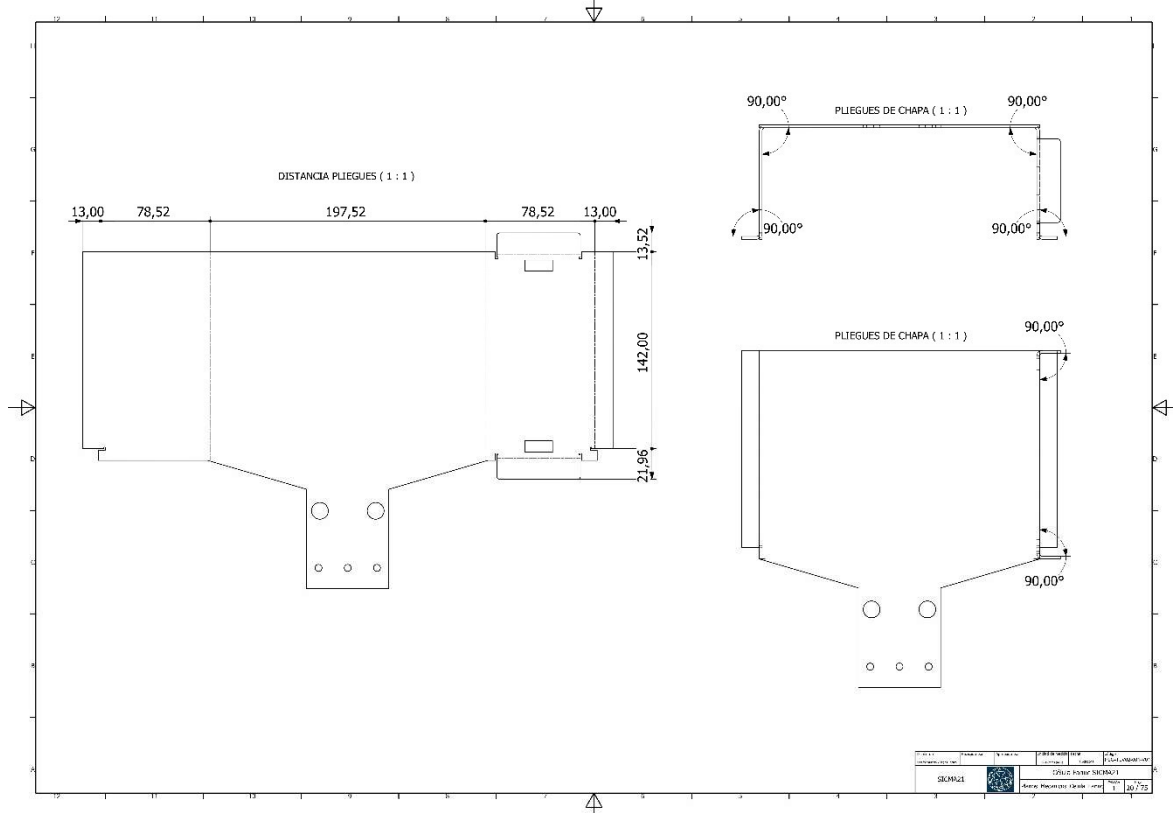
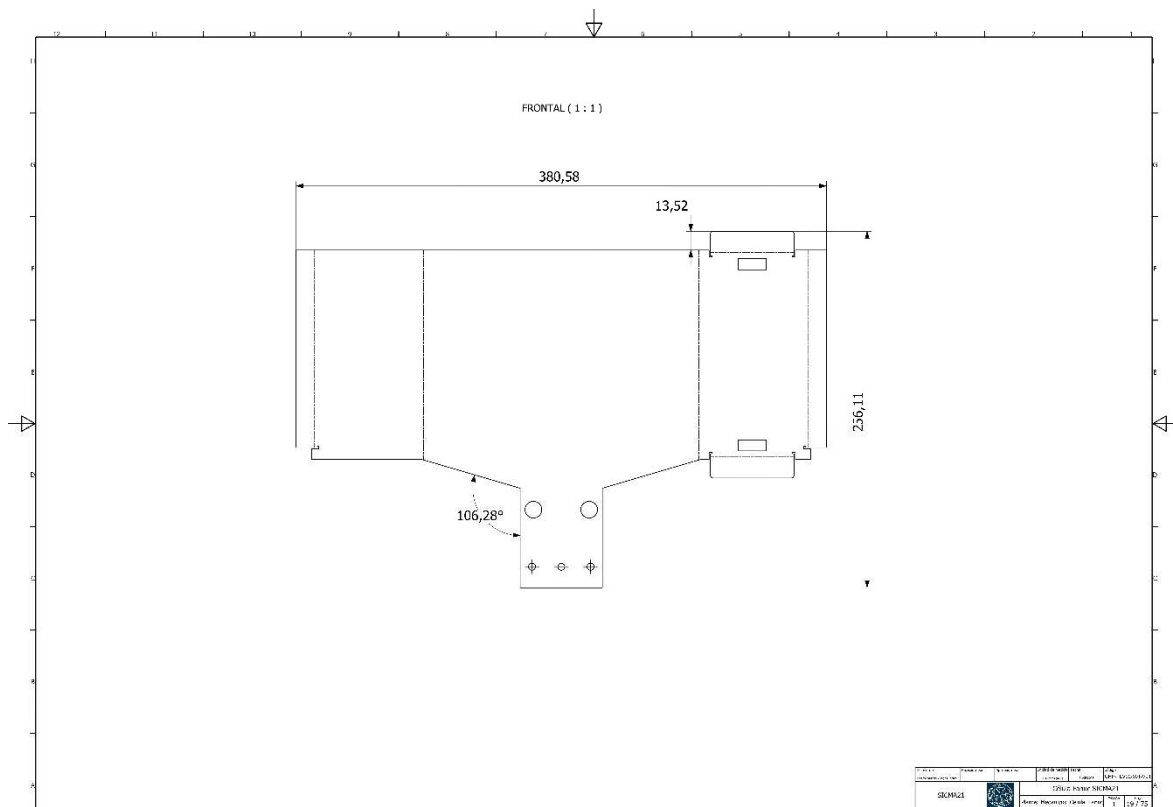


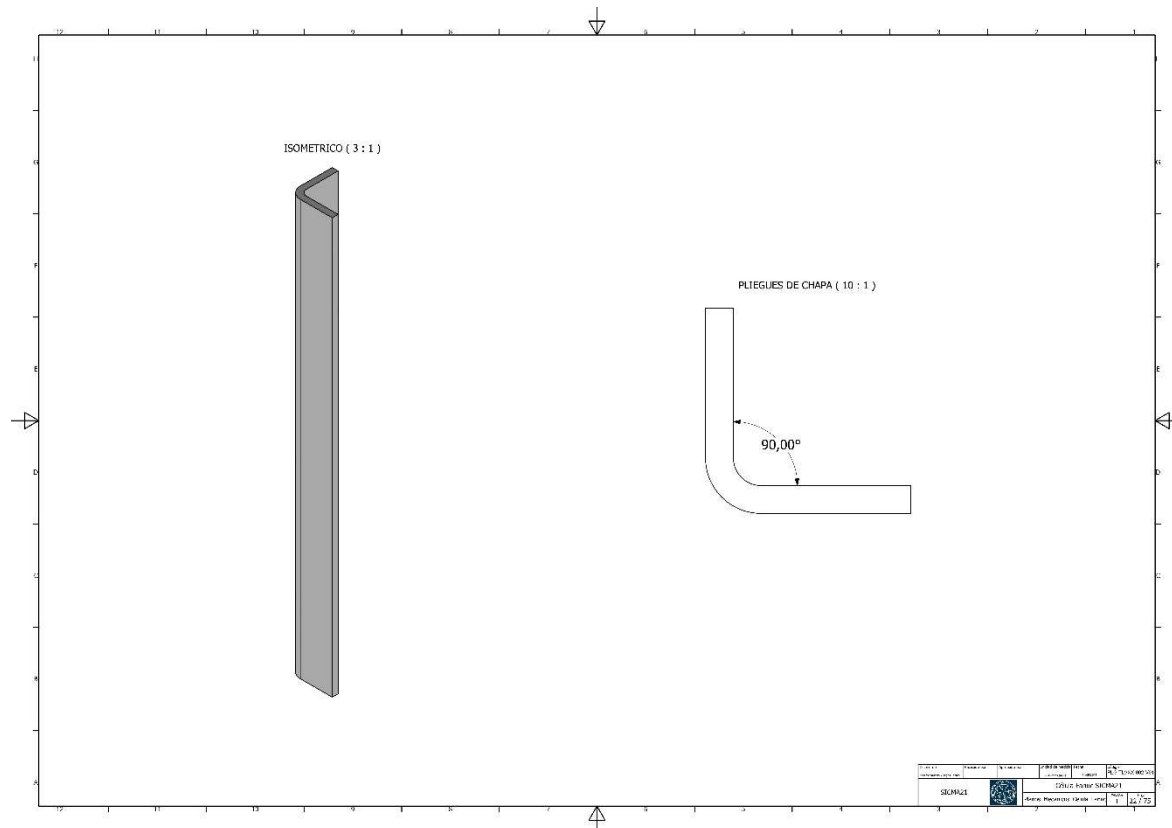
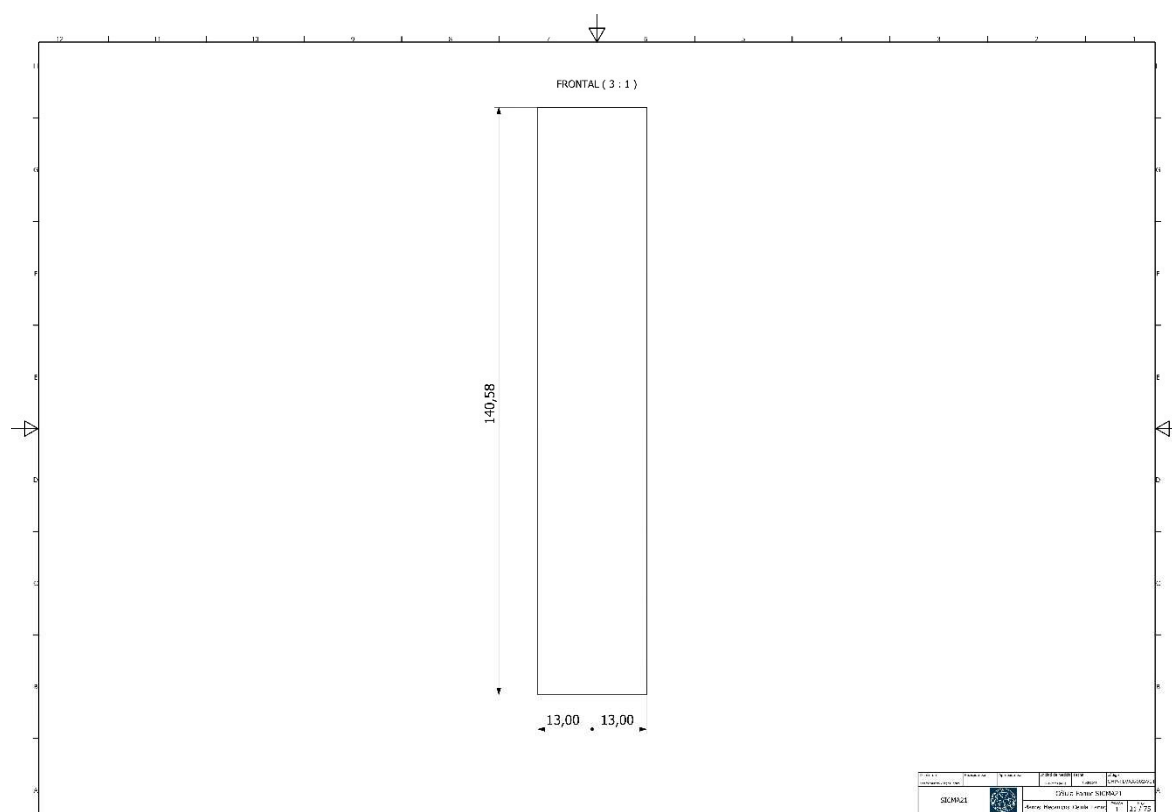


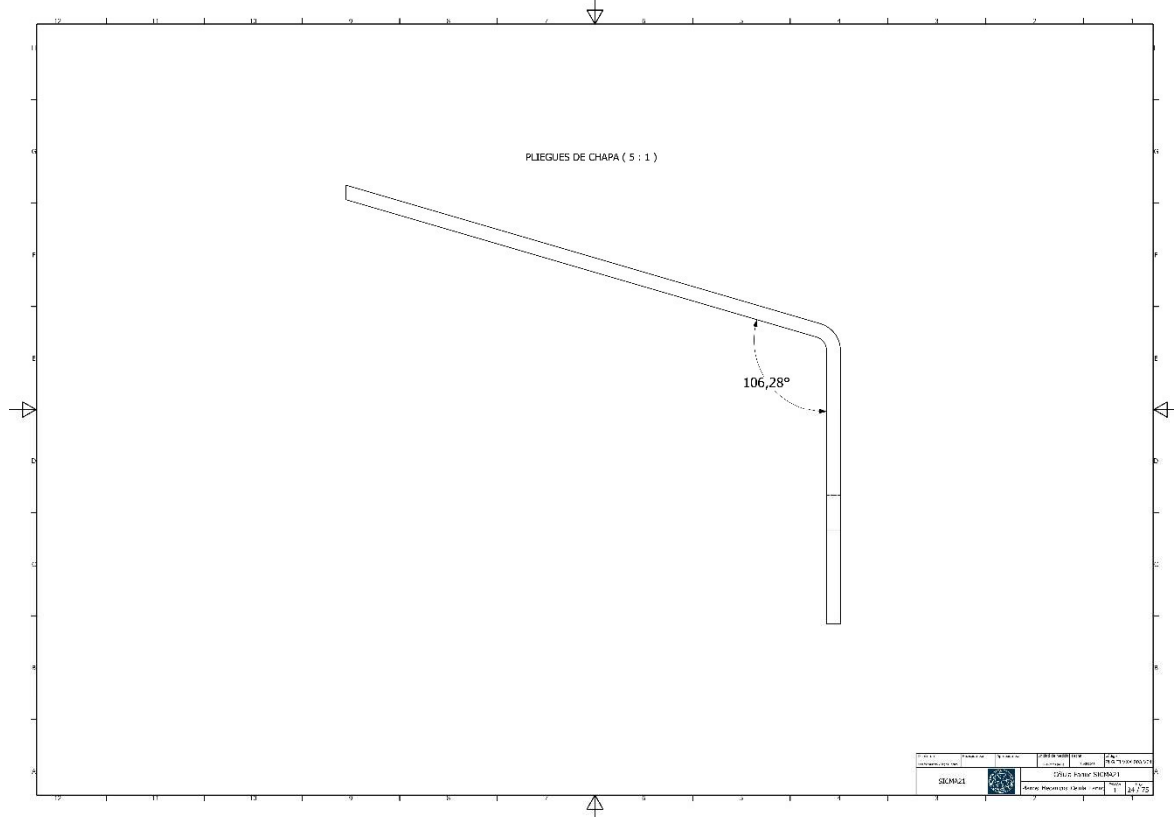
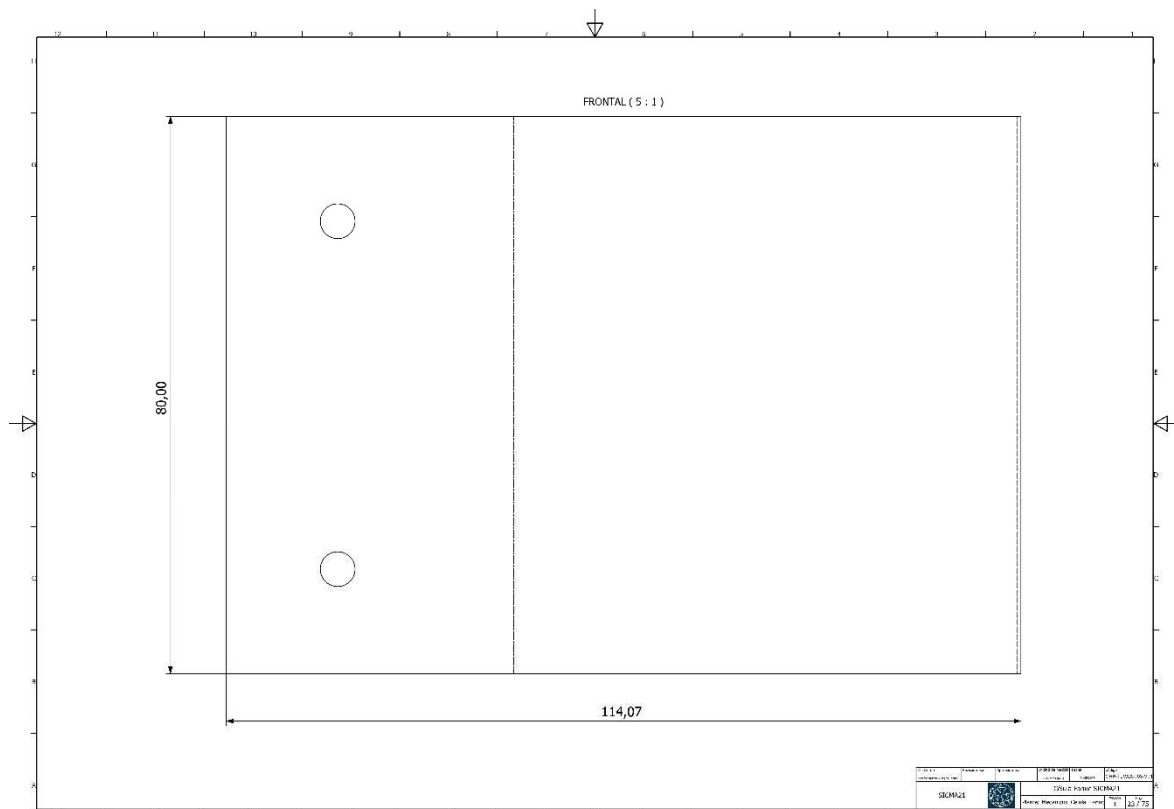


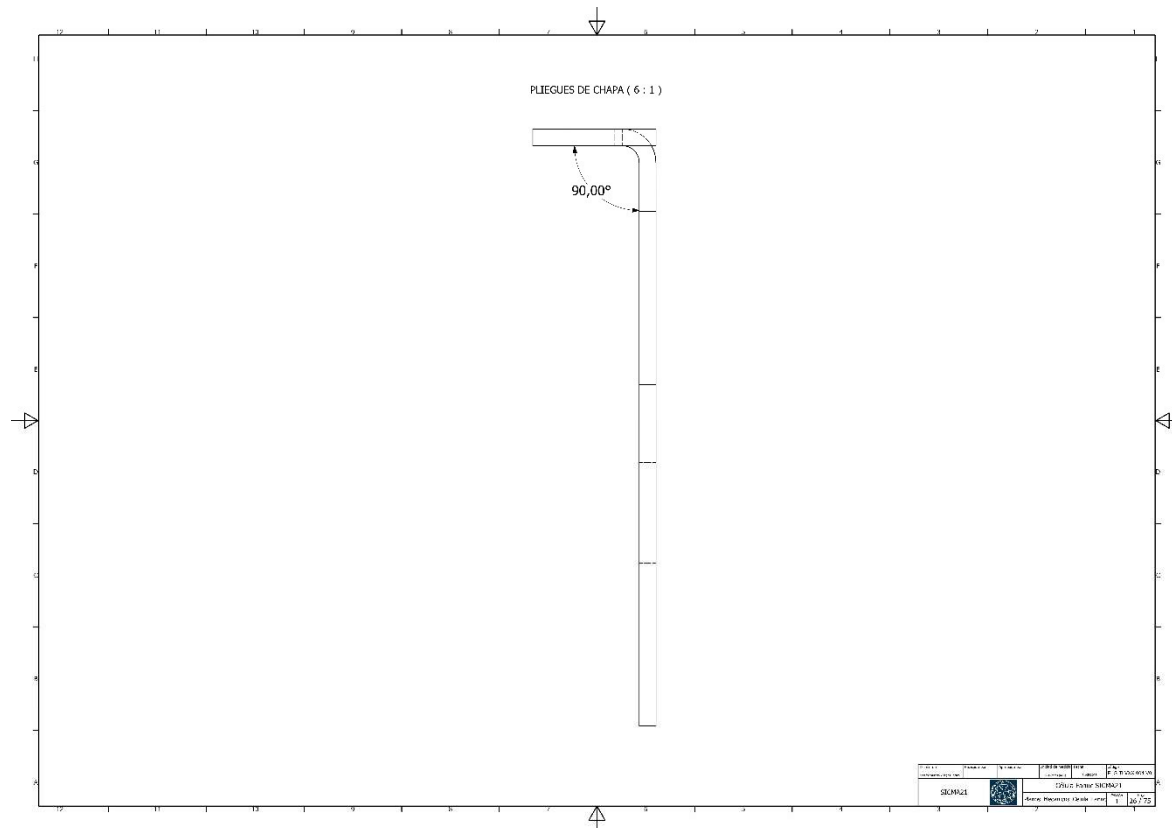
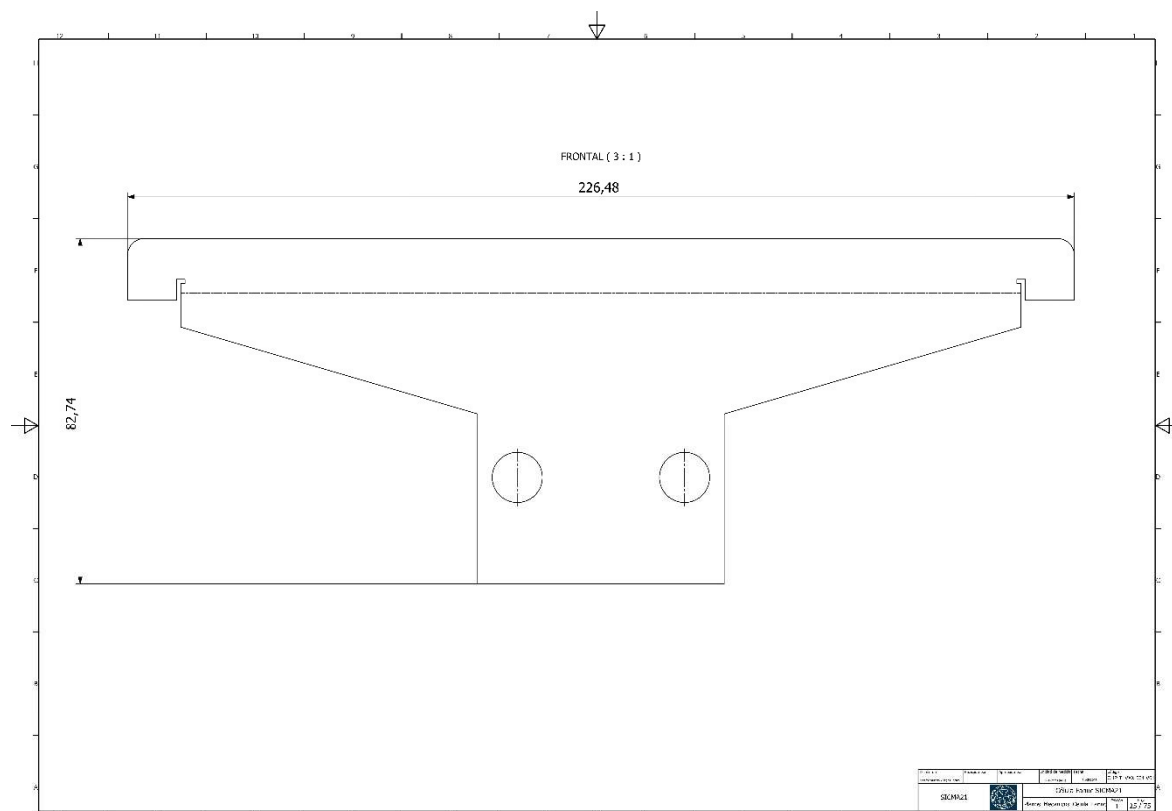


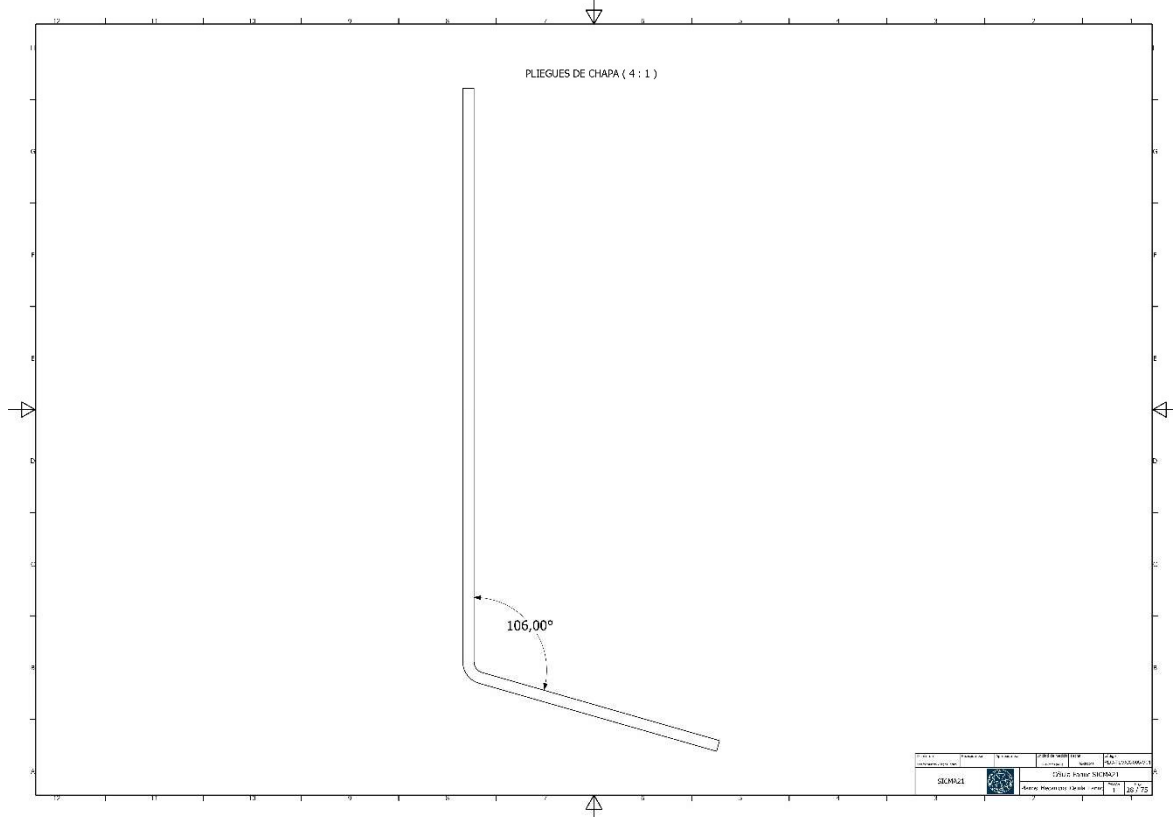
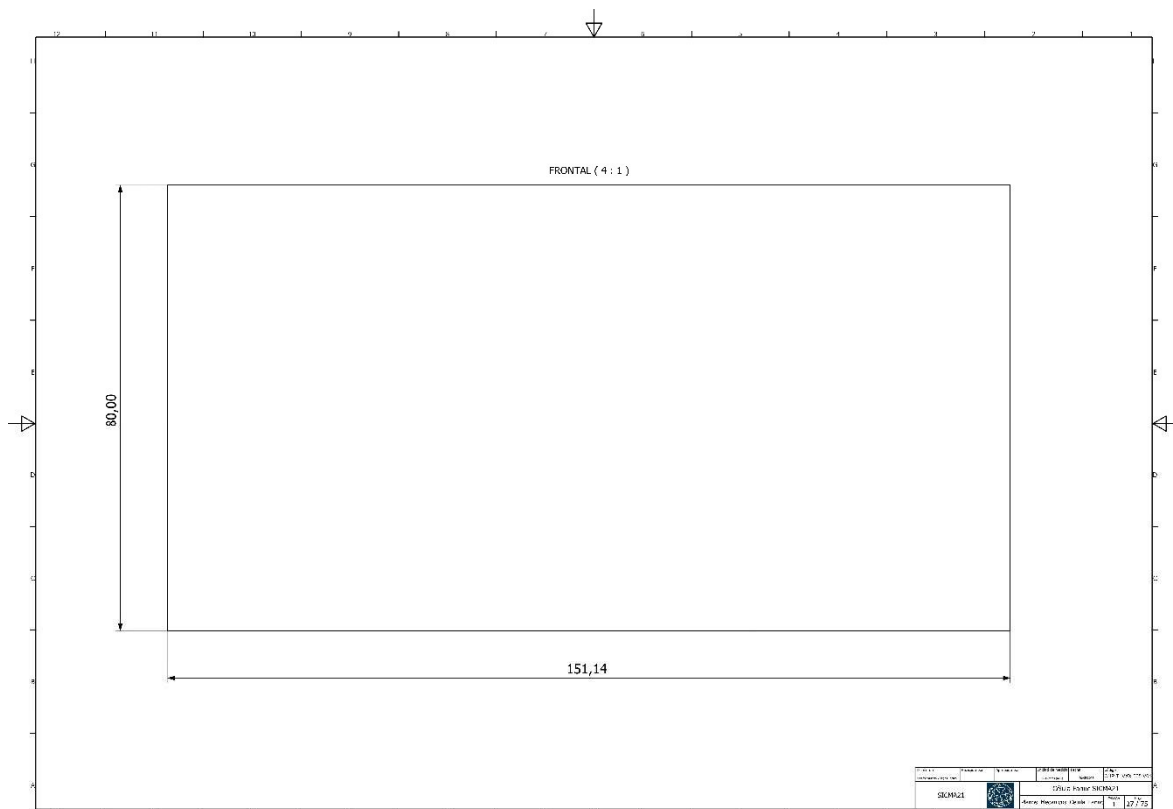


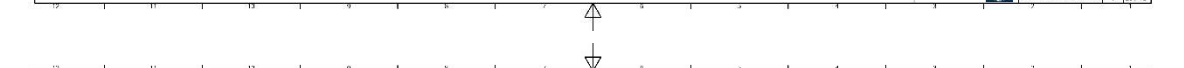


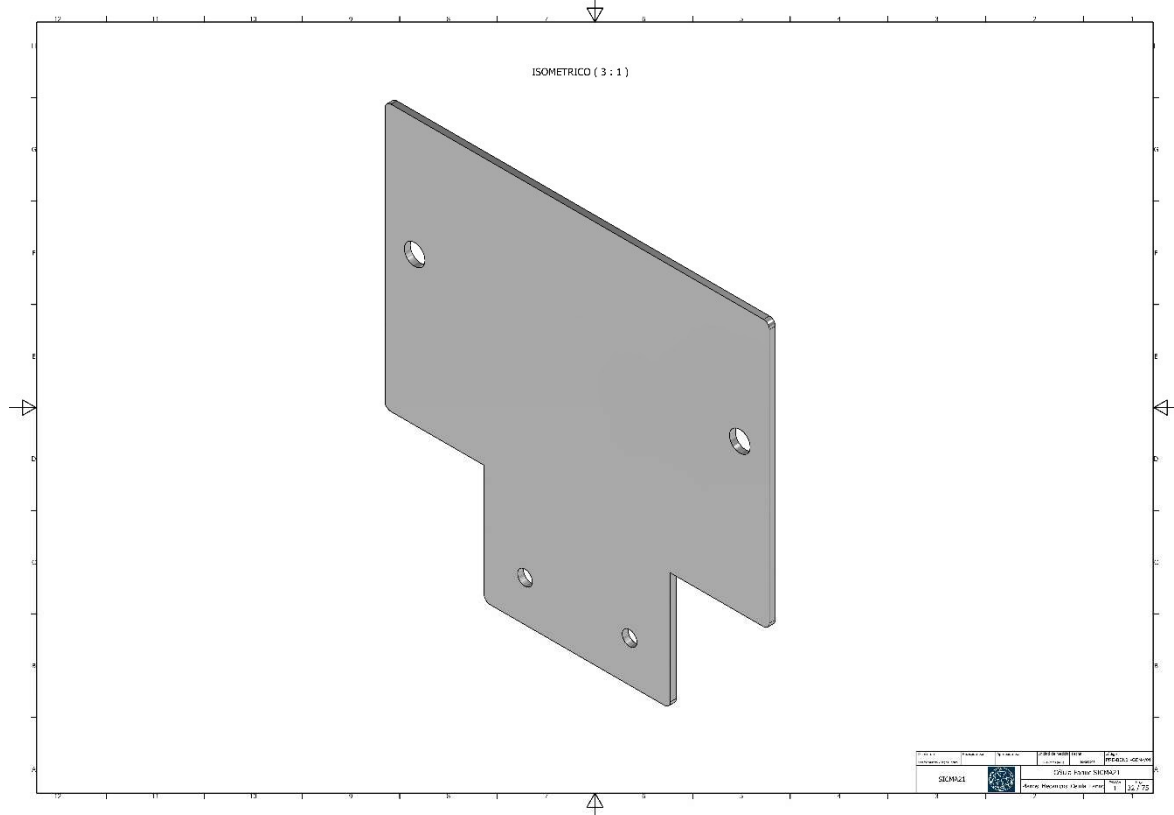
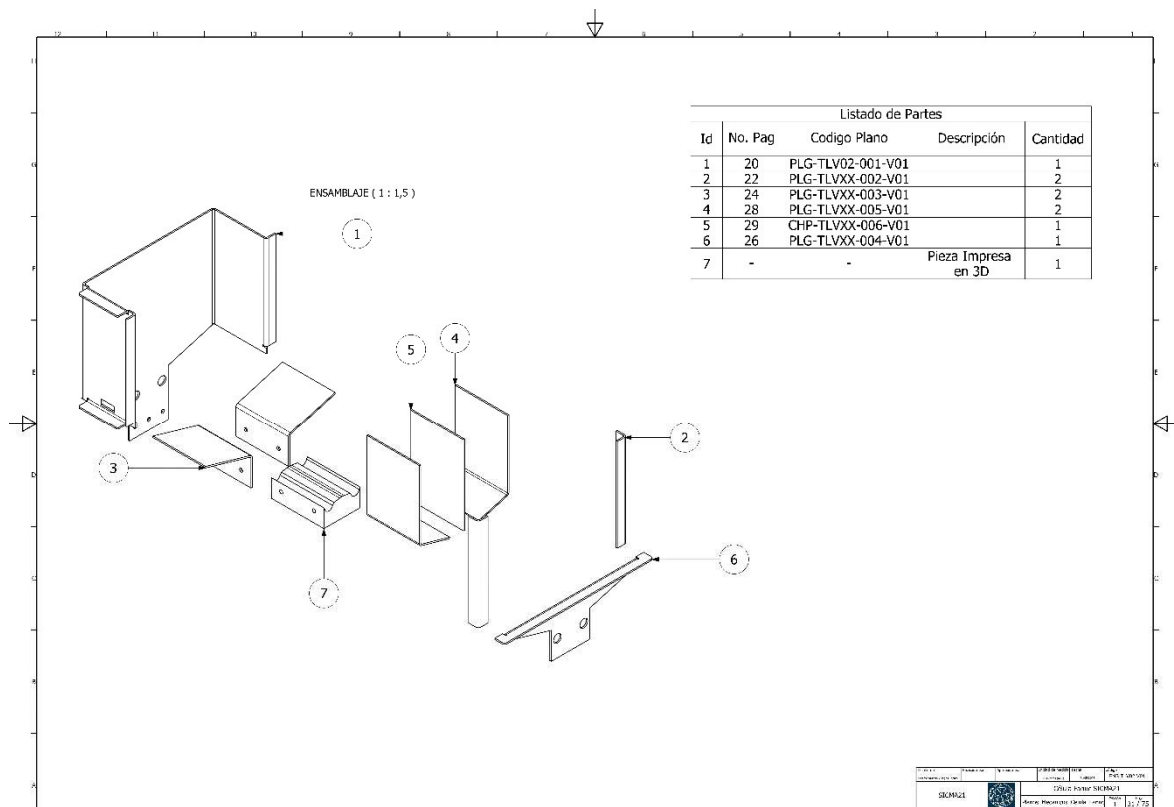


