



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE
SANTA ELENA**

FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES

TRABAJO DE TITULACIÓN

**Propuesta Tecnológica previa a la obtención del Título de
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

Diseño de una infraestructura de red de telecomunicaciones para la
transformación hacia la Industria 4.0 en una planta de producción de bebidas
carbonatadas y no carbonatadas

AUTORES

Gabriela Estefanía Moreno Romero

Tamily Miryan Bosmediano Andrade

PROFESOR O TUTOR SUGERIDO

Ing. Vladimir García Santos, Mgtr.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2024

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor de la propuesta tecnológica titulada “Diseño de una infraestructura de red de telecomunicaciones para la transformación hacia la Industria 4.0 en una planta de producción de bebidas carbonatadas y no carbonatadas”, presentada por las señoritas egresadas Moreno Romero Gabriela Estefania y Bosmediano Andrade Family Miryan, estudiantes de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, me complace declarar que, tras haber proporcionado orientación, análisis y revisiones, se aprueba en todas sus partes.

Esta aprobación se informa para los fines pertinentes.



Ing. Vladimir Israel García Santos MSc.

Docente tutor

DEDICATORIA

A Dios por las abundantes bendiciones que me concede a diario, especialmente por permitirme alcanzar este momento tan significativo en mi formación profesional. A mi madre quien me enseñó la importancia del trabajo duro y la perseverancia. A mi padre, aunque nuestra relación ha sido marcada por la distancia y la ausencia, sé en lo más profundo de mi ser que este momento sería igualmente significativo para ti como lo es para mí. A mis queridos abuelos, mi mayor fuente de apoyo y amor incondicional, les dedico este logro. Su aliento constante y confianza en mí me han impulsado a superar obstáculos y alcanzar metas. Siempre llevaré su legado en mi corazón. A mis hermanos, mis compañeros de aventuras y cómplices de risas, su apoyo incondicional y sus palabras de aliento me han dado fuerzas para seguir adelante en momentos difíciles. Nuestro vínculo es mi mayor fortaleza. A mi amada familia en general, quiero expresar mi profunda gratitud por su apoyo y estar a mi lado en los buenos y malos momentos. A mi tutor cuya orientación y paciencia han sido fundamentales en cada etapa de este proceso.

Gabriela Estefanía Moreno Romero

DEDICATORIA

Este trabajo se encuentra dedicado a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza en cada paso, brindándome la sabiduría y la determinación para alcanzar este logro. A mis padres, quienes han sido mis pilares fundamentales, por su amor inquebrantable, su apoyo constante y su sacrificio inmenso. Su aliento y motivación han sido la fuerza impulsora detrás de mis sueños y metas. A mi tutor, por su disposición en guiarme a través de este arduo proceso de investigación.

Tamily Miryan Bosmediano Andrade

AGRADECIMIENTO

A Dios, agradezco infinitamente por su amor, guía y fortaleza divina que me ha sostenido a lo largo de este camino.

A mi amada madre, mi roca y mi mayor apoyo. Gracias por tu amor incondicional, tus sacrificios y tu constante aliento.

A mi familia en general, agradezco por su respaldo y comprensión en cada etapa de este proyecto.

A mi compañera, juntas hemos recorrido un camino lleno de desafíos y descubrimientos. Aprecio tu dedicación, colaboración y trabajo en equipo.

Este es el fruto de años de esfuerzo, dedicación y pasión. Espero que sea un testimonio de mi compromiso con la excelencia académica y una contribución valiosa al conocimiento en mi campo de estudio.

Gabriela Estefanía Moreno Romero

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, quien ha sido mi fuente de fortaleza y guía, sin su amor incondicional y ayuda divina, no habría sido capaz de lograr este importante hito en mi vida académica.

A mis padres y familiares, les estoy eternamente agradecida por su amor incondicional, su apoyo inquebrantable y su sacrificio para permitirme perseguir mis sueños académicos. Su aliento, comprensión y paciencia han sido esencial en este camino, y no puedo expresar con palabras cuánto valoro su presencia en mi vida.

Agradezco a mi compañera, por su apoyo constante, colaboración, dedicación y amistad en esta travesía académica, por estar ahí para motivarme.

Tamily Miryan Bosmediano Andrade

TRIBUNAL DE GRADO

Ing. Washington Torres Guin, Mgt.
DECANO DE LA FACULTAD

Ing. José Aquino Sánchez, Mgt.
DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Vladimir García Santos, Mgt.
DOCENTE TUTOR

Ing. Luis Amaya Fariño, Mgt.
DOCENTE DEL ÁREA

Ab. María Rivera González, Mgt.
SECRETARIA GENERAL

RESUMEN

Esta propuesta se enfoca en el diseño de una infraestructura de red de telecomunicaciones para impulsar la transición hacia la Industria 4.0 en una planta de producción de bebidas carbonatadas y no carbonatadas. Se busca mejorar la eficiencia y el control de los procesos de producción mediante la integración de tecnologías emergentes, como la convergencia de las tecnologías TI y OT.

Se analizan los requerimientos de la planta y el levantamiento de información de la red de comunicación actual mediante una exploración de las instalaciones, lo que servirá de base para el diseño de la red propuesta. Se desarrolla un diseño detallado que incluye, la planificación de la red, la planimetría, selección de los dispositivos y la arquitectura de la red de telecomunicaciones. El diseño de la infraestructura de red tiene en cuenta la escalabilidad, la redundancia y la seguridad para adaptarse a las demandas cambiantes de la Industria 4.0. El resultado es una infraestructura robusta que facilita la integración y el intercambio de información en tiempo real, mejorando la eficiencia y la toma de decisiones en la planta de producción de bebidas carbonatadas y no carbonatadas.

Se llevaron a cabo pruebas de simulación para evaluar la robustez de la arquitectura en anillo junto con el protocolo de enrutamiento OSPF en el entorno de red. Estas pruebas demostraron la capacidad de la red para mantener la continuidad de las operaciones incluso en circunstancias adversas, como la caída de enlaces. Además, se realizaron pruebas específicas para garantizar la ausencia de bucles infinitos en la topología en anillo, empleando el protocolo STP. Los resultados de estas pruebas resaltan la solidez del diseño de la red y su capacidad para mantener una comunicación sin pérdida de paquetes, lo que confirma su idoneidad para satisfacer las necesidades críticas de conectividad y fiabilidad en el entorno de producción.

PALABRAS CLAVES: OSPF, STP, Industria 4.0, Enrutamiento, Convergencia TI/OT, Planimetría.

ABSTRACT

This proposal focuses on the design of a telecommunications network infrastructure to drive the transition to Industry 4.0 in a carbonated and non-carbonated beverage production plant. It seeks to improve the efficiency and control of production processes by integrating emerging technologies, such as the convergence of TI and OT technologies.

The plant requirements are analyzed, and the information of the current communication network is gathered through an exploration of the facilities, which will serve as a basis for the design of the proposed network. A detailed design is developed, including network planning, planimetry, device selection and telecommunications network architecture. The network infrastructure design considers scalability, redundancy, and security to adapt to the changing demands of Industry 4.0. The result is a robust infrastructure that facilitates real time information sharing, improving efficiency and decision making in the carbonated and non-carbonated beverage production plant.

Simulation test were conducted to evaluate the robustness of the ring architecture in conjunction with the OSPF routing protocol in the network environment. These tests demonstrated the network's ability to maintain continuity of operations even under adverse circumstances, such as link downtime. In addition, specific tests were performed to ensure the absence of infinite loops in the ring topology, using the STP protocol. The results of these tests highlight the robustness of network design and its ability to maintain packet loss-free communication, connectivity and reliability needs in the production environment.

KEY WORDS: OSPF, STP, Industry 4.0, Routing, TI/OT Convergence, Planimetry.

DECLARACIÓN

El contenido del presente Trabajo de Titulación es de nuestra responsabilidad conjunta; sin embargo, es relevante subrayar que el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena.



Gabriela Estefanía Moreno Romero



Tamily Myrian Bosmediano Andrade

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR	I
DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO.....	III
TRIBUNAL DE GRADO	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT.....	VI
DECLARACIÓN.....	VII
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
GLOSARIO	XVI
CAPÍTULO I	1
1. FUNDAMENTACIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Descripción del Proyecto	2
1.3 Objetivos del Proyecto.....	3
1.3.1 Objetivo General:.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos:.....	4
1.4 Justificación	4
1.5 Alcance	6
1.6 Metodología	6
CAPÍTULO II	10
2. MARCO REFERENCIAL.....	10
2.1 Marco Contextual	10
2.2 Marco teórico.....	11
2.3 Marco Conceptual	12
2.3.1 Revolución Industrial	12
2.3.1.1 Principios básicos de la evolución industrial	12
2.3.2 Industria 4.0	13
2.3.2.1 Principios	13
2.3.2.2 Normativas.....	14
2.3.2.3 Beneficios	15
2.3.3 Tecnologías de la industria 4.0.....	16
2.3.4 Convergencia de las tecnologías TI y OT.....	18
2.3.4.1 Línea de tiempo de la convergencia TI/OT.....	18
2.3.4.2 Diferencias entre tecnologías TI y OT	19
2.3.4.3 Formas de integrar y unificar las operaciones de TI y OT.	20

2.3.4.4	Tipos de convergencia TI/OT	22
2.3.4.5	Niveles de red OT para redes de automatización industrial	23
2.3.5	Tipos de medios guiados en infraestructuras de telecomunicaciones	24
2.3.6	Topología de red industrial de telecomunicaciones	26
2.3.7	Protocolos de telecomunicación en entornos industriales	27
2.3.8	Redundancia en redes de comunicación	28
CAPITULO III.....		36
3.1.	Generalidades de la planta de producción de bebidas	36
3.2.	Diagnóstico.....	36
3.3.	Requerimientos de la planta de producción.....	37
3.3.1	Requerimientos técnicos:	37
3.3.2.	Requerimiento de negocio:.....	38
3.3.3.	Requerimientos de usuario:	38
3.3.4.	Requerimientos de seguridad:	39
3.4.	Diseño de la arquitectura de red de comunicación actual.....	39
3.4.1.	Llenadora	40
3.4.2.	Mixer.....	42
3.4.3.	Transportadores 2.....	45
3.4.4.	Paletizador y Despaletizador	46
3.4.5.	Transportadores.....	51
3.4.6.	Lavadora	53
3.4.7.	Encajonadora.....	55
3.4.8.	Desencajonadora	56
3.4.9.	Descapsulador	57
3.4.10.	Alexus	58
3.5.	Diseño de la planimetría	63
3.5.1	Planta alta de soplado.....	63
3.5.2	Planta alta - Oficinas de producción y mantenimiento	64
3.5.3	Planta alta Of. Bodega de Materia prima.....	65
3.5.4	Planta alta área de servicios generales	65
3.5.5	Planta alta Mezzanine almacenamiento G.L.P	66
3.5.6	Planta alta administrativa	67
3.5.7	Planta Baja general.....	68
3.6	Selección de la herramienta de simulación	83
3.7	Selección del protocolo de enrutamiento de la simulación.....	84
3.8	Selección del protocolo de redundancia en la simulación	85

3.9	Protocolos de Internet	87
CAPITULO IV.....		89
4.1	Diseño de la red	89
4.1.1	Topología física.....	89
4.1.2	Segmentación de la red	91
4.2.	Selección de componentes	92
4.2.1	Descripción de componentes de la infraestructura TI.....	92
4.2.2	Descripción de componentes de la infraestructura OT	101
4.3	Diseño de la arquitectura de red de telecomunicaciones convergencia TI/OT	102
4.3.1.	Arquitectura anillo	102
4.3.1.1	Infraestructura TI.....	103
4.3.1.2	Infraestructura OT	106
4.3.2.	Configuración del Firewall para la convergencia de la red TI/OT.....	118
4.3.2.1	Propuesta de conexión 1	118
4.3.2.2	Propuesta de conexión 2	119
4.4	Volumen de obra	122
4.4.1	Presupuesto y costos.....	122
4.4.2	Inversión	126
4.4.3	Supuestos	127
4.4.4	Ingresos.....	128
4.4.5	Gastos fijos.....	128
4.4.6	Resumen de ahorros	129
4.4.7	Proyección 10 años	129
4.4.8	Evaluación de rentabilidad	131
4.5	Análisis de viabilidad y funcionalidad.....	133
4.5.1	Configuración de la red	133
4.5.2	Asignación de Direcciones IP.....	135
4.5.3	Configuración de los switches de la arquitectura anillo	141
4.5.4	Creación de las VLANs de cada línea de producción	141
4.5.5	Creación de la interfaz VLAN SVI.....	150
4.5.6	Configuración de los puertos de acceso	151
4.5.7	Configuración de los puertos enrutados.....	155
4.5.8	Configuración del enrutamiento	157
4.5.9	Configuración del protocolo Spanning Tree	158
CAPÍTULO V.....		159
5.1	Pruebas y resultados	159

Conclusiones	167
Recomendaciones.....	169
Anexos	170
Bibliografía	171

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Fases del proyecto	7
Figura 2 Línea de tiempo convergencia TI/OT	19
Figura 3 Niveles de red	23
Figura 4 Medio guiado cobre	25
Figura 5 Medio guiado fibra óptica.....	26
Figura 6 Cable Stack.....	26
Figura 7 Protocolo de enrutamiento IP.....	29
Figura 8 Protocolo STP.....	30
Figura 9 Protocolo RSTP	31
Figura 10 Protocolo DRP.....	31
Figura 11 Protocolo BRP	32
Figura 12 Esquema de Red con intercambio de tramas para protocolo PRP	33
Figura 13 Esquema de Red con intercambio de tramas para protocolo HSR	33
Figura 14 Configuración MRP antes y después	34
Figura 15 Línea de producción - Llenadora	42
Figura 16 Línea de producción - Mixer.....	45
Figura 17 Línea de producción - Transportadores 2.....	46
Figura 18 Línea de producción - Paletizador y Despletizador.....	50
Figura 19 Línea de producción - Transportadores.....	53
Figura 20 Línea de producción - Lavadora	55
Figura 21 Línea de producción - Encajonadora.....	56
Figura 22 Línea de producción - Descajonadora	57
Figura 23 Línea de producción - Descapsulador	58
Figura 24 Línea de producción - Alexis	59
Figura 25 Arquitectura red actual de la planta - parte 1 continuación	60
Figura 26 Arquitectura red actual de la planta - parte 2 continuación	61
Figura 27 Arquitectura red actual de la planta - parte 3	62
Figura 28 Planta alta de soplado	64
Figura 29 Planta alta Oficinas de producción y mantenimiento	65
Figura 30 Of. Bodega materia prima, planta alta	65
Figura 31 Planta alta área de servicios generales	66
Figura 32 Planta alta almacenamiento G.L.P	66
Figura 33 Planta alta administrativa.....	67
Figura 34 Primer cuadrante, planta baja general.	68
Figura 35 Segundo cuadrante, planta baja general.	69
Figura 36 Tercer cuadrante, planta baja general.....	70
Figura 37 Cuarto cuadrante, planta baja general.	71
Figura 38 Quinto cuadrante, planta baja general.	72
Figura 39 Sexto cuadrante, planta baja general.	72
Figura 40 Séptimo cuadrante, planta baja general.....	73