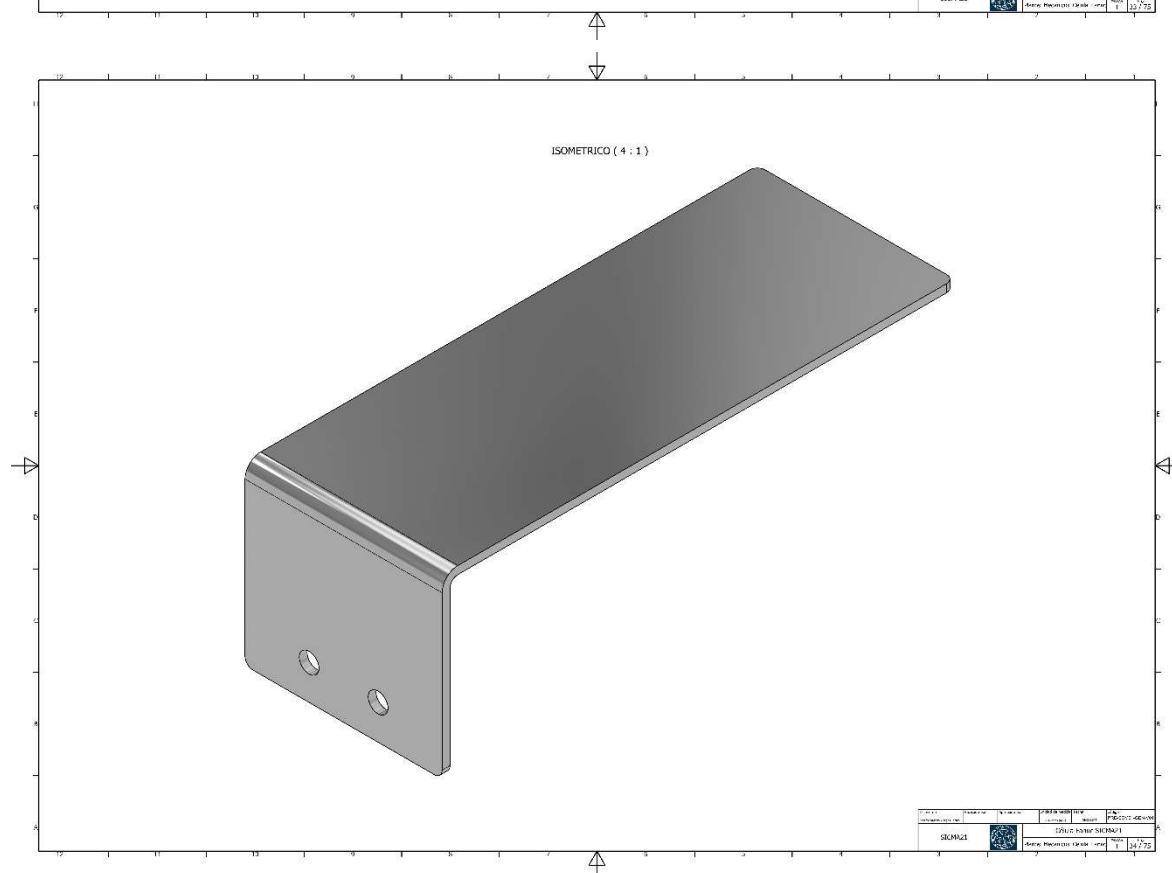
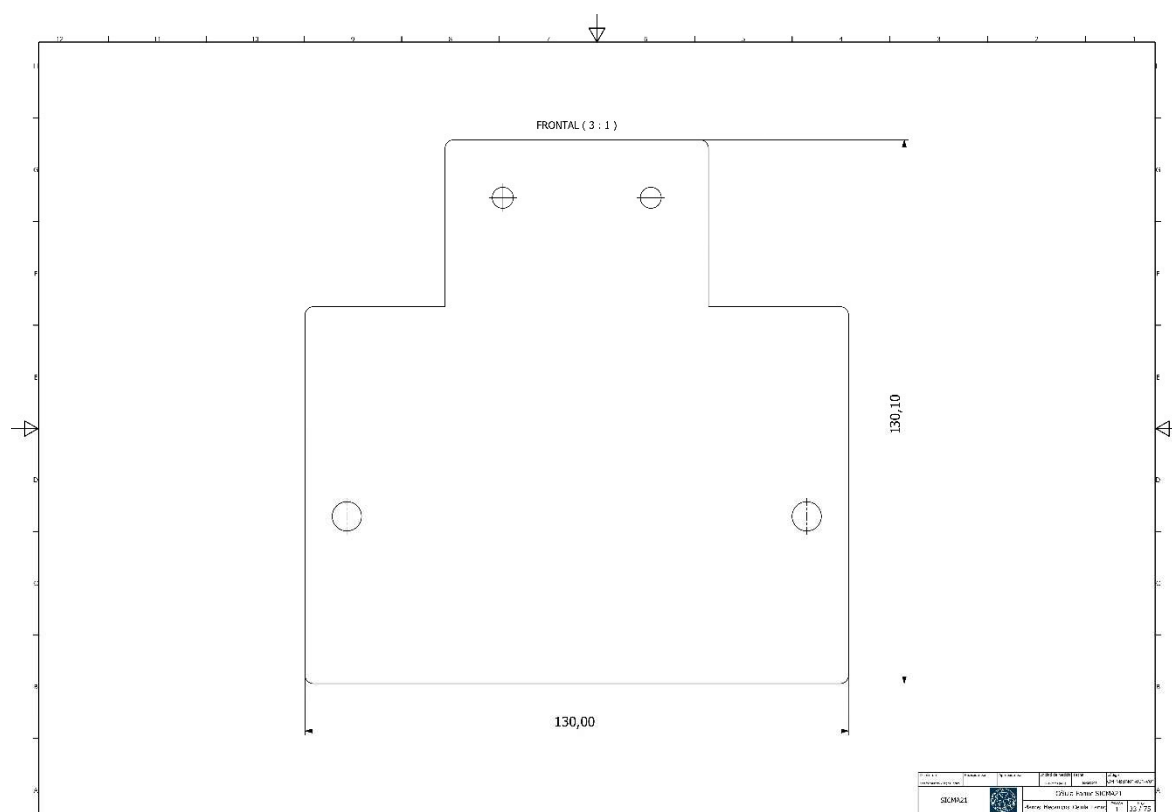


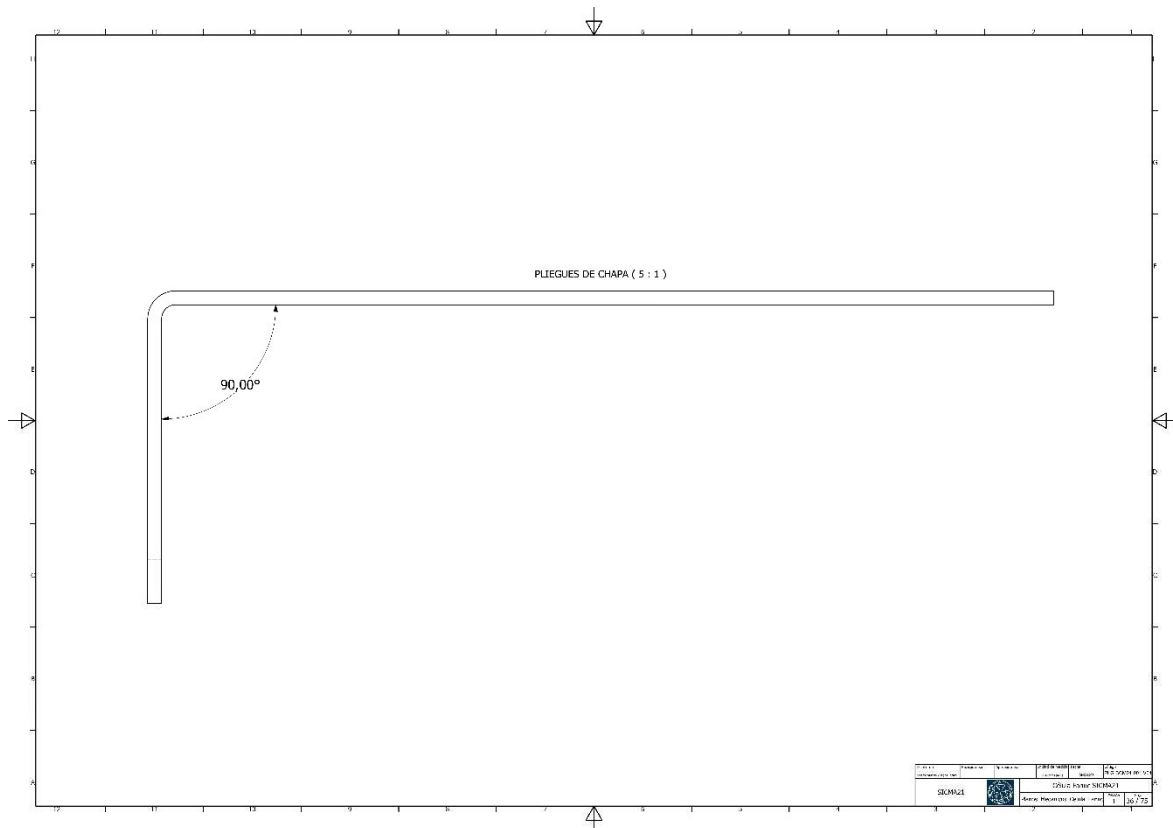
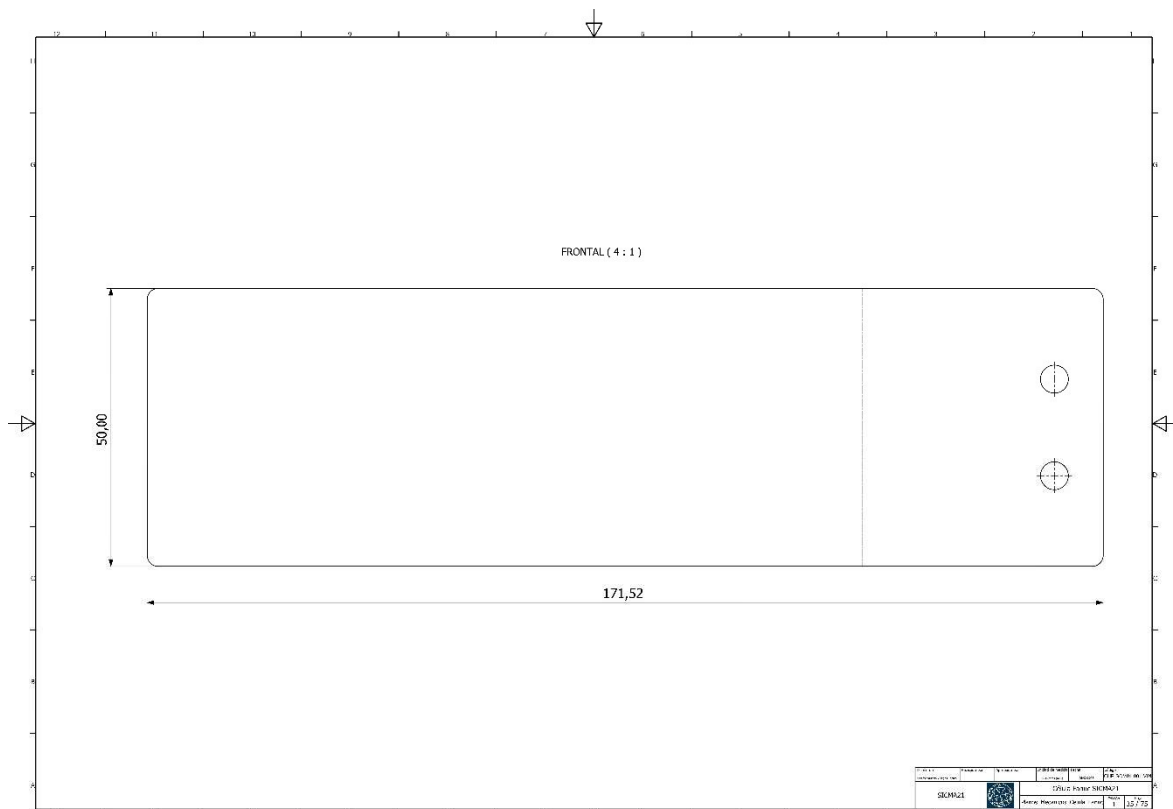


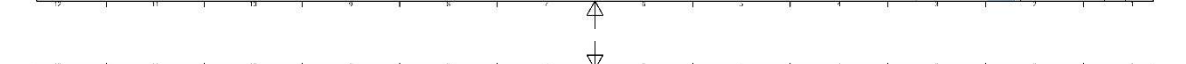


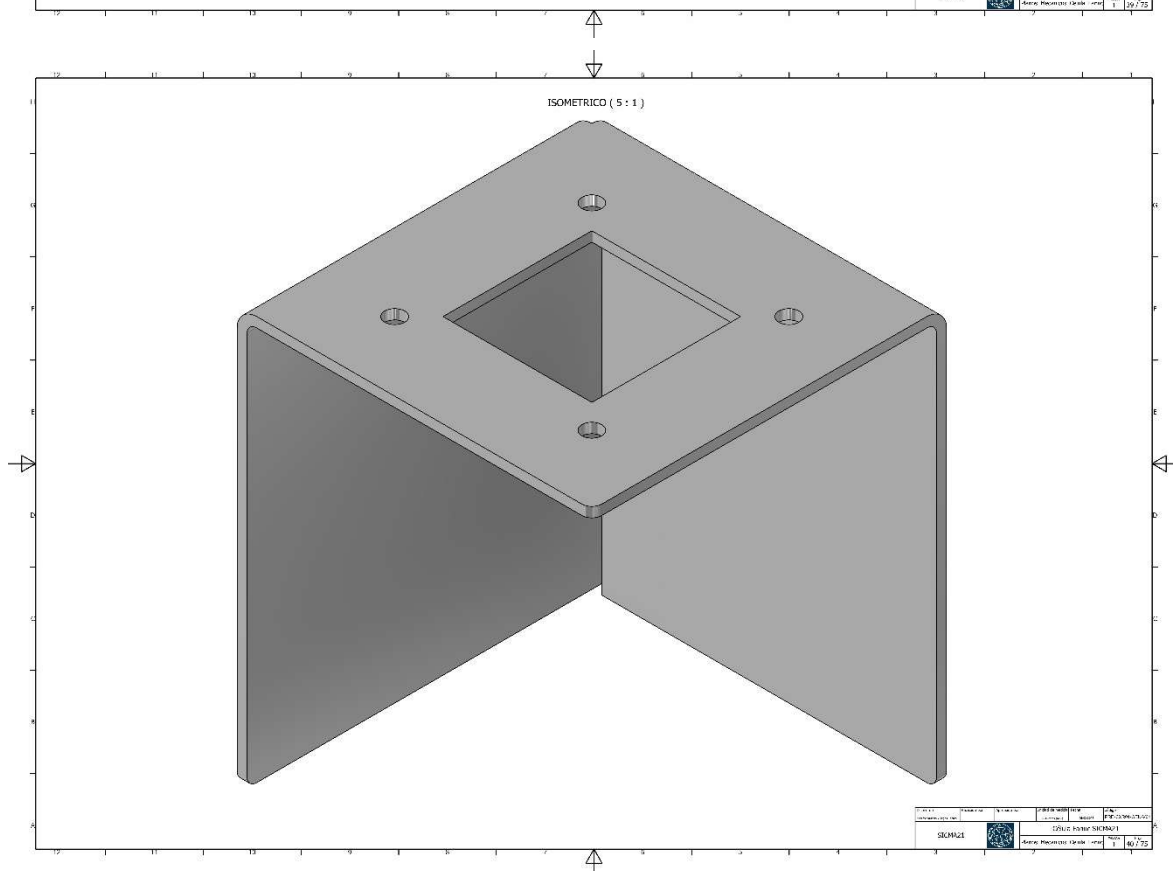
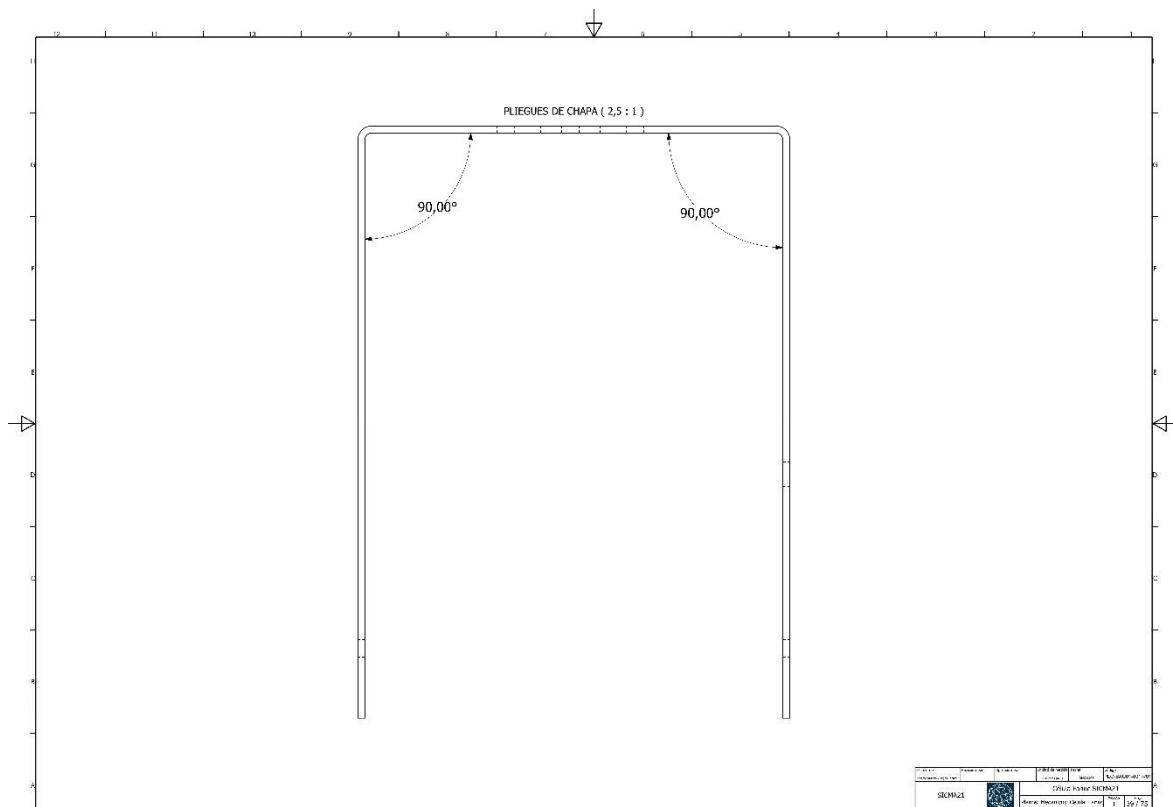


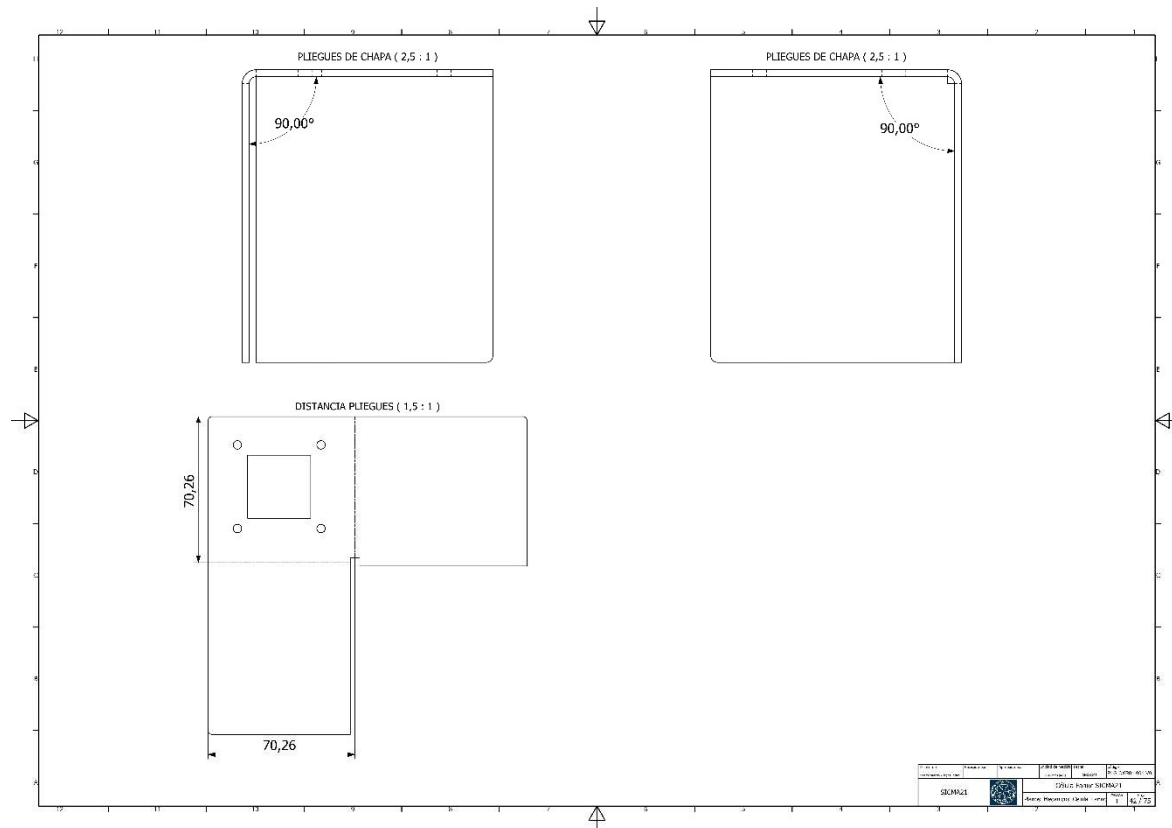
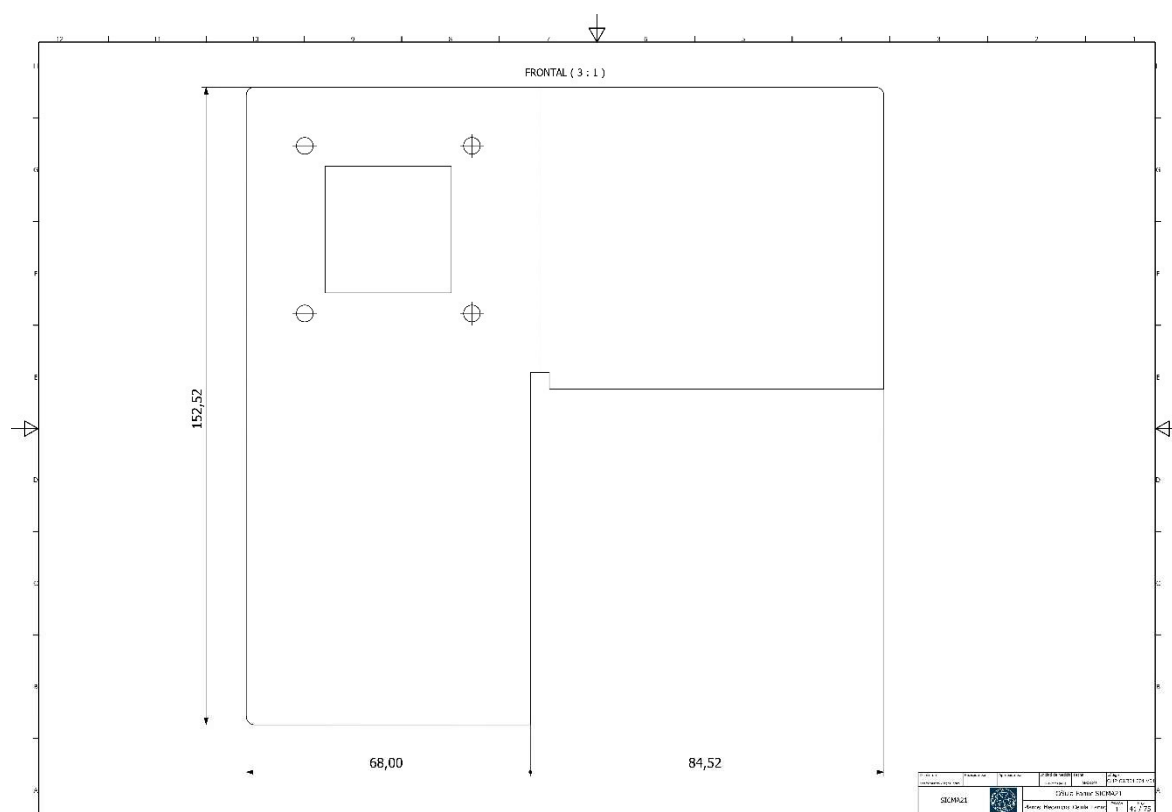


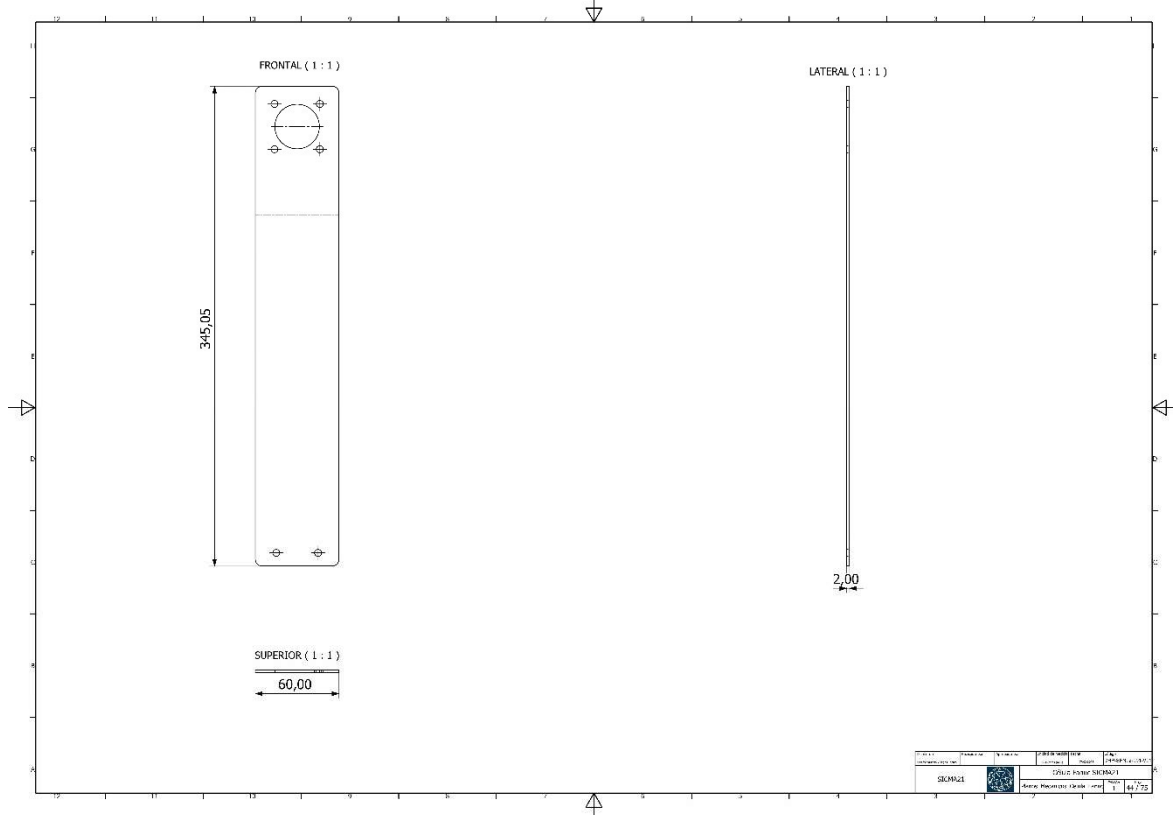
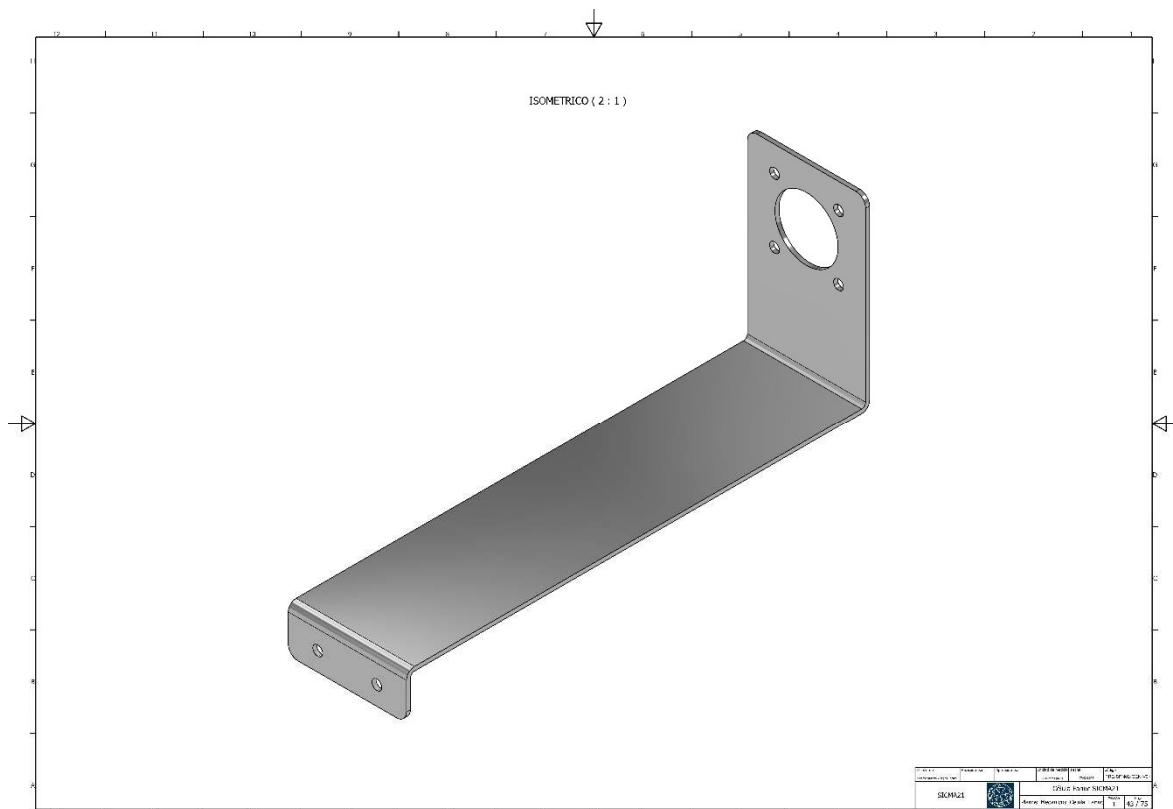


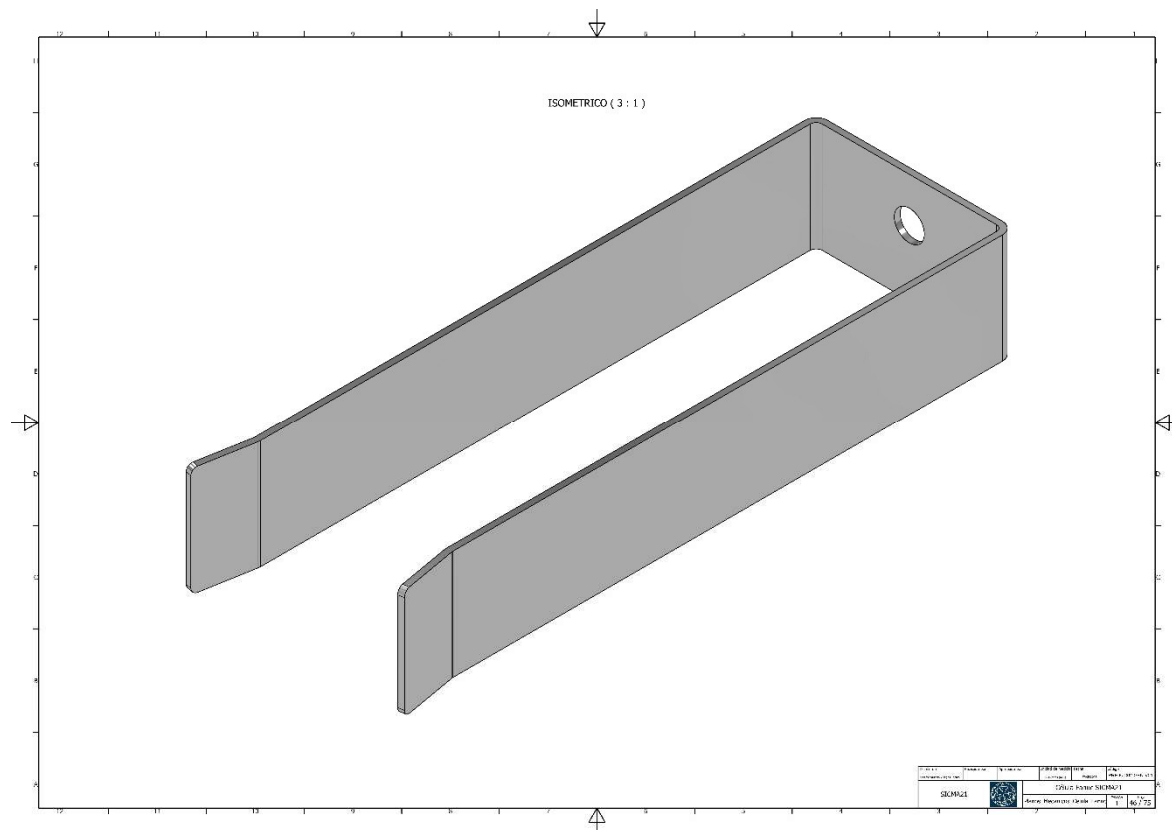
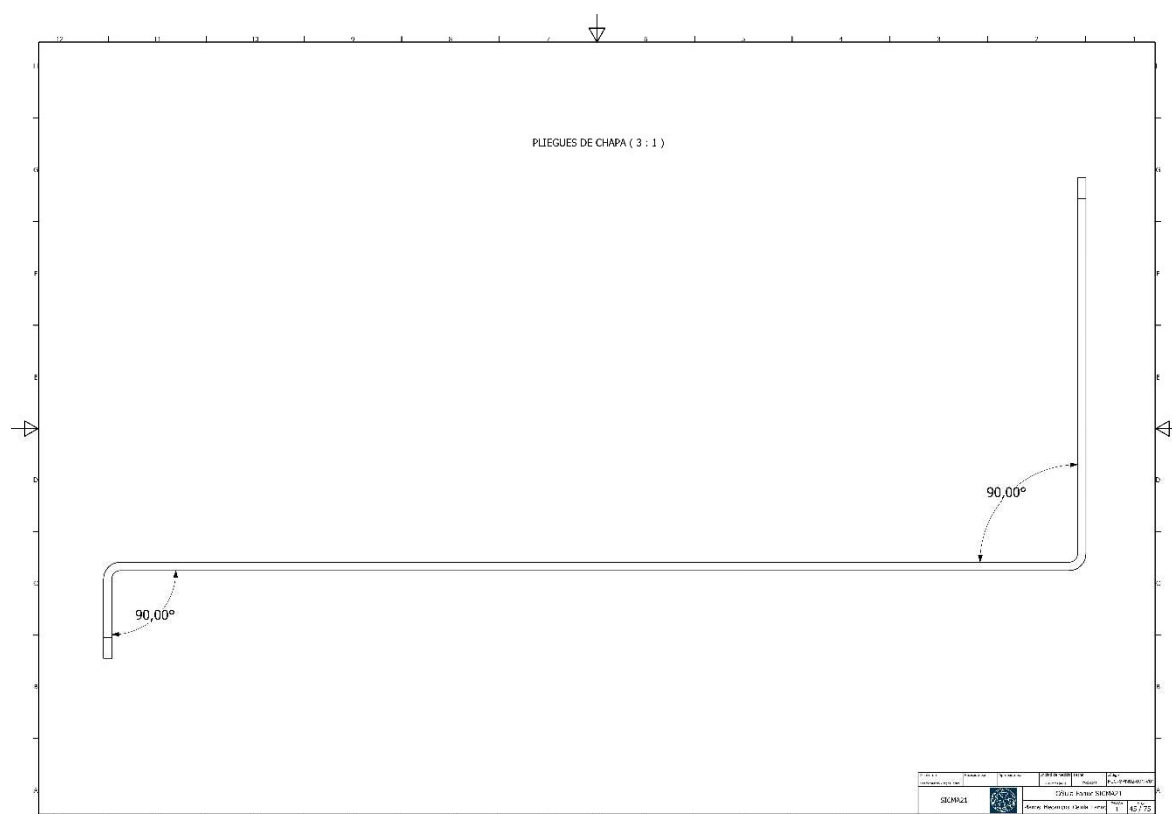


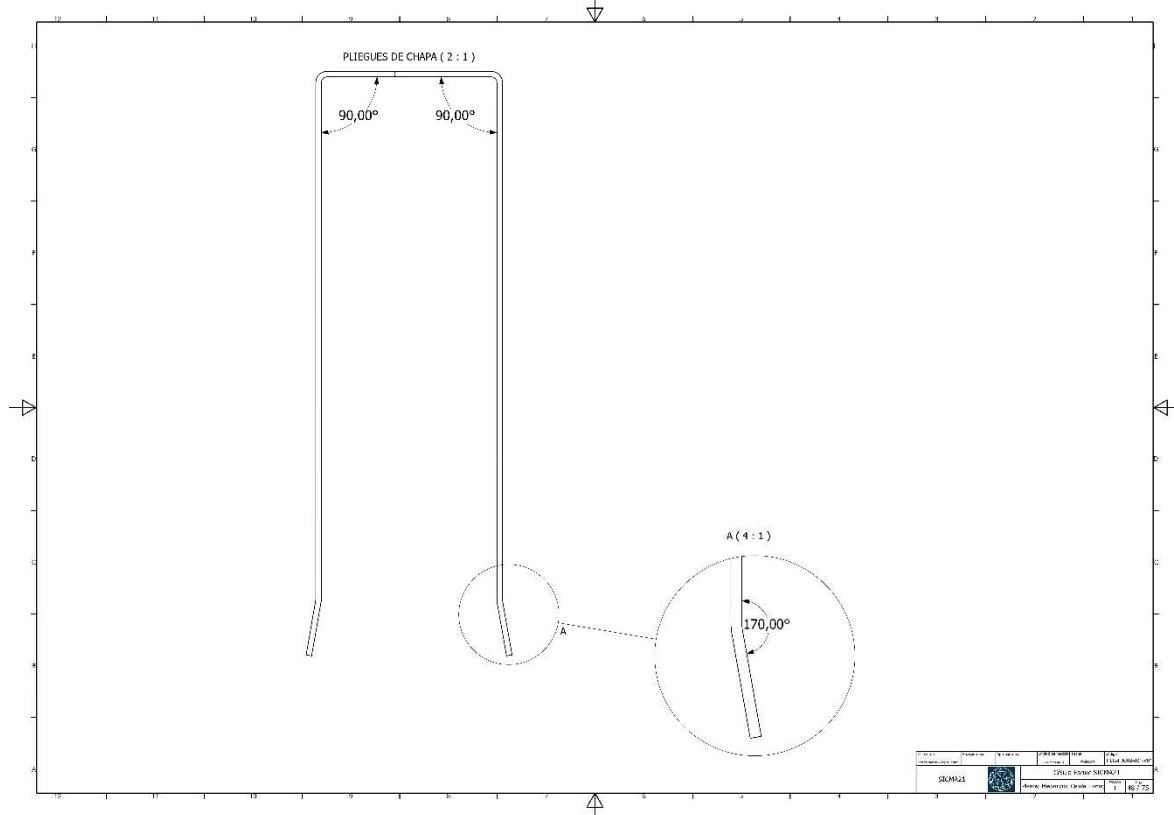
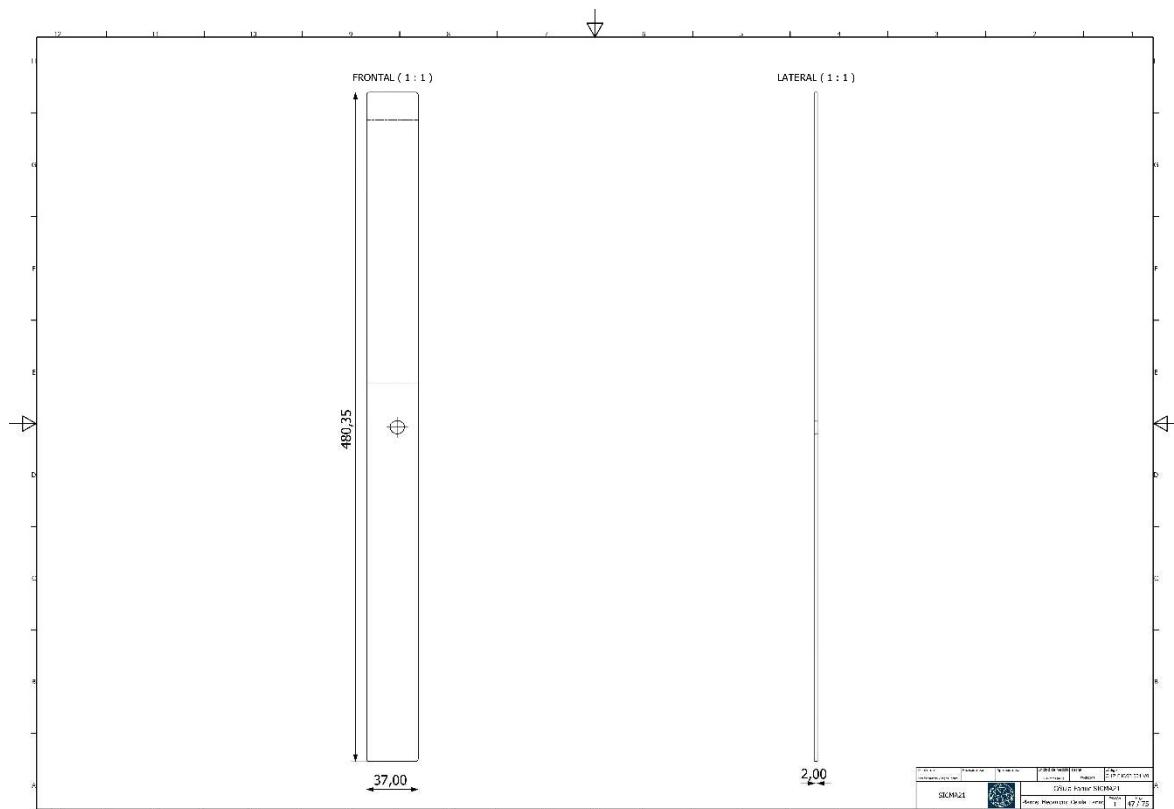


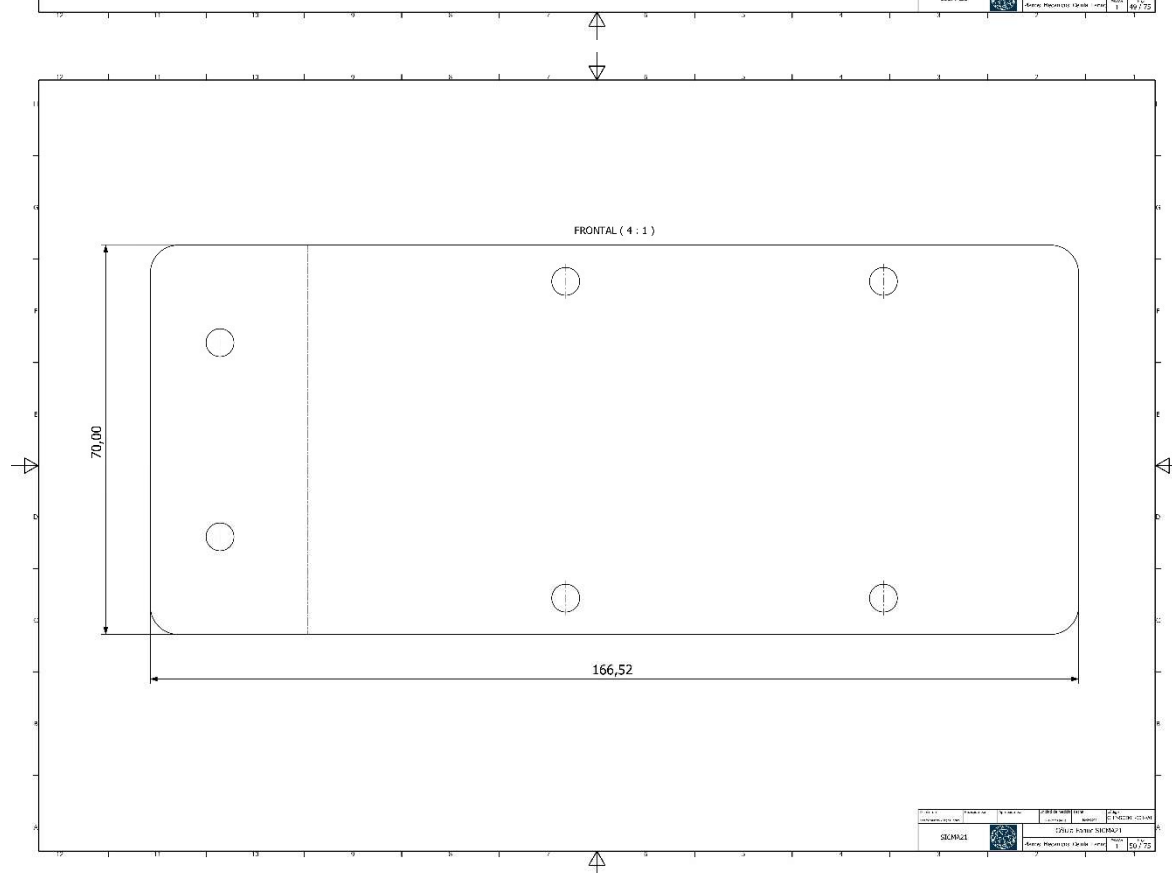
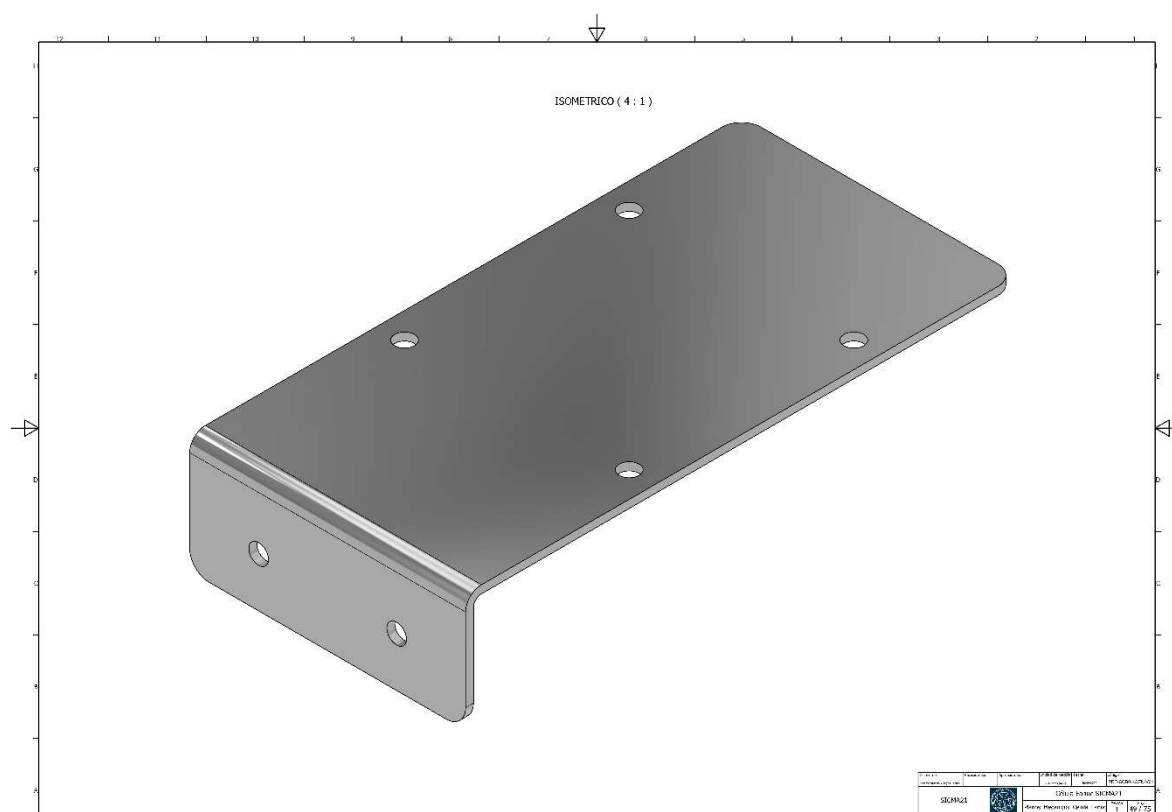


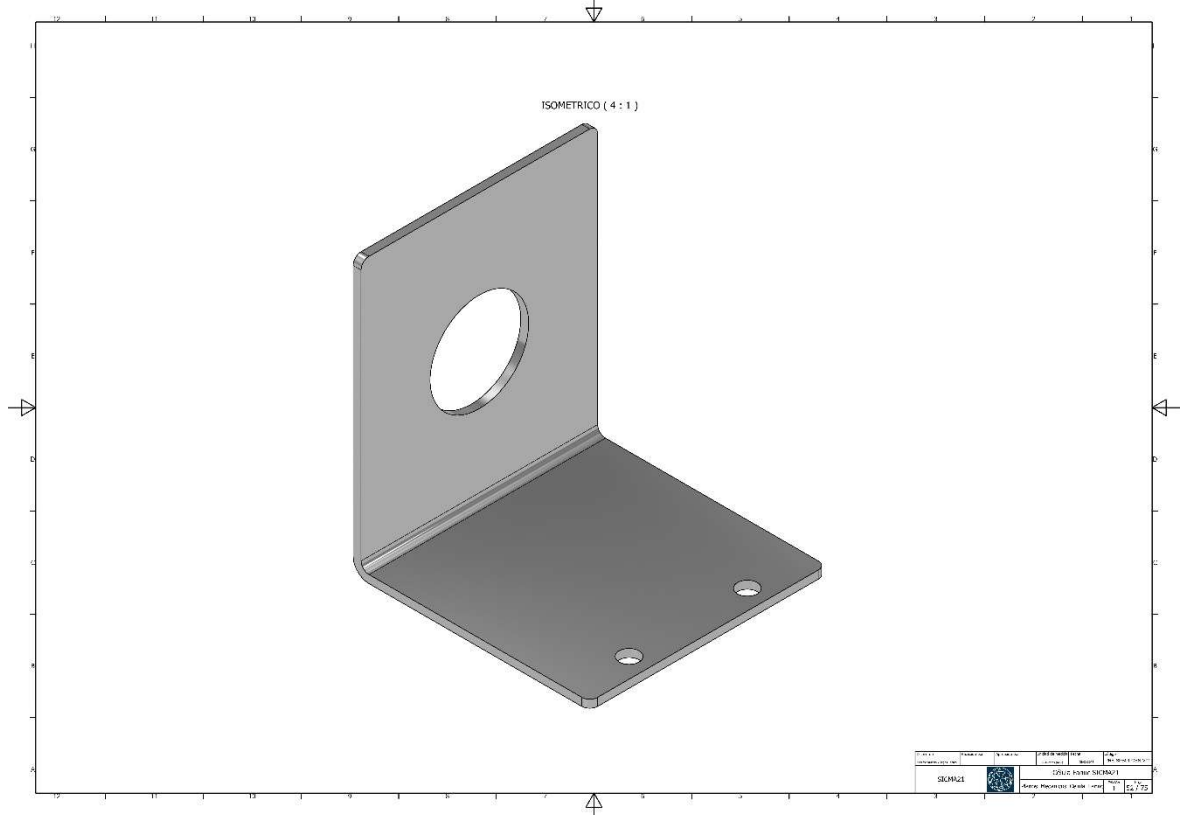
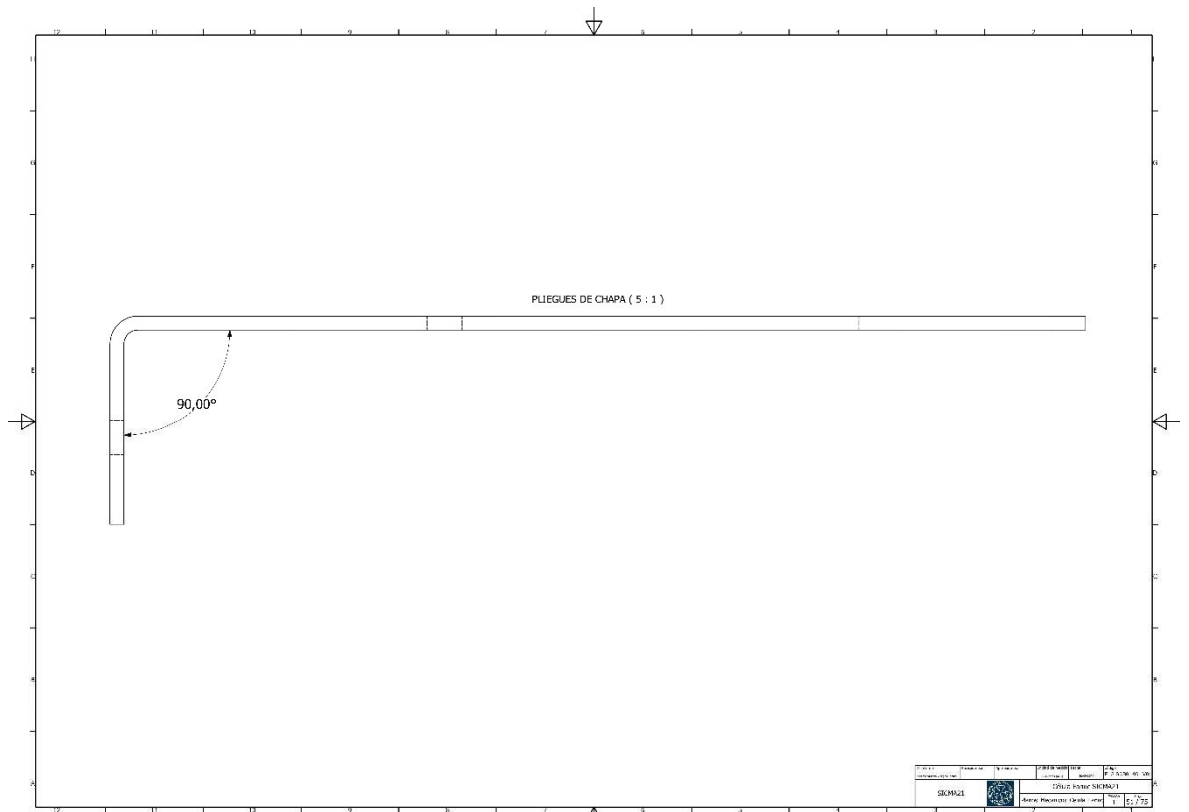


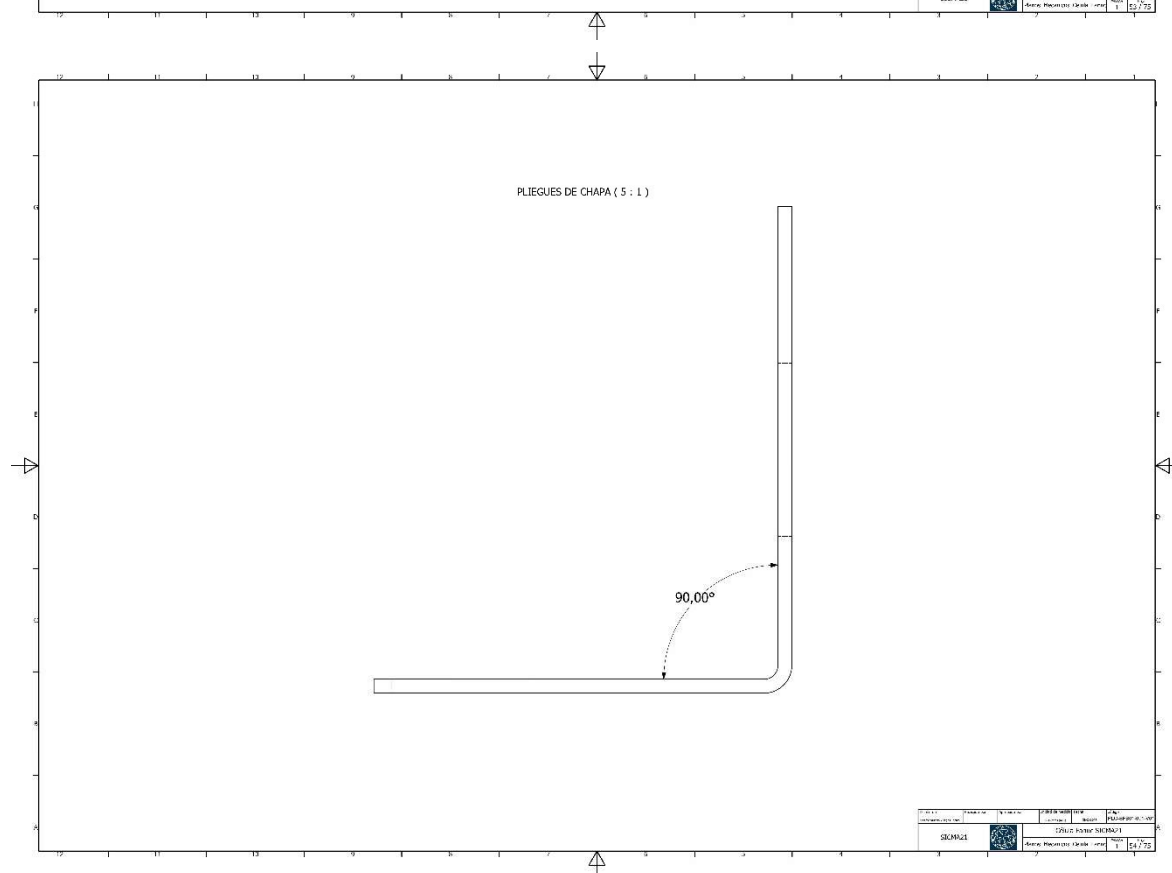
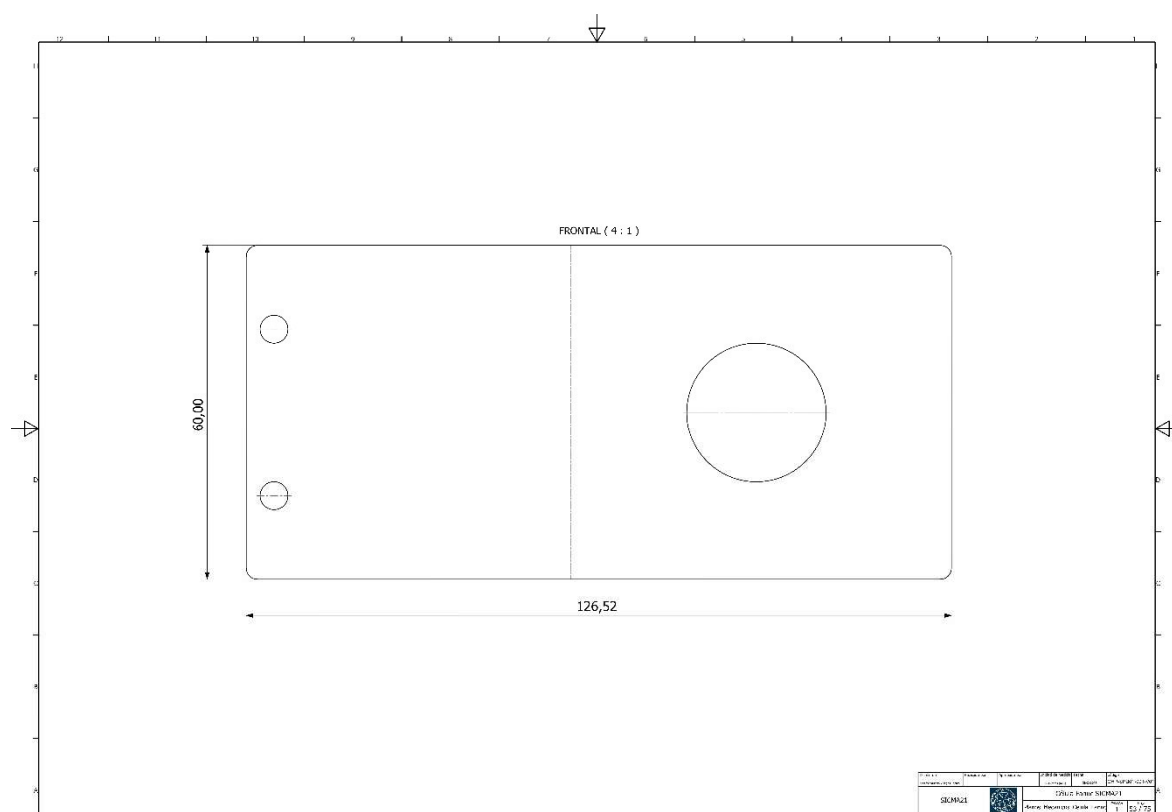


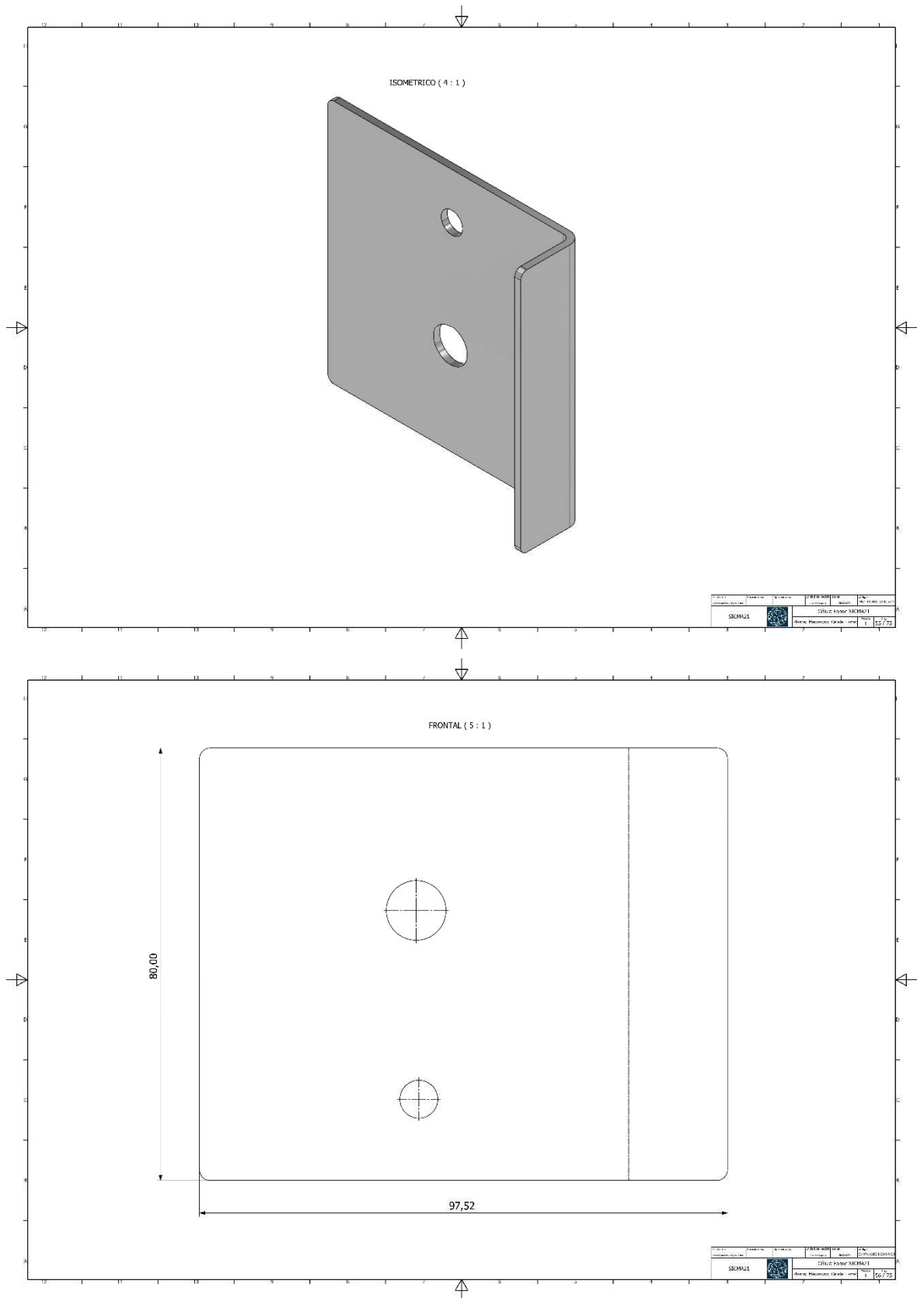


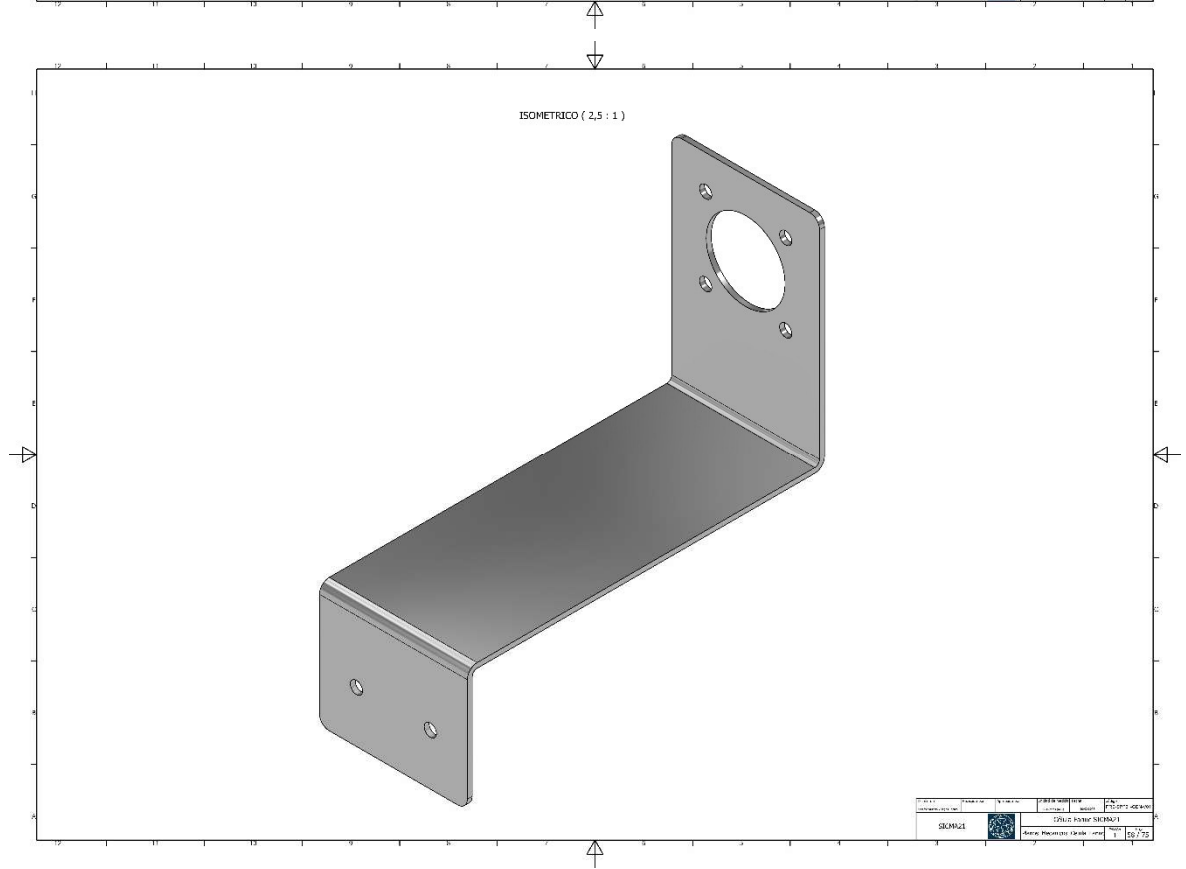


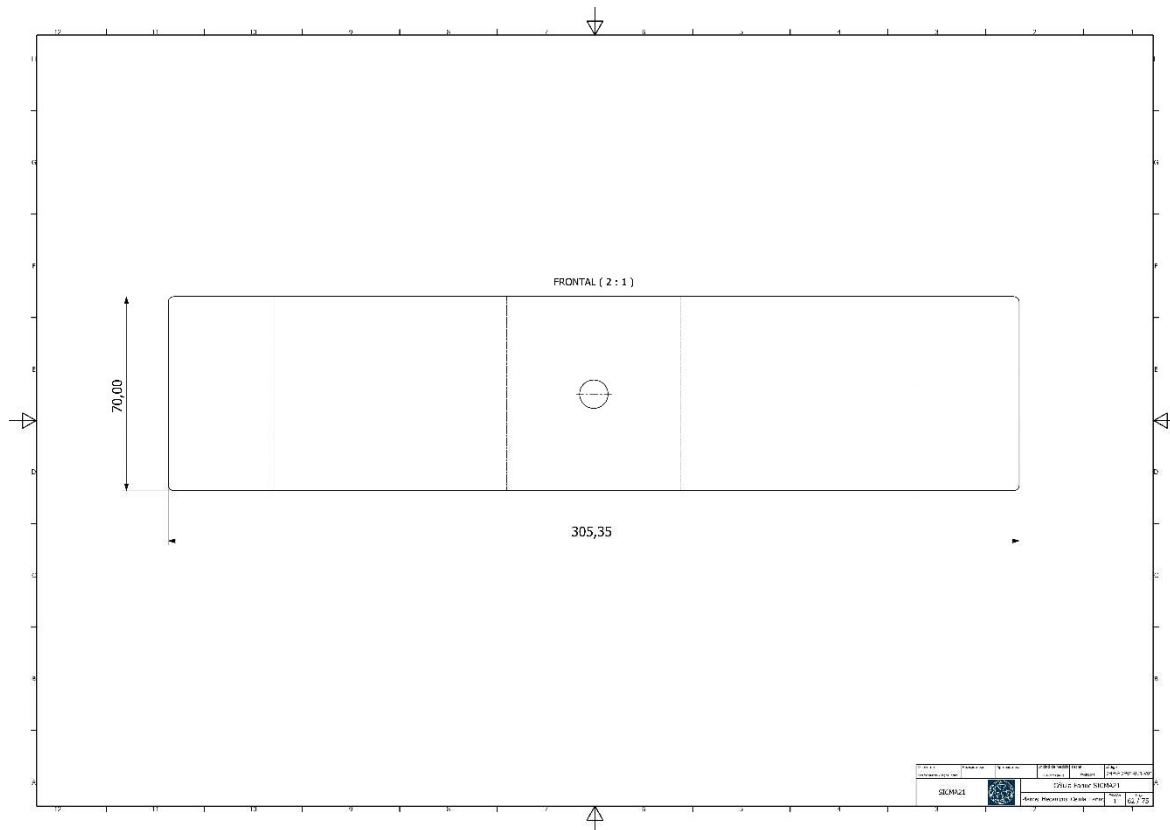
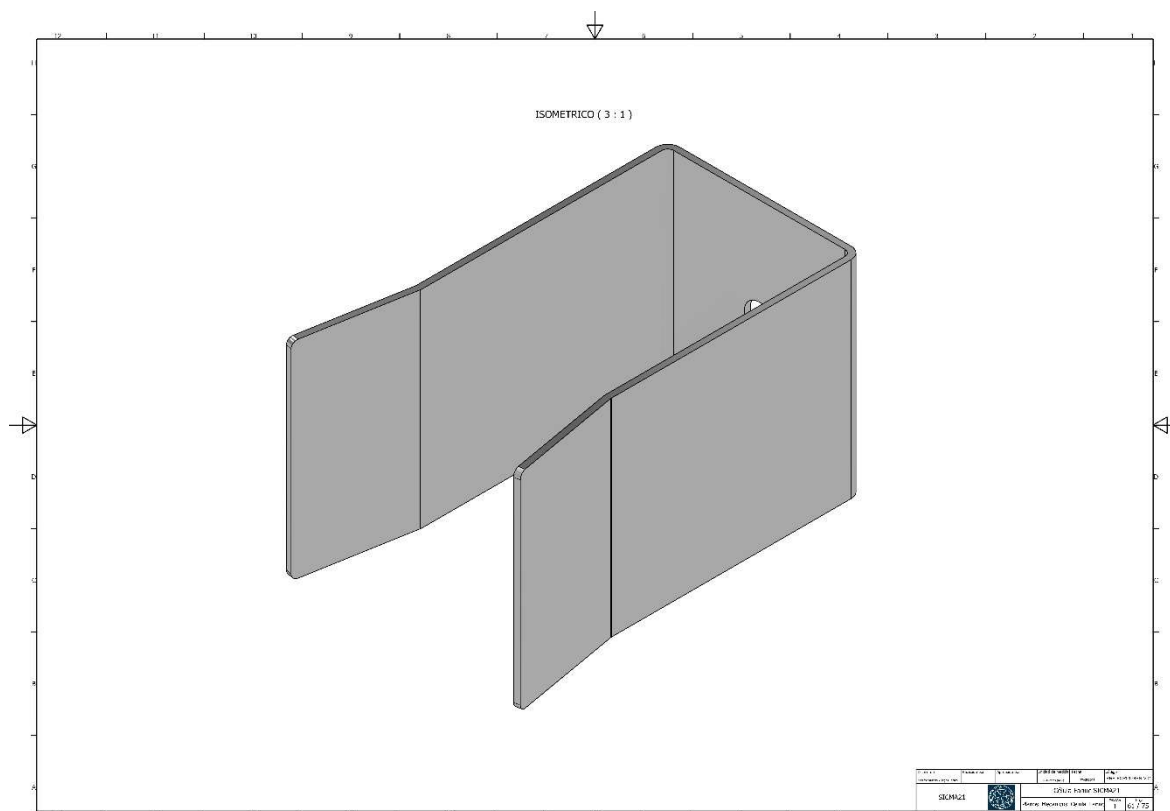