Figura 41 Octavo cuadrante, planta baja general	74
Figura 42 Noveno cuadrante, planta baja general	75
Figura 43 Décimo cuadrante, planta baja general	76
Figura 44 Undécimo cuadrante, planta baja general	76
Figura 45 duodécimo cuadrante, planta baja general	77
Figura 46 Décimo tercer cuadrante, planta baja general.....	78
Figura 47 Décimo cuarto cuadrante, planta baja general.....	78
Figura 48 Décimo quinto cuadrante, planta baja general	79
Figura 49 Décimo sexto cuadrante, planta baja general	80
Figura 50 Plano general parte interna de la planta de producción	81
Figura 51 Plano general parte externa de la planta de producción	82
Figura 52 Esquema topología anillo física	90
Figura 53 Arquitectura anillo	103
Figura 54 Infraestructura TI - parte 1	104
Figura 55 Infraestructura TI - parte 2.....	105
Figura 56 Infraestructura TI - parte 3.....	106
Figura 57 Línea de producción 8.....	107
Figura 58 Planta de agua.....	107
Figura 59 Oficina de Mantenimiento	108
Figura 60 Línea de producción 6.....	109
Figura 61 Línea de producción 9.....	110
Figura 62 Sala de Soplado	110
Figura 63 Línea de producción 5.....	111
Figura 64 Línea de producción 4.....	112
Figura 65 Línea de conexión 2.....	113
Figura 66 Línea de producción 3.....	113
Figura 67Línea de producción 7	113
Figura 68 Línea de producción 1.....	114
Figura 69 Zona de Jarabe	115
Figura 70 Calderos.....	115
Figura 71 Arquitectura de red de telecomunicación propuesta - parte 1 continuación	116
Figura 72 Arquitectura de red de telecomunicación propuesta - parte 3	117
Figura 73 Arquitectura de red de la telecomunicación propuesta - parte 2 continuación	117
Figura 74 Conexión de firewall opción 1	119
Figura 75 Conexión firewall propuesta 2.	120
Figura 76 Simulación Infraestructura TI	133
Figura 77 Simulación Línea 7, Parte 1	134
Figura 78 Simulación Línea 7, Parte 2	134
Figura 79 VLAN 5-35, Línea 8.....	142
Figura 80 VLAN 40-60, Línea 8.....	143
Figura 81 VLAN 65-100, Línea 6.....	143
Figura 82 VLAN 105-135, Línea 6-9.....	144
Figura 83 VLAN 140-165, Línea 9.....	144
Figura 84 VLAN 170-205, Línea 5	145
Figura 85 VLAN 210-215, Línea 5	145
Figura 86 VLAN 220-250, Línea 4.....	146
Figura 87 VLAN 255-265, Línea 4.....	146
Figura 88 VLAN 270-300, Línea 3.....	147
Figura 89 VLAN 305-335, Línea 3-2.....	147

Figura 90 VLAN 340-365, Línea 2.....	148
Figura 91 VLAN 370-400, Línea 7.....	148
Figura 92 VLAN 405-415, Línea 7.....	149
Figura 93 VLAN 420-455, Línea 1.....	149
Figura 94 VLAN 460-475, Línea 1.....	150
Figura 95 Ips de las SVI VLAN 5-15, línea 8.....	150
Figura 96 Ips de las SVI VLAN 55-60, línea 8.....	151
Figura 97 Puerto de acceso VLAN 5.....	152
Figura 98 Puerto de acceso VLAN 10.....	152
Figura 99 Puerto de acceso VLAN 20.....	153
Figura 100 Puerto de acceso VLAN 15.....	153
Figura 101 Puerto de acceso VLAN 25.....	154
Figura 102 Puerto de acceso VLAN 30.....	154
Figura 103 Configuración puerto enrutado G1/0/1	155
Figura 104 Habilidadación del puerto enrutado G1/0/14	156
Figura 105 Vista general de los puertos y VLAN SVI.....	156
Figura 106 Enrutamiento OSPF línea 8, parte 1.....	157
Figura 107 Enrutamiento OSPF línea 8, parte 2.....	158
Figura 108 Configuración del protocolo STP línea 8	159
Figura 109 Ruta hacia la red 60-62	160
Figura 110 Ruta hacia la red 63-66	161
Figura 111 Ruta hacia la red 67-69	162
Figura 112 Conectividad entre la línea 8 y línea 1	163
Figura 113 Ping de la línea 4 hacia la línea 2-3.....	164
Figura 114 Prueba de asignación de VLAN.....	165
Figura 115 Generación de tráfico en la línea 8.....	165
Figura 116 Verificación del estado de la comunicación.....	166

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Normativas Industria 4.0, Convergencia TI/OT	14
Tabla 2 Beneficios Industria 4.0, Convergencia TI/OT	16
Tabla 3 Tecnologías de la Industria 4.0.....	17
Tabla 4 Diferencias entre TI y OT.....	19
Tabla 5 Niveles de red OT	24
Tabla 6 Características de los cables UTP	25
Tabla 7 Topologías.....	26
Tabla 8 Protocolos de redundancia.....	29
Tabla 9 Componentes Llenadora.....	40
Tabla 10 Componentes llenadora	41
Tabla 11 Componentes llenadora	41
Tabla 12 Componentes llenadora	42
Tabla 13 Componentes Mixer	43
Tabla 14 Componentes Mixer	43
Tabla 15 Componentes Mixer	44
Tabla 16 Componentes Mixer	44
Tabla 17 Componentes Paletizador y Despaletizador.....	47
Tabla 18 Componentes Paletizador y Despaletizador.....	48
Tabla 19 Componentes Paletizador y Despaletizador.....	48
Tabla 20 Componentes Paletizador y Despaletizador.....	49
Tabla 21 Componentes Paletizador y Despaletizador.....	49
Tabla 22 Componentes Paletizador y Despaletizador.....	50
Tabla 23 Componentes Transportadores	51
Tabla 24 Componentes Transportadores	52
Tabla 25 Componentes transportadores.....	52
Tabla 26 Componentes Transportadores	53
Tabla 27 Componentes lavadora	54
Tabla 28 Componentes lavadora	54
Tabla 29 Componentes Encajonadora	55
Tabla 30 Componentes Descapsulador.....	58
Tabla 31 CPU Alexis.....	59
Tabla 32 Comparativa simuladores de red	83
Tabla 33 Ventajas y desventajas de los protocolos de enrutamiento	84
Tabla 34 Ventajas y desventajas de los protocolos de redundancia.....	86
Tabla 35 Protocolos de redundancia basados en STP.....	87
Tabla 36 Ventajas y desventajas de IPv6	88
Tabla 37 Ventajas y desventajas de IPv4	88
Tabla 38 Beneficios de la segmentación de la red.	91
Tabla 39 Características técnicas de Mindsphere	93
Tabla 40 Características técnicas de Siemens Simatic IoT 2000	94
Tabla 41 Características técnicas del PLC S7-1500	94
Tabla 42 Características técnicas del IM 155-6 PN ST	95
Tabla 43 Características técnicas del Aruba 2920 48G	96
Tabla 44 Características técnicas del firewall Palo Alto PA-220R.....	97
Tabla 45 Características técnicas del switch Aruba 6300M	98
Tabla 46 Características técnicas del Switch Scalance XR324-12M.....	98
Tabla 47 Características técnicas del Wincc runtime profesional v17 siemens	100

Tabla 48 Especificaciones técnica del Convertidor Ethernet/MPI.....	101
Tabla 49 Especificaciones técnica del Convertidor Ethernet.....	101
Tabla 50 Conexiones de la Infraestructura TI - parte 1	103
Tabla 51 Conexiones de la Infraestructura TI - parte 2-3	105
Tabla 52 Enlaces de conexión línea de producción 8	107
Tabla 53 Enlaces de conexión Of. Mantenimiento	108
Tabla 54 Enlaces de conexión Línea de producción 6-9.....	109
Tabla 55 Enlaces de conexión Línea de producción 5	111
Tabla 56 Enlaces de conexión Línea de producción 4.....	111
Tabla 57 Enlaces de conexión Línea de producción 2-3-7	112
Tabla 58 Enlaces de conexión Línea de producción 1	114
Tabla 59 Conexión de la propuesta 1	118
Tabla 60 Conexión de la propuesta 2	121
Tabla 61 Tabla comparativa de los switches de distribución.....	122
Tabla 62 Presupuesto y costos.....	123
Tabla 63 Inversión del proyecto	127
Tabla 64 Supuestos	127
Tabla 65 Ingresos	128
Tabla 66 Gastos fijos.....	128
Tabla 67 Resumen de ahorros	129
Tabla 68 Proyección 10 años.....	130
Tabla 69 Producción UL	130
Tabla 70 Producción CU	131
Tabla 71 Evaluación de rentabilidad	132
Tabla 72 Direcciones de red por áreas.....	135
Tabla 73 Segmentación de la red Línea 8-Planta de agua - Of. mantenimiento.....	135
Tabla 74 Segmentación de la red Línea 6 - Soplado.....	136
Tabla 75 Segmentación de la red Línea 9.....	137
Tabla 76 Segmentación de la red Línea 5	137
Tabla 77 Segmentación de la red Línea 4.....	138
Tabla 78 Segmentación de la red Línea 2.....	138
Tabla 79 Segmentación de la red Línea 3.....	139
Tabla 80 Segmentación de la red Línea 7	140
Tabla 81 Segmentación de la red Línea 1 - Zona de jarabe - Calderos	140
Tabla 82 Configuración switches	141
Tabla 83 Asignación de VLAN a los puertos.	155

GLOSARIO

IoT: Internet de las Cosas.

IA: Inteligencia Artificial.

TI: Tecnologías de Información.

OT: Tecnologías de Operación.

ISO: Organización Internacional de Estandarización.

ANSI: Instituto Internacional Estadounidense de Estándares.

IEC: Comisión Electrónica Internacional.

MRP: Protocolo de Redundancia de Medios.

PRP: Protocolo de Redundancia Paralela.

IEEE: Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

CPwE: Ethernet Convergente para toda la Planta.

IACS: Asociación Internacional de Sociedades de Clasificación.

PLC: Controlador Lógico Programable.

VLAN: Redes de Área Local Virtuales.

HA: Alta Disponibilidad.

QoS: Calidad de Servicio.

OSPF: Abrir el Camino más Corto Primero.

BGP: Protocolo de Enlace de Puerta de Frontera.

SCADA: Supervisión de Control y Adquisición de Datos.

ICS: Sistemas de Control Industrial.

LAN: Red de Área Local.

ASTM: Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.

MES: Sistema de Ejecución de Fabricación.

ERP: Planificación de Recursos Empresariales.

DCS: Sistema de Control Distribuido.

CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTACIÓN

1.1 Antecedentes

El sector industrial de bebidas carbonatadas es uno de los sectores con mayor aporte a la economía nacional, en el área de producción, en los últimos años se han realizado fuertes inversiones dirigidas al equipamiento, tecnología e innovación de sus productos [1].

La formación de la planta de bebidas especializada en la producción, distribución y comercialización de bebidas no alcohólicas tuvo lugar en 2011. Esto se logró mediante la fusión de la Embotelladora y un grupo privado, lo que resultó en la creación del segundo embotellador de una destacada marca de América Latina y uno de los más importantes a nivel global[2].

La industria 4.0 representa un enfoque a la innovación de nuevos productos y procesos, a través de fábricas inteligentes, totalmente integradas en redes de trabajo que propician nuevas formas de colaboración e infraestructuras. Se asocia con la digitalización de los sistemas de información y producción para las actividades de gestión; los sistemas de automatización para la adquisición de datos de las máquinas y líneas de producción con el intercambio de información para el monitoreo y control de los procesos y la toma de decisiones en tiempo real [3].

Los sistemas de tecnologías de operación se diseñaron para integrar sistemas de adquisición de datos, sistemas de recopilación/transmisión de datos y sistemas de interfaz hombre-máquina (HMI) para crear una solución centralizada de control y monitoreo. Por lo tanto, permite que un operador interprete visualmente el estado de la planta para fines de control y monitoreo [4].

Las tecnologías de información están tradicionalmente vinculadas con los sistemas de información de back-office para realizar transacciones de tipo comercial, como la contabilidad de costos e impuestos, la facturación y la recaudación de ingresos, el seguimiento y la depreciación de activos, los registros de recursos humanos y el control del tiempo y los registros de clientes. Mientras que los sistemas OT están controlados por unos pocos usuarios, los sistemas de TI están controlados por muchos. Debido a la amplia gama de usos y áreas de aplicación, los sistemas de TI han ido más allá de sus límites y hay un profundo aumento en la calidad. Las aplicaciones empresariales mejoradas, los ERP (sistemas de planificación de recursos empresariales), los sistemas de gestión

de activos, los sistemas de gestión de la fuerza laboral, los sistemas de información geográfica, los sistemas de gestión de interrupciones, junto con otras herramientas de monitoreo en tiempo real y mejora de la productividad, han dominado el lugar de trabajo. TI siempre se ha desarrollado independiente y por separado del equipo OT[5].

La llamada “Cuarta Revolución industrial” o “Industria 4.0”, cambia por completo las diferencias que anteriormente se observaban entre los mundos TI y OT, con la introducción de las tecnologías digitales en las fábricas, es decir, la transformación digital aplicada a la producción industrial. De este modo, con el concepto de la digitalización de los procesos, gran parte de las compañías “puramente industriales” buscan resistir el cambio producido por la introducción de sistemas de información en el ámbito industrial[6].

La convergencia de la tecnología en el entorno de TI/OT, en los sistemas propietarios, los cuales hacen su aporte a través de la mayor utilización de protocolos y estándares genéricos que aportan en las soluciones de arquitecturas híbridas, con capacidad de soportar las operaciones de la infraestructura crítica aportando soluciones de seguridad, almacenamiento y procesamiento, adoptando opciones como la nube u otros procesos industrializados capaces de soportar la demanda OT[7].

La adquisición de la información de los procesos productivos, actualmente, se realizan de forma manual a través de hojas cálculo, además, el flujo de información obtenida no es en tiempo real, por tal motivo, la toma de decisiones resulta tardía y en muchos casos generan desperdicios considerables, porque los encargados de cada proceso no están analizando la DATA para aplicar técnicas de mejora continua, planes de acción y de esa forma corregir las desviaciones en los indicadores que se ha propuesto en la planta. Por lo tanto, el planteamiento de converger la tecnología de la información, la tecnología operativa, siendo una estrategia que permite a las plantas de producción ser más eficientes, ágiles al conectar y unificar los equipos de TI y OT para reducir los riesgos y costos operativos. El dominio OT monitorea y controla todos los dispositivos físicos en el área de producción.

1.2 Descripción del Proyecto

La planta de producción de bebidas busca la transformación digital en sus operaciones de manufactura. Para ello, se plantea la convergencia TI/OT en la red de telecomunicaciones en conformidad con la normativa IEC62443. La arquitectura de red se basa en un anillo que conecta el

centro de datos IoT con las 9 líneas de producción y áreas clave. El diseño se llevará a cabo en varias fases:

Fase 1: Análisis de requerimientos, se identifican los dispositivos y sistemas industriales que se deben interconectar y se definen las funcionalidades que se requieren en la red de comunicaciones.

Fase 2: Diseño de la arquitectura de red, se define la topología de la red, la planimetría, los protocolos de comunicación, los dispositivos de red (routers, switches, firewalls, PLC, etc.), la seguridad y los mecanismos de supervisión y control.

Fase 3: Selección de tecnologías y proveedores, se debe tomar en cuenta factores como la compatibilidad, el costo y la disponibilidad. Hay que considerar que la planta de producción ya maneja sus respectivos proveedores de equipos, los cuales ya están familiarizados, y es un factor fundamental que los equipos que se elijan sean compatibles con los equipos previos al diseño de red propuesta.

Fase 4: Volumen de obra

Proceso que implica la evaluación de la viabilidad financiera del proyecto. Este análisis se enfoca en evaluar la inversión y en prever los flujos de efectivo futuros del proyecto para determinar su rentabilidad y su capacidad para generar beneficios.

Fase 5: Análisis de viabilidad y funcionalidad

Proceso que implica evaluar la factibilidad de un proyecto para determinar si es viable y si es funcional para el propósito previsto.

La línea de investigación a seguir en el ámbito de la carrera de electrónica y telecomunicaciones se enfoca en el campo de las telecomunicaciones, abordando diversas áreas de estudio que incluyen:

- ◇ Comunicaciones ópticas y electromagnetismo aplicado
- ◇ Procesamiento digital de señales
- ◇ Telemática

1.3 Objetivos del Proyecto

1.3.1 Objetivo General:

Diseñar la red de telecomunicación industrial 4.0 en una planta de producción de bebidas carbonatadas y no carbonatadas, con la finalidad de habilitar la monitorización y control de los procesos de producción, mediante la convergencia de las tecnologías TI y OT.