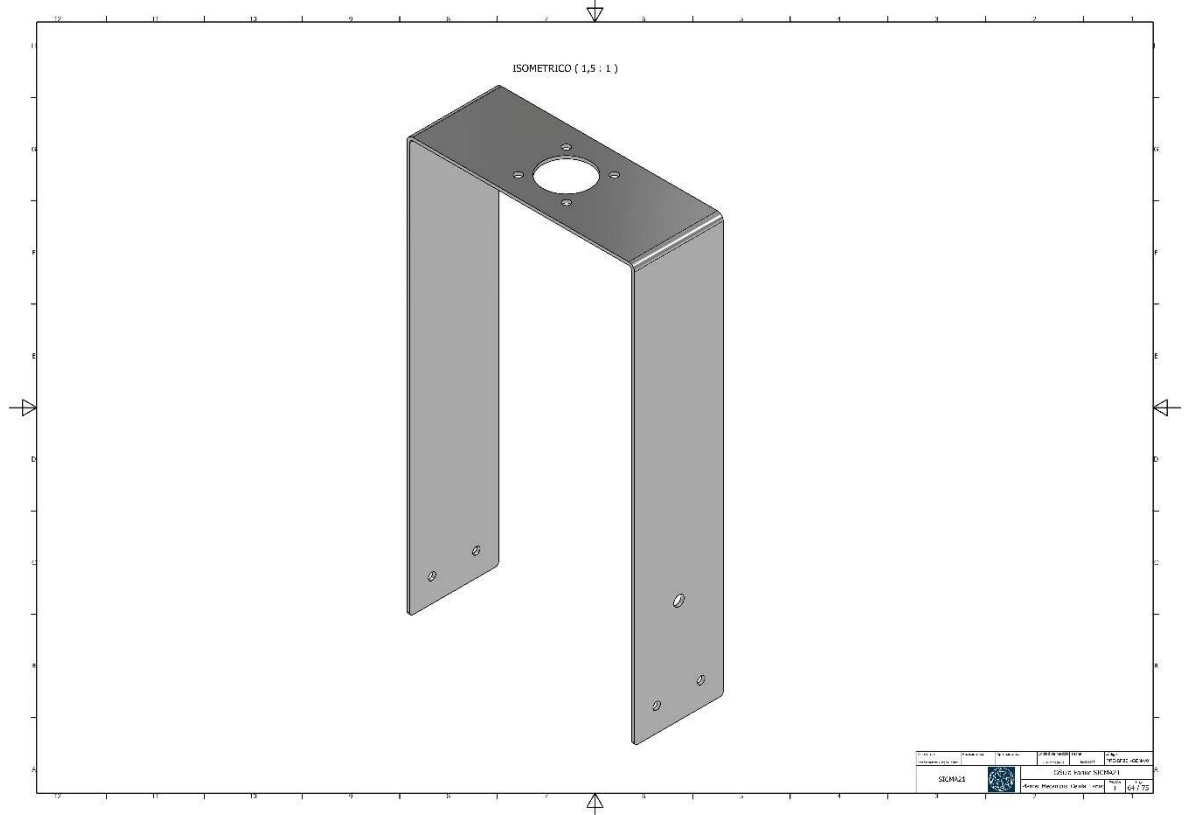
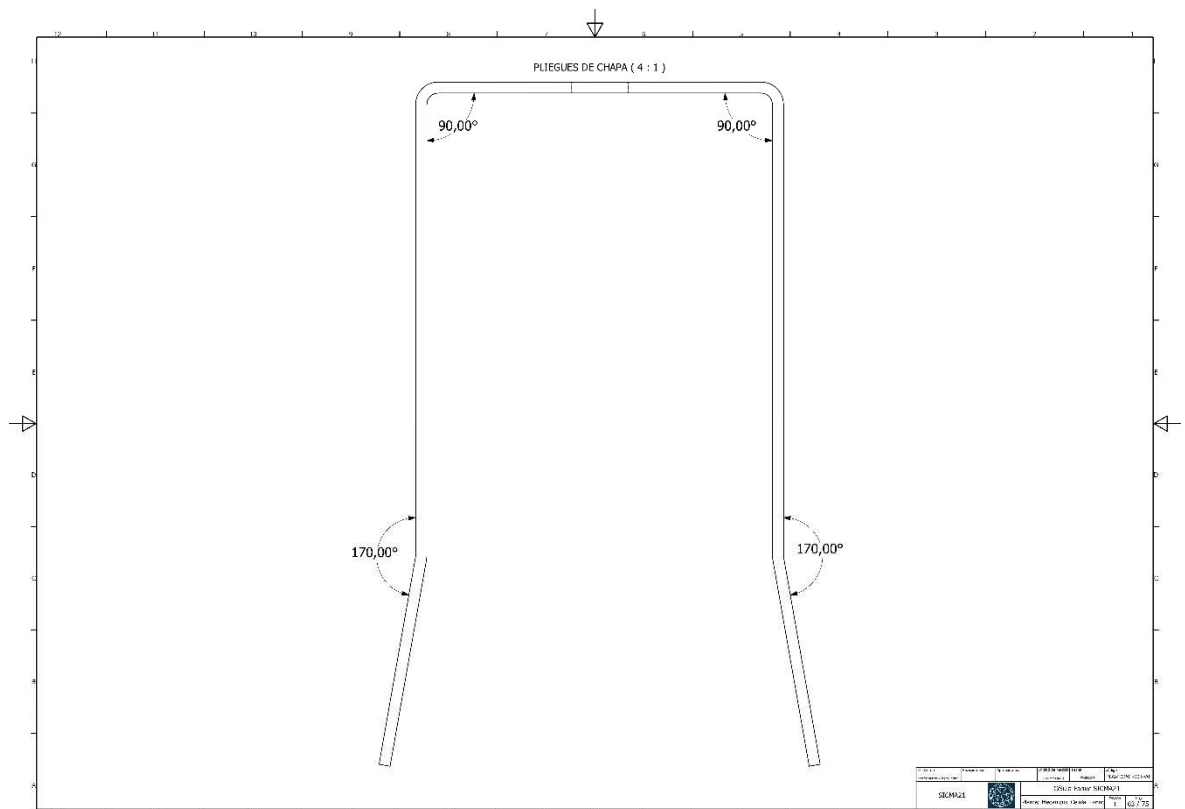


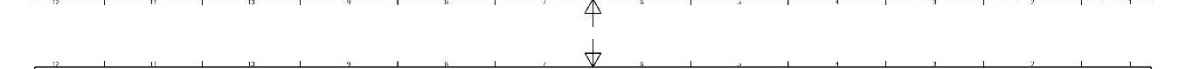


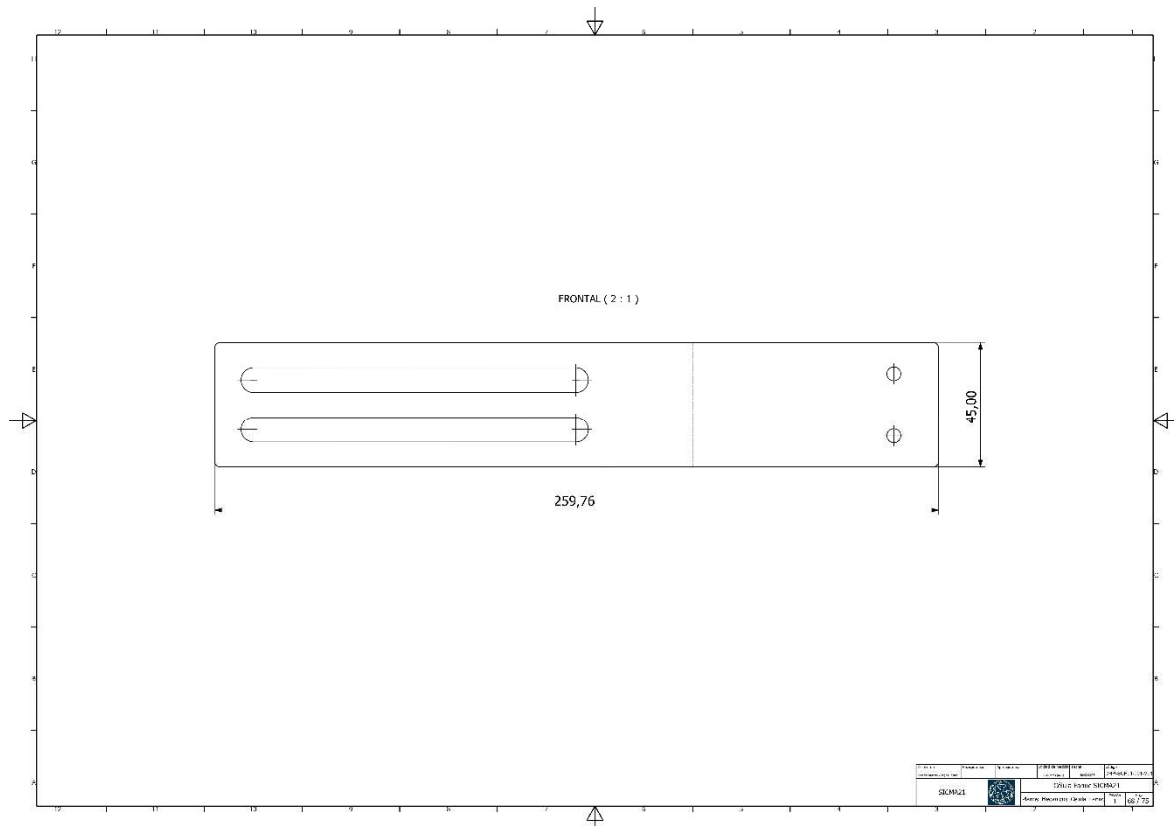
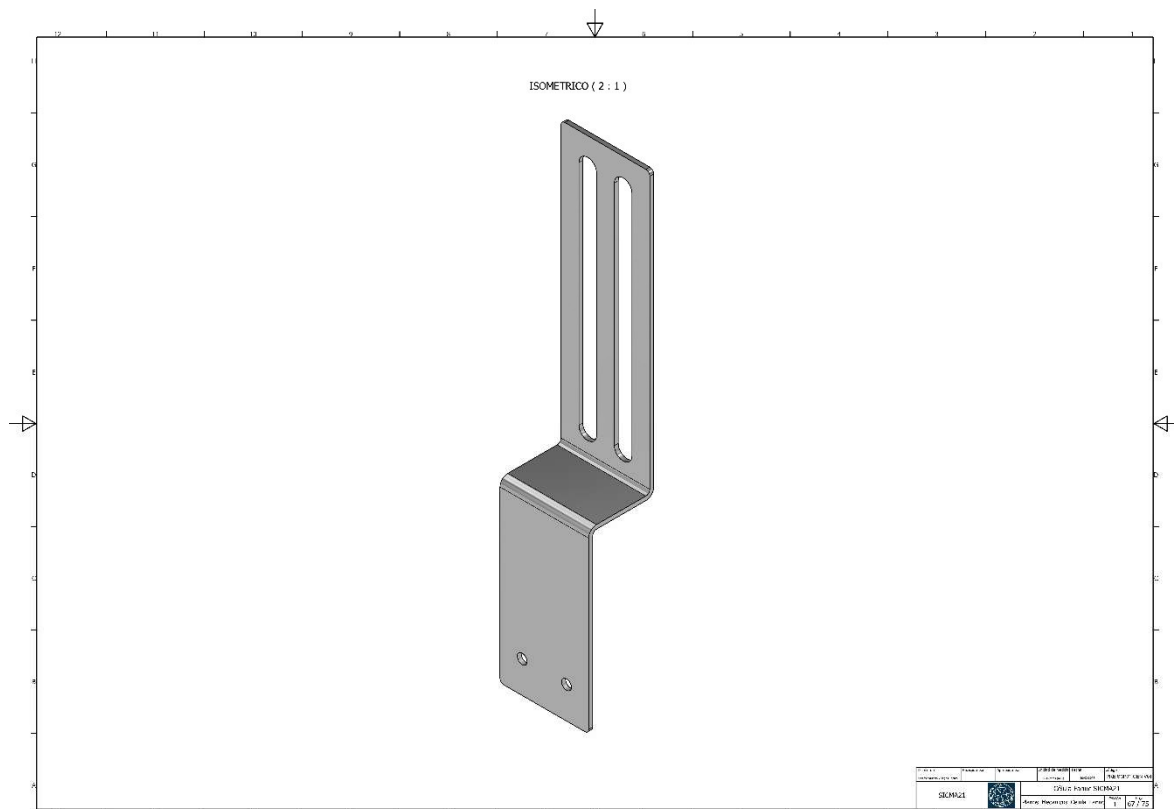


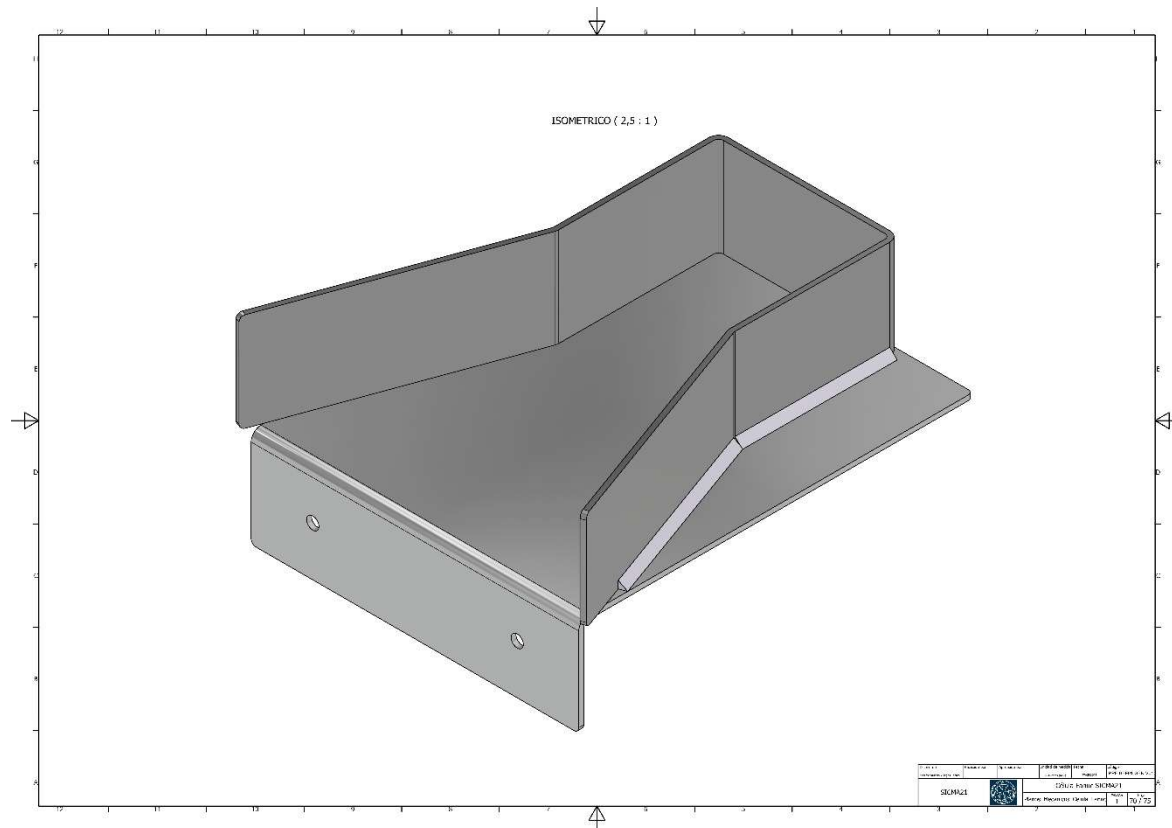
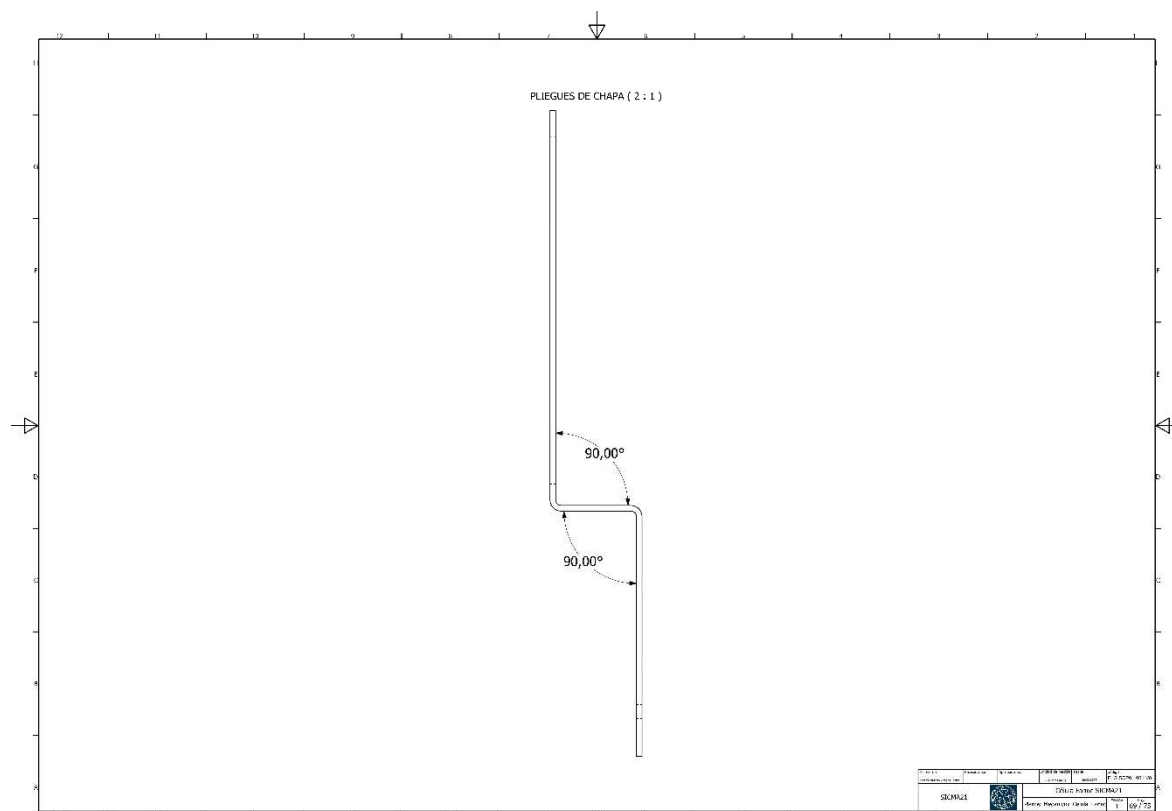


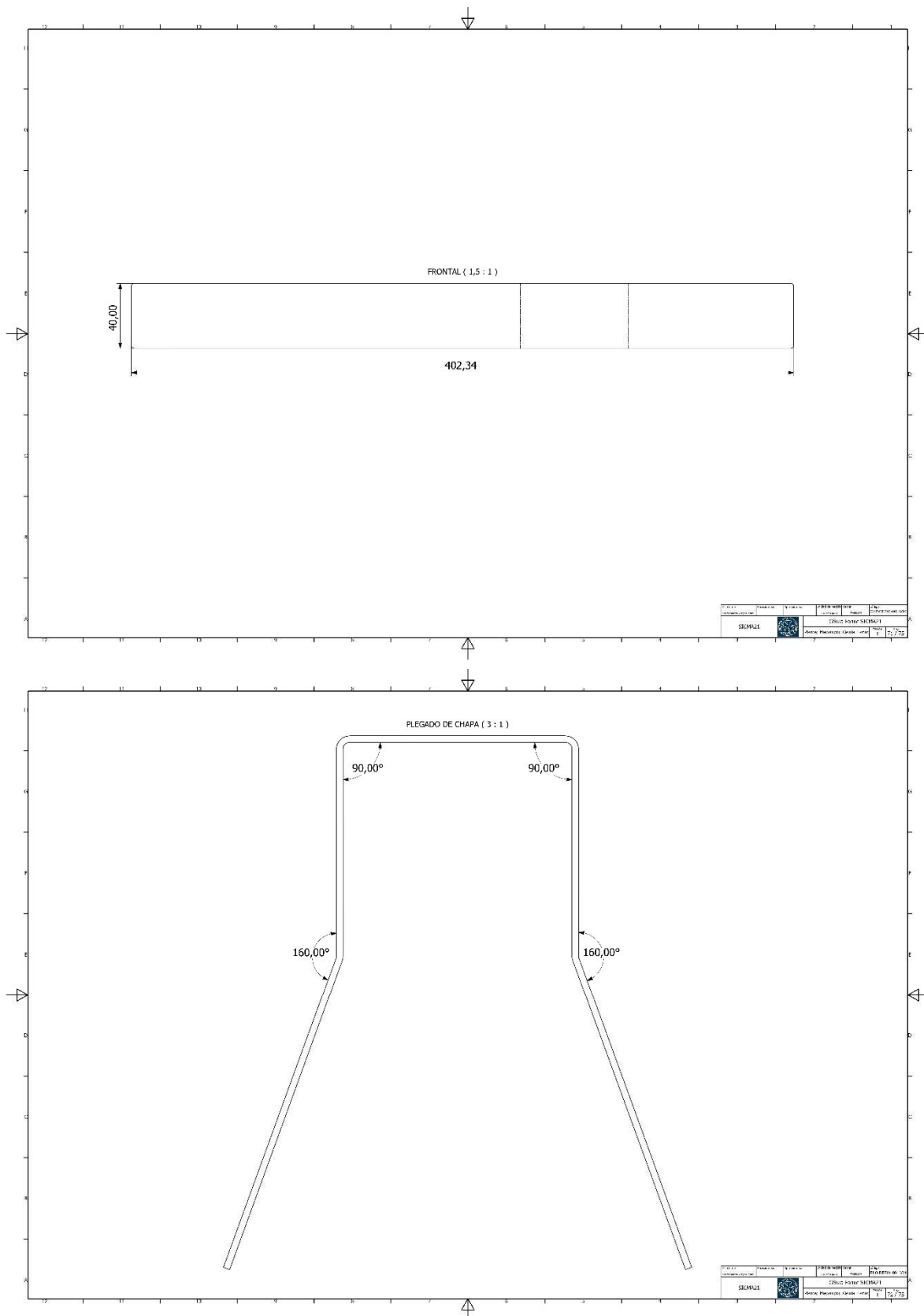


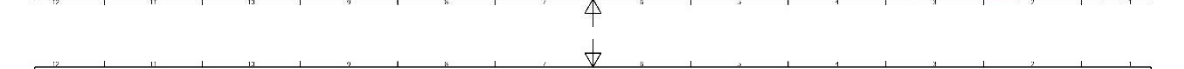


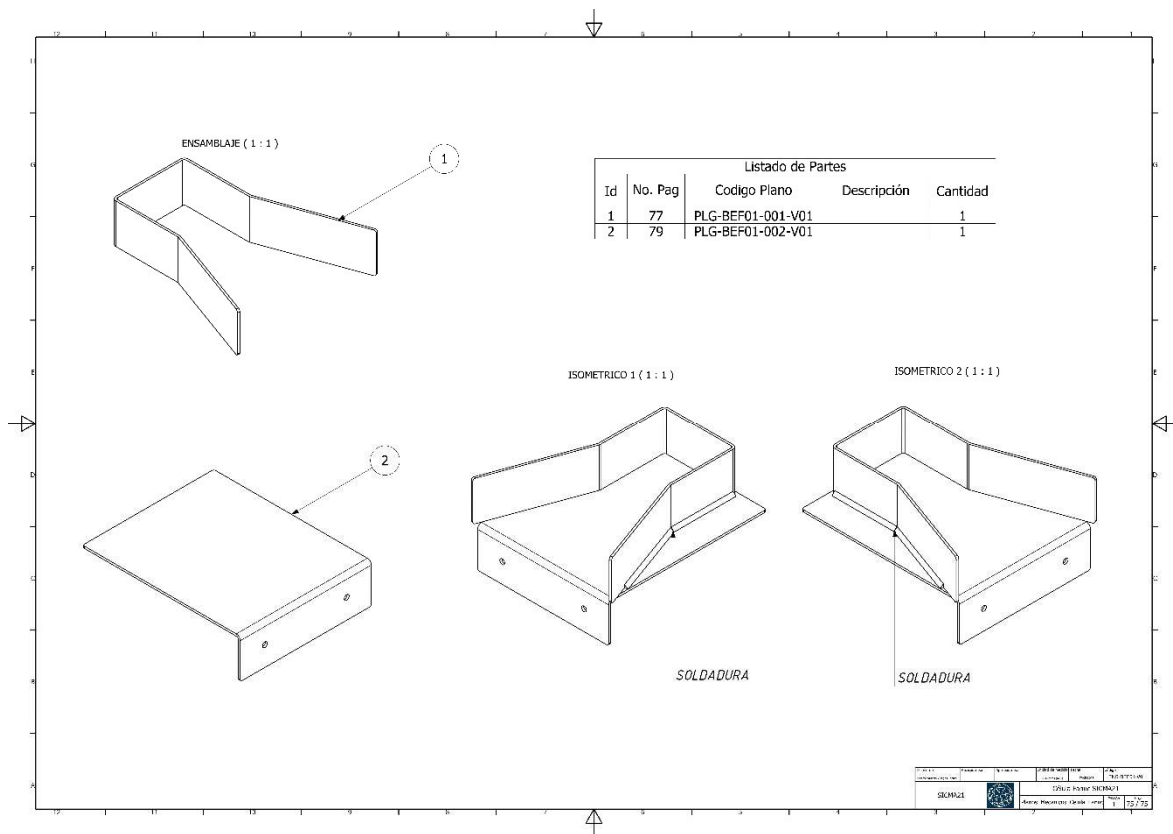












Anexo B: Planos Eléctricos

c/ Cerámica nº 1 – Pol. Ind. La Ferreria
08110 c/ Cerámica nº 1 – Pol. Ind. La Ferreria
Tel. +34 619 60 28 94

Número de páginas 66

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
PRESCRIPCIONES TÉCNICAS DE REALIZACIÓN						DOMO 21 INGENIERIA E c/ Cerámica nº 1 – Pol. Ind. La Ferreria 08110 Montcada i Reixac (Barcelona)			
PRESCRIPCIONES DE CABLEADO (Abreviatura según IEC 60757)									
COLORES DE CABLEADO									
Corriente principal CA	negro (BK)	Circuito de control CA > 50V	rojo (RD)	Tensión ajena	naranja (OG)				
Corriente principal CC	negro (BK)	Circuito de control CA < 50V	rojo (RD)	Circuito eléctrico de bloqueo	naranja (OG)				
Conductor neutro	azul (BU)	Circuito de control CC	gris (GY)	Cables de medición	violeta (VT)				
Conductor de protección	verde-amarillo (GNYE)			Transformador de corriente	marrón (BN)				
SECCIONES MÍNIMAS				CABLEADO					
Corriente principal				0,5 - 1,0 mm ²	Conductor aislado en PVC H05V-K				
Conductor de protección				1,5 - 150 mm ²	Conductor aislado en PVC H07V-K				
Conductor de control									
Cableado PLC									
PRESCRIPCIONES SOBRE MATERIAL									
ARMARIOS				BORNES					
Armarios				hasta 2,5 mm ²					
Zócalo de armario				4 a 150 mm ²					
Color de armario									
Modo de protección									

DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES, S.L.
c/ Cerámica nº 1 – Pol. Ind. La Ferreria
08110 Montcada i Reixac (Barcelona)

Solo personal cualificado debe ejecutar los trabajos de transporte, instalación y puesta en marcha.

Deben respetarse las siguientes indicaciones de seguridad:

La operación de montaje, puesta en marcha, detección de averías y reparación de la instalación solo puede llevarlas a cabo el personal con una formación adecuada y familiarizado con los correspondientes manuales de uso.

El montaje de los dispositivos debe efectuarse según las normas vigentes y las prescripciones estatales y locales. Debe garantizarse una puesta a tierra y un dimensionamiento de los conductores correctos, así como una protección adecuada contra cortocircuitos. Estas medidas sirven para garantizar la seguridad de la instalación y de los operadores.

Antes de realizar comprobaciones de seguridad y tomar medidas de mantenimiento y reparación debe garantizarse que todas las fuentes de alimentación estén desconectadas, aseguradas contra una reconexión y debidamente identificadas.

Para realizar las mediciones, solo deben utilizarse equipos de comprobación en perfecto estado técnico y adecuados para cada medición en cuestión.

Deben seguirse exactamente las instrucciones que se indican en los correspondientes manuales. Es obligatorio observar las indicaciones de seguridad, advertencia y peligro.

Todas las puertas y los elementos protectores de la instalación deben mantenerse cerrados durante el funcionamiento. Si en la instalación se han montado refrigeradores, debe procurarse que esos sistemas funcionen correctamente. Esto contempla también la limpieza regular de los filtros si los hay.

2			Número de proyecto Célula Robótica implementada con base en la Pirámide de las Automatizaciones	Número de proyecto Fecha Nombre de cliente Comprobado por:	DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES,S.L.		Indicaciones de seguridad	=	SAAI
Cemento	Fecha	Nombre	Autor	Fecha	1/10/2023	Esp:	edificios	Inch	3 cúbico

F06_002

Designación de función	Designación de localización	Página	Descripción de página	Campo adicional de página	Fecha	Responsable
		1	Hoja de título / portada		14/05/2025	avilegas
		2	Prescripciones sobre material		14/05/2025	avilegas
		3	Indicaciones de seguridad		14/05/2025	avilegas
		1	Índice de páginas : AAAA1/1 - =>K1+A2&EFS1/2		15/07/2025	avilegas
		1.1	Índice de páginas : =>K1+A2&EFS1/2.1 - =>SEC+B2&EFS1/3		15/07/2025	avilegas
		1.2	Índice de páginas : =>AEC+B1&EFS1/1 - =>DIF+B2.X1&EFS1/2.1		15/07/2025	avilegas
		1	Comunicaciones DeviceNet		03/07/2025	avilegas
		2	Comunicaciones RS232		03/07/2025	avilegas
		1	Lista de conexiones		15/07/2025	avilegas
		1.1	Lista de conexiones		15/07/2025	avilegas
		1.2	Lista de conexiones		15/07/2025	avilegas
		1.3	Lista de conexiones		15/07/2025	avilegas
		1.4	Lista de conexiones		15/07/2025	avilegas
		1.5	Lista de conexiones		15/07/2025	avilegas
		1.6	Lista de conexiones		15/07/2025	avilegas
		1.7	Lista de conexiones		15/07/2025	avilegas
		1.8	Lista de conexiones		15/07/2025	avilegas
		1.9	Lista de conexiones		15/07/2025	avilegas
AAC	A1	1	Alimentación 400 VAC		15/07/2025	avilegas
ACC	A2	1	Alimentación 24 VDC		15/07/2025	avilegas
CMB	A1	1	Sinamics V20 Siemens		15/07/2025	avilegas
	A1	1.1	Sinamics V20 Entradas Digitales		15/07/2025	avilegas
	A1	1.2	Sinamics V20 Salidas Digitales		15/07/2025	avilegas
	A1	2	AX2003-AS Beckhoff		15/07/2025	avilegas
	A1	1	Diagrama de PLC : =>CMB+A1-Q2 - =>CMB+A1-Q2		15/07/2025	avilegas
	A1	2	Diagrama de PLC : =>CMB+A1-VFD2-X3 - =>CMB+A1-VFD2-X3		08/07/2025	avilegas
KI	A2	1	Fuente de alimentación PLC		15/07/2025	avilegas
	A2	2	Salidas digitales C2IM		15/07/2025	avilegas

8AA01/3			Nombres de proyecto: Célula Robótica (SRM2)	Número de proyecto: 001	DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES S.L.	Índice de páginas: 8AA01/1 - KI-A2&EFS 1/2	--	NAAR1
			Célula Robótica Implementada con base en la Pirámide de la Automatización	Módulo de diseño				(Sección 2 y 3 de TFC)
Autor:	Alumno:	Director/a:		Comprobado por:			F	Página: 6

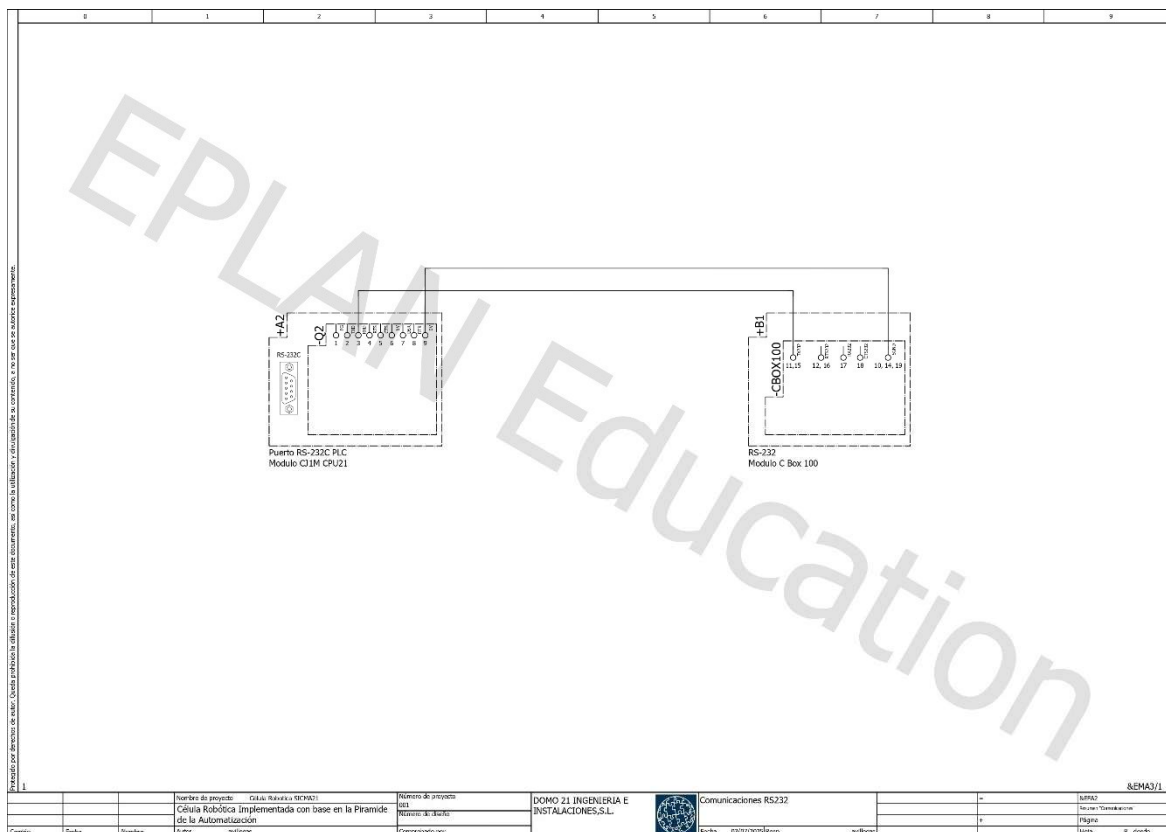
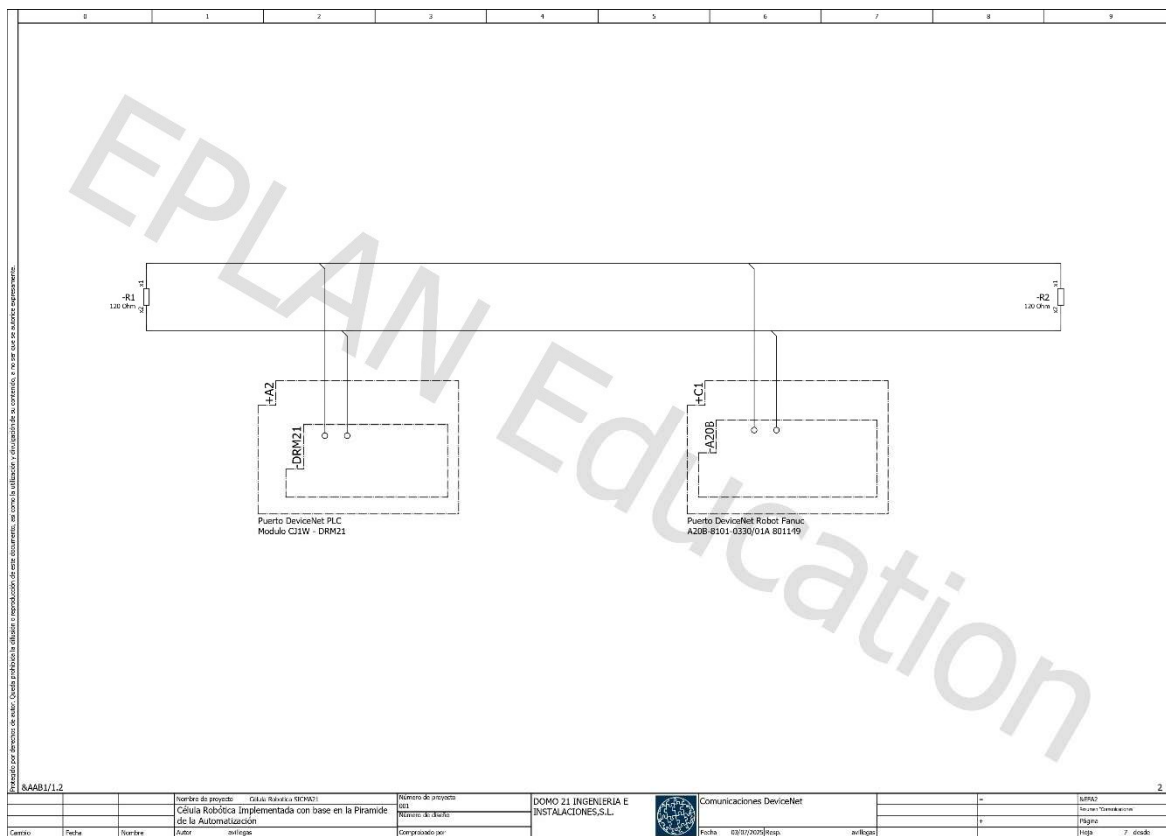
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Indice de páginas									
F06_002									
Designación de función	Designación de localización	Página	Descripción de página	Campo adicional de página	Fecha	Responsable			
K1	A2	2.1	Salidas digitales OD212		15/07/2025	avilegas			
	A2	2.2	Salidas digitales OD212		15/07/2025	avilegas			
	A2	3	Entradas digitales CI1M		15/07/2025	avilegas			
	A2	3.1	Entradas digitales CI1M		15/07/2025	avilegas			
	A2	3.2	Entradas digitales ID232		15/07/2025	avilegas			
	A2	3.3	Entradas digitales ID232		15/07/2025	avilegas			
	A2	3.4	Entradas digitales ID232		15/07/2025	avilegas			
	A2	3.5	Entradas digitales ID232		15/07/2025	avilegas			
	A2	4	Salidas e Relé		15/07/2025	avilegas			
	A2	5	Resumen Entradas		15/07/2025	avilegas			
	A2	5.1	Resumen Entradas		15/07/2025	avilegas			
	A2	6	Resumen Salidas		15/07/2025	avilegas			
	A2	6.1	Resumen Salidas		15/07/2025	avilegas			
	A2	1	Diagrama de PLC : =K1+A2-C2 - =K1+A2-C2		15/07/2025	avilegas			
	A2	1.1	Diagrama de PLC : =K1+A2-C2 - =K1+A2-C2		15/07/2025	avilegas			
	A2	2	Diagrama de PLC : =K1+A2-C3 - =K1+A2-C3		15/07/2025	avilegas			
	A2	3	Diagrama de PLC : =K1+A2-C4 - =K1+A2-C4		15/07/2025	avilegas			
SEC	A2	3.1	Diagrama de PLC : =K1+A2-C1 - =K1+A2-C1		15/07/2025	avilegas			
	A1	1	Adaptation Señal Escaner		15/07/2025	avilegas			
	B1	1	Sensor de Color		15/07/2025	avilegas			
	B1	2	Sensores de Posición		15/07/2025	avilegas			
	B1	3	Sensores Neumáticos		15/07/2025	avilegas			
	B1	4	Sensores de Nivel		15/07/2025	avilegas			
	B1	5	Cameras		15/07/2025	avilegas			
	B1	6	Escaner		15/07/2025	avilegas			
	B2	1	Sensores de Posición		15/07/2025	avilegas			
	B2	2	Sensores Neumáticos		15/07/2025	avilegas			
	B2	3	Checker		15/07/2025	avilegas			

		Nombre de proyecto: Célula Robótica DCM021		Número de proyecto: 1481		DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES.S.L.		Índice de páginas : =K1+A2MFPS1/2.1 - =SE C+R2&EFS1/3		=		MARI		1-2	
		Célula Robótica implementada con base en la Pirámide de la Automatización		Autor: avilegas		Comprobado por:		Fecha: 15/07/2025/esp.		avilegas		=		Página: 1-1	
Código:		Fecha:		Nombre:										Hoja: 3 desde 95	