1.3.2 Objetivos Específicos:

- ◇ Identificar las tecnologías emergentes relacionadas con la Industria 4.0 utilizadas en los procesos de producción para la gestión, planificación y el control de producción de la planta.
- ◇ Analizar los requerimientos de la planta de producción y dispositivos a conectar mediante una exploración a las instalaciones para el diseño de la red propuesta.
- ◇ Desarrollar el levantamiento de la información de la red de comunicación actual de la planta de producción de bebidas carbonatadas y no carbonatadas para el análisis previo al diseño de la red de telecomunicación propuesta.
- ◇ Elaborar un diseño detallado de la planimetría para una mejor comprensión de la red de telecomunicación actual en la planta de producción de bebidas carbonatadas y no carbonatadas.
- ◇ Determinar los tipos de convergencia y métodos más efectivos para fusionar los sistemas TI y OT en el diseño de la red de telecomunicación propuesta.
- ◇ Definir los requerimientos técnicos de la infraestructura del diseño de la red de telecomunicaciones y equipos de seguridad para el cumplimiento de los requisitos en cada línea de producción.
- ◇ Diseñar la arquitectura de la red de telecomunicaciones para la convergencia de las tecnologías TI/OT de la planta de producción por medio del estudio de los datos recolectados en la fase de análisis de requerimientos.
- ◇ Realizar un análisis de la viabilidad, funcionalidad para la definición de ventajas y desventajas de la red de telecomunicaciones en relación con las tecnologías existentes.

1.4 Justificación

El desarrollo de un ecosistema global de soluciones gobernado por una estrategia de convergencia entre los procesos gestionados desde el mundo TI y OT permitirá reducir los costes de licencias y mantenimientos hasta un 20%. Así como reducir el riesgo de ciberataques. La aplicación de nuevas tecnologías a lo largo de toda la cadena de valor generará impactos en los principales indicadores de la operación, con mejoras entre el 3-5% en los indicadores de productividad y el 20-

30% en los niveles de servicio. Y mejorará la toma de decisiones al disponer de mayor visibilidad y fiabilidad del dato, lo que facilita la implementación de soluciones de analítica avanzada[8]. Demostrando que la convergencia de TI y la OT tiene varios beneficios, como la mejora de la eficiencia y la productividad, la reducción de los costos y la mejora de la calidad del producto en este caso el sector de bebidas carbonatadas. Además, la convergencia también permite una mejor toma de decisiones gracias a la recopilación y análisis de datos en tiempo real. Sin embargo, la convergencia de las tecnologías TI y la OT permite obtener cantidades de datos sin precedentes que son fundamentales para una operación segura de la red, pero además suministra información cómo nunca para la toma de decisiones de negocios. Es muy importante determinar donde se almacenarán y analizarán los datos[9]. Por lo antes expuesto se plantea el diseño de una propuesta de infraestructura de la red de telecomunicaciones industrial 4.0 de la planta de producción de bebidas carbonatadas y no carbonatadas. Esta infraestructura se basa en una topología en forma de anillo y líneas de producción segmentadas. Además, se incorpora una central de IoT para monitorizar los equipos TI y OT. La funcionalidad del diseño de la red se presenta a través de una simulación.

En la actualidad, la adquisición de información de los procesos realizados por las líneas de producción se gestiona de forma manual utilizando la herramienta de Excel. Esta metodología no permite el manejo de datos en tiempo real, lo que conlleva dificultades en la toma de decisiones y en el análisis de los datos generados. Sin embargo, con la aplicación de la convergencia TI/OT los administradores de cada proceso tendrán la facilidad para aplicar técnicas de mejora continua y planes de acción para corregir las desviaciones en los indicadores que se han establecido en la planta de producción. De esta manera, se podrá llevar a cabo las correcciones necesarias para mejorar el rendimiento de la planta y optimizar sus procesos productivos.

El diseño de la red de telecomunicación Industrial 4.0 para la planta de producción de bebidas carbonatadas y no carbonatadas se justifica a través de las distintas fases del proyecto. En la fase 1, se identifican los dispositivos y sistemas industriales a interconectar, lo que sienta las bases para definir las funcionalidades necesarias en la red de comunicaciones. La fase 2 se encarga de la definición de la arquitectura de la red, considerando aspectos como la topología, protocolos de comunicación, dispositivos de red y seguridad, lo que garantiza un diseño robusto. La fase 3 aborda la selección de tecnologías y proveedores, asegurando la compatibilidad y eficiencia en costos, lo que es vital dada la familiaridad de la planta con sus proveedores actuales. La fase 4 y 5 evalúan la

viabilidad financiera y funcional del proyecto, respectivamente, lo que demuestra que el diseño de la red es sólida y factible para mejorar la operación de la planta, aumentando la eficiencia, la optimización, la capacidad de toma de decisiones y la generación de beneficios a largo plazo.

1.5 Alcance

El proyecto se centra en el diseño de una propuesta de infraestructura de la red de telecomunicaciones para la Industria 4.0 de la planta de producción de bebidas carbonatadas y no carbonatadas, capaz de integrarse al sistema de producción y manufactura en ambientes industriales, basados en la convergencia de las tecnologías OT y TI, donde se identificarán los dispositivos y sistemas industriales que se deben interconectar y se definirán las funcionalidades que se requieren en la red de comunicaciones, por lo que, será necesario realizar el plano de la red actual de la planta en una plataforma CAD también se investigarán las tecnologías emergentes orientadas en la Industria 4.0 que pueden estar vinculadas en los procesos de fabricación, gestión, planificación y control y se definirán las que mejor se acoplen al proyecto. Otra parte importante de este proyecto será la selección de la topología de red adecuada para la planta de producción, así como la selección de los componentes de hardware y software, también se realizará la arquitectura y la planimetría, posteriormente se efectuará un análisis para verificar que la red de telecomunicaciones cumple con los requisitos definidos por planta de producción de bebidas gaseosas. En conjunto con un análisis financiero que permita identificar los costos asociados con la propuesta e ingresos esperados, además de la simulación de la red para la verificación funcional.

La industria en la que se realizará el proyecto es altamente confidencial por lo que algunos datos se modificarán sin afectar la parte esencial del proyecto. El proyecto tiene lugar en la ciudad de Guayaquil, Ecuador.

1.6 Metodología

Para el desarrollo de la propuesta se empleará las siguientes metodologías de investigación:

Investigación Exploratoria

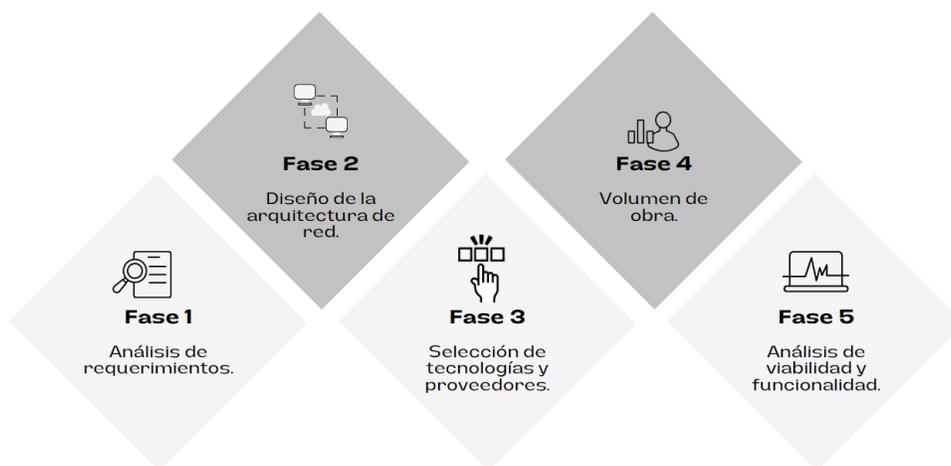
Se llevará a cabo una exhaustiva investigación de información que engloba, en su inicio, un análisis documental sobre la conceptualización y evolución del concepto de red de telecomunicación industrial 4.0. En este proceso, se ha recopilado y procesado datos de diversas fuentes, incluyendo estudios, informes, artículos en publicaciones especializadas, literatura académica y bases de datos

de instituciones, entre otras. También el uso de las fuentes primarias de investigación las que, en este caso, son entrevistas con las personas de la planta y de la organización que están a cargo de los procesos de transformación digital, así como los procesos financieros que darán soporte a las decisiones recomendadas en este proyecto.

Investigación Aplicada

La infraestructura de comunicaciones que se busca diseñar debe ser capaz de gestionar grandes volúmenes de datos y mantener la información disponible y segura en todo momento. En consecuencia, esta metodología abordará aspectos fundamentales relacionados con la planificación y el desarrollo del proyecto, siguiendo las fases clave que se presentan en la figura 1. De esta manera, se asegura que el diseño de la red esté alineado con los objetivos y requisitos de la industria de manera eficaz y efectiva.

Figura 1 Fases del proyecto



Fuente: Imagen elaborada por el autor

A continuación, se detallan las características y objetivos de cada una de las fases clave del proyecto:

Fase 1: Análisis de requerimientos

Antes de realizar el diseño la red, es importante evaluar la infraestructura de comunicaciones, los equipos y dispositivos existentes, y cualquier otro factor que pueda afectar el desempeño de la red.

La planta de producción de bebidas carbonatas y no carbonatadas consta con 9 líneas de producción, además de tener la sala de soplado, zona jarabe, calderos, planta de agua, oficina de

mantenimiento y almacenamiento, debido a que los procesos de producción son críticos se utilizará fibra óptica para realizar la conexión.

Luego realizar el análisis de las necesidades de la empresa. Esto implica identificar los dispositivos que deben conectarse a la red, los protocolos de comunicación que se utilizarán, la seguridad necesaria y otros requisitos específicos del proyecto.

Fase 2: Diseño de la arquitectura de red

Una vez evaluada la infraestructura existente, se realizará el diseño de la planimetría de la planta de producción de bebidas para conocimiento de manera precisa de la distribución espacial de las instalaciones, ubicación de los espacios y elementos del lugar, posterior, se procederá a realizar el diseño de la red, para ello se utilizará la topología más adecuada y los protocolos de seguridad que mejor se acoplen, también se escogerá un Data Center que mayor afinidad posea con los equipos y dispositivos del diseño de la red. Asimismo, se seleccionará un firewall para las necesidades de seguridad corporativa.

Fase 3: Selección de tecnologías y proveedores

Después de determinar la arquitectura de la red, se debe seleccionar los equipos y dispositivos que se utilizarán para el desarrollo de la red de telecomunicación industrial 4.0. Estos deben ser de alta calidad, confiables y capaces de manejar grandes volúmenes de datos y operar en entornos industriales exigentes. Hay que tener en cuenta que la planta de producción ya consta con los respectivos proveedores de equipos que ya conocen, y que el equipo seleccionado sea compatible con el equipo ya existente, es un factor fundamental antes del diseño de la red a implementar.

Se seleccionarán las tecnologías de operación y de información (TI/OT), ya que la convergencia de estas tecnologías permitirá una mayor interconexión de los sistemas, la recopilación y análisis de grandes cantidades de datos en tiempo real, la toma de decisiones basadas en datos y la optimización de la producción y los procesos de la planta.

Fase 4: Volumen de Obra

Para realizar esta fase se deberá evaluar la rentabilidad y el impacto financiero del proyecto del diseño de la red de telecomunicaciones. Se deberá identificar el costo de la inversión inicial para diseñar y construir la red de telecomunicaciones. Esto incluye el presupuesto, supuestos, proyecciones y otros costos asociados con el proyecto. Se deberá realizar un análisis de beneficios

y costos para evaluar la rentabilidad del proyecto. Esto implicará comparar los beneficios esperados con los costos asociados con el proyecto.

Fase 5: Análisis de viabilidad y funcionalidad

En esta fase se evaluará el diseño de la red de telecomunicaciones si es o no viable y funcional por medio de una simulación de acuerdo a los objetivos y necesidades de la planta de producción, incluyendo la capacidad de la red para soportar las comunicaciones necesarias para la operación, así como también se deberá evaluar la estabilidad de la red, seguridad de la red y análisis de riesgos asociados con el diseño de la red de telecomunicaciones, incluyendo posibles fallas técnicas, problemas de seguridad y otros riesgos relacionados con el proyecto.

1.7 Resultados Esperados

Para el diseño de la red de telecomunicación de la propuesta se espera obtener los siguientes resultados:

- ◇ Selección de las tecnologías que mejor se acoplen al área industrial donde se realizará el proyecto.
- ◇ Descripción de la arquitectura actual de comunicación en la planta de producción, incluyendo topología, equipos, dispositivos utilizados y protocolos de comunicación ya implementados.
- ◇ Selección de la alternativa más viable para la convergencia de los sistemas TI y OT en la red propuesta.
- ◇ Elaboración del plano en la plataforma CAD que mejor se adapte, para el diseño de la red de telecomunicación de la planta de producción de bebidas carbonatadas y no carbonatadas.
- ◇ Creación del diseño de arquitectura de red de telecomunicación Industrial 4.0 para la planta de producción de bebidas propuesta.
- ◇ Selección de la topología y equipos de acuerdo con los requerimientos técnicos de la planta de producción de bebidas.
- ◇ Obtención de la rentabilidad de la inversión del proyecto por medio del análisis del volumen de obra.
- ◇ Análisis de viabilidad y funcionalidad del diseño de la red de telecomunicaciones con el fin de garantizar que la red sea adecuada para cubrir las necesidades de la planta de producción de bebidas carbonatadas y no carbonatadas.

CAPÍTULO II

2. MARCO REFERENCIAL

En el siguiente apartado se realizará el estudio evolutivo de las tecnologías involucradas en la industria 4.0, específicamente en la convergencia de las tecnologías TI y OT. Este estudio se realizará en el contexto de una planta de producción de bebidas, lo que permitirá comprender la evolución de estas tecnologías y su aplicación específica en la mencionada industria.

2.1 Marco Contextual

La Industria 4.0 no puede entenderse sin la convergencia TI/OT, esto es la integración de los sistemas de tecnologías de información, utilizados para computación centrada en datos, con sistemas de tecnologías operacional, utilizados para supervisar eventos, procesos, dispositivos y realizar ajustes en las operaciones empresariales e industriales[9].

Las empresas de bebidas carbonatadas y no carbonatadas en Ecuador son diversas las cuales buscan el posicionamiento en el mercado, siendo una de las más consumidas después de los lácteos en el grupo de las bebidas no alcohólicas por lo que buscan estar a la vanguardia en cuestión de tecnología a causa de la demanda actual, según el análisis de posicionamiento y estrategia de Marketing realizado en 2021 por Navarro una de las marcas de bebidas carbonatadas y no carbonatadas posicionada en el mercado ecuatoriano es la planta de producción con sede en Guayaquil [10], [11].

La planta de producción está en Ecuador desde 1941 cuando la compañía de Bebidas Gaseosas del Ecuador obtuvo la licencia para producir y comercializar esta marca, desde ese entonces ha ganado más territorio en el área de las ventas con una amplia gama de productos como gaseosas, aguas purificadas, bebidas de frutas, energizantes, tes, cafés solubles etc. Tiene diferentes plantas en territorio ecuatoriano situadas en las provincias de Santo Domingo, Quito y Guayaquil, esta última consta con 9 líneas de producción aparte de las salas de soplado, embotellado y de distribución, su visión es ser líderes frente a las demás organizaciones que operan en los mercados en los que se encuentran presentes la industria de alimentos y bebidas de forma rentable y sustentable[12].

Esta propuesta tiene el potencial de convertirse en un modelo de estudio para la industria en general. Los resultados y recomendaciones obtenidos pueden extrapolarse y aplicarse en otras

plantas de producción de bebidas que busquen adaptarse a la Industria 4.0. De esta manera, se contribuirá al avance y modernización de la industria en su conjunto, mejorando la eficiencia y productividad de las operaciones en diversas plantas de producción del sector.

2.2 Marco teórico

El desarrollo de una propuesta tecnológica se sustenta en una variedad de fuentes de investigación para recopilar información relevante sobre el campo de trabajo que se aborda. Entre las investigaciones más destacadas que han servido de base para la propuesta tecnológica se encuentran los siguientes estudios:

En el país de Holanda, Países Bajos año 2016 en Delft University of Technology, se realizó el trabajo de maestría: **La convergencia e integración de la tecnología operativa y los sistemas de tecnología de la información, un estudio de caso en el sector del petróleo y el gas**, donde proporcionan recomendaciones útiles a las empresas del sector del petróleo y el gas sobre cómo superar las barreras y encontrar relaciones entre los factores que influyen en la implementación de la convergencia de TI/TO [5].

En ciudad de Perth, Australia año 2017 en Edith Cowan University, se llevó a cabo el artículo científico: **La convergencia de TI y OT en infraestructura crítica**, el cual aporta una comprensión de la seguridad cibernética en un contexto de tecnología operativa (en lugar de los entornos de TI tradicionales) y analiza las causas subyacentes, las vulnerabilidades y los riesgos que crean la convergencia y la interconexión. Informa sobre la evidencia de la convergencia entre TI y OT[4].