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Indice de páginas									
F06_002									
Designación de función	Designación de localización	Página	Descripción de página	Campo adicional de página	Fecha	Responsable			
AEC	B1	1	Control Electrovalvulas Cilindros		15/07/2025	avilegas			
	B2	1	Control Electrovalvulas Cilindros		15/07/2025	avilegas			
DIF	B1.X1	1	Diagrama de Interfase (Female)		15/07/2025	avilegas			
	B1.X1	1.1	Diagrama de Interfase (Male)		15/07/2025	avilegas			
	B1.X1	2	Diagrama de Interfase (Female)		15/07/2025	avilegas			
	B1.X1	2.1	Diagrama de Interfase (Male)		15/07/2025	avilegas			
	B2.X1	1	Diagrama de Interfase (Female)		15/07/2025	avilegas			
	B2.X1	1.1	Diagrama de Interfase (Male)		15/07/2025	avilegas			
	B2.X1	2	Diagrama de Interfase (Female)		15/07/2025	avilegas			
	B2.X1	2.1	Diagrama de Interfase (Male)		15/07/2025	avilegas			

		Nombre de proyecto: Célula Robótica DCM021		Número de proyecto: 1481		DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES.S.L.		Índice de páginas : =AEC+B1MFPS1/1 - =DIF +B2.X1&EFS1/2.1		=		MARI		8EF42/1	
		Célula Robótica implementada con base en la Pirámide de la Automatización		Autor: avilegas		Comprobado por:		Fecha: 15/07/2025/esp.		avilegas		=		Página: 1-1	
Código:		Fecha:		Nombre:										Hoja: 6 desde 95	





	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Lista de conexiones										
F27_001										
Conexión	Origen	Destino	Sección	Color	Longitud	Página/columna 1	Página/columna 2	Definición de función		
	FE	+A1 X01.1				+CHB-AL-X00PSU1.0	+CHB-AL-X00PSU1.1	Conductor cable		
	FE	+A1 X02.2				+CHB-AL-X00PSU2.0	+CHB-AL-X00PSU2.1	Conductor cable		
01	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conductor cable		
02	+A1 X01.2	+A1 X01.2		BN		+A1 X01.2	+A1 X01.2	Conductor cable		
03	+A1 X1.3	+A1 X1.3		GY		+A1 X1.3	+A1 X1.3	Conductor cable		
04	+A1 X1.7	+A1 X1.7		BN		+A1 X1.7	+A1 X1.7	Conductor cable		
05	+A1 X1.1	+A1 X1.1		BN		+A1 X1.1	+A1 X1.1	Conductor cable		
06	+A1 X1.2	+A1 X1.2		BN		+A1 X1.2	+A1 X1.2	Conductor cable		
07	+A1 X1.3	+A1 X1.3		BN		+A1 X1.3	+A1 X1.3	Conductor cable		
08	+A1 X1.4	+A1 X1.4		BN		+A1 X1.4	+A1 X1.4	Conductor cable		
09	+A1 X1.5	+A1 X1.5		BN		+A1 X1.5	+A1 X1.5	Conductor cable		
10	+A1 X1.6	+A1 X1.6		BN		+A1 X1.6	+A1 X1.6	Conductor cable		
11	+A1 X1.7	+A1 X1.7		BN		+A1 X1.7	+A1 X1.7	Conductor cable		
12	+A1 X1.8	+A1 X1.8		BN		+A1 X1.8	+A1 X1.8	Conductor cable		
13	+A1 X1.9	+A1 X1.9		BN		+A1 X1.9	+A1 X1.9	Conductor cable		
14	+A1 X1.10	+A1 X1.10		BN		+A1 X1.10	+A1 X1.10	Conductor cable		
15	+A1 X1.11	+A1 X1.11		BN		+A1 X1.11	+A1 X1.11	Conductor cable		
16	+A1 X1.12	+A1 X1.12		BN		+A1 X1.12	+A1 X1.12	Conductor cable		
17	+A1 X1.13	+A1 X1.13		BN		+A1 X1.13	+A1 X1.13	Conductor cable		
18	+A1 X1.14	+A1 X1.14		BN		+A1 X1.14	+A1 X1.14	Conductor cable		
19	+A1 X1.15	+A1 X1.15		BN		+A1 X1.15	+A1 X1.15	Conductor cable		
20	+A1 X1.16	+A1 X1.16		BN		+A1 X1.16	+A1 X1.16	Conductor cable		
21	+A1 X1.17	+A1 X1.17		BN		+A1 X1.17	+A1 X1.17	Conductor cable		
22	+A1 X1.18	+A1 X1.18		BN		+A1 X1.18	+A1 X1.18	Conductor cable		
23	+A1 X1.19	+A1 X1.19		BN		+A1 X1.19	+A1 X1.19	Conductor cable		
24	+A1 X1.20	+A1 X1.20		BN		+A1 X1.20	+A1 X1.20	Conductor cable		
25	+A1 X1.21	+A1 X1.21		BN		+A1 X1.21	+A1 X1.21	Conductor cable		
26	+A1 X1.22	+A1 X1.22		BN		+A1 X1.22	+A1 X1.22	Conductor cable		
27	+A1 X1.23	+A1 X1.23		BN		+A1 X1.23	+A1 X1.23	Conductor cable		
28	+A1 X1.24	+A1 X1.24		BN		+A1 X1.24	+A1 X1.24	Conductor cable		
29	+A1 X1.25	+A1 X1.25		BN		+A1 X1.25	+A1 X1.25	Conductor cable		
30	+A1 X1.26	+A1 X1.26		BN		+A1 X1.26	+A1 X1.26	Conductor cable		
31	+A1 X1.27	+A1 X1.27		BN		+A1 X1.27	+A1 X1.27	Conductor cable		
32	+A1 X1.28	+A1 X1.28		BN		+A1 X1.28	+A1 X1.28	Conductor cable		
33	+A1 X1.29	+A1 X1.29		BN		+A1 X1.29	+A1 X1.29	Conductor cable		
34	+A1 X1.30	+A1 X1.30		BN		+A1 X1.30	+A1 X1.30	Conductor cable		
35	+A1 X1.31	+A1 X1.31		BN		+A1 X1.31	+A1 X1.31	Conductor cable		
36	+A1 X1.32	+A1 X1.32		BN		+A1 X1.32	+A1 X1.32	Conductor cable		
37	+A1 X1.33	+A1 X1.33		BN		+A1 X1.33	+A1 X1.33	Conductor cable		
38	+A1 X1.34	+A1 X1.34		BN		+A1 X1.34	+A1 X1.34	Conductor cable		
39	+A1 X1.35	+A1 X1.35		BN		+A1 X1.35	+A1 X1.35	Conductor cable		
40	+A1 X1.36	+A1 X1.36		BN		+A1 X1.36	+A1 X1.36	Conductor cable		
41	+A1 X1.37	+A1 X1.37		BN		+A1 X1.37	+A1 X1.37	Conductor cable		
42	+A1 X1.38	+A1 X1.38		BN		+A1 X1.38	+A1 X1.38	Conductor cable		
43	+A1 X1.39	+A1 X1.39		BN		+A1 X1.39	+A1 X1.39	Conductor cable		
44	+A1 X1.40	+A1 X1.40		BN		+A1 X1.40	+A1 X1.40	Conductor cable		
45	+A1 X1.41	+A1 X1.41		BN		+A1 X1.41	+A1 X1.41	Conductor cable		
46	+A1 X1.42	+A1 X1.42		BN		+A1 X1.42	+A1 X1.42	Conductor cable		
47	+A1 X1.43	+A1 X1.43		BN		+A1 X1.43	+A1 X1.43	Conductor cable		
48	+A1 X1.44	+A1 X1.44		BN		+A1 X1.44	+A1 X1.44	Conductor cable		
49	+A1 X1.45	+A1 X1.45		BN		+A1 X1.45	+A1 X1.45	Conductor cable		
50	+A1 X1.46	+A1 X1.46		BN		+A1 X1.46	+A1 X1.46	Conductor cable		
51	+A1 X1.47	+A1 X1.47		BN		+A1 X1.47	+A1 X1.47	Conductor cable		
52	+A1 X1.48	+A1 X1.48		BN		+A1 X1.48	+A1 X1.48	Conductor cable		
53	+A1 X1.49	+A1 X1.49		BN		+A1 X1.49	+A1 X1.49	Conductor cable		
54	+A1 X1.50	+A1 X1.50		BN		+A1 X1.50	+A1 X1.50	Conductor cable		
55	+A1 X1.51	+A1 X1.51		BN		+A1 X1.51	+A1 X1.51	Conductor cable		
56	+A1 X1.52	+A1 X1.52		BN		+A1 X1.52	+A1 X1.52	Conductor cable		
57	+A1 X1.53	+A1 X1.53		BN		+A1 X1.53	+A1 X1.53	Conductor cable		
58	+A1 X1.54	+A1 X1.54		BN		+A1 X1.54	+A1 X1.54	Conductor cable		
59	+A1 X1.55	+A1 X1.55		BN		+A1 X1.55	+A1 X1.55	Conductor cable		
60	+A1 X1.56	+A1 X1.56		BN		+A1 X1.56	+A1 X1.56	Conductor cable		
61	+A1 X1.57	+A1 X1.57		BN		+A1 X1.57	+A1 X1.57	Conductor cable		
62	+A1 X1.58	+A1 X1.58		BN		+A1 X1.58	+A1 X1.58	Conductor cable		
63	+A1 X1.59	+A1 X1.59		BN		+A1 X1.59	+A1 X1.59	Conductor cable		
64	+A1 X1.60	+A1 X1.60		BN		+A1 X1.60	+A1 X1.60	Conductor cable		
65	+A1 X1.61	+A1 X1.61		BN		+A1 X1.61	+A1 X1.61	Conductor cable		
66	+A1 X1.62	+A1 X1.62		BN		+A1 X1.62	+A1 X1.62	Conductor cable		
67	+A1 X1.63	+A1 X1.63		BN		+A1 X1.63	+A1 X1.63	Conductor cable		
68	+A1 X1.64	+A1 X1.64		BN		+A1 X1.64	+A1 X1.64	Conductor cable		
69	+A1 X1.65	+A1 X1.65		BN		+A1 X1.65	+A1 X1.65	Conductor cable		
70	+A1 X1.66	+A1 X1.66		BN		+A1 X1.66	+A1 X1.66	Conductor cable		
71	+A1 X1.67	+A1 X1.67		BN		+A1 X1.67	+A1 X1.67	Conductor cable		
72	+A1 X1.68	+A1 X1.68		BN		+A1 X1.68	+A1 X1.68	Conductor cable		
73	+A1 X1.69	+A1 X1.69		BN		+A1 X1.69	+A1 X1.69	Conductor cable		
74	+A1 X1.70	+A1 X1.70		BN		+A1 X1.70	+A1 X1.70	Conductor cable		
75	+A1 X1.71	+A1 X1.71		BN		+A1 X1.71	+A1 X1.71	Conductor cable		
76	+A1 X1.72	+A1 X1.72		BN		+A1 X1.72	+A1 X1.72	Conductor cable		
77	+A1 X1.73	+A1 X1.73		BN		+A1 X1.73	+A1 X1.73	Conductor cable		
78	+A1 X1.74	+A1 X1.74		BN		+A1 X1.74	+A1 X1.74	Conductor cable		
79	+A1 X1.75	+A1 X1.75		BN		+A1 X1.75	+A1 X1.75	Conductor cable		
80	+A1 X1.76	+A1 X1.76		BN		+A1 X1.76	+A1 X1.76	Conductor cable		
81	+A1 X1.77	+A1 X1.77		BN		+A1 X1.77	+A1 X1.77	Conductor cable		
82	+A1 X1.78	+A1 X1.78		BN		+A1 X1.78	+A1 X1.78	Conductor cable		
83	+A1 X1.79	+A1 X1.79		BN		+A1 X1.79	+A1 X1.79	Conductor cable		
84	+A1 X1.80	+A1 X1.80		BN		+A1 X1.80	+A1 X1.80	Conductor cable		
85	+A1 X1.81	+A1 X1.81		BN		+A1 X1.81	+A1 X1.81	Conductor cable		
86	+A1 X1.82	+A1 X1.82		BN		+A1 X1.82	+A1 X1.82	Conductor cable		
87	+A1 X1.83	+A1 X1.83		BN		+A1 X1.83	+A1 X1.83	Conductor cable		
88	+A1 X1.84	+A1 X1.84		BN		+A1 X1.84	+A1 X1.84	Conductor cable		
89	+A1 X1.85	+A1 X1.85		BN		+A1 X1.85	+A1 X1.85	Conductor cable		
90	+A1 X1.86	+A1 X1.86		BN		+A1 X1.86	+A1 X1.86	Conductor cable		
91	+A1 X1.87	+A1 X1.87		BN		+A1 X1.87	+A1 X1.87	Conductor cable		
92	+A1 X1.88	+A1 X1.88		BN		+A1 X1.88	+A1 X1.88	Conductor cable		
93	+A1 X1.89	+A1 X1.89		BN		+A1 X1.89	+A1 X1.89	Conductor cable		
94	+A1 X1.90	+A1 X1.90		BN		+A1 X1.90	+A1 X1.90	Conductor cable		
95	+A1 X1.91	+A1 X1.91		BN		+A1 X1.91	+A1 X1.91	Conductor cable		
96	+A1 X1.92	+A1 X1.92		BN		+A1 X1.92	+A1 X1.92	Conductor cable		
97	+A1 X1.93	+A1 X1.93		BN		+A1 X1.93	+A1 X1.93	Conductor cable		
98	+A1 X1.94	+A1 X1.94		BN		+A1 X1.94	+A1 X1.94	Conductor cable		
99	+A1 X1.95	+A1 X1.95		BN		+A1 X1.95	+A1 X1.95	Conductor cable		
100	+A1 X1.96	+A1 X1.96		BN		+A1 X1.96	+A1 X1.96	Conductor cable		

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Lista de conexiones

F27_001

Conexión	Origen	Destino	Sección	Color	Longitud	Página/columna 1	Página/columna 2	Definición de función
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5		BN		+A1 X01.5	+A1 X01.5	Conexión directa
	+A1 X01.5	+A1 X01.5	</					

F27_001

Protegido por derechos de autor. Queda prohibida la difusión o reproducción de este documento, así como la utilización y divulgación de su contenido, e no ser que se autorice expresamente.



F27_001

Protegido por derechos de autor. Queda prohibida la difusión o reproducción de este documento, así como la utilización y divulgación de su contenido, a no ser que se autorice expresamente.

F27_001

Prüfung	1. 2. 3.
---------	----------

--	--

F27_001

5. Protein

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Lista de conexiones										
F27_001										
Conexión	Origen	Destino	Sección	Color	Longitud	Página/columna 1	Página/columna 2	Definición de función		
209	+H2.31-WT3.1.8.18	+AC-A2-C16.6.37				+DPP-R2.X1.MPSU1.6	+AC-A2.MPSU1.3.3	Conductor/cable		
41	+H2.31-WT3.1.9.19	+AC-A2-F1.1.5		WH		+DPP-R2.X1.MPSU1.6	+AC-A2.MPSU1.3	Conductor/cable		
42	+H2.31-WT3.2.9.20	+AC-A2-F1.1.4		BU		+DPP-R2.X1.MPSU1.6	+AC-A2.MPSU1.8	Conductor/cable		
119	+H2.31-WT3.2.10.21	+H2-A2-C16.6.35				+DPP-R2.X1.MPSU1.6	+H2-A2.MPSU1.3.3	Conductor/cable		
41	+H2.31-WT3.2.10.22	+AC-A2-F1.1.5		WH		+DPP-R2.X1.MPSU1.6	+AC-A2.MPSU1.3	Conductor/cable		
42	+H2.31-WT3.2.10.23	+AC-A2-F1.1.4		BU		+DPP-R2.X1.MPSU1.6	+AC-A2.MPSU1.8	Conductor/cable		
211	+H2.31-WT3.2.10.24	+H2-A2-C16.6.35				+DPP-R2.X1.MPSU1.6	+H2-A2.MPSU1.3.3	Conductor/cable		
41	+H2.31-WT3.2.10.25	+AC-A2-F1.1.5		WH		+DPP-R2.X1.MPSU1.6	+AC-A2.MPSU1.3	Conductor/cable		
42	+H2.31-WT3.2.10.26	+AC-A2-F1.1.4		BU		+DPP-R2.X1.MPSU1.6	+AC-A2.MPSU1.8	Conductor/cable		
217	+H2.31-WT3.2.10.27	+H2-A2-C16.6.35				+DPP-R2.X1.MPSU1.6	+H2-A2.MPSU1.3.3	Conductor/cable		
333	+H2.31-WT3.1.1	+SE-A2-S2.2.1				+DPP-R2.X1.MPSU1.2	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
334	+H2.31-WT3.2.2	+SE-A2-S2.2.2				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
335	+H2.31-WT3.3	+SE-A2-S2.3				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
336	+H2.31-WT3.4	+SE-A2-S2.4				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
337	+H2.31-WT3.5	+SE-A2-S2.5				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
338	+H2.31-WT3.6	+SE-A2-S2.6				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
339	+H2.31-WT3.7	+SE-A2-S2.7				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
340	+H2.31-WT3.8	+SE-A2-S2.8				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
341	+H2.31-WT3.9	+SE-A2-S2.9				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
342	+H2.31-WT3.10	+SE-A2-S2.10				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
343	+H2.31-WT3.11	+SE-A2-S2.11				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
344	+H2.31-WT3.12	+SE-A2-S2.12				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
345	+H2.31-WT3.13	+SE-A2-S2.13				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
346	+H2.31-WT3.14	+SE-A2-S2.14				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
347	+H2.31-WT3.15	+SE-A2-S2.15				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
348	+H2.31-WT3.16	+SE-A2-S2.16				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
349	+H2.31-WT3.17	+SE-A2-S2.17				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
350	+H2.31-WT3.18	+SE-A2-S2.18				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
351	+H2.31-WT3.19	+SE-A2-S2.19				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
352	+H2.31-WT3.20	+SE-A2-S2.20				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
353	+H2.31-WT3.21	+SE-A2-S2.21				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
354	+H2.31-WT3.22	+SE-A2-S2.22				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
355	+H2.31-WT3.23	+SE-A2-S2.23				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
356	+H2.31-WT3.24	+SE-A2-S2.24				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
357	+H2.31-WT3.25	+SE-A2-S2.25				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
358	+H2.31-WT3.26	+SE-A2-S2.26				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
359	+H2.31-WT3.27	+SE-A2-S2.27				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
360	+H2.31-WT3.28	+SE-A2-S2.28				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
361	+H2.31-WT3.29	+SE-A2-S2.29				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
362	+H2.31-WT3.30	+SE-A2-S2.30				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
363	+H2.31-WT3.31	+SE-A2-S2.31				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
364	+H2.31-WT3.32	+SE-A2-S2.32				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
365	+H2.31-WT3.33	+SE-A2-S2.33				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
366	+H2.31-WT3.34	+SE-A2-S2.34				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
367	+H2.31-WT3.35	+SE-A2-S2.35				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
368	+H2.31-WT3.36	+SE-A2-S2.36				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
369	+H2.31-WT3.37	+SE-A2-S2.37				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		
41	+H2.31-WT4.1	+AC-A2-F1.1.5		WH		+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+AC-A2.MPSU1.3	Conductor/cable		
42	+H2.31-WT4.2	+AC-A2-F1.1.4		BU		+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+AC-A2.MPSU1.8	Conductor/cable		
213	+H2.31-WT4.3	+H2-A2-C16.6.35				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+H2-A2.MPSU1.3.3	Conductor/cable		
41	+H2.31-WT4.4	+AC-A2-F1.1.5		WH		+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+AC-A2.MPSU1.3	Conductor/cable		
42	+H2.31-WT4.5	+AC-A2-F1.1.4		BU		+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+AC-A2.MPSU1.8	Conductor/cable		
229	+H2.31-WT4.6	+H2-A2-C16.6.35				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+H2-A2.MPSU1.3.3	Conductor/cable		
227	+H2.31-WT4.7	+AC-A2-F1.1.5		WH		+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+AC-A2.MPSU1.3	Conductor/cable		
229	+H2.31-WT4.8	+AC-A2-F1.1.4		BU		+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+AC-A2.MPSU1.8	Conductor/cable		
233	+H2.31-WT4.9	+H2-A2-C16.6.35				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+H2-A2.MPSU1.3.3	Conductor/cable		
42	+H2.31-WT4.10	+AC-A2-F1.1.4		BU		+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+AC-A2.MPSU1.8	Conductor/cable		
213	+H2.31-WT4.11	+H2-A2-C16.6.35				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+H2-A2.MPSU1.3.3	Conductor/cable		
41	+H2.31-WT4.12	+AC-A2-F1.1.5		WH		+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+AC-A2.MPSU1.3	Conductor/cable		
233	+H2.31-WT4.13	+H2-A2-C16.6.35				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+H2-A2.MPSU1.3.3	Conductor/cable		
42	+H2.31-WT4.14	+AC-A2-F1.1.4		BU		+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+AC-A2.MPSU1.8	Conductor/cable		
235	+H2.31-WT4.15	+H2-A2-C16.6.35				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+H2-A2.MPSU1.3.3	Conductor/cable		
41	+H2.31-WT4.16	+AC-A2-F1.1.5		WH		+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+AC-A2.MPSU1.3	Conductor/cable		
42	+H2.31-WT4.17	+AC-A2-F1.1.4		BU		+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+AC-A2.MPSU1.8	Conductor/cable		
235	+H2.31-WT4.18	+H2-A2-C16.6.35				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+H2-A2.MPSU1.3.3	Conductor/cable		
41	+H2.31-WT4.19	+AC-A2-F1.1.5		WH		+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+AC-A2.MPSU1.3	Conductor/cable		
42	+H2.31-WT4.20	+AC-A2-F1.1.4		BU		+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+AC-A2.MPSU1.8	Conductor/cable		
237	+H2.31-WT4.21	+H2-A2-C16.6.35				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+H2-A2.MPSU1.3.3	Conductor/cable		
42	+H2.31-WT4.22	+AC-A2-F1.1.4		BU		+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+AC-A2.MPSU1.8	Conductor/cable		
369	+H2.31-WT4.1	+SE-A2-S2.1.6				+DPP-R2.X1.MPSU1.2	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable		

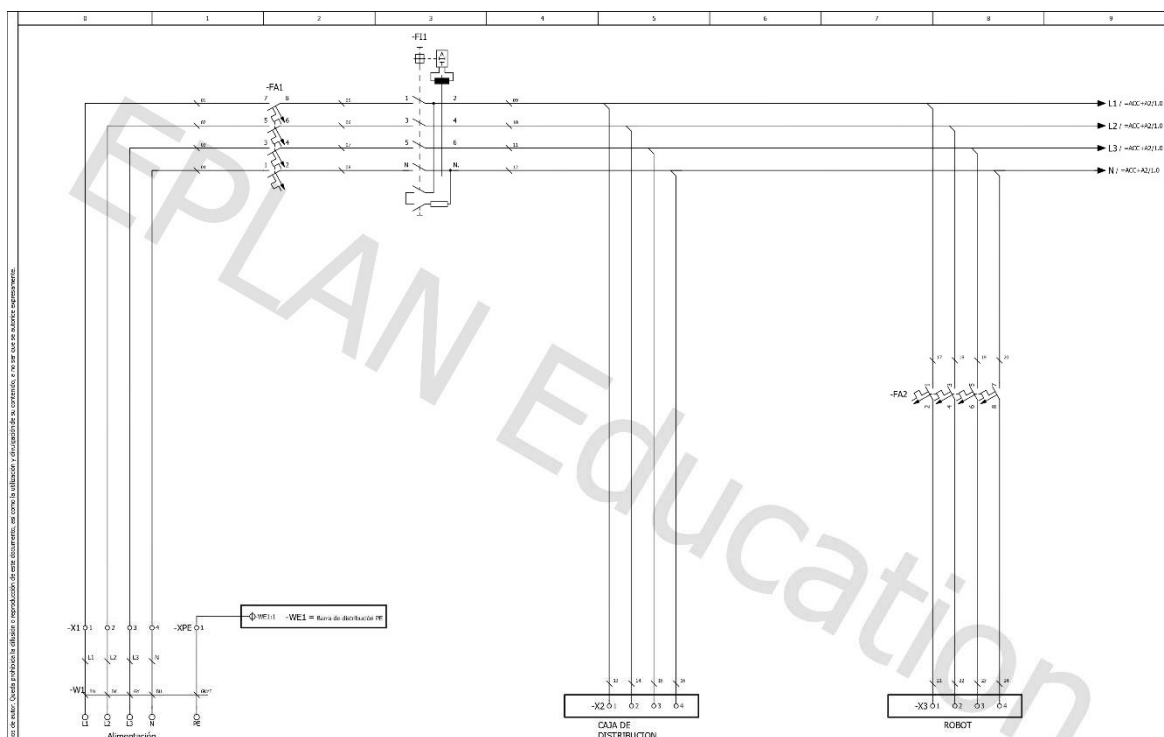
1.7										
Nombre de proyecto		Célula Robótica		Nombre de proyecto		DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES S.L.		Lista de conexiones		1.9
Célula Robótica implementada con base en la Pirámide de la Automatización		Autor		Revisado		Revisado		Revisado		
Fecha		Nombre		Autor		Revisado		Revisado		
Fecha		Nombre		Autor		Revisado		Revisado		

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

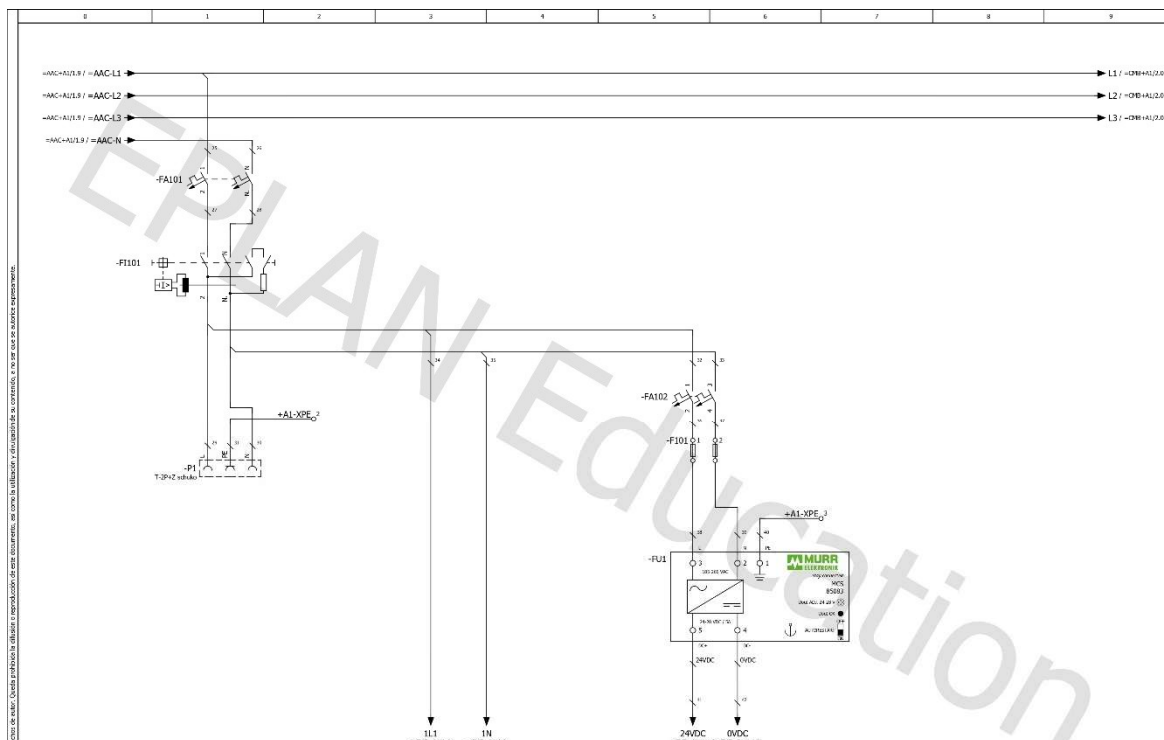
Lista de conexiones

F27_001

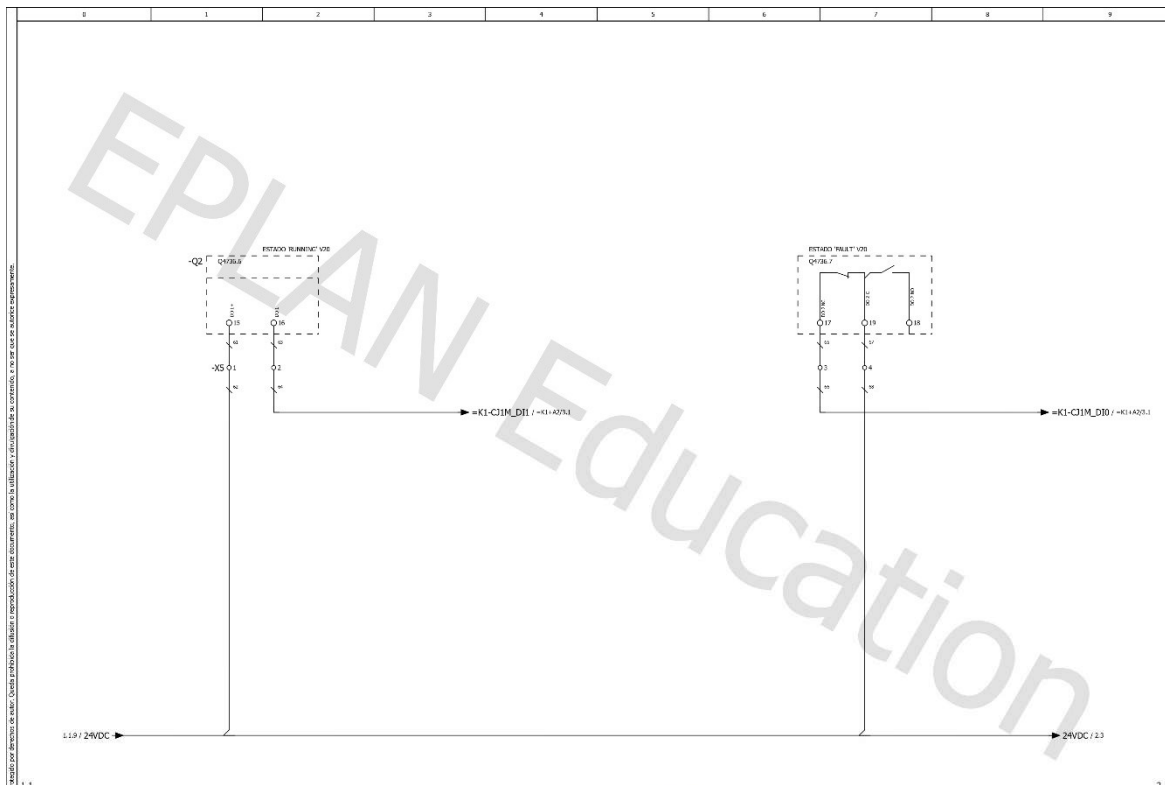
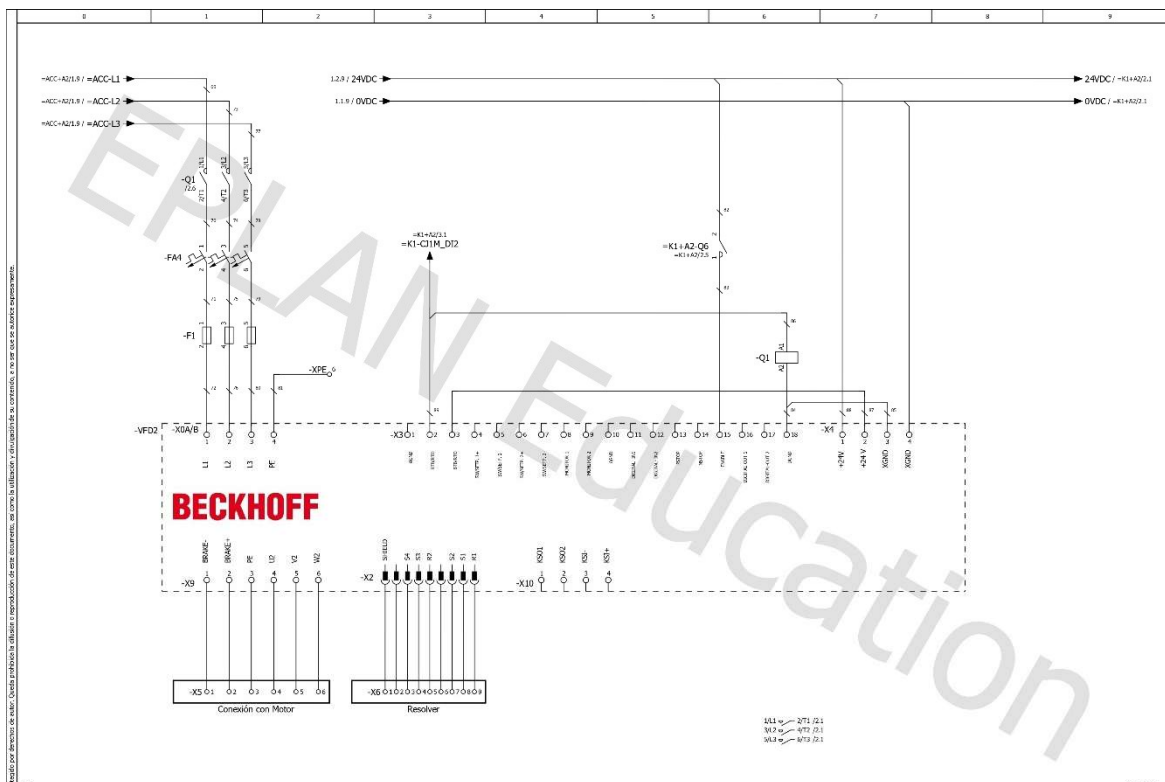
Conexión	Origen	Destino	Sección	Color	Longitud	Página/columna 1	Página/columna 2	Definición de función
361	+H2.31-WT4.2.2	+SE-A2-S2.1.6				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable
362	+H2.31-WT4.2.3	+SE-A2-S2.1.6				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.2	Conductor/cable
363	+H2.31-WT4.2.3.7	+SE-A2-S2.1.7				+DPP-R2.X1.MPSU1.4	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
364	+H2.31-WT4.1.1.1	+SE-A2-S2.1.8				+DPP-R2.X1.MPSU1.4	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
365	+H2.31-WT4.2.3.2	+SE-A2-S2.1.1				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
366	+H2.31-WT4.2.3.3	+SE-A2-S2.1.2				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
367	+H2.31-WT4.1.4.3.4	+SE-A2-S2.1.3				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
368	+H2.31-WT4.1.5.1.5	+SE-A2-S2.1.4				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
369	+H2.31-WT4.2.3.6	+SE-A2-S2.1.5				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
370	+H2.31-WT4.1.7.1.7	+SE-A2-S2.1.6				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
371	+H2.31-WT4.1.8.1.8	+SE-A2-S2.1.7				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
372	+H2.31-WT4.1.9.1.9	+SE-A2-S2.1.8				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
373	+H2.31-WT4.2.3.2.9	+SE-A2-S2.1.9				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
374	+H2.31-WT4.1.2.1.1	+SE-A2-S2.1.10				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
375	+H2.31-WT4.2.2.1.2	+SE-A2-S2.1.11				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
376	+H2.31-WT4.2.3.2.3	+SE-A2-S2.1.12				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
377	+H2.31-WT4.2.4.2.4	+SE-A2-S2.1.13				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
378	+H2.31-WT4.2.5.2.5	+SE-A2-S2.1.14				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
379	+H2.31-WT4.2.6.2.6	+SE-A2-S2.1.15				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
380	+H2.31-WT4.2.7.2.7	+SE-A2-S2.1.16				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
381	+H2.31-WT4.2.8.2.8	+SE-A2-S2.1.17				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
382	+H2.31-WT4.2.9.2.9	+SE-A2-S2.1.18				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
383	+H2.31-WT4.2.10.2.10	+SE-A2-S2.1.19				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
384	+H2.31-WT4.2.11.2.11	+SE-A2-S2.1.20				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
385	+H2.31-WT4.2.12.2.12	+SE-A2-S2.1.21				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
386	+H2.31-WT4.2.13.2.13	+SE-A2-S2.1.22				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
387	+H2.31-WT4.2.14.2.14	+SE-A2-S2.1.23				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
388	+H2.31-WT4.2.15.2.15	+SE-A2-S2.1.24				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
389	+H2.31-WT4.2.16.2.16	+SE-A2-S2.1.25				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
390	+H2.31-WT4.2.17.2.17	+SE-A2-S2.1.26				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
391	+H2.31-WT4.2.18.2.18	+SE-A2-S2.1.27				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
392	+H2.31-WT4.2.19.2.19	+SE-A2-S2.1.28				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
393	+H2.31-WT4.2.20.2.20	+SE-A2-S2.1.29				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
394	+H2.31-WT4.2.21.2.21	+SE-A2-S2.1.30				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
395	+H2.31-WT4.2.22.2.22	+SE-A2-S2.1.31				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
396	+H2.31-WT4.2.23.2.23	+SE-A2-S2.1.32				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
397	+H2.31-WT4.2.24.2.24	+SE-A2-S2.1.33				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
398	+H2.31-WT4.2.25.2.25	+SE-A2-S2.1.34				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
399	+H2.31-WT4.2.26.2.26	+SE-A2-S2.1.35				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
400	+H2.31-WT4.2.27.2.27	+SE-A2-S2.1.36				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
401	+H2.31-WT4.2.28.2.28	+SE-A2-S2.1.37				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
402	+H2.31-WT4.2.29.2.29	+SE-A2-S2.1.38				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
403	+H2.31-WT4.2.30.2.30	+SE-A2-S2.1.39				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
404	+H2.31-WT4.2.31.2.31	+SE-A2-S2.1.40				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
405	+H2.31-WT4.2.32.2.32	+SE-A2-S2.1.41				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
406	+H2.31-WT4.2.33.2.33	+SE-A2-S2.1.42				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
407	+H2.31-WT4.2.34.2.34	+SE-A2-S2.1.43				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
408	+H2.31-WT4.2.35.2.35	+SE-A2-S2.1.44				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
409	+H2.31-WT4.2.36.2.36	+SE-A2-S2.1.45				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
410	+H2.31-WT4.2.37.2.37	+SE-A2-S2.1.46				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
411	+H2.31-WT4.2.38.2.38	+SE-A2-S2.1.47				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
412	+H2.31-WT4.2.39.2.39	+SE-A2-S2.1.48				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
413	+H2.31-WT4.2.40.2.40	+SE-A2-S2.1.49				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
414	+H2.31-WT4.2.41.2.41	+SE-A2-S2.1.50				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
415	+H2.31-WT4.2.42.2.42	+SE-A2-S2.1.51				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
416	+H2.31-WT4.2.43.2.43	+SE-A2-S2.1.52				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
417	+H2.31-WT4.2.44.2.44	+SE-A2-S2.1.53				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
418	+H2.31-WT4.2.45.2.45	+SE-A2-S2.1.54				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
419	+H2.31-WT4.2.46.2.46	+SE-A2-S2.1.55				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
420	+H2.31-WT4.2.47.2.47	+SE-A2-S2.1.56				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
421	+H2.31-WT4.2.48.2.48	+SE-A2-S2.1.57				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
422	+H2.31-WT4.2.49.2.49	+SE-A2-S2.1.58				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
423	+H2.31-WT4.2.50.2.50	+SE-A2-S2.1.59				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
424	+H2.31-WT4.2.51.2.51	+SE-A2-S2.1.60				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
425	+H2.31-WT4.2.52.2.52	+SE-A2-S2.1.61				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
426	+H2.31-WT4.2.53.2.53	+SE-A2-S2.1.62				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
427	+H2.31-WT4.2.54.2.54	+SE-A2-S2.1.63				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
428	+H2.31-WT4.2.55.2.55	+SE-A2-S2.1.64				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
429	+H2.31-WT4.2.56.2.56	+SE-A2-S2.1.65				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
430	+H2.31-WT4.2.57.2.57	+SE-A2-S2.1.66				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
431	+H2.31-WT4.2.58.2.58	+SE-A2-S2.1.67				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
432	+H2.31-WT4.2.59.2.59	+SE-A2-S2.1.68				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
433	+H2.31-WT4.2.60.2.60	+SE-A2-S2.1.69				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
434	+H2.31-WT4.2.61.2.61	+SE-A2-S2.1.70				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
435	+H2.31-WT4.2.62.2.62	+SE-A2-S2.1.71				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
436	+H2.31-WT4.2.63.2.63	+SE-A2-S2.1.72				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
437	+H2.31-WT4.2.64.2.64	+SE-A2-S2.1.73				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
438	+H2.31-WT4.2.65.2.65	+SE-A2-S2.1.74				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
439	+H2.31-WT4.2.66.2.66	+SE-A2-S2.1.75				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
440	+H2.31-WT4.2.67.2.67	+SE-A2-S2.1.76				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
441	+H2.31-WT4.2.68.2.68	+SE-A2-S2.1.77				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
442	+H2.31-WT4.2.69.2.69	+SE-A2-S2.1.78				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
443	+H2.31-WT4.2.70.2.70	+SE-A2-S2.1.79				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
444	+H2.31-WT4.2.71.2.71	+SE-A2-S2.1.80				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
445	+H2.31-WT4.2.72.2.72	+SE-A2-S2.1.81				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
446	+H2.31-WT4.2.73.2.73	+SE-A2-S2.1.82				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
447	+H2.31-WT4.2.74.2.74	+SE-A2-S2.1.83				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
448	+H2.31-WT4.2.75.2.75	+SE-A2-S2.1.84				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
449	+H2.31-WT4.2.76.2.76	+SE-A2-S2.1.85				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
450	+H2.31-WT4.2.77.2.77	+SE-A2-S2.1.86				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
451	+H2.31-WT4.2.78.2.78	+SE-A2-S2.1.87				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
452	+H2.31-WT4.2.79.2.79	+SE-A2-S2.1.88				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
453	+H2.31-WT4.2.80.2.80	+SE-A2-S2.1.89				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
454	+H2.31-WT4.2.81.2.81	+SE-A2-S2.1.90				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
455	+H2.31-WT4.2.82.2.82	+SE-A2-S2.1.91				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
456	+H2.31-WT4.2.83.2.83	+SE-A2-S2.1.92				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
457	+H2.31-WT4.2.84.2.84	+SE-A2-S2.1.93				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
458	+H2.31-WT4.2.85.2.85	+SE-A2-S2.1.94				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
459	+H2.31-WT4.2.86.2.86	+SE-A2-S2.1.95				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
460	+H2.31-WT4.2.87.2.87	+SE-A2-S2.1.96				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
461	+H2.31-WT4.2.88.2.88	+SE-A2-S2.1.97				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
462	+H2.31-WT4.2.89.2.89	+SE-A2-S2.1.98				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
463	+H2.31-WT4.2.90.2.90	+SE-A2-S2.1.99				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
464	+H2.31-WT4.2.91.2.91	+SE-A2-S2.1.100				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
465	+H2.31-WT4.2.92.2.92	+SE-A2-S2.1.101				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
466	+H2.31-WT4.2.93.2.93	+SE-A2-S2.1.102				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
467	+H2.31-WT4.2.94.2.94	+SE-A2-S2.1.103				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
468	+H2.31-WT4.2.95.2.95	+SE-A2-S2.1.104				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
469	+H2.31-WT4.2.96.2.96	+SE-A2-S2.1.105				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
470	+H2.31-WT4.2.97.2.97	+SE-A2-S2.1.106				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
471	+H2.31-WT4.2.98.2.98	+SE-A2-S2.1.107				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
472	+H2.31-WT4.2.99.2.99	+SE-A2-S2.1.108				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
473	+H2.31-WT4.3.00.2.100	+SE-A2-S2.1.109				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
474	+H2.31-WT4.3.01.2.101	+SE-A2-S2.1.110				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
475	+H2.31-WT4.3.02.2.102	+SE-A2-S2.1.111				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
476	+H2.31-WT4.3.03.2.103	+SE-A2-S2.1.112				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
477	+H2.31-WT4.3.04.2.104	+SE-A2-S2.1.113				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
478	+H2.31-WT4.3.05.2.105	+SE-A2-S2.1.114				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
479	+H2.31-WT4.3.06.2.106	+SE-A2-S2.1.115				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
480	+H2.31-WT4.3.07.2.107	+SE-A2-S2.1.116				+DPP-R2.X1.MPSU1.3	+SE-A2.MPSU1.3	Conductor/cable
481	+H2.31-WT4.3.08.2.							



= 8EMA3/1.9		Número de proyecto: Célula Robótica 000001		Número de proyecto: 0001		DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES,S.L.		Alimentación 400 VAC		=ACC=A2/1	
Célula Robótica implementada con base en la Pirámide de la Automatización		Autor: antlope		Revisión de: Berto		Comprobado por:		Fecha: 15/03/2023 (Esp.)		av/Bjgs	
Contenido:	Fecha:	Revisión:	Autor:	Revisión:	Comprobado por:	=ACC=A2/1		=ACC=A2/1		=ACC=A2/1	



=AAC=A1/1		Número de proyecto: Célula Robótica 000001		Número de proyecto: 0001		DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES,S.L.		Alimentación 24 VDC		=CMB=A1/1	
Célula Robótica implementada con base en la Pirámide de la Automatización		Autor: antlope		Revisión de: Berto		Comprobado por:		Fecha: 15/03/2023 (Esp.)		av/Bjgs	
Contenido:	Fecha:	Revisión:	Autor:	Revisión:	Comprobado por:	=CMB=A1/1		=CMB=A1/1		=CMB=A1/1	

[illegible][illegible]

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

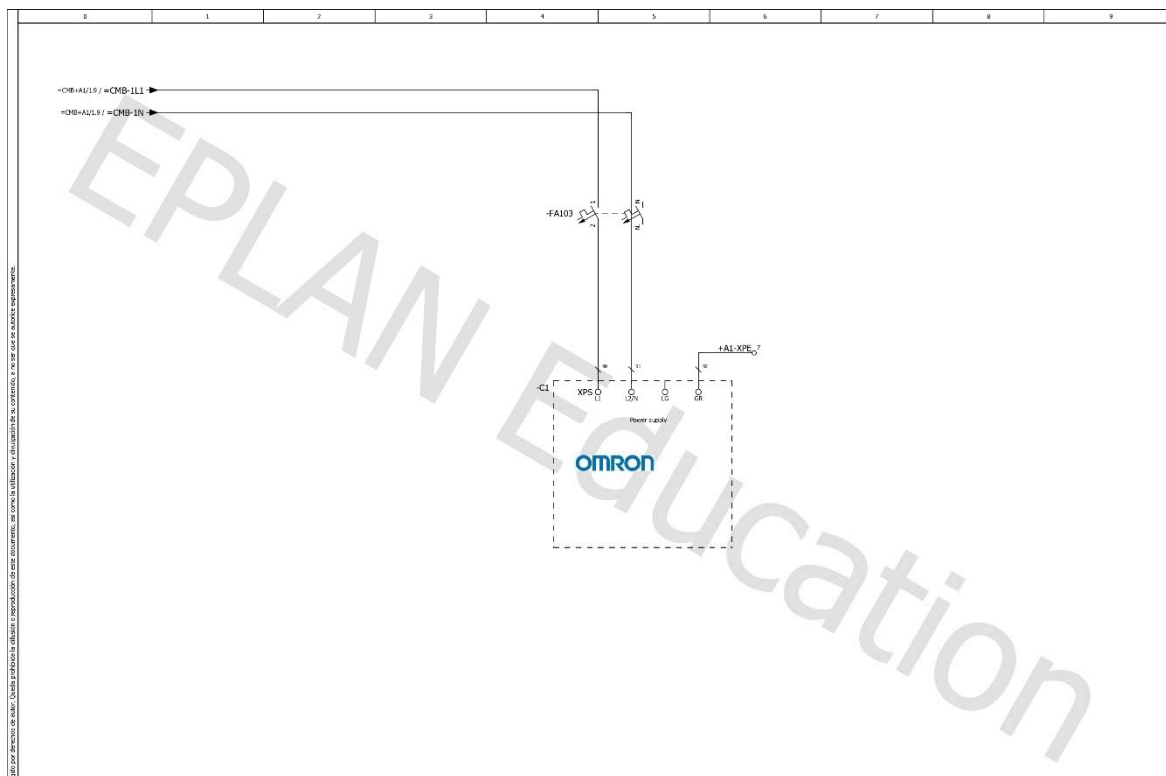
Diagrama de PLC

F19_001

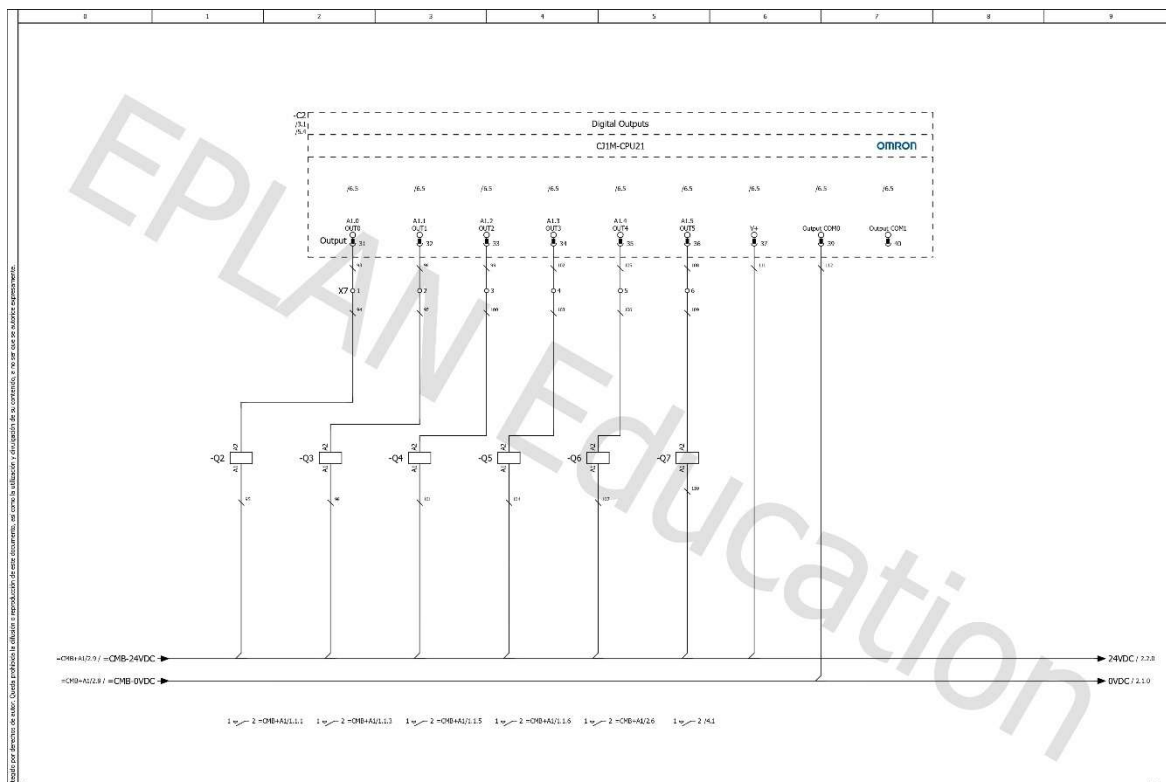
Nombre de proyecto

Célula Robotica SICMA21

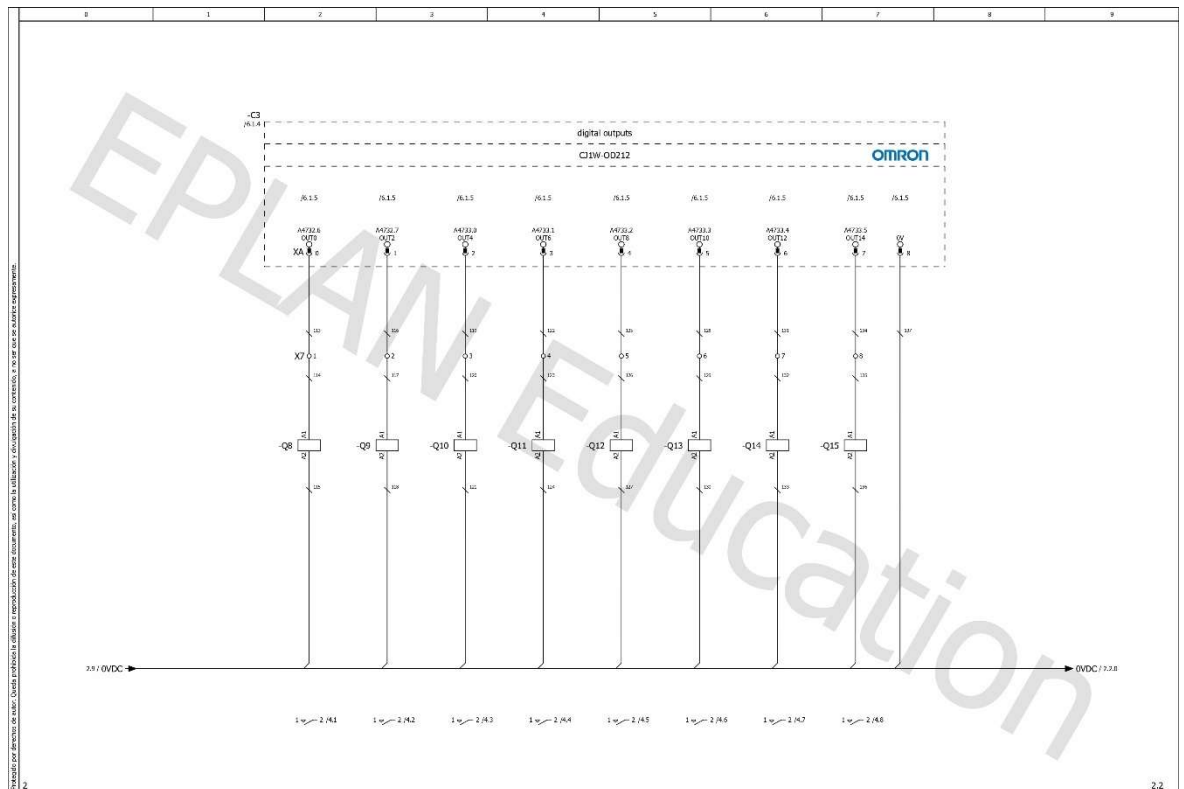
Identificador de medicos de explotación PLC	Dirección	Colocación	Texto de función	Rack	Módulo	Dirección simbólica	Borne
=CMB+A1-Q2	I5551.0	&EFS1/1.1.1	SEÑAL ON/OFF V20				8
	I5551.1	&EFS1/1.1.3	SEÑAL VELOCIDAD BAJA V20				9
	I5551.2	&EFS1/1.1.5	SEÑAL VELOCIDAD MEDIA V20				10
	I5551.3	&EFS1/1.1.6	SEÑAL VELOCIDAD ALTA V20				11
		&EFS1/1.1.8	COMUN ENTRADAS DIGITALES				12
	Q4736.6	&EFS1/1.2.1					15
		&EFS1/1.2.2	ESTADO 'RUNNING' V20				16
	Q4736.7	&EFS1/1.2.7	ESTADO 'FAULT' V20				17
		&EFS1/1.2.7					18
		&EFS1/1.2.7					19



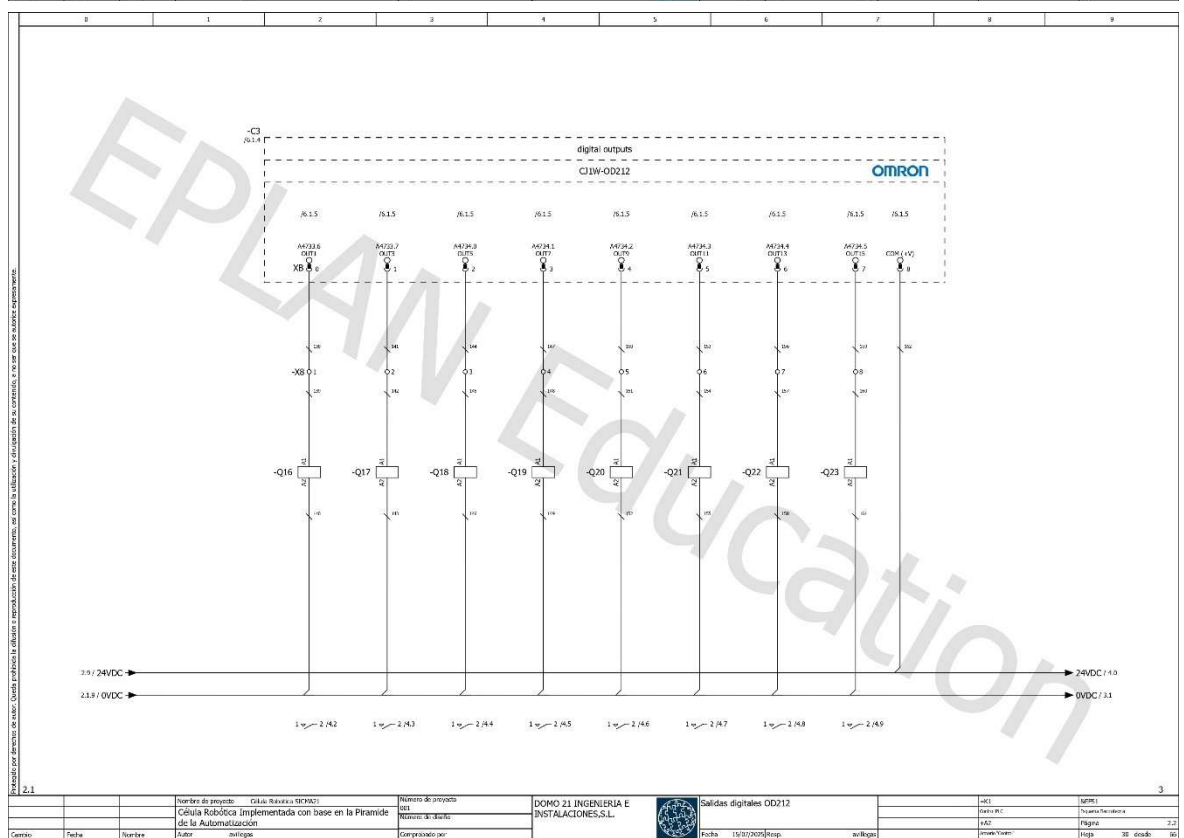
=OMB-A18FA1/2		Nombre de proyecto: Célula Robótica 0100001	Numero de proyecto: 001	DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES,S.L.	Fuente de alimentación PLC	401	00001
		Nombre de proyecto: Célula Robótica implementada con base en la Pirámide de la Automatización	Numero de proyecto: 001			401	00001
		Autores: autologos	Comprobado por:		Fecha: 15/10/2009 (Ecop)	av/Bjgs	Hoja 27 de 36



Salidas digitales CJ1M		Nombre de proyecto: Célula Robótica 0100001	Numero de proyecto: 001	DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES,S.L.	Salidas digitales CJ1M	401	00001
		Nombre de proyecto: Célula Robótica implementada con base en la Pirámide de la Automatización	Numero de proyecto: 001			401	00001
		Autores: autologos	Comprobado por:		Fecha: 15/10/2009 (Ecop)	av/Bjgs	Hoja 28 de 36

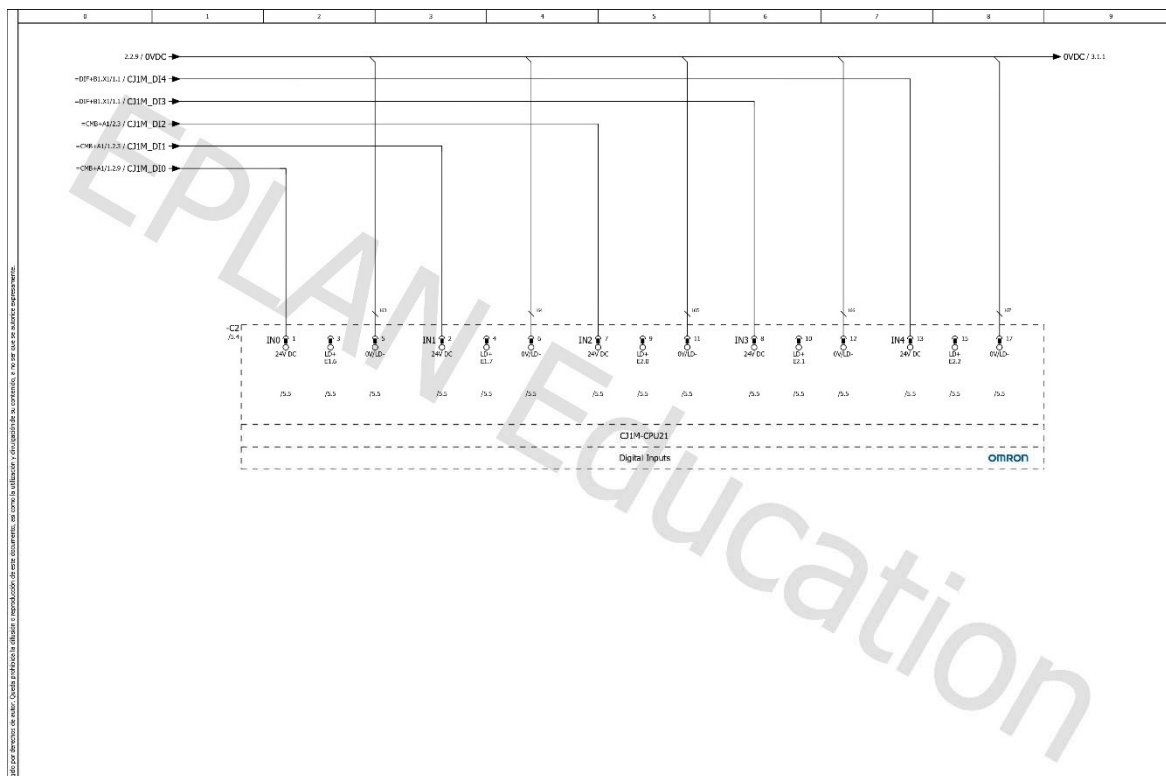


		Nombre de proyecto: Célula Robótica DCMOT		Número de proyecto: 2021		DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES,S.L.				Salidas digitales OD212		A-01		M-01	
		Célula Robótica Implementada con base en la Pirámide de la Automatización		Resumen de diseño								A-02		M-02	
Código:		Fecha:		Nombre:		Autor: autlog		Comprobado por:		Fecha: 15/07/2020		Resp:		avlogos	
Código:		Fecha:		Nombre:											

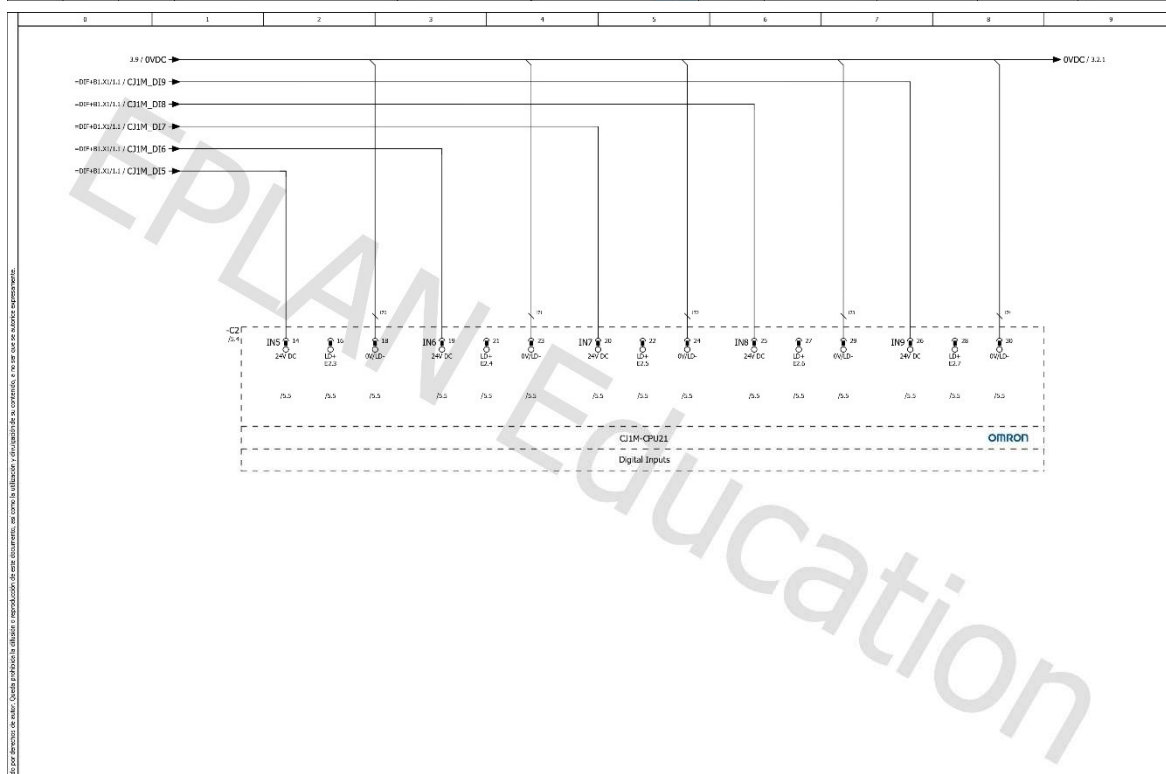


Nombre de proyecto: Célula Robótica DCMOT		Número de proyecto: 2021		Salidas digitales OD212	
Célula Robótica implementada con base en la Pirámide de la Automatización		DOMO 21 INGENIERÍA E INSTALACIONES S.L.		Fecha: 15/07/2020	
Autor: autlog		Comprobado por:		avlogos	
Código:	Fecha:	Nombre:			

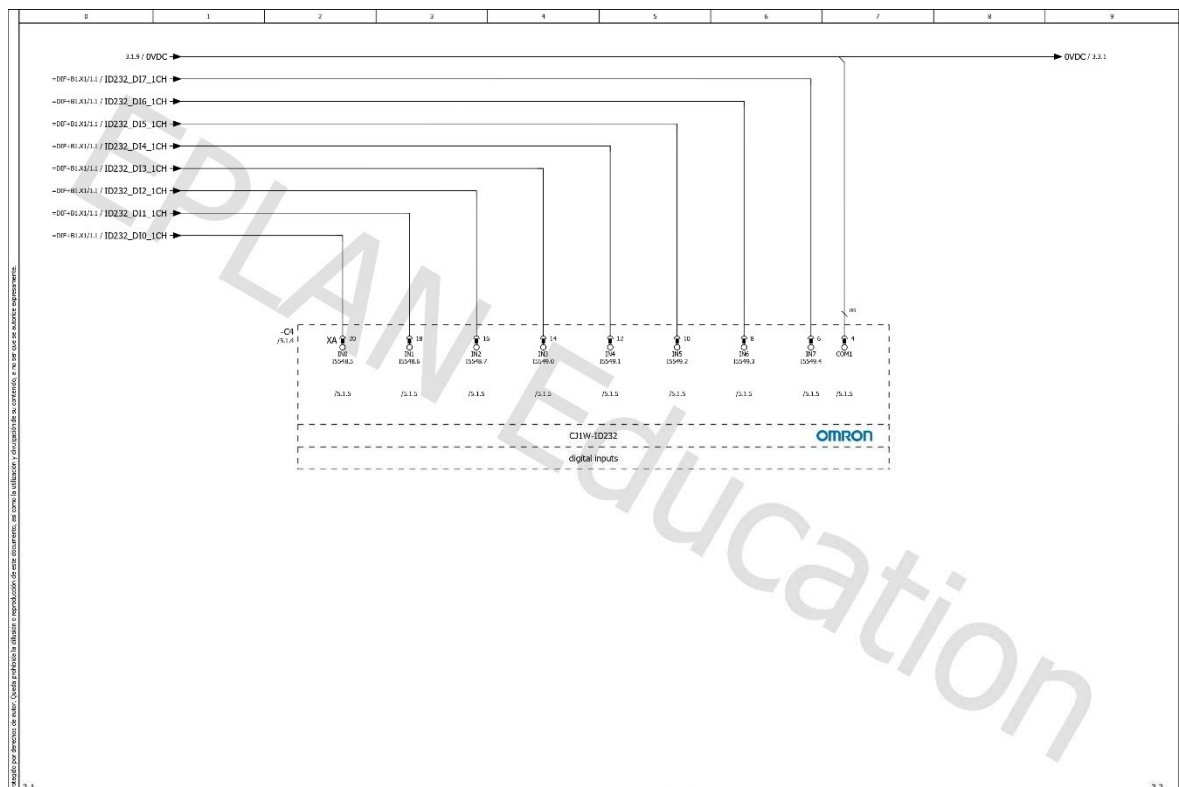




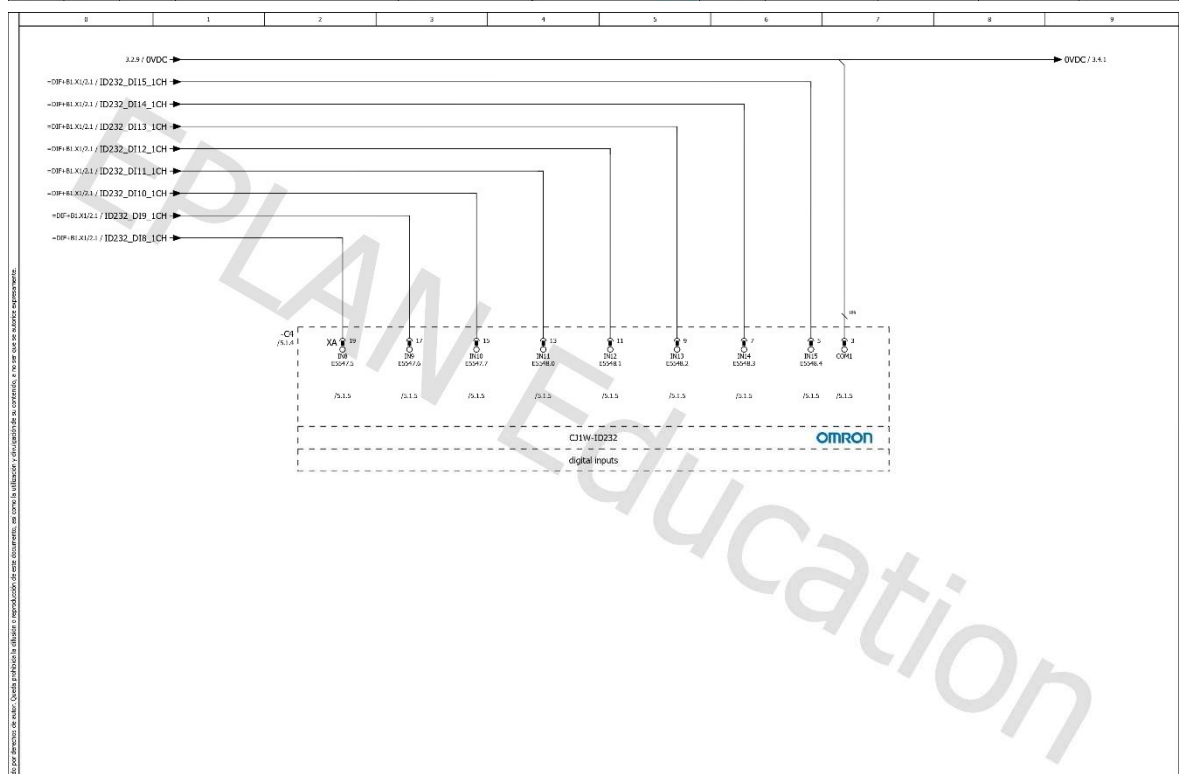
2.2				3.1			
Nombre del proyecto	Célula Robótica implementada con base en la Pirámide de la Automatización	Nombre del proyecto	DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES,S.L.	Entradas digitales C31M	401	401	401
Fecha		Fecha	15/10/2019	Fecha	15/10/2019	Fecha	15/10/2019
Autores	avillegas	Comprobado por	avillegas	avillegas	avillegas	avillegas	avillegas



3				3.2			
Nombre del proyecto	Célula Robótica implementada con base en la Pirámide de la Automatización	Nombre del proyecto	DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES,S.L.	Entradas digitales C31M	401	401	401
Fecha		Fecha	15/10/2019	Fecha	15/10/2019	Fecha	15/10/2019
Autores	avillegas	Comprobado por	avillegas	avillegas	avillegas	avillegas	avillegas

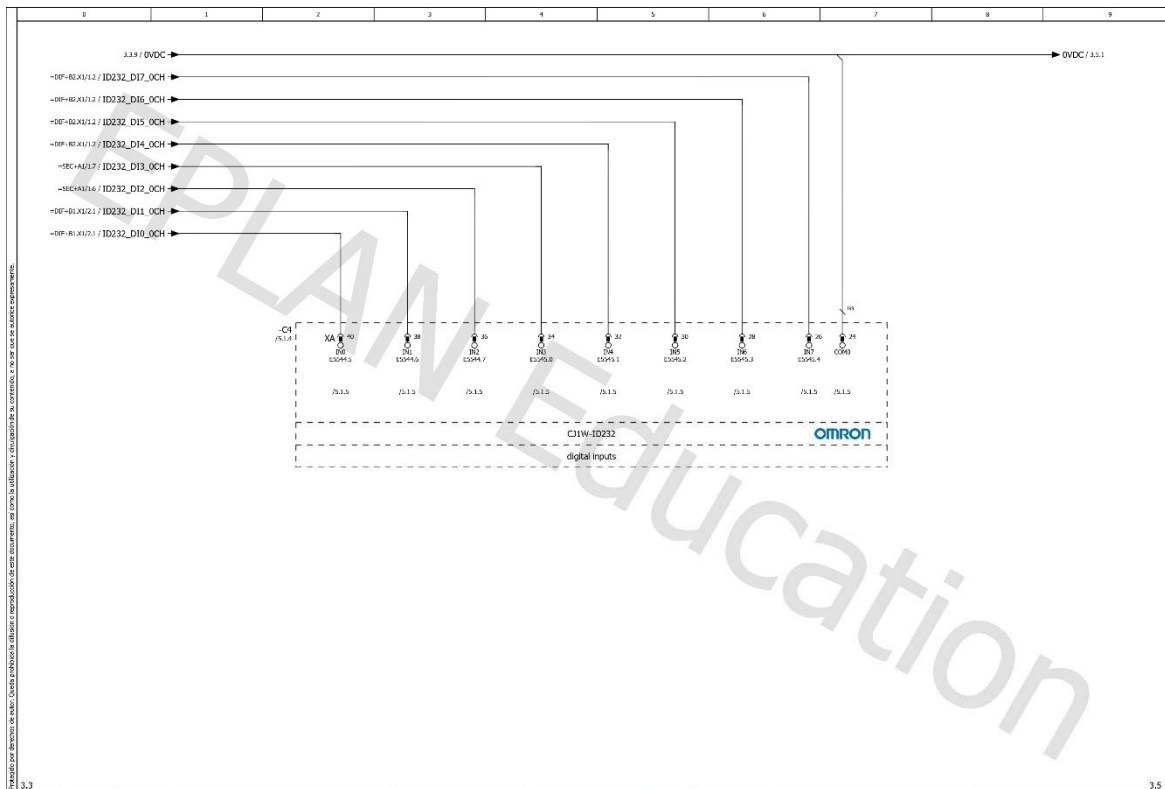
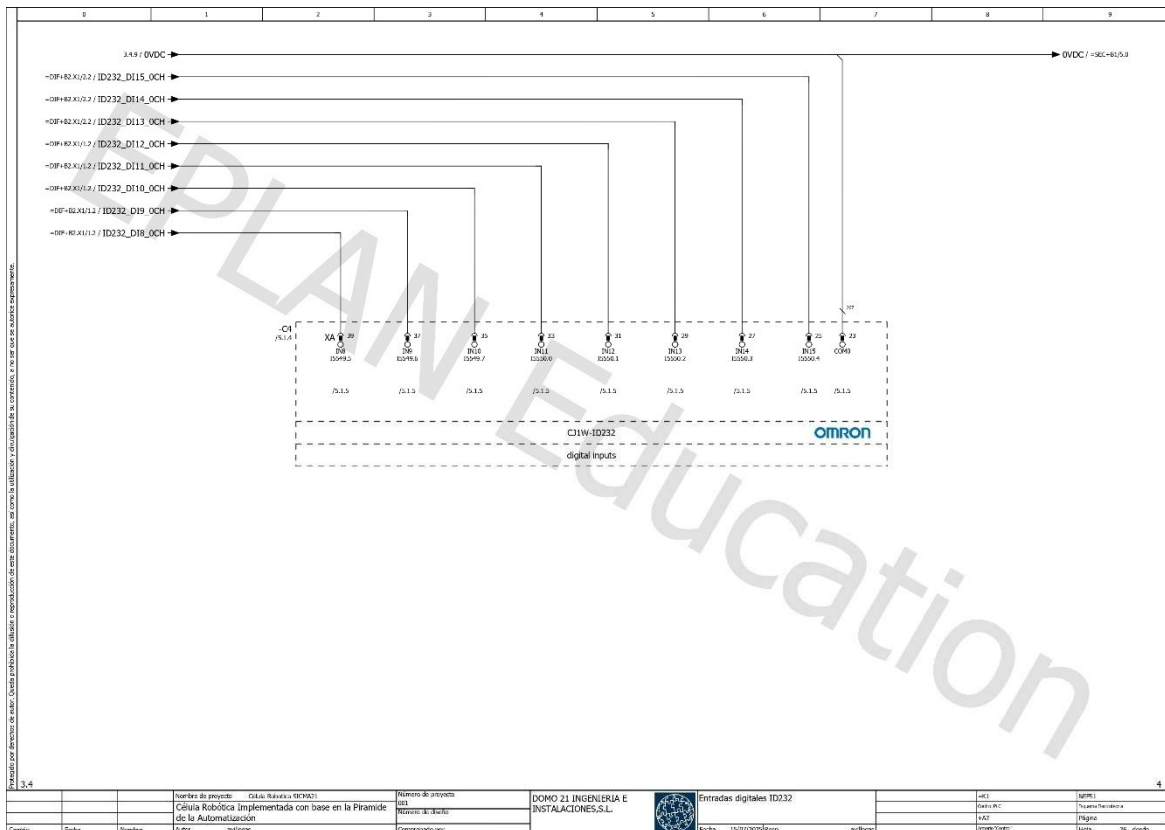