En la ciudad de Concepción del Uruguay, Argentina año 2019 en la Universidad Tecnológica Nacional, se realizó el artículo de científico: **Industria 4.0, convergencia tecnológica y desafíos para su desarrollo a escala regional**, el artículo incluye una sección teórica que ofrece concisas menciones acerca de la Industria 4.0, la convergencia tecnológica y los modelos utilizados para evaluar la adopción de este enfoque en las empresas industriales[13].

En la ciudad de Buenos Aires, Argentina año 2020 en la Universidad de Buenos Aires, se elaboró el trabajo de maestría: **Impacto de la convergencia tecnológica sobre el Upstream petrolero**, el cual se basa en la focalización de la magnitud del impacto de integración entre TI y OT sobre el negocio del petróleo, específicamente sobre el área de exploración y producción, también llamado Upstream[14].

En la ciudad de Quito, Ecuador año 2022 en la Universidad Central del Ecuador, se desarrolló el trabajo de titulación de maestría: **Propuesta de un enfoque para la gestión, planificación y supervisión de la producción, orientado hacia la Industria 4.0 y la sostenibilidad, basado en una clasificación de los niveles de automatización aplicados a la fabricación de bebidas no alcohólicas**, fundamentado en una revisión exhaustiva de la literatura científica y análisis de investigaciones previas sobre la aplicación de tecnología en el contexto de la Industria 4.0 para mejorar la gestión, planificación y control de la producción en la manufactura de bebidas no alcohólicas, se incorporan también estrategias destinadas a promover la producción más sostenible y la eficiencia energética[15].

2.3 Marco Conceptual

Este capítulo aborda la evolución industrial, desde sus inicios hasta la era de la Industria 4.0. Explora los principios fundamentales, normativas, beneficios y convergencia de tecnologías TI y OT. Se analizan diferencias integración, tipos de convergencia y niveles de red OT. También se analizan los medios guiados, topologías de red, protocolos y la importancia de la redundancia en redes de automatización industrial. Proporciona una visión completa de la transformación industrial y la convergencia TI y OT en la Industria 4.0.

2.3.1 Revolución Industrial

De acuerdo con el profesor británico David S. Landes, la revolución industrial se refiere comúnmente a un conjunto de avances tecnológicos que reemplazaron las habilidades manuales con la maquinaria, la fuerza humana y animal con energía mecánica. Este proceso marcó la transición de la producción artesanal a la fabril, dando lugar al nacimiento de la economía moderna. Según esta perspectiva, una sociedad industrial es aquella que utiliza el desarrollo tecnológico para sustituir la energía proporcionada por músculos humanos, animales o turbinas proporcionadas por máquinas[16].

2.3.1.1 Principios básicos de la evolución industrial

A continuación, se presentan algunos principios de la reciente era industrial:

- ◇ Interoperabilidad: el sistema ciberfísico y todos sus elementos a través de dispositivos conectado al sistema[17].

- ◇ Virtualización/Digitalización: facilitará el seguimiento, el etiquetado y rastreo de la producción[17].
- ◇ Orientados al servicio: el enfoque general de la calidad se mantiene aún en los sistemas más innovadoras[17].
- ◇ Capacidad de tiempo real: adquisición, tratamiento e interferencia de información de forma “inmediata”[17].
- ◇ Modularidad: adaptación flexible de acuerdo con los requerimientos de la operación [17].

2.3.2 Industria 4.0

Industria 4.0 es un término utilizado para describir la cuarta revolución industrial. Esta revolución se caracteriza por la convergencia de tecnologías físicas y digitales que transforman la fabricación, el diseño y las operaciones[18]. Este enfoque hacia la integración de tecnologías tiene el potencial de mejorar la eficiencia, calidad y flexibilidad en la industria, y su impacto sigue siendo un tema de investigación y desarrollo en constante evolución.

2.3.2.1 Principios

La industria 4.0 se sustenta en varios principios, uno de ellos es la interoperabilidad que hace referencia al intercambio de información y capacidad de trabajar juntos a los equipos. Entre los principios más relevantes están los que se detallan a continuación[19].

- ◇ **Interoperabilidad:** capacidad de comunicación de todos los elementos[19].
- ◇ **Descentralización:** capacidad para el diseño de subprocesos autónomos apoyados en elementos ciberfísicos para toma de decisiones[19].
- ◇ **Analítica en tiempo real:** capacidad de recopilar y analizar grandes cantidades de datos de los procesos facilitando sus resultados[19].
- ◇ **Virtualización:** capacidad para crear una réplica virtual de la planta de producción mediante la recopilación de información y la creación de modelos de los procesos industriales[19].
- ◇ **Orientación a servicio:** la aptitud para entregar el valor recién creado al cliente en la forma de servicios adicionales[19].
- ◇ **Modularidad y escalabilidad:** capacidad de ajustarse y expandirse para adaptarse a las demandas cambiantes de la industria y del negocio en cualquier momento[19].

2.3.2.2 Normativas

En la industria existen varios estándares por lo cual los organismos encargados de la normalización a nivel internacional IEC e ISO han elaborado una referencia con respecto a los estándares y técnicas en la industria 4.0 con el fin de que pueda existir una convergencia con respecto a las tecnologías al momento de la implementación en la tabla 1 se detallan las tecnologías y normativas correspondientes [20].

Tabla 1 Normativas Industria 4.0, Convergencia TI/OT

Tecnología	Norma	Descripción
Seguridad TI	Modelo ISO/IEC 27000	Gestión de la Seguridad de la información (SGSI).
	Serie ISO/IEC 27032	Directrices para ciberseguridad.
	Serie ISO/IEC 27033	Seguridad de las redes.
	Serie ISO/IEC 27034	Seguridad de las aplicaciones.
	Serie ISO/IEC 27035	Gestión de incidentes de seguridad de TI.
	Serie ISO/IEC 27050	Gestión de los procesos de investigación.
	Serie ISO/IEC 27037	Gestión de evidencias digitales.
	Serie ISO/IEC 27036	Gestión de la seguridad de la información en relaciones con terceros.
Ciberseguridad en redes industriales convergencia	IEC TS 62443-1-1:2009	Redes de comunicaciones industriales. Seguridad de la red y del sistema. Parte 1-1: Terminología, conceptos y modelos.
	IEC 62443-2-1:2010	Redes de comunicaciones industriales. Parte 2-1: Establecimiento de un programa de seguridad del sistema de control y automatización.
	IEC TR 62443-2-3:2015	Seguridad para los sistemas de automatización y control industrial. Parte 2-3: Gestión de parches en el entorno IACS.
	IEC 62443-2-4:2015	Seguridad para los sistemas de automatización y control industrial. Parte 2-4: Requisitos del programa de seguridad para los proveedores de servicios IACS.
	IEC TR 62443-3-1:2009	Redes de comunicaciones industriales. Seguridad de la red y del sistema. Parte 3-1: Tecnologías de seguridad para los sistemas de automatización y control industrial.
	IEC TR 62443-3-3:2013	Redes de comunicaciones industriales. Seguridad de la red y del sistema. Parte 3-3: Requisitos de seguridad y niveles de seguridad del sistema.
Conectividad de redes industriales	IEC 61158	Redes de comunicaciones industriales. Especificaciones Fielbus.

	IEC 61784-3	Redes de comunicaciones industriales. Perfiles. Parte 3: Buses de campo de seguridad funcional.
Continuidad y resiliencia de las organizaciones	UNE-EN ISO 22313:2015	Sistema de gestión de la continuidad del negocio. Directrices.
	UNE-EN ISO 22301:2015	Sistema de gestión de la continuidad del negocio. Especificaciones.

Fuente: <https://www.une.org>

En diseño de la red industrial 4.0, incluyendo la convergencia TI/OT en la planta de producción de bebidas, la implementación de estándares desempeña un papel crucial para asegurar la efectividad y seguridad de las operaciones. Dos comités están involucrados en la creación de estos estándares, y su influencia en el diseño de la red es significativa.

El primero de estos comités se centra en la protección de la información en el ámbito de las TIC. Sus estándares abordan cuestiones clave como la seguridad, la privacidad y la gestión de información. De manera particular, se desarrolla la serie IEC 62443, que se concentra en la ciberseguridad de los sistemas de control y automatización industrial.

El segundo grupo de trabajo se enfoca en la creación de estándares relacionados con sistemas de gestión de la continuidad del negocio. Estas normas son fundamentales para ayudar a las organizaciones a concienciar, supervisar y mejorar sistemas de gestión que les permiten responder eficazmente a situaciones disruptivas e imprevistas.

La adopción de estos estándares tiene un impacto directo en el diseño de la red. Ayudando a garantizar la seguridad de los datos, la ciberseguridad de los sistemas de control y la capacidad de respuesta de la planta de producción a incidentes inesperados. Esto se traduce en una operación más segura, eficiente y resiliente en un entorno industrial altamente automatizado y conectado tanto para equipos TI y OT que conforman la convergencia de la red.

2.3.2.3 Beneficios

Al introducir este nuevo enfoque se anticipa que genere resultados positivos, lo que a su vez impulsaría la competitividad de la industria en comparación con otras en el mercado, dado que trae consigo numerosos beneficios mediante la introducción de la digitalización[21]. Dentro de los múltiples beneficios que ofrece la industria 4.0, es importante resaltar los siguientes:

Tabla 2 Beneficios Industria 4.0, Convergencia TI/OT

Beneficio	Resultado o Mejora	Mejora Estimada en %
Automatización	Mejora de la eficiencia de procesos y gestión de recursos al eliminar tareas redundantes.	20-30%
Tiempo	Reducción del tiempo perdido, procesos y gestión más eficientes y mayor disponibilidad de producción.	Variación, típicamente 10-20%
Calidad	Mayor precisión en procesos y productos, reduciendo desviaciones, especialmente beneficioso en ciclos estacionales.	Aumento del 15-25%
Costos	Reducción de costos laborales, materiales y energía debido a la automatización y disminución de errores.	15-30%
Datos	Mayor precisión y capacidad de análisis de datos en tiempo real, respaldando la toma de decisiones estratégicas.	20-35%
Conectividad	Mejora de la comunicación entre máquinas, personas, clientes y proveedores, permitiendo una mejor comprensión de las necesidades del cliente.	Variación al menos 15-25%
Servicios	Capacidad de ofrecer nuevos servicios o productos a través de la adopción de la Industria 4.0.	Variable, pero al menos 10-20%
Mantenimiento proactivo	Detección temprana de problemas y planificación de mantenimiento, evitando fallos y aumentando la disponibilidad.	15-25%
Competitividad	Mayor capacidad de respuesta a las necesidades del mercado, ofreciendo servicios y productos de alta calidad.	Al menos 20-30%
Eficiencia	Implementación de instalaciones inteligentes que mejoran el funcionamiento de la planta y aumentan la eficiencia.	Al menos 20-40%

Fuente: <https://revistas.ufps.edu.co>

Estos valores proporcionados en la tabla son estimaciones generales y pueden variar según la industria, la implementación específica y otros factores. La industria 4.0 ofrece mejoras significativas en diversos aspectos de las operaciones industriales, contribuyendo a un aumento de la eficiencia, calidad y la competitividad.

2.3.3 Tecnologías de la industria 4.0

La convergencia entre las tecnologías TI y OT se ha convertido en un pilar fundamental de lo que Klaus Schwab, el fundador del Fondo Monetario Internacional, ha denominado la cuarta revolución industrial. A medida que avanzamos hacia esta nueva era industrial, la convergencia de

los mundos TI y OT se combina con una serie de tecnologías, como Big Data, robots autónomos, computación en la nube, IoT y la IA son solo una pequeña muestra de todas estas tecnologías disruptivas, destinadas a transformar el futuro de la industria a escala global, a lo largo de las próximas décadas[22]. Algunas de las tecnologías clave que impulsan la Industria 4.0 son las siguientes:

Tabla 3 Tecnologías de la Industria 4.0

Tecnología	Descripción	Potencial Impacto
Tecnologías de Operación (OT)	La tecnología operacional (OT) está dedicada a detectar o cambiar los procesos físicos a través del monitoreo y administración de dispositivos y está muy ligada al entorno industrial, donde se requiere de un control continuo de diversos elementos[23].	Monitoreo y control de procesos.
Tecnologías de Información (TI)	Thompson y Strickland, citados por Naya De Vita Montiel, definen las TIC como: Aquellos dispositivos, herramientas, equipos y componentes electrónicos, capaces de manipular información que soportan el desarrollo y crecimiento económico de cualquier organización[24].	Gestión de la información mejorada
IoT	IoT interconectará la mayor cantidad de los dispositivos posibles, admitiendo así la comunicación entre ellos y logrando que se puedan tomar decisiones estratégicas al instante[25].	Mayor eficiencia y conectividad.
Big Data	Big Data representa los conjuntos de datos o combinaciones cuyo tamaño, complejidad y rápida expansión, hacen que la captura, administración, procesamiento o análisis de los datos mediante tecnologías y herramientas tradicionales[25].	Mejora en la toma de decisiones.
Cloud Computing	Cloud Computing o computación en la nube, es un modelo de computación que permite al proveedor tecnológico ofrecer servicios informáticos a través de internet. De esta forma el hardware, el software y los datos se pueden ofrecer a los clientes bajo demanda [26].	Mayor flexibilidad y accesibilidad.
Realidad Aumentada/Virtual	Ambas utilizan modelos virtuales, pero la diferencia clave radica en que la realidad aumentada permite incorporar elementos virtuales en el entorno real, mientras que la realidad virtual opera en un entorno completamente virtual[27].	Mejora en la visualización y control.
Inteligencia Artificial	La inteligencia artificial (IA) es la inteligencia generada artificialmente por humanos y aplicada a las máquinas. Es la capacidad de un sistema artificial de interpretar correctamente datos externos (de su entorno), aprender de dichos datos, y usar lo aprendido para realizar un objetivo o tarea, alcanzando metas específicas mediante adaptación[28].	Automatización y eficiencia mejorada.
Robots Autónomos	Los robots colaborativos, o cobots, han sido desarrollados para trabajar en colaboración con los operarios humanos, asistiéndolos en las tareas que son demandantes en términos de esfuerzo y precisión. Debido a su precio asequible, su gran capacidad de adaptación a diversas tareas y la disponibilidad de numerosos componentes “plug and play”, estos cobots están facilitando la adopción de esta tecnología tanto en pequeñas y medianas empresas como plantas de producción[29].	Aumento de la productividad.

Fuente: <https://www.auraquantic.com>

En el contexto del diseño de la red de telecomunicaciones para una planta de producción de bebidas que consta de 9 líneas de producción, la elección de tecnologías de información y operativas como componentes clave de la propuesta se justifica por varias razones: en primer lugar, la convergencia de TI y OT permite la unión de sistemas de información con sistemas de control industrial, lo que facilita la conectividad y el intercambio de datos en tiempo real, respaldada por equipos diseñados en entornos exigentes. Esta integración se sustenta en medidas de seguridad como la segmentación de la red, la parametrizando de la red OT con firewalls industriales y el cumplimiento de estándares como el IEC62443. Además, se contempla la implementación de un data center IoT para asegurar topologías redundantes y una alta disponibilidad.

Además, la adopción de TI y OT permite la optimización de recursos y la reducción de costos al automatizar procesos y minimizar errores, lo que resulta un ahorro significativo en materiales, mano de obra y energía. La combinación de estas tecnologías también facilita la implementación de estrategias de mantenimiento proactivo, lo que reduce el tiempo de inactividad de las líneas de producción y mejora la disponibilidad.

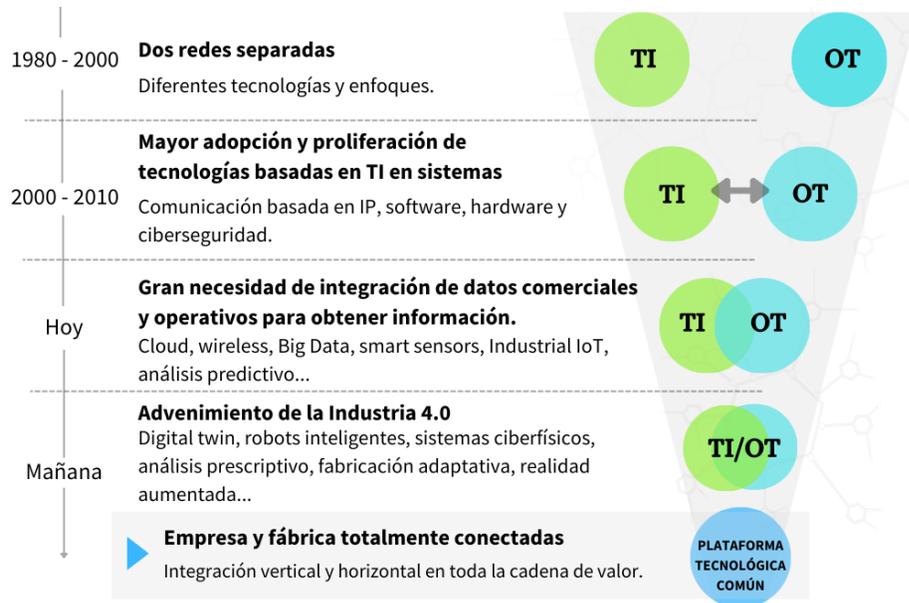
2.3.4 Convergencia de las tecnologías TI y OT

La Tecnología OT es un conjunto de hardware y software utilizado en entornos industriales para controlar dispositivos, procesos e infraestructura. Por otro lado, la Tecnología TI es la combinación de tecnologías utilizadas en redes, procesamiento de información, centros de datos empresariales y sistemas en la nube. Mientras que los dispositivos OT se encargan de controlar el mundo físico, los sistemas de TI manejan los datos y las aplicaciones[30]. Esta división de roles entre OT y TI es esencial en la Industria, ya que los dispositivos OT controlan el mundo físico, mientras que los sistemas TI manejan la información y aplicaciones digitales, desempeñando roles complementarios en la operación y gestión de entornos industriales.

2.3.4.1 Línea de tiempo de la convergencia TI/OT

El peso histórico y la gradual convergencia de las tecnologías han generado transformaciones en las definiciones y las fronteras entre TI y OT. Este proceso de convergencia está en constante evolución, con el propósito de establecer una plataforma tecnológica común y acordada[31]. A continuación, en la figura 2. se puede observar que, durante casi 2 décadas las tecnologías TI y OT han comenzado a converger hacia una plataforma tecnológica en común.

Figura 2 Línea de tiempo convergencia TI/OT



Fuente: Imagen tomada desde la web: <https://www.cigref.fr>

2.3.4.2 Diferencias entre tecnologías TI y OT

La principal diferencia entre TI y OT radica en que TI se enfoca en las actividades de información de front-end de una organización, mientras que OT se enfoca en la producción de back-end utilizando máquinas. Los avances tecnológicos han permitido que los nuevos dispositivos y sensores en la industria sean más controlables y verificables, lo que se refleja en la comparación tecnológica entre TI-OT y en su creciente acercamiento. La tabla 2 muestra que hay discrepancias tecnológicas entre TI y OT en términos de entorno, compatibilidad, seguridad, homogeneización y comunicaciones. Aunque es importante tener en cuenta estas diferencias, no impiden la colaboración y la integración entre ambos mundos para aprovechar las sinergias. Esta convergencia tecnológica representa una oportunidad clave para mejorar la eficiencia y la capacidad de respuesta de la planta de producción de bebidas en su transformación digital.

Tabla 4 Diferencias entre TI y OT

Características	TI	OT
Entorno	Multifuncional condición favorable.	Limitación de funciones, condiciones desfavorables.
Compatibilidad	La elección de equipos basada en su funcionalidad se caracteriza por su capacidad de adaptación ágil y eficiente.	Dependencia de actores externos. Preparación en el proceso de pruebas de estrés y situaciones imprevistas.

Seguridad	Un concepto consolidado, aplicable tanto en términos de acceso como electrónico.	Experiencia en tecnologías de la información en un contexto diferente. Posibles debilidades.
Homogenización	Características claras y específicas. Consistencia en el equipamiento.	Diversidad de contextos y componentes. Identificación de dispositivos de diferentes marcas y capacidades.
Comunicaciones	Estructura de red IP, métodos de acceso y administración convencional de puertos.	Protocolos de procedimientos, diversidad de tecnologías (como series, IP, buses de control, entre otros) en diferentes topologías.

Fuente: <https://red.computerworld.es>

De acuerdo con las diferencias entre las tecnologías TI y OT mencionadas anteriormente, se describen ventajas y desventajas en función de las necesidades y objetivos de la planta de producción. A continuación, se describen algunas:

Ventajas

- ◇ Enfoque claro
- ◇ Compatibilidad en condiciones desfavorables
- ◇ Seguridad adaptada
- ◇ Diversidad de tecnología OT

Desventajas

- ◇ Limitación en funciones OT
- ◇ Dependencia de actores externos en OT
- ◇ Posibles debilidades de seguridad en OT
- ◇ Diversidad y falta de homogenización en OT

Aunque existan diferencias entre las tecnologías TI y OT, las ventajas y desventajas entre ambas áreas pueden ser beneficiosa para aprovechar las sinergias y mejorar la eficiencia de la planta de producción.

2.3.4.3 Formas de integrar y unificar las operaciones de TI y OT.

Tradicionalmente, había poca comunicación digital entre la red empresarial, que estaba dominada por TI, y la red industrial, que era dominio de OT. Los equipos de TI y OT generalmente no colaboraban a menos que hubiera un problema grave que requiriera su experiencia combinada para resolver, como un incidente de seguridad, una falla del sistema o un tiempo de inactividad no

planificado[30]. Sin embargo, la evolución hacia la colaboración continua entre TI y OT es esencial en el contexto actual de digitalización industrial, Esta sinergia entre los mundos de TI y OT permiten a las industrias optimizar la eficiencia, la seguridad y la productividad de sus operaciones.

A medida que las redes y dispositivos industriales han migrado a redes Ethernet y tecnologías TCP/IP, OT y TI han comenzado a trabajar juntos. Desbloquear todo el potencial de una red industrial convergente y segura requerirá que la organización cree una mejor alineación entre sus equipos de OT y TI. A continuación, se muestran algunos enfoques que ayudan acercar a los equipos de TI y OT[30]:

Adoptar un marco estandarizado: el conjunto de estándares ISA99/IEC62443 ayuda a las empresas a alcanzar los objetivos operativos conectando la red empresarial a la red industrial de manera segura. Proporcionan un terreno común de TI y OT para trabajar juntos, diseñando adecuadamente una red industrial para operaciones efectivas e implementando las mejores prácticas de ciberseguridad industrial paso a paso, para una mejora continua[30]. La adopción de estándares es fundamental para la seguridad y eficiencia del diseño de la red de telecomunicaciones propuesta. Estos estándares brindan una base sólida para la colaboración, garantizando operaciones más seguras y una evolución constante en la planta industrial.

Mejorar las habilidades de ambos equipos: una relación productiva entre TI y OT depende en gran medida de que estos equipos comprendan las responsabilidades de los demás y cómo pueden trabajar juntos. Los profesionales de OT incluyen operadores de máquinas, ingenieros de control y gerentes de planta. Los profesionales de TI incluyen administradores de red, arquitectos y oficiales de seguridad. Los profesionales de OT y TI deben evolucionar sus roles y aprender nuevas habilidades y tecnologías para adaptarse al nuevo marco de colaboración[30]. Las habilidades de los equipos TI y OT para una colaboración efectiva entre las líneas de producción. A medida que los profesionales de ambos campos adquieren un entendimiento más profundo de las responsabilidades mutuas y adoptan nuevas habilidades y tecnologías se crea una base sólida para la adaptación del entorno de colaboración.

Actualizar la infraestructura de red: a medida que las operaciones industriales se digitalizan, los activos de OT y las redes industriales necesitan una base de TI sólida para facilitar el tiempo de actividad y ayudar a permitir que los procesos industriales se ejecuten aún más rápido para aumentar la producción. Más que nunca, los equipos de TI y OT deben colaborar para

implementar una infraestructura de red cableada e inalámbrica moderna, administrada, ágil y segura que ayudará a aumentar la productividad industrial y reducir los costos operativos[30]. La colaboración estrecha entre los equipos TI y OT se vuelve crucial para establecer una infraestructura moderna, que, a su vez, aumenta la productividad, reduce los costos operativos y garantiza la seguridad en las operaciones industriales.

La implementación de una infraestructura moderna, y la digitalización en general, no es una transición fácil para OT. Requiere un enfoque estratégico y centrado en la seguridad para reducir el riesgo de crear puntos ciegos digitales al conectar activos industriales y brindar más datos y conocimientos a los equipos de TI y OT. TI puede aprovechar las habilidades y la experiencia adquiridas en la implementación de redes empresariales modernas para ayudar a OT a implementar redes robustas y ágiles. Con los switches industriales, herramientas de administración y seguridad adecuadas, esto desbloqueará muchos beneficios, tales como: reducción del tiempo de inactividad no planificado de los activos con una conectividad más segura y fiable, menores costos operativos a través de capacidades de administración remota, agilidad superior con funciones de implementación automatizada y reducción del riesgo gracias a la seguridad mejorada[30]. La transición hacia una infraestructura moderna y la digitalización en OT requieren un enfoque estratégico y centrado en la seguridad.

2.3.4.4 Tipos de convergencia TI/OT

La convergencia no es una sola iniciativa o esfuerzo. Las iniciativas de convergencia pueden tomar una variedad de direcciones dependiendo de las necesidades y objetivos de la organización en particular. Hay tres categorías principales de convergencia TI/OT[32]:

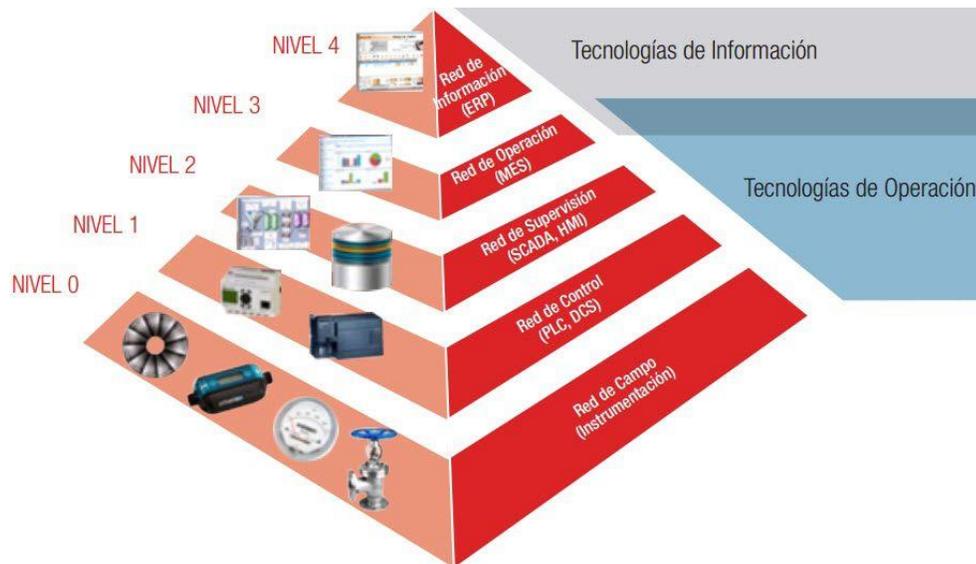
La convergencia de procesos: cubre la convergencia de flujos de trabajo. Los departamentos de TI y OT deben reformar sus procesos para adaptarse entre sí y asegurarse de que se comuniquen los proyectos importantes. Esta es una convergencia organizativa, que se ocupa de la estructura del negocio interno[32]. Gracias a la convergencia de procesos la adaptación organizativa garantizará la comunicación efectiva entre los departamentos de TI y OT, mejorando así la estructura interna de la planta de producción.

La convergencia de software y datos: se ocupa de hacer que el software y los datos en la oficina principal funcionen para abordar las necesidades de OT. Esta es una convergencia técnica que involucra la arquitectura de red del negocio[32]. En la propuesta del diseño de red de

telecomunicaciones la convergencia de software y datos es esencial. Esta convergencia técnica implica optimizar la arquitectura de red para que el software y los datos en la oficina principal satisfagan las necesidades de OT. Esto asegura una comunicación fluida y eficiente entre TI y OT, mejorando así la funcionalidad y la capacidad de respuesta de la red en el entorno industrial.

La convergencia física: incluye los dispositivos físicos que convergen o se actualizan con hardware más nuevo para adaptarse a la adición de TI a la OT tradicional. Esta es una convergencia operativa, donde el propio hardware se actualiza y mantiene a lo largo del tiempo. Esto podría incluir la compra de nuevos sistemas OT o la adición de dispositivos de posventa para facilitar la comunicación y el control de datos[32]. Dentro de la propuesta del diseño de la red de telecomunicaciones se busca lograr la convergencia TI/OT y la convergencia física desempeña un papel crítico. La actualización y mantenimiento se enfoca en dispositivos existentes, así como la incorporación de hardware para adaptarse a la inclusión de tecnologías de la información en el entorno de las operaciones tradicionales.

2.3.4.5 Niveles de red OT para redes de automatización industrial



Fuente: Imagen tomada desde la web: <http://blog.segu-info.com.ar>

La figura 1 muestra una arquitectura de referencia que representa los distintos niveles que conforman la planta de producción, conocida como la "pirámide de automatización". Aunque existen diferentes versiones de esta pirámide, todas suelen presentar una estructura de sistema industrial basada en cinco niveles tecnológicos que se diferencian por sus funciones y segmentos de red. De esta forma, se pueden identificar diversos sistemas y actividades que incluyen:

Tabla 5 Niveles de red OT

Nivel	Descripción	Ejemplos de tecnologías y aplicaciones
Nivel 0	Nivel de campo. Incluye los instrumentos (sensores), actuadores y demás hardware que forman parte de un proceso productivo o industrial[33].	Sensores de temperatura, actuadores de válvulas.
Nivel 1	Nivel de control. Agrupa los dispositivos que controlan equipos productivos o industriales (PLCs, controladores, PIDs, etc.). utilizan la información suministrada por los sensores ubicados en el terreno para controlar y regular los actuadores locales relacionados con ese nivel[33].	Controladores lógicos programables (PLCs), controladores de temperatura.
Nivel 2	Nivel de supervisión: Cuenta con aquellos sistemas destinados a supervisar y controlar la secuencia de fabricación y/o producción (SCADA)[33].	Sistemas SCADA (Supervisory control and data acquisition)
Nivel 3	Nivel de operación o planificación. Engloba la gestión de flujos de trabajo y ejecución de la producción (MES, Manufacturing Execution System)[33].	Sistemas MES para seguimiento de producción y programación de la planta.
Nivel 4	Nivel de gestión. Abarca las actividades de negocio y de gestión integral de la empresa (ERP, Enterprise Resource Planning)[33].	Sistemas ERP para gestión de recursos y planificación empresarial.

Fuente: <https://openaccess.uoc.edu>

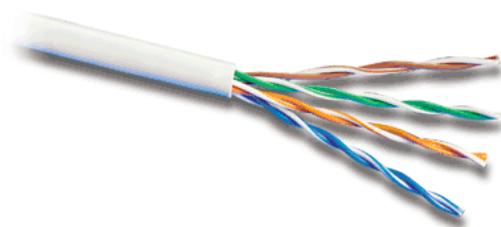
La incorporación de ejemplos de tecnologías y aplicaciones en cada nivel en el diseño de la red de telecomunicaciones propuesto es de gran importancia. Esta información adicional en la tabla 5 brinda una comprensión más concreta y aplicable de cómo estos niveles se relacionan con la tecnología real utilizada en entornos industriales. Proporciona un marco de referencia útil para el diseño de la red capaz de integrar efectivamente la parte TI y OT en todos los niveles, optimizando así la eficiencia, control y gestión en un entorno industrial.

2.3.5 Tipos de medios guiados en infraestructuras de telecomunicaciones

En la actualidad existe una gran variedad de cables en diferentes tipos y con distintos rasgos, cada uno diseñado para un propósito específico y con características únicas de rendimiento, son una parte esencial de la infraestructura de las comunicaciones modernas. En esta sección, se describirá algunos de los cables más comunes y sus usos, así como sus ventajas y desventajas en términos de velocidad, alcance, seguridad y costos. Entre los tipos de cable más usados están:

Cobre: los cables de cobre también conocidos como cables de par trenzado debido a que tienen dos conductores eléctricos aislados y entrelazados entre sí, para evitar interferencias de fuentes externas y la posible diafonía que se genere con los cables adyacentes[34].