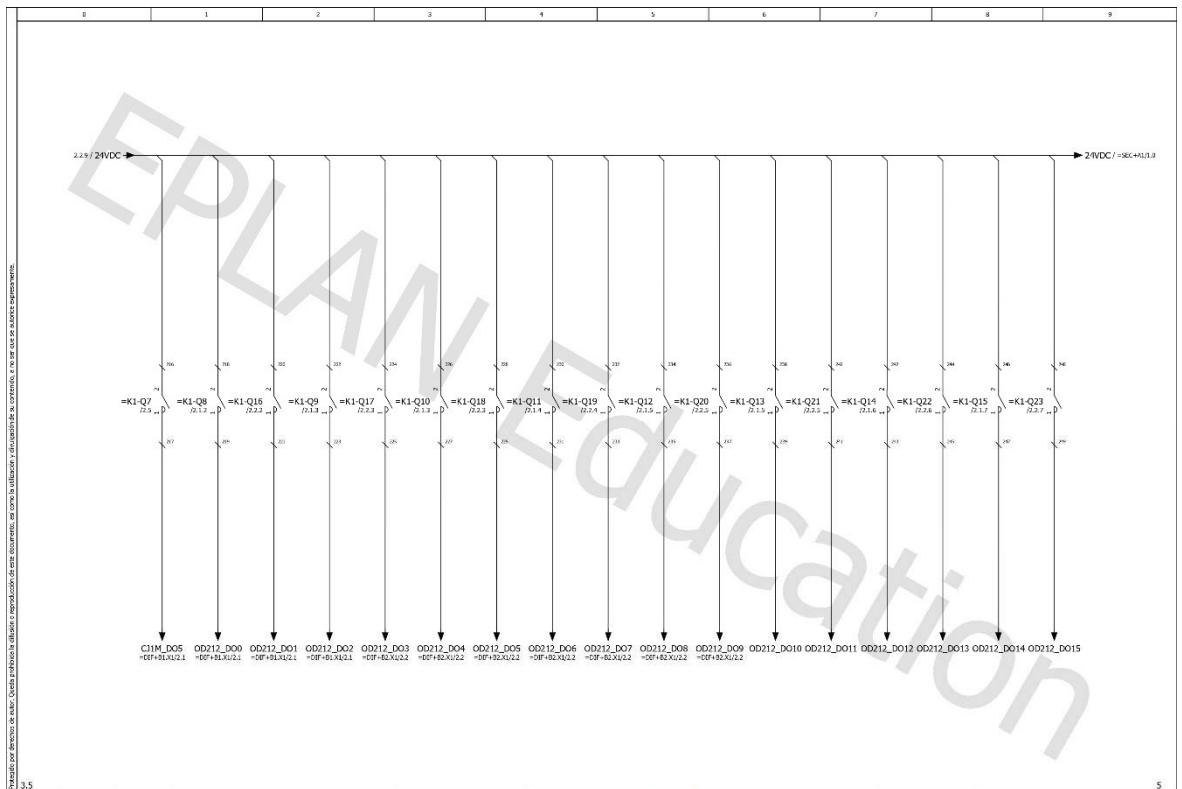
3.3		Nombre de proyecto	Célula Robótica TCM201	Nombre de proyecto	DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES.S.L.	Entradas digitales ID232	4x1	4x1	4x1
		Descripción de la instalación	Célula Robótica implementada con base en la Pirámide de la Automatización	Descripción de la instalación			4x1	4x1	4x1
		Autor	Autolog	Comprobado por		Fecha	15/10/2020	Resp.	avillegas
		Centro	Fecha	Nombre					



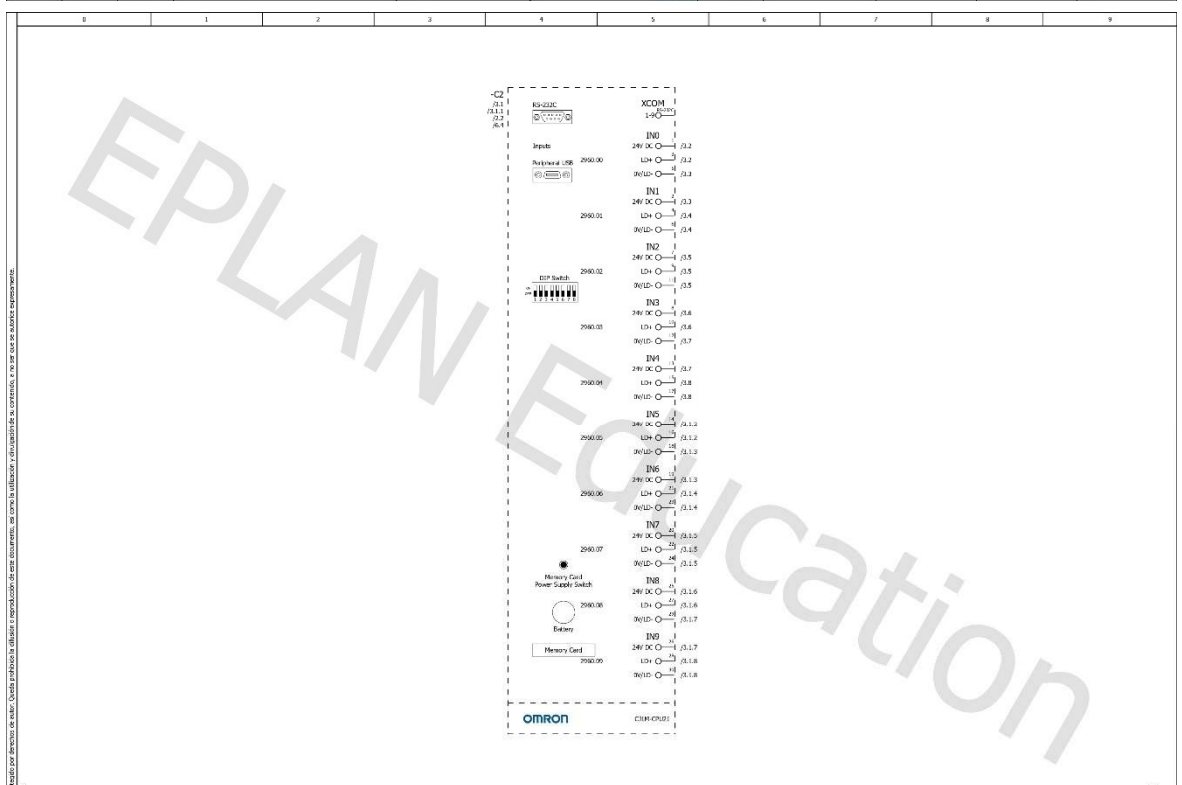
3.4		Nombre de proyecto	Célula Robótica TCM201	Nombre de proyecto	DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES.S.L.	Entradas digitales ID232	4x1	4x1	4x1
		Descripción de la instalación	Célula Robótica implementada con base en la Pirámide de la Automatización	Descripción de la instalación			4x1	4x1	4x1
		Autor	Autolog	Comprobado por		Fecha	15/10/2020	Resp.	avillegas
		Centro	Fecha	Nombre					



[illegible]

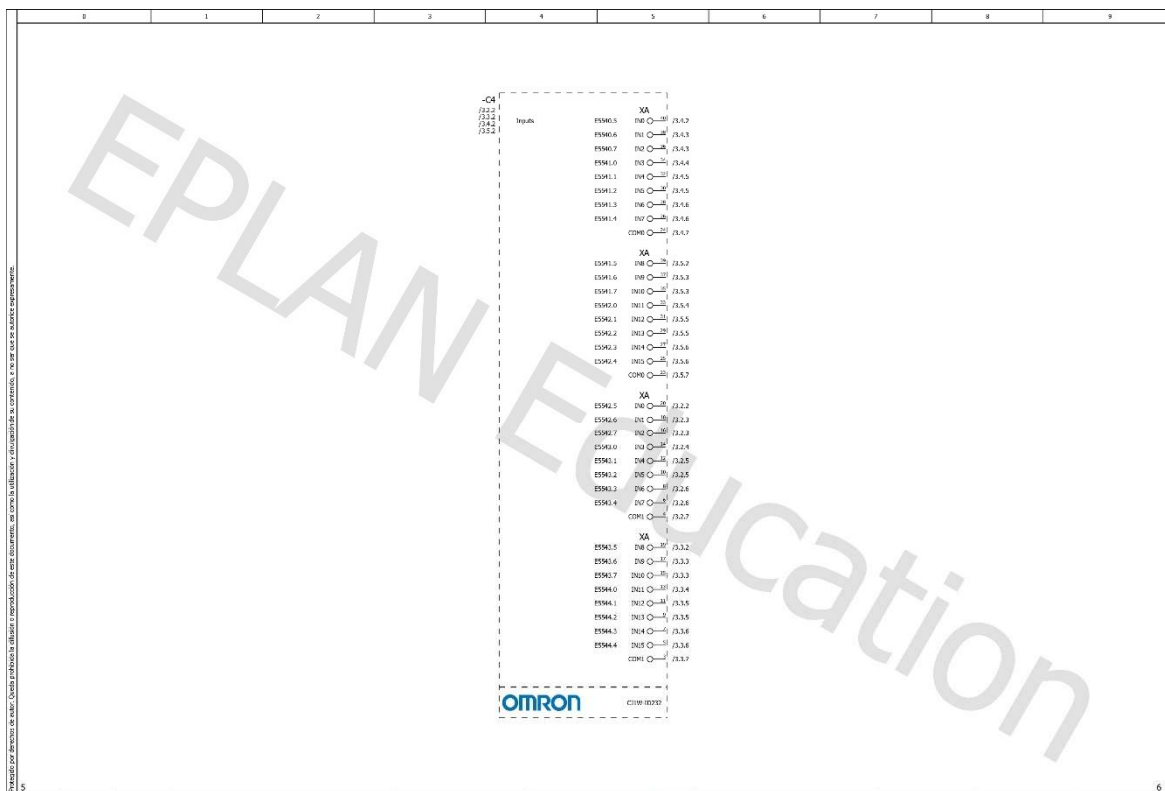


5.5		Nombre de proyecto: Célula Robótica DCM021		Número de proyecto: DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES S.L.		Salidas a Relé		5	
Célula Robótica implementada con base en la Pirámide de la Automatización		Autor: autlog		Comprobado por:		Fecha: 15/01/2020/esp.		avlogas	
Código:	Fecha:	Nombre:	Autor:	Comprobado por:					

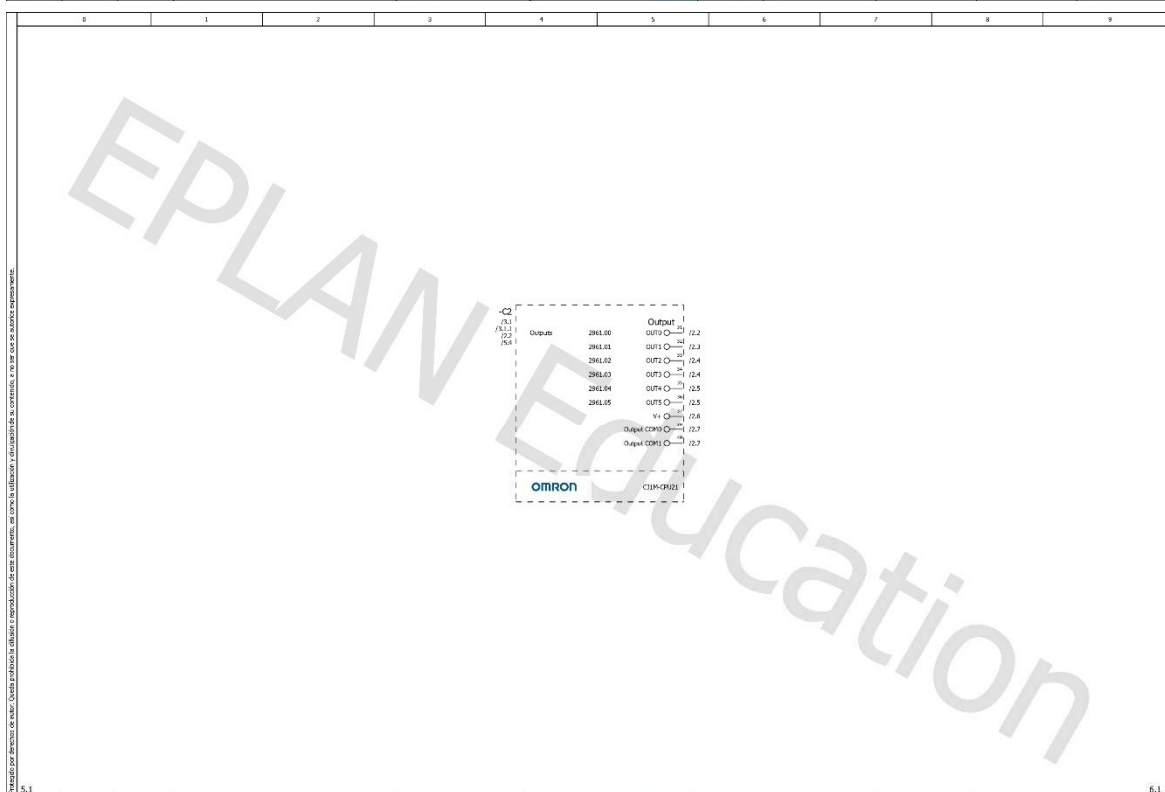


5.1		Nombre de proyecto: Célula Robótica DCM021		Número de proyecto: DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES S.L.		Resumen Entradas		5.1	
Célula Robótica implementada con base en la Pirámide de la Automatización		Autor: autlog		Comprobado por:		Fecha: 15/01/2020/esp.		avlogas	
Código:	Fecha:	Nombre:	Autor:	Comprobado por:					

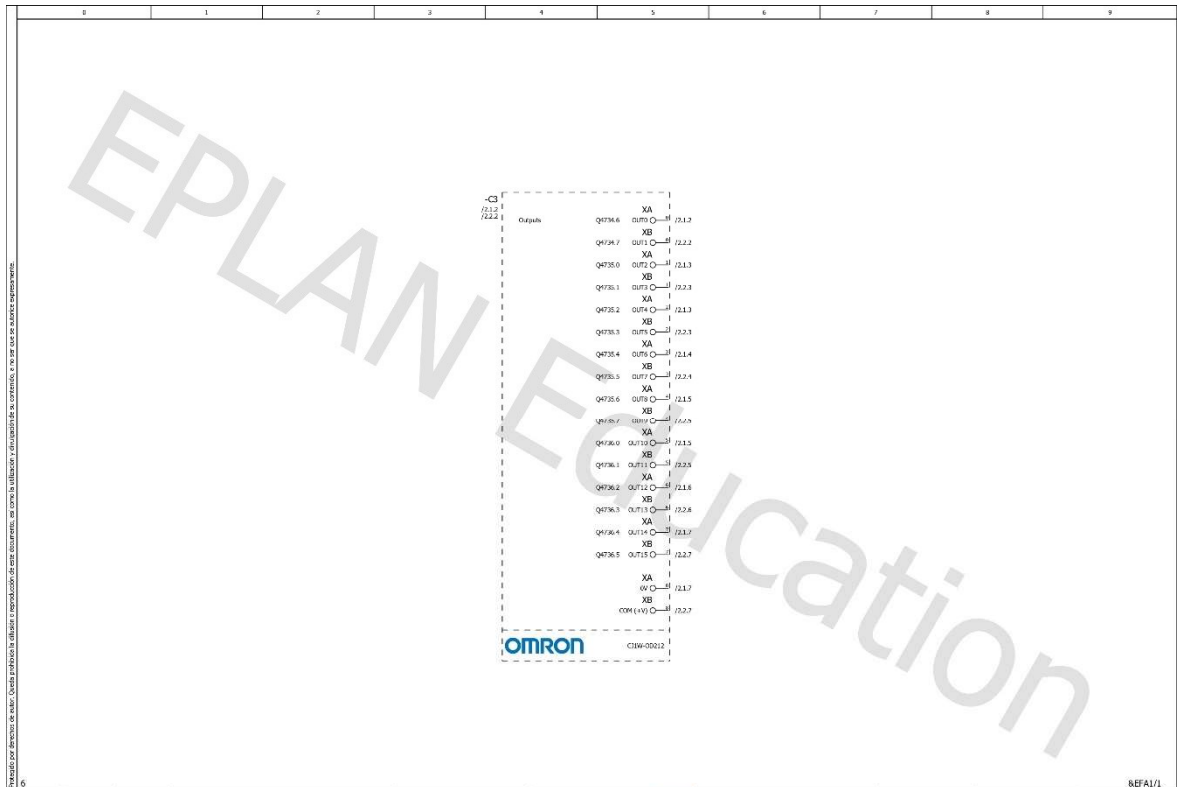




			Número de proyecto: Célula Robótica (C114-1001)		Número de proyecto: 1001		DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES,S.L.				Resumen Entradas					
			Célula Robótica implementada con base en la Pirámide de la Automatización		Resumen de Entradas:						401		1001			
											Fecha: 15/10/2009 (Esp.)		av/Bsp		Página: 39 de 40	
Comentario:			Fecha:		Nombre:		Autor:		Comprobado por:		Fecha: 15/10/2009 (Esp.)		av/Bsp		Página: 39 de 40	



			Nombre de proyecto: Célula Robótica (C114-1001)		Número de proyecto: 1001		DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES S.L.				Resumen Salidas						
			Célula Robótica implementada con base en la Pirámide de la Automatización		Número de cliente: 1001						401		401		1001		
											402		Página				
Comentario:		Fecha:	Nombre:	Autor:	Comprobado por:	Fecha: 15/10/2009 (Esp.)				av/Bsp		Página: 40 de 40					



Resumen Salidas		8EFA1/1
Nombre de proyecto	Célula Robótica SICMA21	
Nombre de proyecto	DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES S.L.	
Fecha	15/10/2020	
Autores	avillegas	
Revisión	1	
Revisión	2	
Revisión	3	
Revisión	4	
Revisión	5	
Revisión	6	
Revisión	7	
Revisión	8	
Revisión	9	
Revisión	10	
Revisión	11	
Revisión	12	
Revisión	13	
Revisión	14	
Revisión	15	
Revisión	16	
Revisión	17	
Revisión	18	
Revisión	19	
Revisión	20	
Revisión	21	
Revisión	22	
Revisión	23	
Revisión	24	
Revisión	25	
Revisión	26	
Revisión	27	
Revisión	28	
Revisión	29	
Revisión	30	
Revisión	31	
Revisión	32	
Revisión	33	
Revisión	34	
Revisión	35	

Diagrama de PLC

Nombre de proyecto Célula Robótica SICMA21							
Identificador de medida de explotación PLC	Dirección	Colocación	Texto de función	Rack	Módulo	Dirección simbólica	Borne
=K1+A2-C2	E1.6	8EFS1/3.2					3
	E1.7	8EFS1/3.4					4
	E2.0	8EFS1/3.5					9
	E2.1	8EFS1/3.6					10
	E2.2	8EFS1/3.8					15
	E2.3	8EFS1/3.1.2					16
	E2.4	8EFS1/3.1.4					21
	E2.5	8EFS1/3.1.5					22
	E2.6	8EFS1/3.1.6					27
	E2.7	8EFS1/3.1.8					28
	A1.0	8EFS1/2.2					31
	A1.1	8EFS1/2.3					32
	A1.2	8EFS1/2.4					33
	A1.3	8EFS1/2.4					34
	A1.4	8EFS1/2.5					35
	A1.5	8EFS1/2.5					36
							3
							4
							9
							10
							15
							16
							21
							22
							27
							28
							31
							32
							33
							34
							35

Diagrama de PLC: =K1+A2-C2 - =K1+A2-C2		1.1
Nombre de proyecto	Célula Robótica SICMA21	
Nombre de proyecto	DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES S.L.	
Fecha	15/10/2020	
Autores	avillegas	
Revisión	1	
Revisión	2	
Revisión	3	
Revisión	4	
Revisión	5	
Revisión	6	
Revisión	7	
Revisión	8	
Revisión	9	
Revisión	10	
Revisión	11	
Revisión	12	
Revisión	13	
Revisión	14	
Revisión	15	
Revisión	16	
Revisión	17	
Revisión	18	
Revisión	19	
Revisión	20	
Revisión	21	
Revisión	22	
Revisión	23	
Revisión	24	
Revisión	25	
Revisión	26	
Revisión	27	
Revisión	28	
Revisión	29	
Revisión	30	
Revisión	31	
Revisión	32	
Revisión	33	
Revisión	34	
Revisión	35	



F19 001

[illegible][illegible]

F19_001

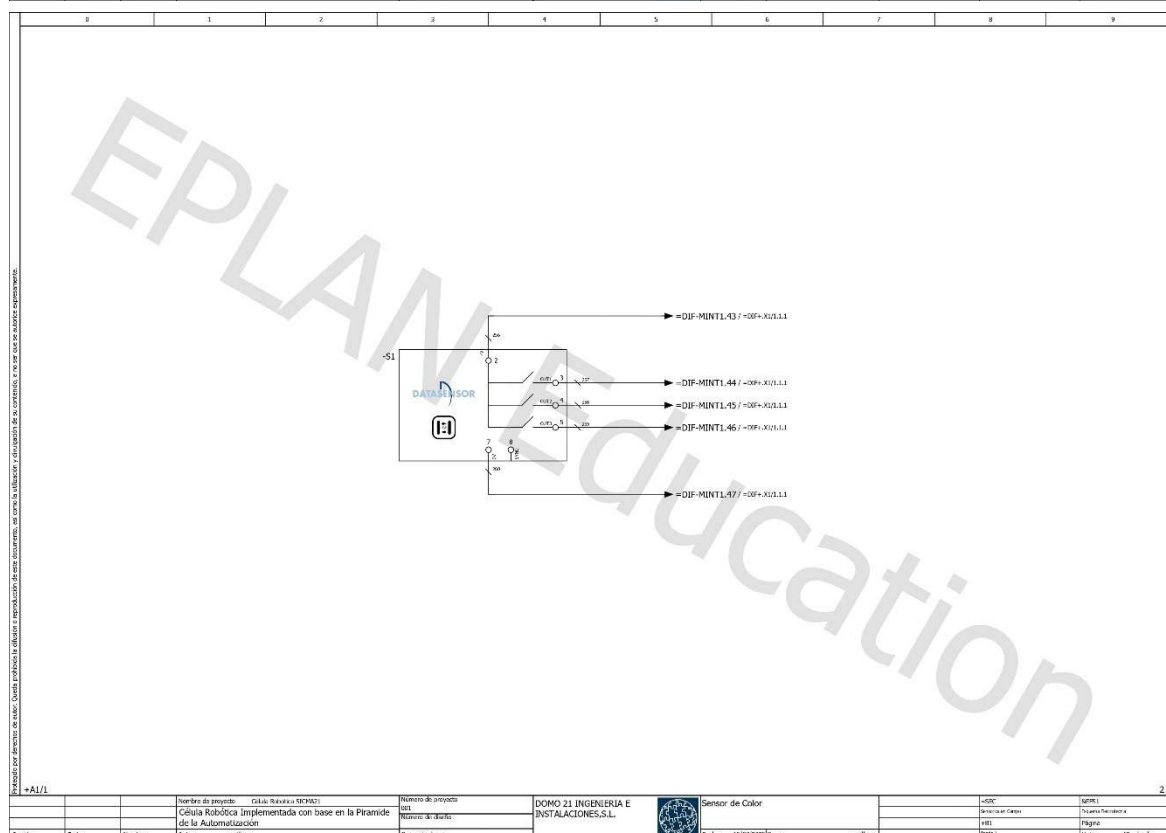
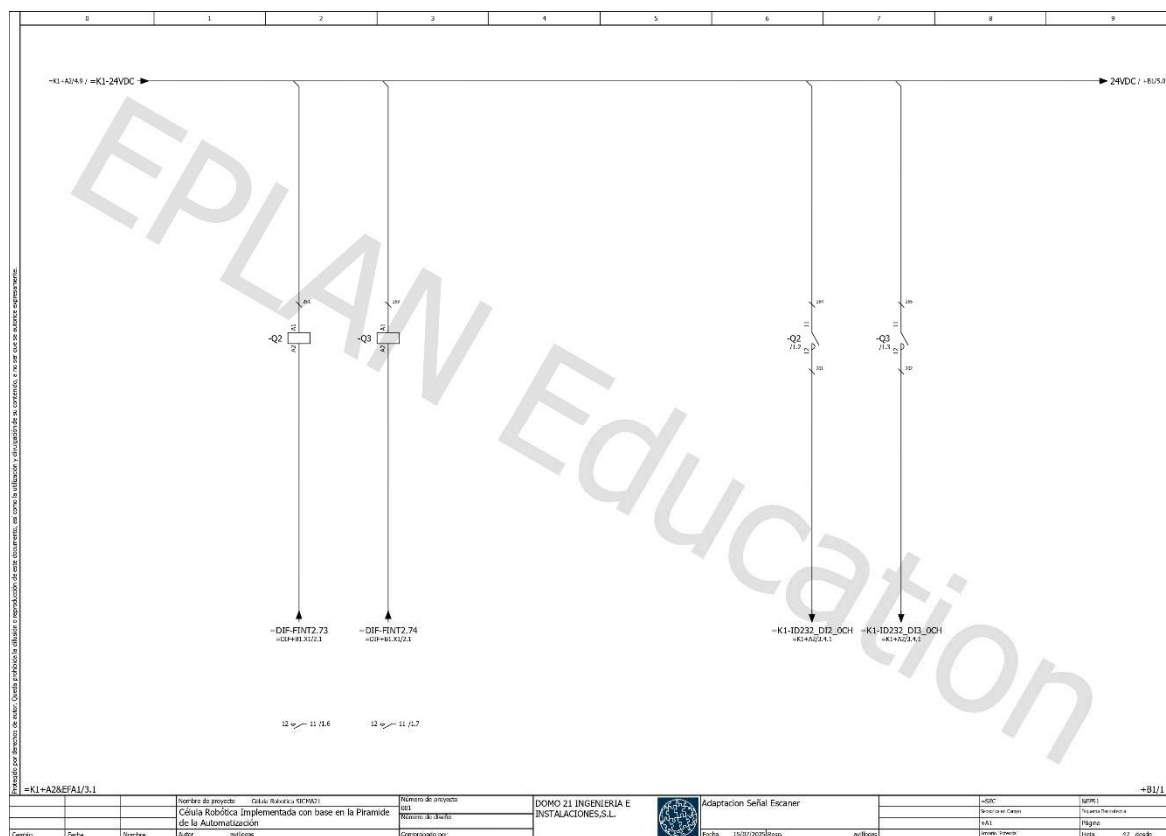
[illegible][illegible]

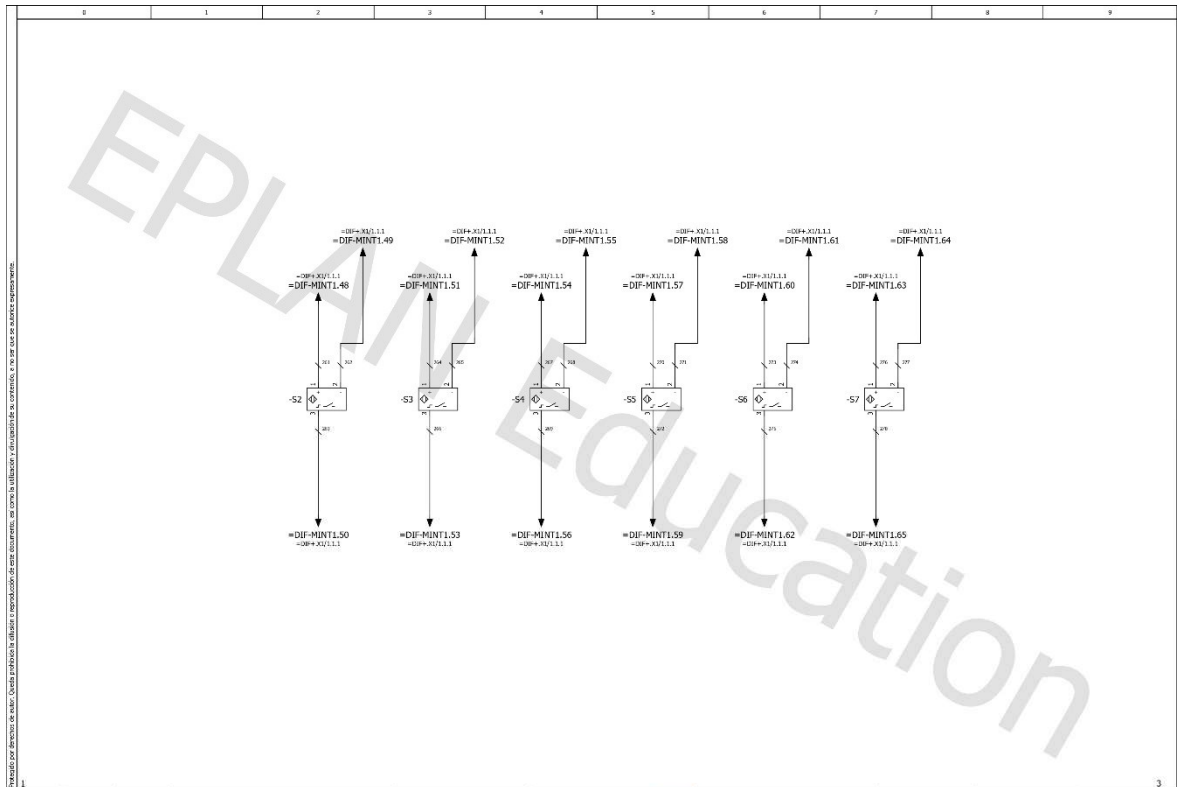
F19 001

3131

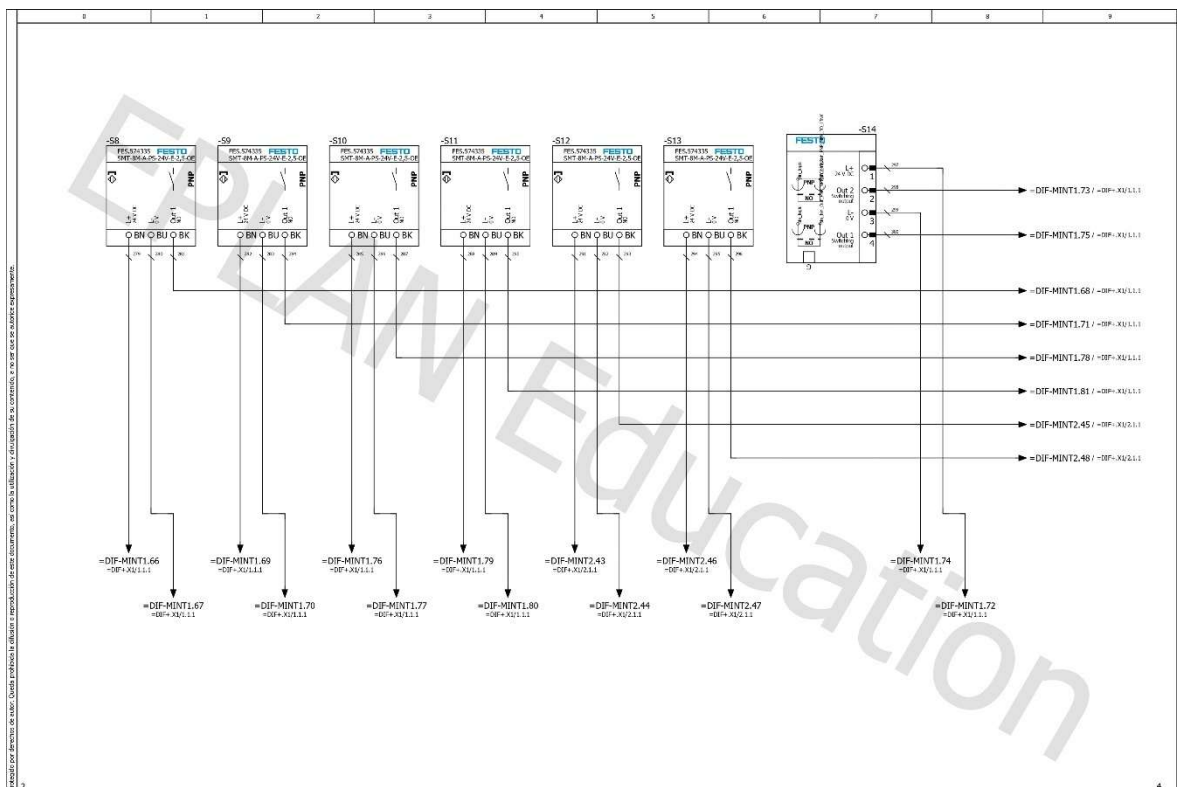
F19 001

EFS1/1EFS1/1



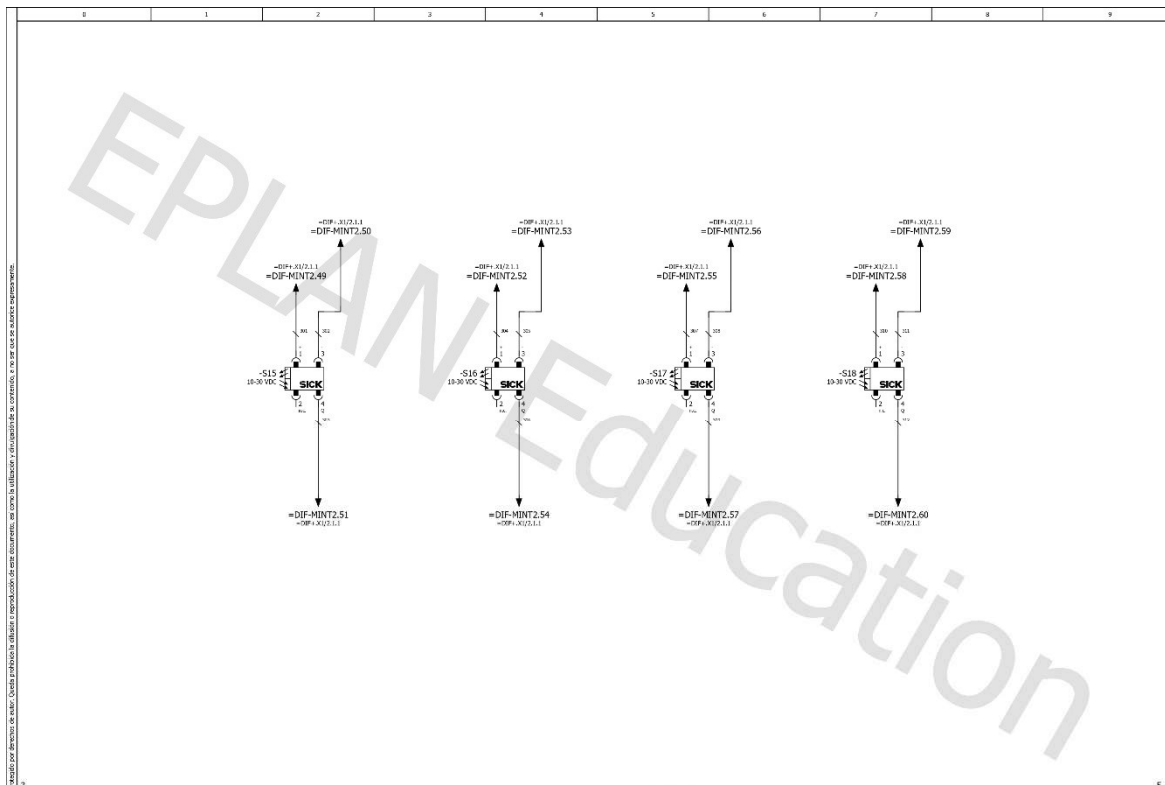


Nombre de proyecto: Célula Robótica DCM201		Número de proyecto: 1000		DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES S.L.		Sensores de Posición		-DIF-		MPP1	
Célula Robótica implementada con base en la Pirámide de la Automatización		Autor: autlogica		Comprobado por:		Fecha: 15/01/2020		avlogica		Página: 2	
Cuento:		Fecha:		Nombre:		Dibujo:		Dibujo:		Hoja: 19 de 95	