Figura 4 Medio guiado cobre



Fuente: Imagen tomada desde la web: <https://davidmoro.wordpress.com>

Existen diferentes tipos cables de cobre entre los cuales se encuentran:

Cable UTP: Este tipo de cable es ampliamente utilizado debido a su diseño de par trenzado, el cual ayuda a minimizar la interferencia electrónica, eliminando la necesidad de un blindaje metálico adicional. El término "sin blindaje" se refiere precisamente a la falta de protección metálica alrededor de los cables de cobre. El UTP utiliza una transmisión de señal balanceada que hace falta el uso de un escudo físico, lo que lo convierte en una opción confiable y económica para muchas aplicaciones[35].

◇ Categoría de los cables UTP y sus velocidades

Existe varias categorías de cables UTP, cada una con diferentes características que se eligen según la necesidad. Entre las características más importantes a considerar se encuentran la frecuencia y la velocidad, a continuación, se muestra en la tabla 3 las características más importantes:

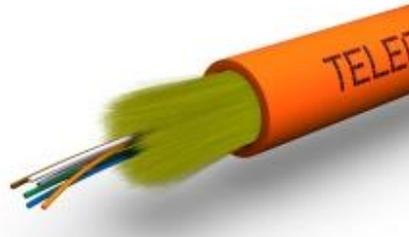
Tabla 6 Características de los cables UTP

Categoría	Velocidad	Frecuencia	Velocidad de descarga
ETHERNET CAT 5	100 Mbps	100 MHz	15,5 MB/s
ETHERNET CAT 5E	1.000 Mbps	100 MHz	150,5 MB/s
ETHERNET CAT 6	1.000 Mbps	250 MHz	150,5 MB/s
ETHERNET CAT 6A	10.000 Mbps	500 MHz	1.250 MB/s o 1,25 GB/s
ETHERNET CAT 7	10.000 Mbps	600 MHz	1,25 GB/s
ETHERNET CAT 7A	10.000 Mbps	1.000 MHz	1,25 GB/s
ETHERNET CAT 8	40.000 Mbps	2.000 MHz	5 GB/s

Fuente: <https://www.xataka.com>

Fibra óptica: La fibra óptica es un cable sólido, delgado y flexible fabricado con sílice, que actúa como una guía de ondas dieléctricas y funciona a frecuencias ópticas. Cada fibra consiste en un núcleo de silicio y zinc, con un índice de refracción elevado, rodeada por una capa de revestimiento de material similar, pero con un índice de refracción más bajo[36].

Figura 5 Medio guiado fibra óptica



Fuente: Imagen tomada desde la web: <https://davidmoro.wordpress.com>

Stack: El apilamiento de switches es una importante tecnología que conecta varios switches entre sí. Estos switches de red pueden conectarse mediante cables apilables y funcionar como una única unidad lógica, y pueden añadirse más puertos de switch, lo que puede aumentar enormemente la capacidad de una red. Los usuarios pueden aumentar enormemente la capacidad de una red[37].

Figura 6 Cable Stack



Fuente: Imagen tomada desde la web: <https://davidmoro.wordpress.com>

2.3.6 Topología de red industrial de telecomunicaciones

La topología de red se refiere a la estructura física adoptada por la red y es esencial tenerla en cuenta al realizar el cableado estructurado, ya que éste depende en gran medida de ella. Se puede encontrar variedades de topologías, cada una de ellas tiene sus ventajas y desventajas y se utiliza para diferentes aplicaciones y entornos de red. Al momento de seleccionar una topología de red hay que tomar en cuenta varias características, como el tamaño de la red, la cantidad de dispositivos, la cantidad de datos a transmitir y la distancia entre los dispositivos[38].

Tabla 7 Topologías

Topología	Descripción	Ventajas	Desventajas
Topología Bus	Esta configuración se define por la presencia de un cable central o troncal que sostiene y conecta los distintos nodos que necesitan recibir los datos. Si este cable	Fácil de implementar.	Vulnerable a fallos en el cable central.

	troncal falla, la parte de la red que se conecta a continuación dejará de funcionar[39]		
Topología Estrella	La topología en estrella es un diseño de red en el que todos los nodos se conectan a un nodo central, desde el cual se extienden los enlaces hacia los demás nodos[40]	Fácil de administrar y detectar fallos.	Depende completamente del nodo central.
Topología Malla	Consiste en la interconexión de todos los elementos de la red para formar una estructura en la que siempre existen más de dos caminos para acceder a cada nodo. [39].	Alta redundancia y seguridad.	Costosa y compleja de configurar.
Topología Anillo	Los nodos se conectan en serie para formar un bucle cerrado. Cada nodo cuenta con un transceptor que funciona como un repetidor, y tiene la tarea de transmitir la información al siguiente nodo en el bucle[38].	Alta redundancia y tolerancia a fallos.	Dificultad en la administración y expansión.
Topología Árbol	Esta topología es un diseño de red que se asemeja a la topología en estrella extendida, con la diferencia primordial de que no posee un nodo central[40].	Escalable y fácil de administrar.	Fallos en el nodo.

Fuente: <http://repositorio.uladech.edu.pe>

La topología de anillo es recomendable para el diseño de red de telecomunicaciones propuesto en la planta de producción de bebidas debido a su alta redundancia y tolerancia a fallos. Esto asegura la continuidad de la comunicación incluso si un nodo falla, lo que es esencial en un entorno de producción crítico como el de una planta de bebidas. Además, la administración y expansión de la topología de anillo son manejables, lo que la convierte en una opción eficiente y confiable para este contexto.

2.3.7 Protocolos de telecomunicación en entornos industriales

Los protocolos de comunicación son fundamentales para asegurar la comunicación efectiva entre los diferentes componentes en cualquier sistema incluyendo los entornos donde se realizan los procesos industriales.

Ethernet / IP: Se basa en TCP/IP, utiliza hardware y software Ethernet para instaurar un protocolo para configurar, acceder y controlar los dispositivos de automatización industrial.

Ethernet/IP categoriza los nodos según tipos de dispositivos predefinidos, con sus funciones específicas. Ethernet/IP ofrece un sistema integral que abarca desde la planta industrial hasta la red central de la empresa[41]. Este protocolo resalta el enfoque en la automatización industrial y su capacidad para categorizar los nodos según tipos de dispositivos predefinidos. Ethernet/IP es una tecnología que abarca desde la planta industrial hasta la red de la empresa.

PROFIBUS: Más conocido como bus de campo definido por las empresas Bosch y Siemens como un estándar de comunicaciones que utiliza conexiones seriales físicas como RS-485, MBP o fibra óptica[42]. Aunque este protocolo es una tecnología establecida en la automatización industrial, su enfoque en conexiones seriales físicas es utilizada en un área en específica de la planta de producción que son los transportadores.

PROFINET: Asentado en algunos estándares de comunicación de TI como ethernet industrial y TCP/IP, se enfatiza que se trata de Ethernet en tiempo real, donde los dispositivos llegan a un acuerdo para colaborar en el procesamiento de peticiones dentro del bus[41]. Este protocolo es una opción altamente relevante para el diseño de la red PROFINET se diferencia por ofrecer Ethernet en tiempo real, lo que significa que los dispositivos pueden colaborar en el procesamiento de peticiones dentro del bus de manera eficiente y precisa. Esto es fundamental en un entorno industrial donde la sincronización y la comunicación en tiempo real son esenciales para el control de procesos de las líneas de producción.

2.3.8 Redundancia en redes de comunicación

Se pueden encontrar en las redes Ethernet protocolos de redundancia que se ajustan a los estándares identificados para Ethernet. Estos protocolos son compatibles tanto con la capa 2 como con la capa 3 del modelo OSI. La redundancia puede ser dinámica o estática. En redundancia dinámica, los dispositivos reaccionan a las fallas dentro de la red. Por otro lado, la redundancia estática actúa de manera paralela ya que los dispositivos están activos al mismo tiempo. En la Tabla 4. se muestra una lista de protocolos para redundancia[43].

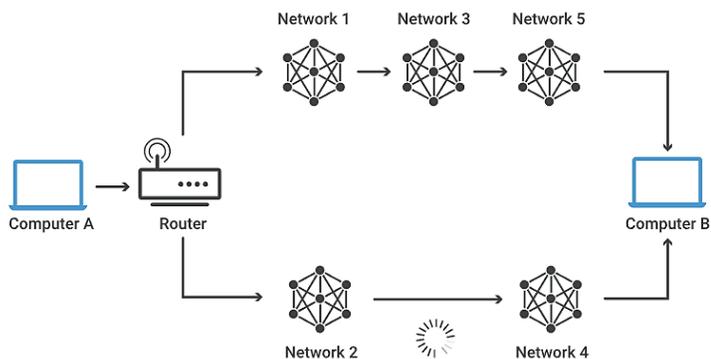
Tabla 8 Protocolos de redundancia

Protocolo	Solución	Pérdida de fotogramas	Protocolo de redundancia	Conexión de nodo final	Topología de la red	Tiempo de recuperación
IP	Enrutamiento IP	Si	Dentro de la red	Simple	Malla simple	>30s típicamente no determinado
STP	IEEE 802.1D	Si	Dentro de la red	Simple	Malla simple	>20s típicamente no determinado
RSTP	IEEE 802.1D	Si	Dentro de la red	Simple	Malla simple, anillo	Puede ser determinado
DRP	IEC 62439-6	Si	Dentro de la red	Simple y doble	Anillo, anillo doble	100 ms en el peor de los casos para 50 switches
MRP	IEC 62439-2	Si	En los nodos finales	Simple	Anillo	500 ms, 200 ms, 30 ms o 10 ms en el peor de los casos para 50 switches según el conjunto de parámetros
BRP	IEC 62439-5	Si	En los nodos finales	Doble	Malla doble, conectada	4,8 ms en el peor de los casos para 500 nodos finales
PRP	IEC 62439-3	No	En los nodos finales	Doble	Doble malla, independiente	0s
HSR	IEC 62439-3	No	En los nodos finales	Doble	Anillo, malla	0s

Fuente: <https://repositorio.escuelaing.edu.co>

IP: El Protocolo de Internet (IP) especifica el origen y el destino de cada paquete de datos. Los enrutadores inspeccionan el encabezado IP de cada paquete para identificar a dónde enviarlos[44].

Figura 7 Protocolo de enrutamiento IP

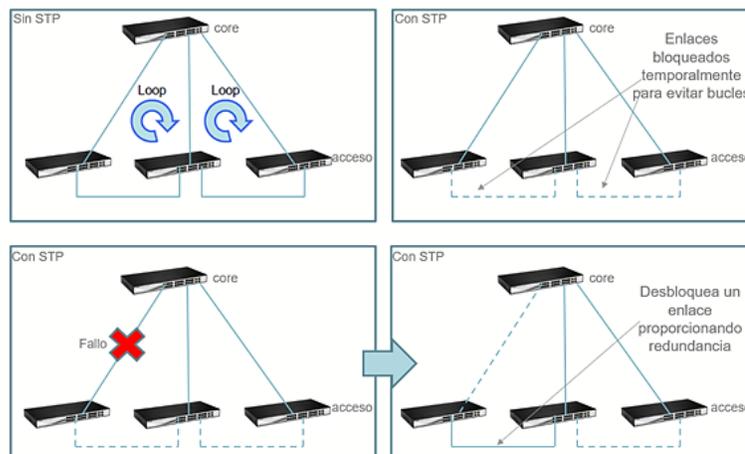


Fuente: <https://www.cloudflare.com/>

Como se observa en la figura 7. El paquete de datos de A hacia B puede ir por redes 1,3 y 5 o 2 y 4. A veces, el camino más corto no es el más rápido. Los enrutadores de red toman las decisiones constantemente.

STP: Spaning Tree Protocol (STP) es un protocolo de capa dos publicado en la especificación IEEE 802.1. El objetivo de STP es mantener una red libre de bucles. Un camino libre de bucles se consigue cuando un dispositivo es capaz de reconocer un bucle en la topología y bloquear uno o más puertos[45].

Figura 8 Protocolo STP



Fuente: <https://eu.dlink.com>

La figura 8. Muestra los beneficios de utilizar STP para evitar bucles y mejorar la confiabilidad de la red. Los enlaces redundantes en la red son gestionados por STP para prevenir bucles. STP bloquea un enlace redundante, pero si falla, se desbloquea rápidamente para restaurar la conectividad. Sin STP, los bucles pueden causar tormentas de transmisión y fallos en la red.

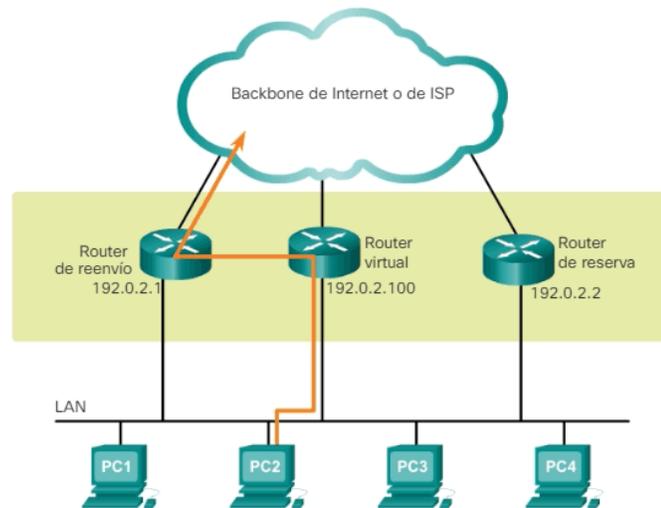
En la simulación del diseño de red de telecomunicación propuesto se ha utilizado el protocolo PVST, el cual es una mejora de Cisco de STP que proporciona una instancia diferente de la implementación de Cisco de 802.1D para cada VLAN que se configura en la red[46]. El PVST sustituye al MRP en la simulación, ya que, en el contexto de la plataforma donde se realiza la simulación, se le reconoce con otro nombre.

RSTP: Es un protocolo de árbol de expansión, es un protocolo de red que se utiliza para evitar los bucles de red que pueden ser creados por enlaces redundantes en una red de equipos[47].

mantienen sus puertos de conexión bloqueados. En caso de que S5 falle o el enlace con S8 se caiga, S4 o S6 desbloquearán su puerto. La configuración de DRP solo requiere ser realizada en los nodos S4, S5 y S6, no en los nodos S7, S8 y S9.

BRP: Protocolo de redundancia de señal, basado en la ejecución de nodos finales a diferencia de un protocolo de redundancia integrado en los conmutadores. La detección rápida de fallas es proporcionada por dos nodos de baliza, la decisión de aprobación se toma por separado en cada nodo[49].

Figura 11 Protocolo BRP

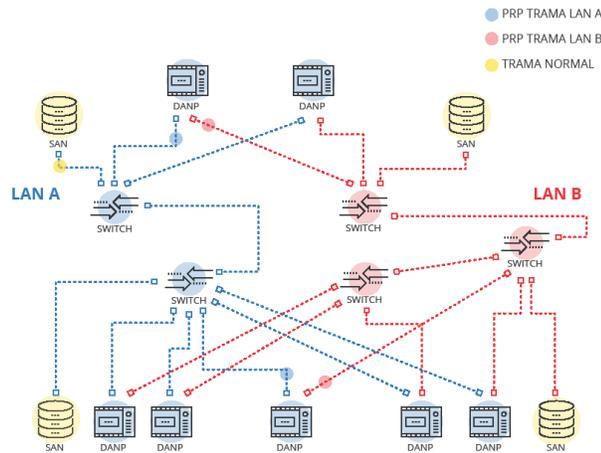


Fuente: <https://ccnadesdecero.es>

En la figura 11. El funcionamiento del protocolo BRP se demuestra a través del router de reenvío que se configura con la dirección IP virtual 192.0.2.100, el router de reenvío anuncia la dirección IP virtual a los hosts en la LAN y estos hosts utilizan la dirección IP virtual como su puerta de enlace predeterminada, y sí que el router de reenvío falla, el router de respaldo toma la dirección IP virtual y se convierte en la nueva puerta de enlace.

PRP: Asegura la alta disponibilidad y reduce el tiempo de recuperación de la red y por lo tanto el de transmisión a “cero”. Este protocolo se basa en el uso de dos redes independientes a todos los niveles, LAN A y LAN B, y enviar el mismo mensaje a la vez en las dos redes[50].

Figura 12 Esquema de Red con intercambio de tramas para protocolo PRP

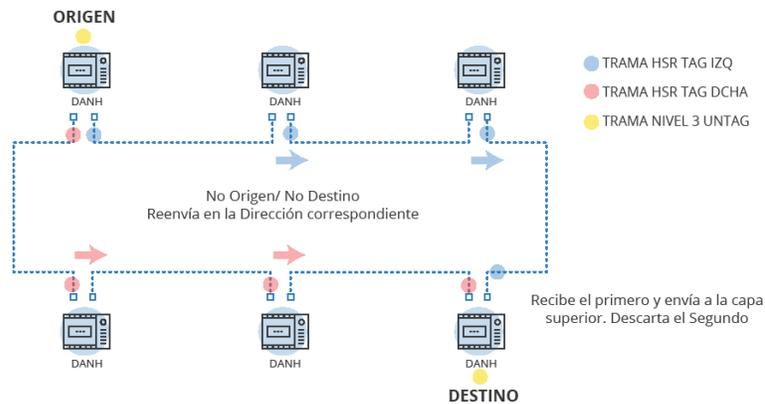


Fuente: Imagen tomada desde la web: Cigref.fr/wp/wp-content

En la figura 12. Se observa el diagrama de red que está dividida en dos LAN (LAN A y LAN B) y una SAN (red de área de almacenamiento). Las LAN están conectadas a la SAN (red de área de almacenamiento). Las LAN están conectadas a la SAN a través de conmutadores. Los servidores están conectados a la LAN como a la SAN. También se muestra dos dispositivos DANP. DANP significa “Dispositivo de acceso a la red de almacenamiento”. En general, el diagrama muestra una red que utiliza protocolos de redundancia para garantizar que los datos se sigan transmitiendo incluso si hay una falla en uno de los enlaces.

HSR: Igual que PRP, asegura la alta disponibilidad y reduce el tiempo de recuperación de red y el de transmisión a cero. Está basado en la redundancia en el dispositivo, convirtiendo una trama de nivel 3 en dos HSR idénticas que se envían a través de los puertos del dispositivo con dirección a una red con topología anillo, pero en direcciones opuestas[51].

Figura 13 Esquema de Red con intercambio de tramas para protocolo HSR



Fuente: <https://www.incibe.es>

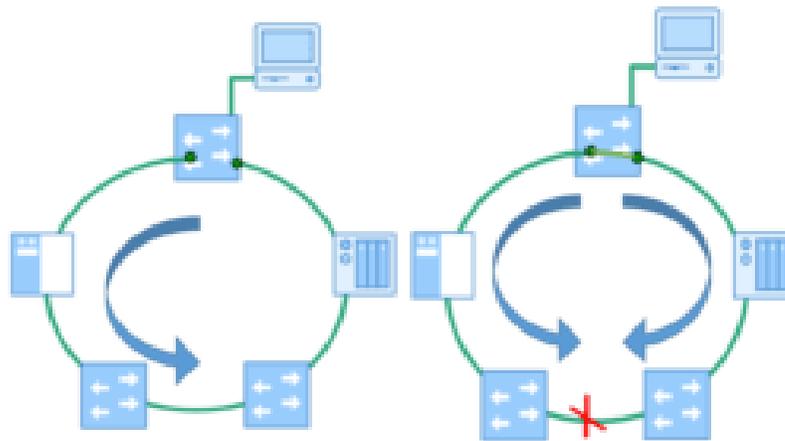
La figura 13 muestra cómo trabaja el protocolo HSR, enviando dos copias de cada paquete de datos a través de dos enlaces diferentes. Si uno de los enlaces falla, el otro enlace aun podrá entregar el paquete.

MRP: Es el protocolo redundancia de medios que emplea los fundamentos básicos para la reestructuración de las redes en caso de un fallo cuando la topología de la red es en forma de anillo[41].

Este protocolo esta descrito en el estándar IEC 62439-2, opera en la capa 2 específico para redes hasta con 50 equipos en anillo, garantizando en caso de necesitar cambio de un estado a otro un comportamiento determinístico. Recupera la comunicación en tiempos de 10 ms, 30 ms, 200 ms hasta 500 ms dependiendo de la configuración elegida[52].

Una parte importante del protocolo MRP son los nodos. En este, cada nodo dispone de dos enlaces en el anillo. Uno va a ser elegido MRM o Media Redundancy Manager, que pasará a monitorizar y controlar, y será el que reaccione en caso de fallo. Para conseguirlo, enviará tramas de control desde cada puerto que se recibirán al otro extremo[53].

Figura 14 Configuración MRP antes y después



Fuente: Imagen tomada desde la web: <https://us.profinet.com>

El esquema de la figura 14. Ilustra la gestión de una red por parte de un conmutador MRP. Este conmutador envía de forma continua mensajes de prueba a lo largo del anillo para supervisar la red. Si no recibe respuesta a estos mensajes, indica un problema en la red. En tal caso, el conmutador notifica a todos los dispositivos y reconfigura la topología, transformando el anillo en una configuración lineal. La recuperación se realiza en cuestión de milisegundos.

El uso del protocolo MRP en el diseño de la red de telecomunicaciones con convergencia TI y OT, y una topología anillo con 9 líneas de producción, se justifica por varias razones fundamentales. A diferencia de otros protocolos de redundancia como IP enrutamiento, STP, RSTP, DRP. MRP proporciona una serie de ventajas clave para esta configuración específica:

- ◇ Tiempo de recuperación rápido
- ◇ Enfoque en nodos finales
- ◇ Configuración simple y eficiente
- ◇ Compatibilidad con requisitos de tiempo real

Es por ello, que se destaca esta configuración específica debido a su capacidad para proporcionar una alta disponibilidad, tiempos de recuperación rápidos y una gestión sencilla, lo que es esencial para garantizar que la red de telecomunicaciones funcione de manera confiable en un entorno de convergencia TI y OT con una tecnología de anillo y múltiples líneas de producción.

CAPITULO III

Este capítulo proporciona un análisis completo de la infraestructura de red de comunicación de la planta, desde su estado actual hasta la selección de protocolos y herramientas adecuadas para la simulación. Esta información es esencial para abordar de manera efectiva los desafíos y optimizar la operación de la planta.

3.1. Generalidades de la planta de producción de bebidas

La planta de producción de bebidas carbonatadas y no carbonatadas, dedicada a la distribución y venta de bebidas cuenta con una extensa red de distribución que abarca todo el territorio de Ecuador, ofreciendo una amplia gama de productos que incluyen refrescos, jugos, bebidas energéticas, agua embotellada y más.

La planta de producción de bebidas en su estado actual cuenta con una infraestructura industrial correspondiente a la Industria 3.0. Sin embargo, la planta tiene como objetivo avanzar hacia la digitalización de sus procesos industriales a través de la adopción de la convergencia TI/OT en su infraestructura de comunicación. Al aplicar esta convergencia, la empresa podrá beneficiarse de la automatización avanzada, el análisis de datos en tiempo real, el monitoreo remoto y la optimización de la cadena de suministro, entre otras ventajas.

3.2. Diagnóstico

Uno de los problemas críticos identificados en la ejecución de procesos obsoletos, lo que se traduce en una eficiencia reducida. En cuanto a la comunicación, cada línea de producción se conecta de manera independiente a la red, y la adquisición de datos se realiza manualmente a través de hojas de cálculo. Como resultado, el flujo de información carece de ser inmediato, lo que provoca retrasos en la toma de decisiones, y, en consecuencia, la generación de desperdicios significativos. En un análisis cuantitativo, se observa que, en promedio, se experimenta una demora de 2 horas en la toma de decisiones, lo que representa un impacto en la eficiencia del 15% en el proceso. Además, se ha detectado que la infraestructura de red de datos ha sido fortalecida con soluciones temporales, pero sin considerar un crecimiento futuro. En los últimos 5 años, la demanda ha aumentado en un 20%, lo que plantea preocupaciones sobre la adaptabilidad de la infraestructura a esta creciente carga de trabajo.

3.3. Requerimientos de la planta de producción

En esta sección se aborda el análisis de los requisitos de la planta de producción de bebidas para el diseño de la red. Para ello, se realizaron investigaciones, consultas y reuniones con el personal de la planta para obtener una comprensión clara de sus expectativas, carencias y objetivos con el fin de identificar las necesidades de la organización y de proporcionar una solución que satisfaga la demanda de la planta de producción de bebidas.

La planta de producción de bebidas es una embotelladora multinacional y una de las más relevantes a nivel mundial, por lo que es necesario establecer un servicio donde se cubra todas las funciones y operaciones de la planta de producción. A continuación, se detallan los requerimientos a considerar:

3.3.1 Requerimientos técnicos:

Actualmente, la planta de producción cuenta con alrededor de 25 hectáreas (250.000 metros cuadrados), lo que la convierte en una de las más grandes de Ecuador. La planta se divide en varias áreas, incluyendo el área de producción que cuenta con 9 líneas de producción, además de la sala de jarabe, oficina de mantenimiento, planta de agua y sala de soplado. De igual forma tiene el departamento de tics, de administración y logística. Tomando en cuenta lo antes descrito se puntualizan los siguientes requerimientos:

- ◇ Adquisición de la información a nivel de piso de planta conectándose a cada activo sin alterar al proceso productivo.
- ◇ Proteger el acceso a los datos y a la red.
- ◇ Garantizar la compatibilidad de los nuevos equipos con aquellos actualmente manejados por la planta de producción.
- ◇ Utilizar una plataforma para que realice el monitoreo de la información en tiempo real, presentando la misma en dashboards con una capacidad de 1.000 MIPS.
- ◇ Aplicación de protocolos.
- ◇ Ancho de banda de 1Gbps para cada línea de producción.
- ◇ Disponibilidad del 99.9%, lo que significa que se espera que la red esté operativa el 99.9% del tiempo lo que equivale a menos de 9 horas de inactividad al año.
- ◇ 95% de detección de intrusos o una reducción de riesgos del 90%.
- ◇ Al menos el 80% de los nuevos equipos deben ser compatibles.

- ◇ Tiempo de recuperación en caso de fallos de la red de 100 ms garantizaría una rápida recuperación en caso de fallos en la red.

3.3.2. Requerimiento de negocio:

Mejorar la eficiencia en la cadena de suministro: Una forma de lograr esto es mediante la integración de tecnologías avanzadas en una sola infraestructura, el objetivo es aumentar la productividad, reducir los costos de comunicación, supervisar los procesos de producción, colaborar entre los diferentes departamentos que conforman la planta y mejorar la planificación de la demanda. Además, se busca asegurar la disponibilidad y seguridad de la red para garantizar el flujo de información crítica en tiempo real. Se consideran los siguientes datos:

- ◇ Aumento de la eficiencia de producción en un 15% en el primer año.
- ◇ Reducción de costos de comunicación en un 10%.
- ◇ Colaboración interdepartamental en un 30%.
- ◇ Seguridad de la red en un 20% anual.
- ◇ Recopilación y uso de datos en dashboards del 90%.

3.3.3. Requerimientos de usuario:

Los usuarios de la red serán el personal altamente capacitado y experimentado, que incluye técnicos, administrativos y operadores de las máquinas de producción que requieren que los dispositivos industriales conectados a la red envíen sus datos a la nube. Por lo que es importante mencionar lo siguiente:

- ◇ Interconexión eficiente de los dispositivos industriales a la nube. (empleados administrativos).
- ◇ Análisis de datos en la nube que permiten al gerente tomar decisiones de manera más orientada y precisa.
- ◇ Interfaz de usuario fácil de usar.
- ◇ Conocimientos en redes industriales
- ◇ Toma de decisiones orientadas y precisas basadas en los datos recopilados y análisis en la nube.
- ◇ Gestión de proyectos de integración de tecnología y redes en una planta de producción.
- ◇ Comunicación efectiva

- ◇ Comprender los conceptos básicos de seguridad de la información y la aplicación de medidas de seguridad.
- ◇ Aprendizaje continuo.

3.3.4. Requerimientos de seguridad:

Para proteger la convergencia de la red, se debe implementar un firewall apropiado que se adapte al tipo de red de la planta de producción. Además, es fundamental considerar la capacidad de procesamiento que permita manejar de manera eficiente el volumen de tráfico generado en la red y que sea adecuado para el tamaño de esta. Esta medida de seguridad es esencial para evitar posibles amenazas y vulnerabilidades que puedan afectar la integridad y la confidencialidad de los datos transmitidos a través de la red de telecomunicaciones. Además, otra de las prácticas importantes para proteger la red es realizar la segmentación, lo que implica dividir la red en segmentos más pequeños para limitar el impacto de posibles brechas de seguridad. Cada segmento puede tener sus propias políticas de seguridad, lo que agrega una capa adicional de protección a la red de telecomunicaciones. Algunas de las vulnerabilidades y amenazas que se deben abordar incluyen:

- ◇ Ataques de acceso no autorizado
- ◇ Ataques de denegación de servicio
- ◇ Intrusiones y malware
- ◇ Fuga de datos

3.4. Diseño de la arquitectura de red de comunicación actual

La planta de producción cuenta con una arquitectura de red soportada por una topología estrella, en este contexto, los dispositivos finales están enlazados a un concentrador central exclusivo. La red actual de la planta de producción se divide en dos partes principales: la Red OT y la Red TI. La Red OT está compuesta por 9 líneas de producción, cada una de ellas con un conjunto de dispositivos industriales específicos que se encuentran conectados individualmente a la red, sin embargo, no existe una comunicación efectiva entre ellos. La Red TI es la red que pertenece al área administrativa de la planta, y esta red cuenta con un firewall para garantizar la seguridad de los datos. La Red TI se utiliza para las operaciones de oficina, navegación por internet y acceso a sistemas empresariales.

La red trabaja con el protocolo PROFINET a nivel de campo debido a que los dispositivos industriales de la planta de producción la mayoría son de la marca Siemens y están conectados por

medio de cable tipo cobre. Otro de los protocolos que utiliza la red actual es PROFIBUS, específicamente para la línea de transportadores, el cual utiliza un controlador central que permite la configuración remota de los dispositivos de campo. A continuación, se muestra a detalle el bosquejo de la topología actual:

3.4.1. Llenadora

Los dispositivos instalados en la línea de producción de llenado se encargan de recopilar datos sobre el flujo de la bebida y la precisión del llenado. En la figura 15. Podemos observar que esta etapa cuenta con 4 equipos los cuales están conectados en serie a un switch principal de 5 puertos en el puerto 2 se conecta el CPU 1214C, el TP700 Comfort se conecta al puerto 3 y por último en el puerto 4 se conecta el KTP400 Basic. El protocolo de conexión que se utiliza es PROFINET, se conecta directamente al switch principal a través de cables Ethernet. Posteriormente, se detallan en la tabla 9, 10, 11 y 12 los componentes que intervienen en la llenadora:

Tabla 9 Componentes Llenadora

Características Técnicas	
Componente	Switch Industrial 5 puertos
Descripción	Diseñado para su uso en entornos industriales, para diseñar pequeñas topologías en estrella o bus[54].
Tipo de Switch	No administrado
Cantidad de Puertos	5 puertos
Velocidades soportadas	10/100 Mbit/s
Tipo de conectores	24V CC
Alimentación	Número de conexiones eléctricas para alimentación 1, tipo de conexión eléctrica para alimentación bloque de bomes de 3 polos.
Corriente máxima	0,07 A
Temperatura en funcionamiento	-10..+60 °C

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Tabla 10 Componentes llenadora

Características Técnicas	
Componente	SIMATIC S7-1200 CPU 1214C
Descripción	Diseñado para controlar y monitorear procesos industriales[55].
Compatibilidad de energía	AC/DC/relé
Versión firmware	V4.5
E/S integradas	14 DI 24 V DC, 10 DO relé 2A y 2AI 0-10V DC
Tensión de alimentación	24V DC
Memoria	100 KB de programas/datos
Fuente de alimentación	AC 85-264 AC con 47-63 Hz
Consumo máx	1 500 mA; CPU con todos los módulos de ampliación
Entradas digitales	14; integrado
Salidas digitales	10
Interfaz	PROFINET
Entradas analógicas	2

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Tabla 11 Componentes llenadora