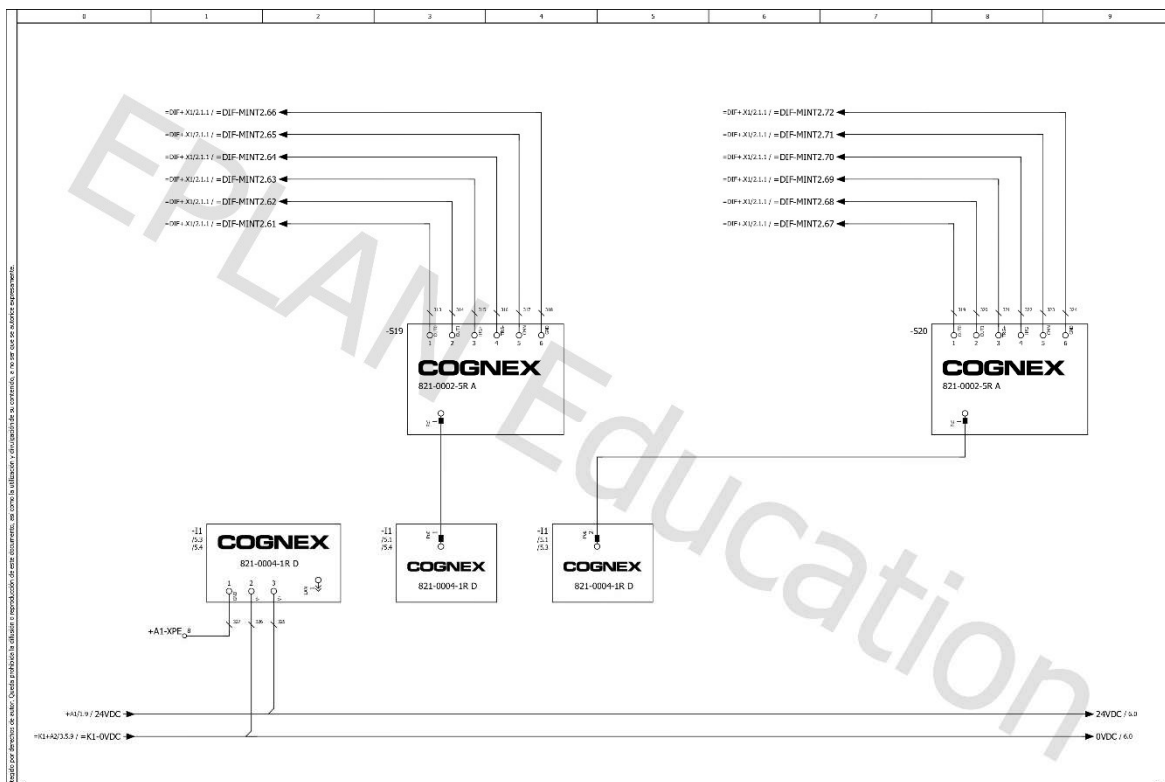


Nombre de proyecto: Célula Robótica DCM201		Número de proyecto: 1000		DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES S.L.		Sensores Neumáticos		-DIF-		MPP1	
Célula Robótica implementada con base en la Pirámide de la Automatización		Autor: autlogica		Comprobado por:		Fecha: 15/01/2020		avlogica		Página: 3	
Cuento:		Fecha:		Nombre:		Dibujo:		Dibujo:		Hoja: 50 de 95	

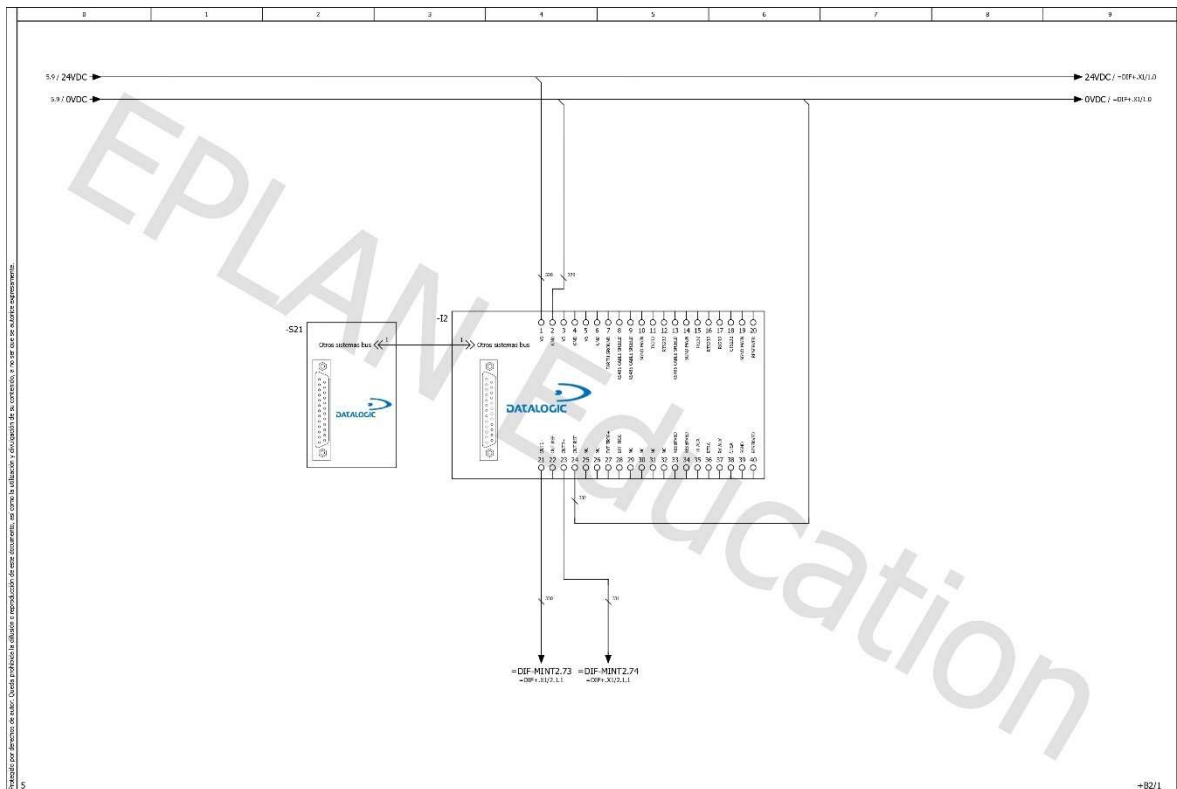




3		Nombre de proyecto: Cálculo Nivelación (R040)		Número de proyecto: 1		DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES S.L.				Sensores de Nivel		40C 10011	
		Cálculo Rubrica Implementada con base en la Pirámide de la Automatización		Nombre de cliente:						Sensores de Calent Temperatura Ambiental			
Cuentro		Fecha:	Nombre:	Auto:	Autlogica:	Comprobar por:		Fecha: 15/10/2020@15:00		a:00:00		HEI Página	
								Fecha: 15/10/2020@15:00		a:00:00		HEI Página	

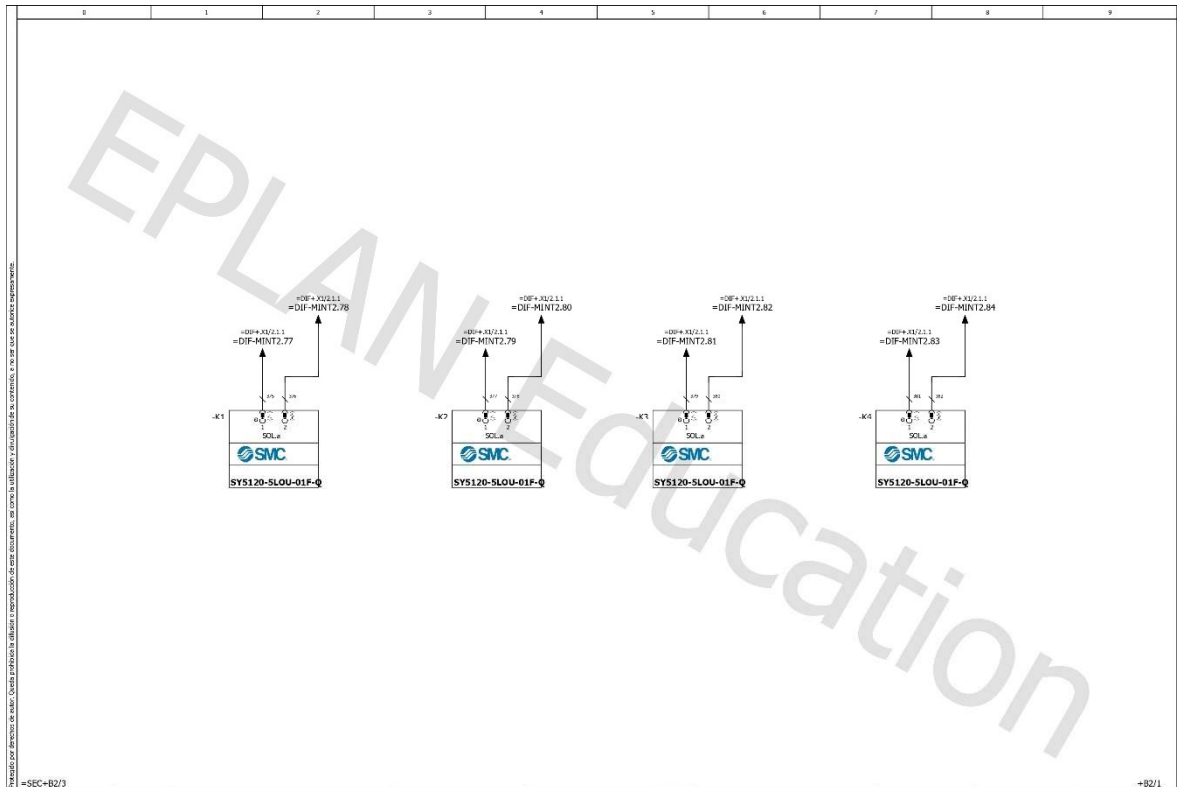


4			Nombre de proyecto: Célula Robótica (CROMO) Célula Robótica implementada con base en la Pirámide de la Automatización		Número de proyecto (en el momento de dictar): Correlativo (en el momento de dictar):	DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES,S.L.		Camaras	e-DOC Inicio del Curso FMS Página	MRP/PL Sistema Teórico a Práctico	6
---	--	--	--	--	---	---	---	---------	--	---	---

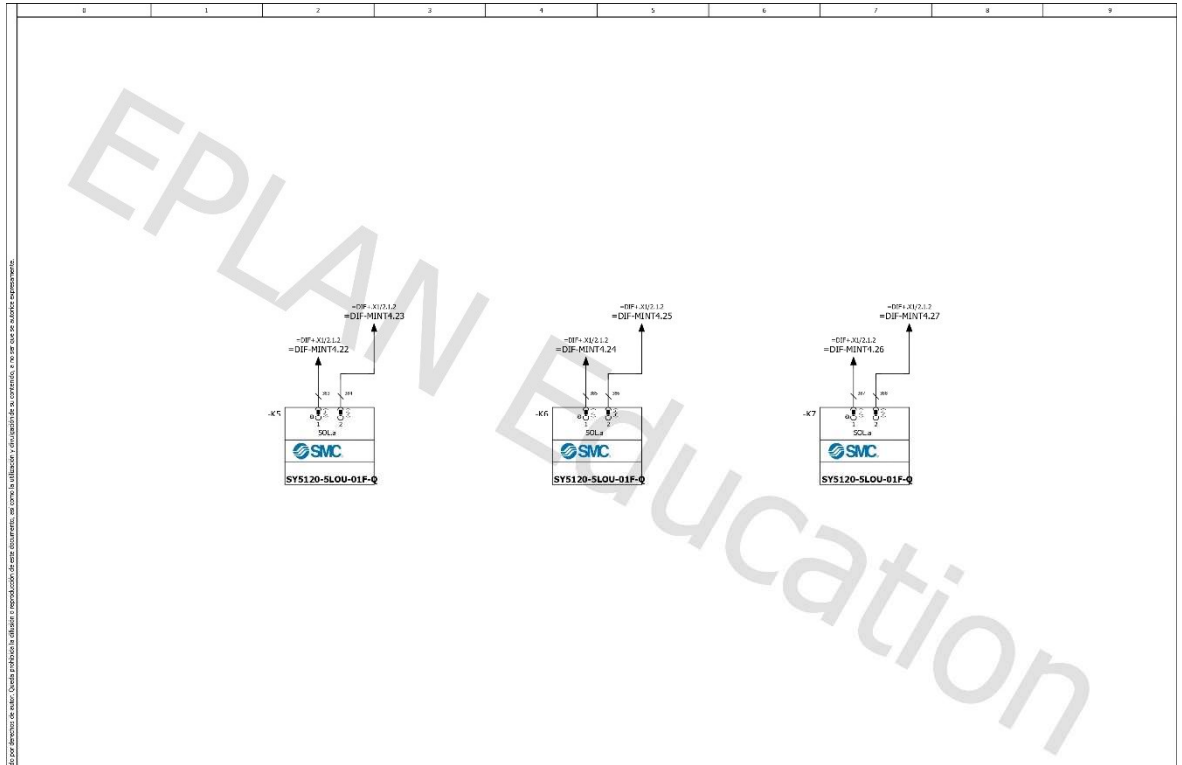


			Nombre de proyecto: Célula Robótica TRIMOT		Número de proyecto: 001		DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES,S.L.				Escaner		=82/1		AUTORI		
			Célula Robótica implementada con base en la Pirámide de la Automatización		Número de planos: 1						Escaneo Completo		=82/1		Escaneo Completo		
Cambio			Fecha	Nombre	Autor	avlogis	Comprobado por:			Fecha: 15/07/2025		Resp.	avlogis	=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1		Firma	
										=82/1		Firma		=82/1			



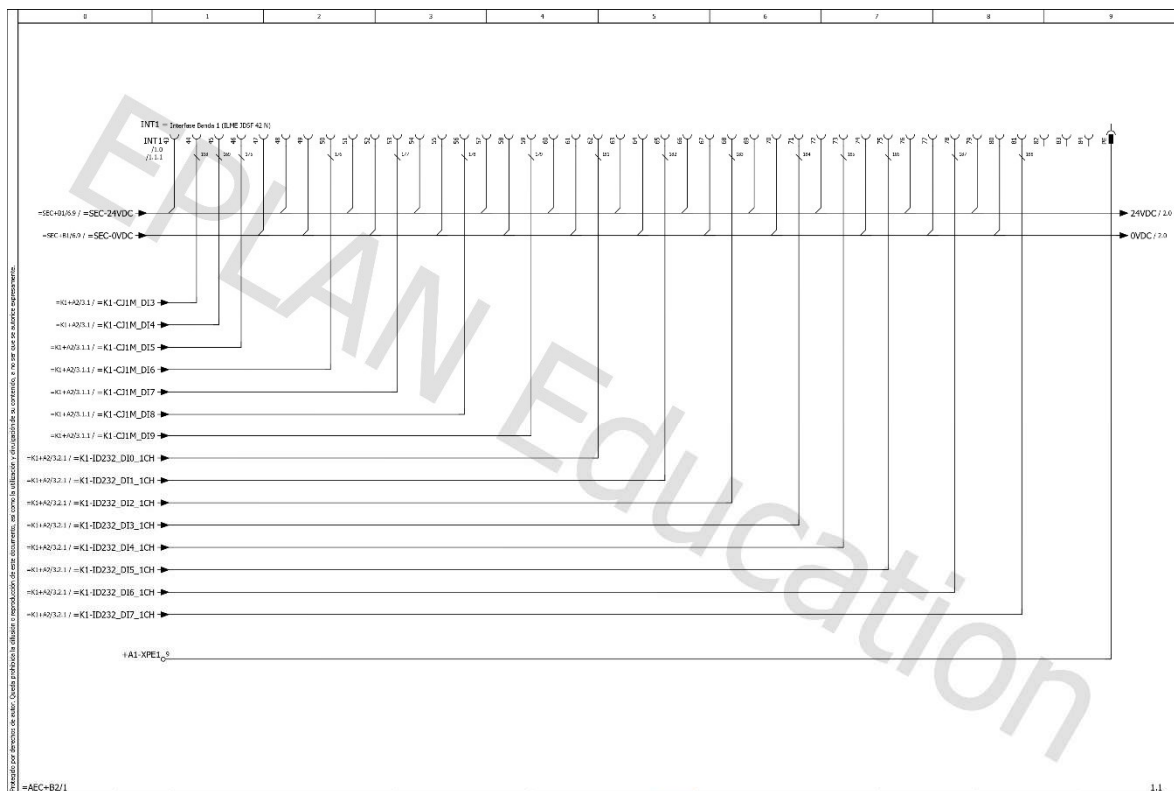
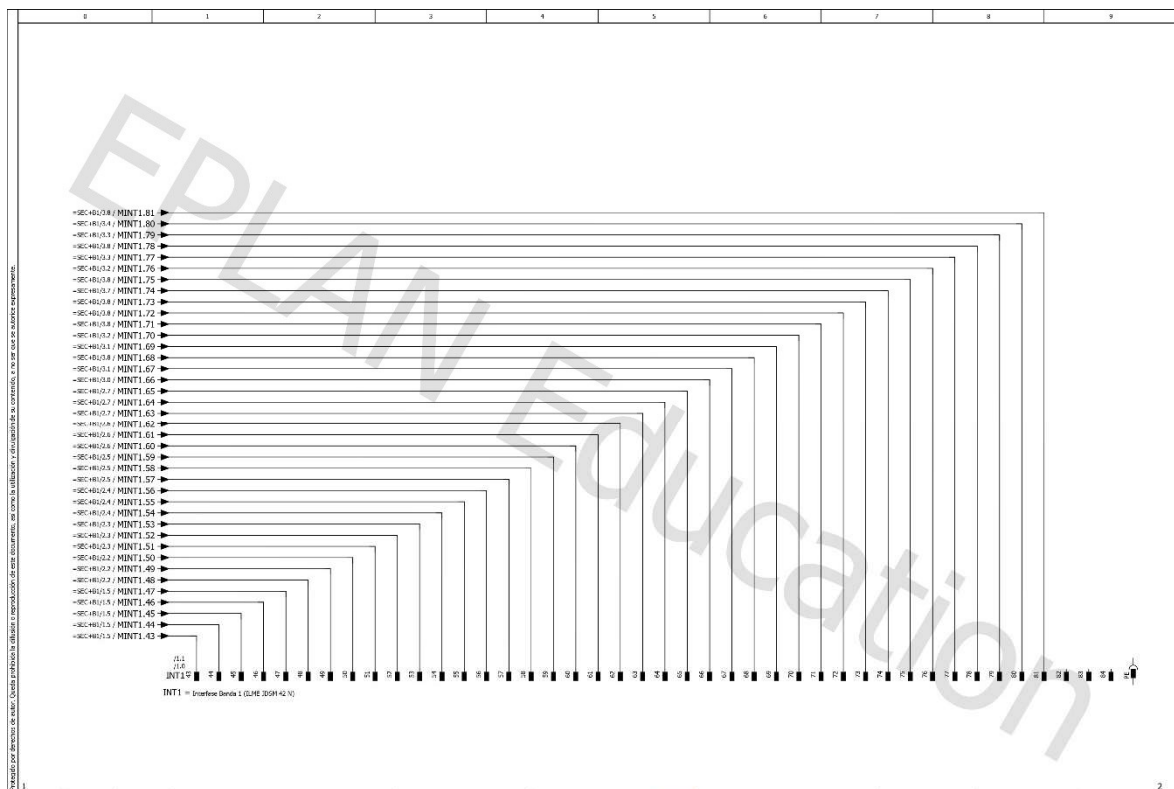


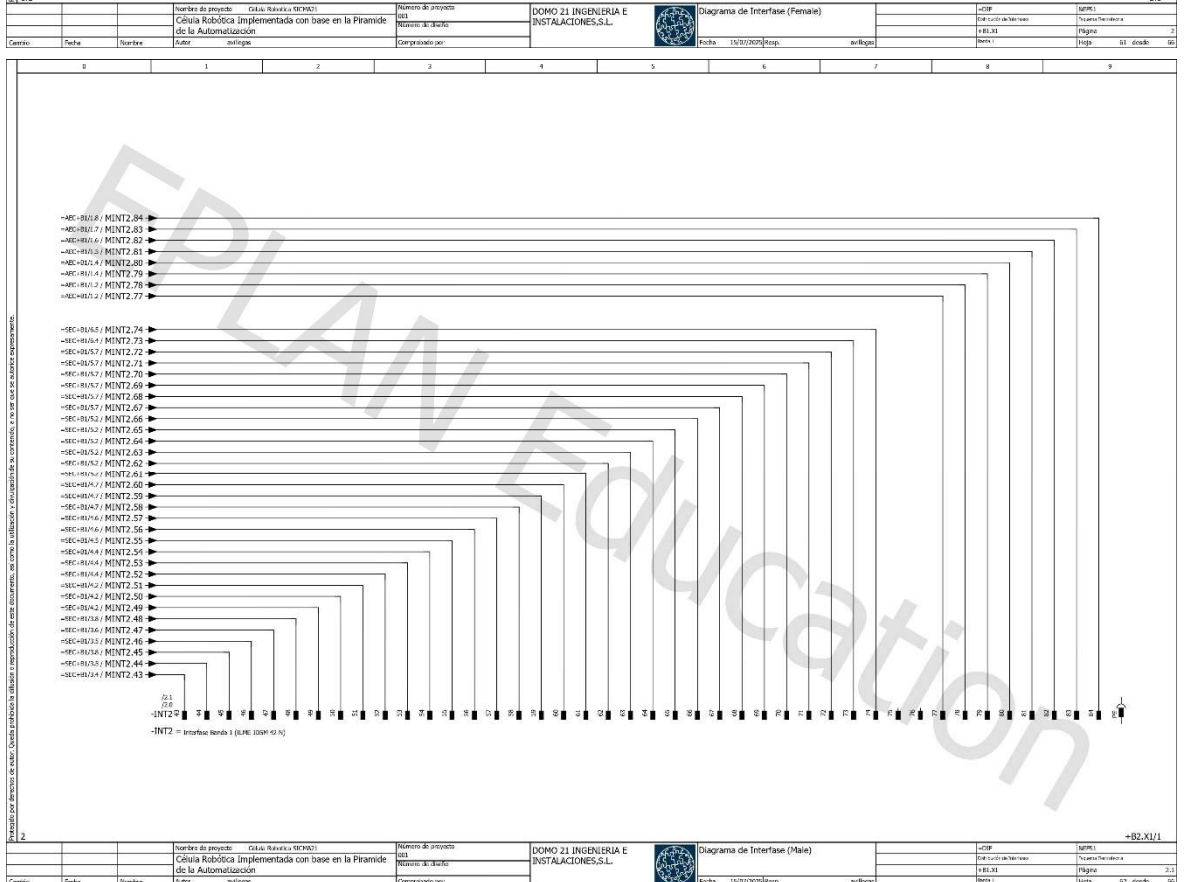
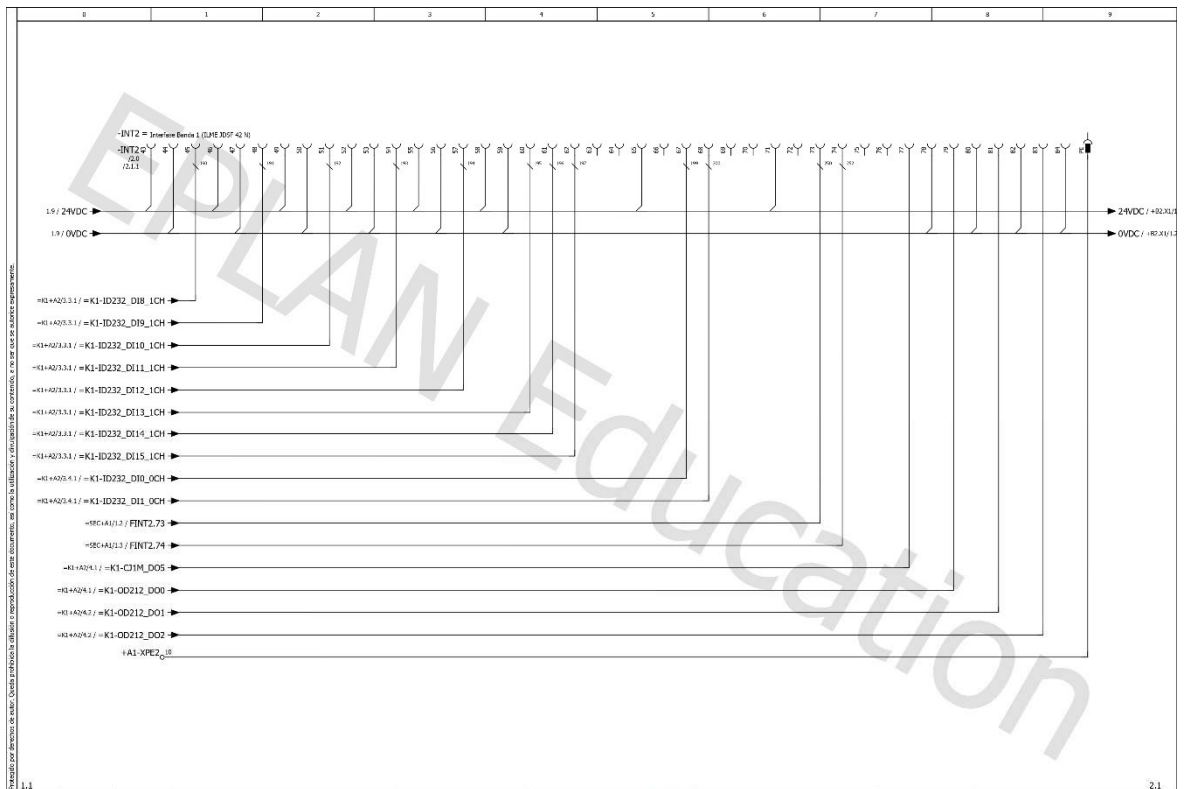
=SEC=B2/3		Nombre de proyecto: Célula Robótica TCM201		Número de proyecto: 1000		DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES S.L.		Control Electrovalvulas Cilindros		=B2/1	
Código de proyecto: 1000		Célula Robótica implementada con base en la Pirámide de la Automatización		Módulo de control: 1000		Fecha: 15/01/2020		Autor: avillegas		Revisión: 01	
Código de proyecto: 1000		Célula Robótica implementada con base en la Pirámide de la Automatización		Módulo de control: 1000		Fecha: 15/01/2020		Autor: avillegas		Revisión: 01	

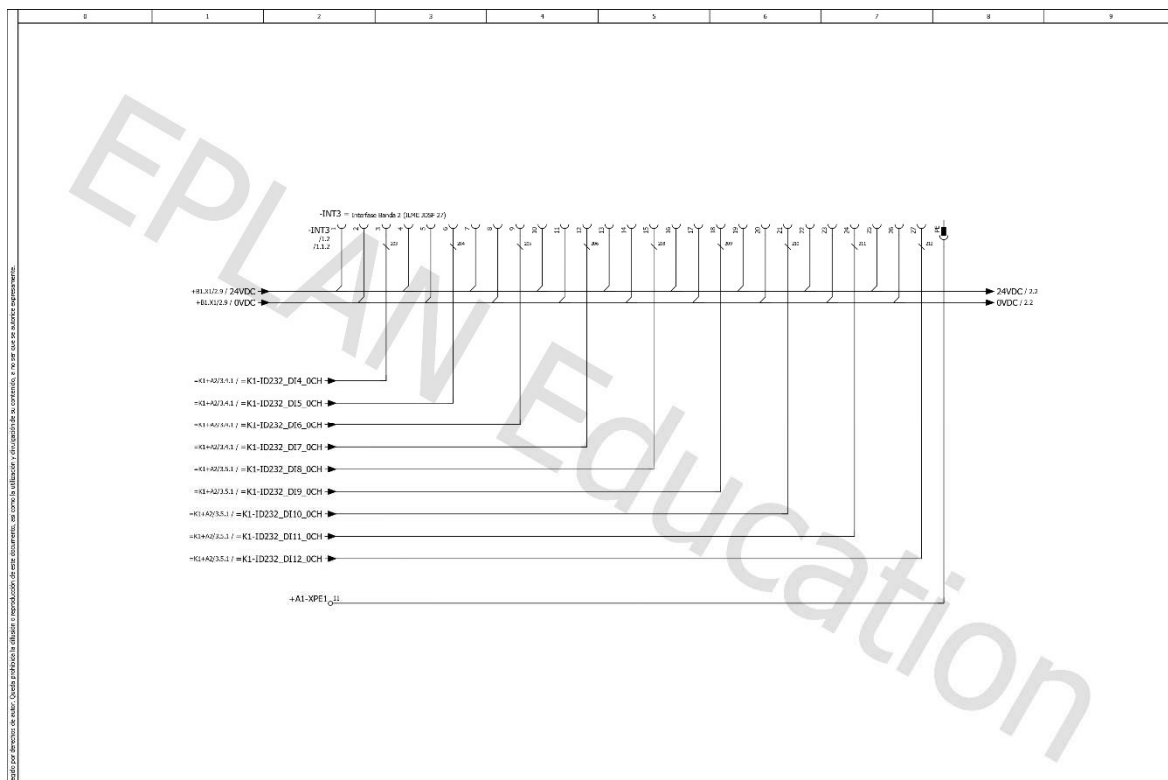


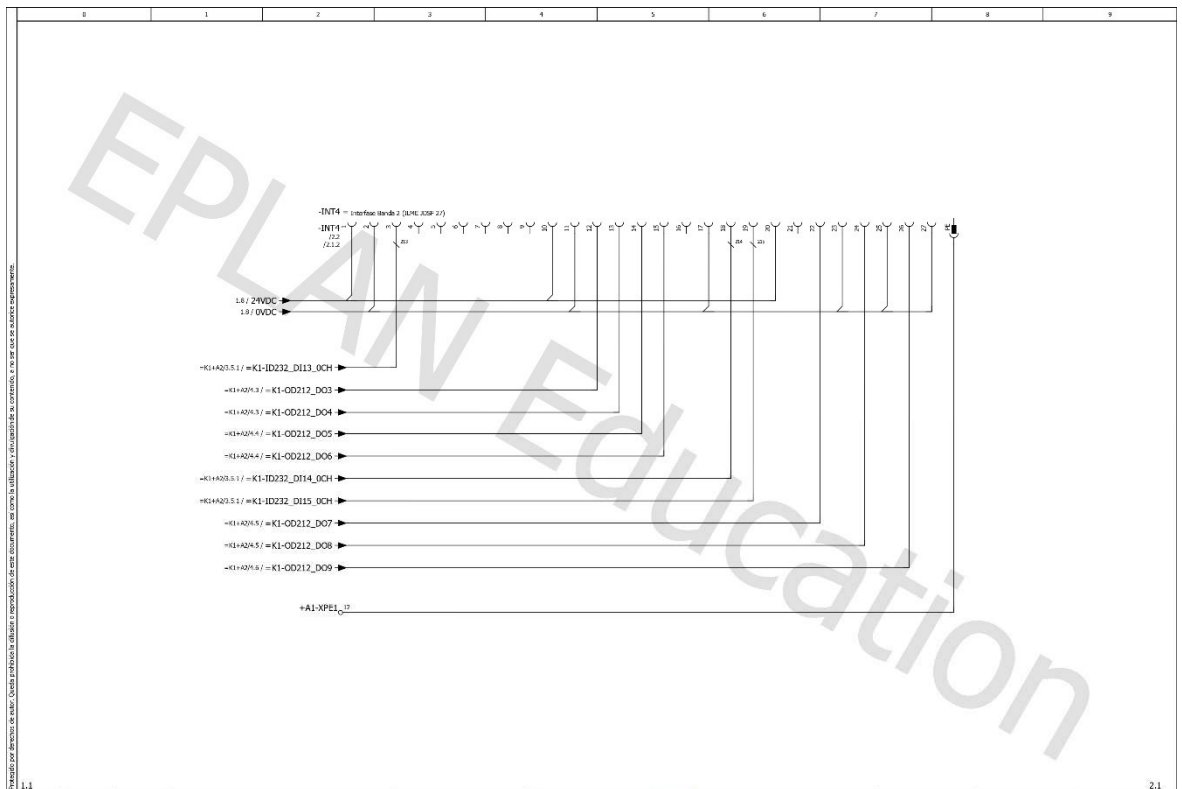
=B1/1		Nombre de proyecto: Célula Robótica TCM201		Número de proyecto: 1000		DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES S.L.		Control Electrovalvulas Cilindros		=B1/1	
Código de proyecto: 1000		Célula Robótica implementada con base en la Pirámide de la Automatización		Módulo de control: 1000		Fecha: 15/01/2020		Autor: avillegas		Revisión: 01	
Código de proyecto: 1000		Célula Robótica implementada con base en la Pirámide de la Automatización		Módulo de control: 1000		Fecha: 15/01/2020		Autor: avillegas		Revisión: 01	



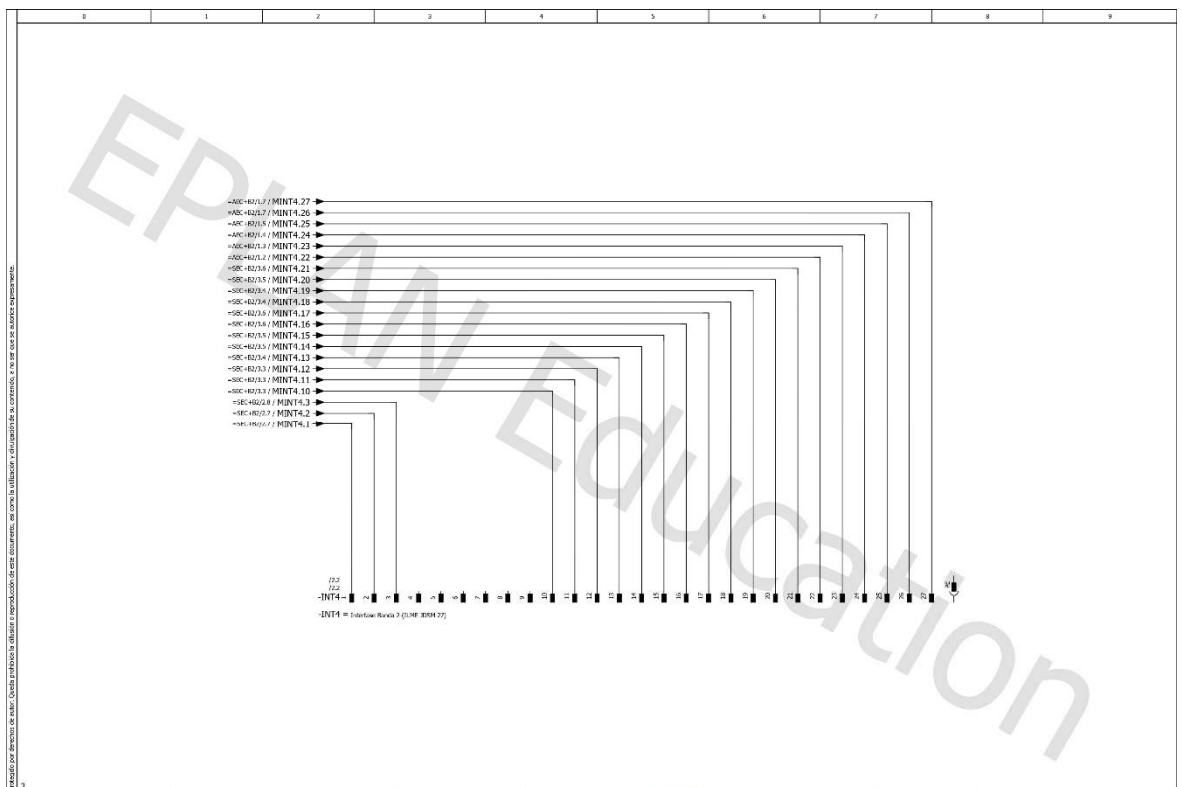
[illegible][illegible]







2.1		Nombre de proyecto: Célula Robótica DCM201		Número de proyecto: 201		DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES S.L.		Diagrama de Interfase (Female)		2.1	
Código de proyecto: Célula Robótica Implementada con base en la Pirámide de la Automatización		Autor: autlog		Elaborado por: autlog		Fecha: 15/01/2020		Revisión: 01		Página: 2	
Código de proyecto: Célula Robótica Implementada con base en la Pirámide de la Automatización		Autor: autlog		Elaborado por: autlog		Fecha: 15/01/2020		Revisión: 01		Página: 2	



2.1		Nombre de proyecto: Célula Robótica DCM201		Número de proyecto: 201		DOMO 21 INGENIERIA E INSTALACIONES S.L.		Diagrama de Interfase (Male)		2.1	
Código de proyecto: Célula Robótica Implementada con base en la Pirámide de la Automatización		Autor: autlog		Elaborado por: autlog		Fecha: 15/01/2020		Revisión: 01		Página: 2	
Código de proyecto: Célula Robótica Implementada con base en la Pirámide de la Automatización		Autor: autlog		Elaborado por: autlog		Fecha: 15/01/2020		Revisión: 01		Página: 2	