Características Técnicas	
Componente	SIMATIC Comfort Siemens TP700
Descripción	Panel táctil con una pantalla TFT panorámica de 7 pulgadas. Estos paneles se emplean para llevar a cabo tareas de visualización de alto rendimiento directamente en la máquina.[56].
N° colores	16777216
Consumo (valor nominal)	0,5 A
Resolución de pixeles	Resolución de imagen horizontal 800 pixel, resolución de imagen vertical 480 pixel.
Tensión de alimentación	24V DC
Manejo táctil	Analógica resistiva
Memoria	12 Mbyte
Posición montaje	Vertical
Interfaces industrial Ethernet	1; 2 puertos (switch)
Protocolos	PROFINET, PROFIBUS, Ethernet/IP, MPI, WinCC V12 o superior
Funcionamiento redundante	MRP

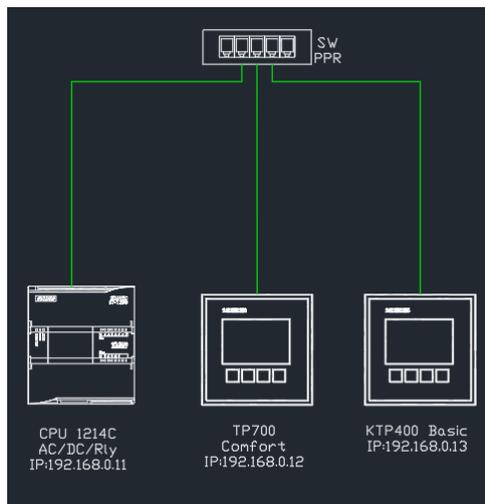
Fuente: Tabla elaborada por el autor

Tabla 12 Componentes llenadora

Características Técnicas	
Componente	SIMATIC HMI KTP400 Basic
Descripción	Panel de operador diseñado para la visualización y el control de procesos industriales[57].
Tipo de display	Pantalla TFT panorámica, retroalimentación LED
N° colores	65536
Resolución de pixeles	Resolución de imagen horizontal 480 pixel, resolución de imagen vertical 272 pixel.
Tensión de alimentación	24V DC
Manejo táctil	Analógica resistiva
Memoria	10 Mbyte
Posición montaje	Vertical
Tipo de procesador	ARM
Protocolos	PROFINET, PROFIBUS, Ethernet/IP, MPI, WinCC V14 o superior
Consumo (valor nominal)	125 mA
Funcionamiento redundante	MRP

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Figura 15 Línea de producción - Llenadora



Fuente: Imagen elaborada por el autor

3.4.2. Mixer

La etapa de mixer utiliza dispositivos de medición y control de procesos, que se comunican con los sistemas de control a través de redes de comunicación para ajustar los parámetros de producción en consecuencia. Los equipos que se encuentran detallados en la tabla 13, 14, 15 y 16:

Tabla 13 Componentes Mixer

Características Técnicas	
Componente	Switch industrial 8 puertos
Descripción	El switch industrial Ethernet Scalance XB008 es ideal para crear configuraciones en estrella y en línea de tamaño reducido. [58].
Tasa de transferencia	10 Mbit/s, 100 Mbit/s
Número de puertos	8
Grado de protección IP	IP20
Tensión de alimentación	24 V DC
Temperatura ambiente	-10...+60 °C funcionamiento, -40...+80 °C almacenamiento, -40...+80 °C transporte
Números de conexiones eléctricas para alimentación	1
Tipo de conexión eléctrica para alimentación	Bloque de bornes de 3 polos
Función/gestión, configuración	PROFINET
Corriente consumida	0, 12 A

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Tabla 14 Componentes Mixer

Características Técnicas	
Componente	TP1500 Comfort
Descripción	Diseñado para ofrecer una interfaz hombre-máquina intuitiva y fácil de usar en aplicaciones industriales interfaz PROFINET, MPI/PROFIBUS DP, Win CC Comfort V11[59].
Tipo de Display	TFT
N° de colores	16 777 216
Resolución de pixeles	Resolución horizontal 1280 pixel, resolución vertical 800pixel
Variante con pantalla táctil	Analógica resistiva
Diseño/montaje	Vertical
Tensión de alimentación	24V DC
Consumo (valor nominal)	1,5 A
Potencia	36 W
Corriente consumida	0, 12 A
Tipo de procesador	X86
Memoria	24 Mbyte

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Tabla 15 Componentes Mixer

Características Técnicas	
Componente	IM 155-6 PN ST
Descripción	Establece la conexión entre el sistema de periferia descentralizada ET 200SP y PROFINET[60].
Módulos de seguridad	Fail-safe
Módulos de periferia	32
Conexión PROFINET IO	Bus Adapter RJ45 (BA 2Xrj45)
Conectores	M12 estándar o conectores push-pull (BA 2xM12) o conexión directa del cable bus (BA 2xFC)
Tensión de alimentación	24V DC
Memoria	512 bytes de datos E/S

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Tabla 16 Componentes Mixer

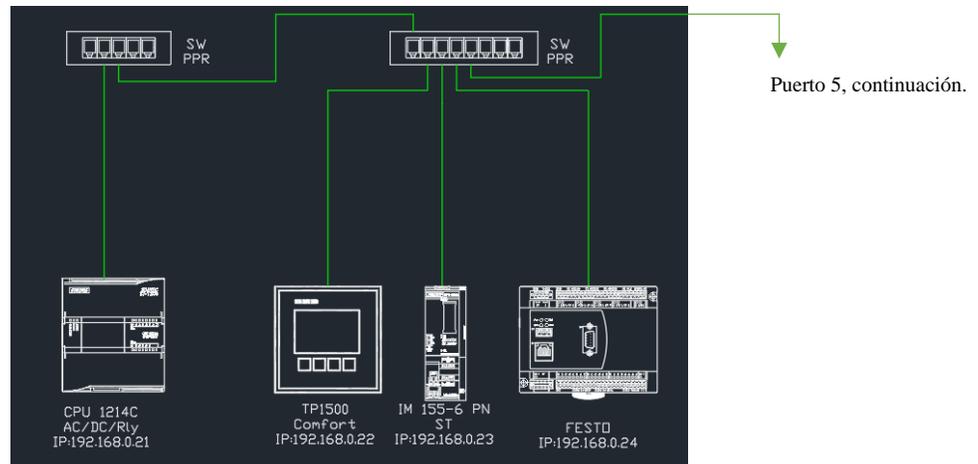
Características Técnicas	
Componente	FESTO
Descripción	Sistema de dosificación volumétrica que se utiliza para la dosificación precisa de líquidos, como los ingredientes que se mezclan para producir la bebida gaseosa. La tecnología inteligente formada por neumática, sensórica, electrónica y software permite realizar numerosas tareas de movimiento y supervisión[61].
Función de válvula	Válvula distribuidora de 2/2 vías cerrada, monoestable, muelle mecánico.
Tensión nominal de funcionamiento DC	24 V \pm 10%
Consumo máximo de potencia eléctrica	2,0 W – 1,08 W
Temperatura	Temperatura del medio 5...50 °C, temperatura ambiente 5...40 °C
Grado de protección	IP30
Presión de funcionamiento	-0,2... 0,65 bar
Fluidos de funcionamiento	Fluidos líquidos y gaseosos
Conexión de fluidos	1/4 – 28 UNF

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Las especificaciones técnicas del switch industrial de 5 puertos y del CPU SIMATIC S7-1200 1214C se detallan en la sección anterior, 3.4.1.

Como se muestra en la figura 17 el switch principal de 5 puertos se conecta al CPU 1214C a través del puerto 2. A su vez, el puerto 3 de este switch principal se conecta al switch secundario de 8 puertos. En el switch secundario, se realizan las conexiones de los demás dispositivos. En el puerto 2 del switch secundario se conecta el TP1500 Comfort, en el puerto 3 se conecta el IM 155-6 PN ST, y en el puerto 4 se conecta el equipo FESTO. Por último, el puerto 5 del switch secundario se conecta al puerto 1 del switch principal de la línea de producción de transportadores 2.

Figura 16 Línea de producción - Mixer



Fuente: Imagen elaborada por el autor

3.4.3. Transportadores 2

La etapa anterior, se conecta a la etapa de transportadores 2 por la relación de los sensores instalados en la mezcladora, como sensores de nivel, de temperatura y de presión, son capaces de medir y enviar información en tiempo real sobre las condiciones del proceso.

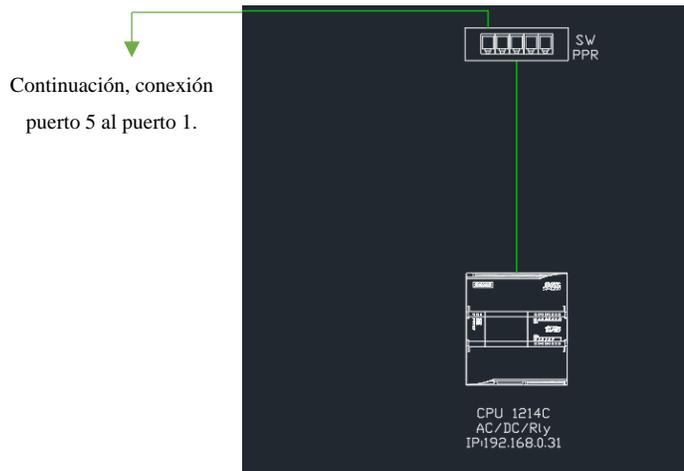
La línea de producción de transportadores 2 cuenta con dos equipos conectados en serie, el puerto 1 del switch principal está conectado al puerto 5 de la etapa anterior que es el mixer, y el puerto 3 se conecta al CPU 1214C como se contempla en la figura 18, esta conexión permite la transferencia de datos y comandos entre ambas etapas. La topología utilizada sigue siendo la de estrella, donde el switch principal es el punto central y los dispositivos se conectan directamente a él.

La utilización del protocolo de comunicación PROFINET asegura una transferencia de datos eficiente y confiable entre los dispositivos conectados en esta etapa. Los dispositivos cuentan con su dirección IP única y realizan el intercambio de datos a través de la red.

Por ello se describen los siguientes dispositivos que intervienen en esta etapa, los cuales se han detallado previamente en la sección 3.4.1:

- ◇ Switch industrial 5 puertos
- ◇ SIMATIC S7-1200, CPU 1214C

Figura 17 Línea de producción - Transportadores 2



Fuente: Imagen elaborada por el autor

3.4.4. Paletizador y Despaletizador

El paletizado se refiere a la disposición organizada y segura de las botellas o latas de bebidas en paletas para su transporte, mientras que el despaletizado es retirar los productos de las paletas para avanzar a la siguiente fase de la cadena de producción.

Como se observa en la figura 19. La red de esta parte del proceso inicia con el switch principal de 16 puertos al cual están conectados en el puerto 2 el CPU S7-1500, en el puerto 4 el ET 200MP, el TP1200 se conecta al puerto 8, en el puerto 10 se conecta el TB5002, en el puerto 12 el TB5032, luego en el puerto 14 se conecta el TB5092, en el puerto 16 se conecta el V6001 y en este equipo está conectado el V6011 seguido se conecta el V6041, así mismo se conecta el V6051 y por último el V6061 estableciendo entre ellos una conexión en línea. En el puerto 15 se encuentra conectado el V6201 el cual también realiza una conexión de forma lineal que conecta el V6211, así mismo al V6221 y en este se conecta el V6231, luego se conecta al V6241 y al final se conecta a este el V6251.

La segunda parte de la red del proceso de paletizado y despaletizado incluye los dispositivos conectados al switch secundario, el cual está conectado al puerto 6 del switch principal. En este

switch secundario, se encuentra conectado el TB5502 en el puerto 4. Además, en el puerto 6 del switch secundario se conecta el TB5532.

En cuanto a los dispositivos conectados al switch principal, en el puerto 10 se encuentra conectado el V6501. A partir de esta conexión, se establece una conexión en línea que se extiende hacia el V6511. Luego, se conecta el V6521 al V6511, y a su vez, el V6531 se conecta al V6521. Por último, el V6541 se conecta al V6531, completando así la configuración de conexión en línea.

En el puerto 12 del switch se conecta el dispositivo V6801, que a su vez está conectado de forma lineal al dispositivo V6811. A continuación, el V6811 se conecta al V6821, y este último se conecta al V6831. Posteriormente, se realiza la conexión del V6831 al V6841. Por otro lado, en el puerto 8 del switch secundario se conecta el dispositivo V6701, y este se encuentra conectado en línea con los dispositivos V6711, V6721, V6731 y V6741. Esta configuración de conexión en línea permite la transmisión de datos y comandos secuenciales entre los dispositivos en la línea de producción.

Esta etapa utiliza el protocolo de conexión PROFINET y se basa en una topología de red en estrella. En esta configuración, los dispositivos se conectan al switch principal mediante conexiones individuales que se extienden desde cada dispositivo hacia el switch central. Los componentes que intervienen en esta parte del proceso se describen en la tabla 17, 18, 19, 20, 21 y 22:

Tabla 17 Componentes Paletizador y Despaletizador

Características Técnicas	
Componente	Switch 16 puertos
Descripción	Diseñados para soportar mayores cargas de tráfico de red y mejorar la seguridad y confiabilidad de la red mediante la inclusión de características especiales, tales como redundancia de energía y protocolos avanzados de seguridad[62].
Tasa de transferencia	10 Mbit/s, 100 Mbit/s
Puertos	16
Tensión de alimentación	24V DC
Corriente máx	0,24 A
Temperatura ambiente	-40...+60 °C durante el funcionamiento, -40...+70 °C durante el almacenamiento, -40...+70 °C durante el transporte.
Función redundancia	HRP; MRP; acoplamiento standby
Grado de Protección	IP30
Forma constructiva	Compacto peso neto 1,2 kg

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Tabla 18 Componentes Paletizador y Despaletizador

Características Técnicas	
Componente	CPU S7-1500
Descripción	La CPU S7-1500 incluye múltiples interfaces de comunicación, como Ethernet, PROFIBUS, PROFINET, así como otros protocolos de comunicación industrial[63].
Tiempo de ejecución de operaciones con bits	60 ns
Memoria	150 kbytes para programa, para datos 1MB
Tensión de alimentación	24V DC
Corriente máx	0,7 A
Temperatura ambiente	
Potencia	5,5 W potencia consumida del bus de fondo, 10 W potencia alimentada en el bus de fondo.
Interfaces	PROFINET

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Tabla 19 Componentes Paletizador y Despaletizador

Características Técnicas	
Componente	ET 200MP
Descripción	Dispone de módulos I/O de SIMATIC S7-1500. Además, el diagnóstico específico por canal permite una detección rápida y precisa de fallas del proceso y, de esta manera, reduce los tiempos de inactividad del sistema[64].
Punteo de caídas de red/ de tensión	5 ms
Memoria	150 kbytes para programa, para datos 1MB
Tensión de alimentación	24V DC
Corriente máx	1 A
Bastidores	12 módulos de periferia
Potencia de alimentación al bus de fondo	14 W
Interfaces	PROFINET, redundancia del medio
Puertos	2

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Tabla 20 Componentes Paletizador y Despaletizador

Características Técnicas	
Componente	TP1200
Descripción	Panel de control con pantalla táctil de alta calidad [65].
Tipo de display	TFT
N° de colores	16 777 216
Resolución	1280 pixel horizontal, 800 pixel vertical
Manejo táctil	Analógica resistiva
Bastidores	12 módulos de periferia
Consumo (valor nominal)	0,85 A
Potencia	20 W
Tipo de procesador	X86
Memoria	12 Mbyte
Protocolos	PROFINET, IRT, PROFIBUS, Ethenet/IP, MPI, WinCC V12 o superior

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Tabla 21 Componentes Paletizador y Despaletizador

Características Técnicas	
Componente	TB5002- TB5032- TB5092- TB5502-TB5532
Descripción	Esta familia de módulos de conmutación de alto rendimiento es compatible con varios protocolos de bus de campo, como PROFIBUS y PROFINET, y se utiliza en diferentes tipos de aplicaciones industriales para mejorar la eficiencia y precisión del control de procesos[66].
Interfaz	Gigabit Ethernet (10/100/1000 Mbps)
Fabricante	Siemens
Tecnología de conmutación	Cut-through
Protocolos de red	TCP/IP, UDP, STP, RSTP, SNTP
Comunicación	1x Ethernet Gigabit, 2x USB 2.0, 1x ranura para tarjeta microSD, 1x MIPI DSI 1x MIPI CSI-2
Temperatura de funcionamiento	-40 a 85 C
Alimentación	12 a 48 V CC
Capacidad de conmutación	10 Gbps
Tasa de reenvío	10 Mpps
Latencia de conmutación	1us

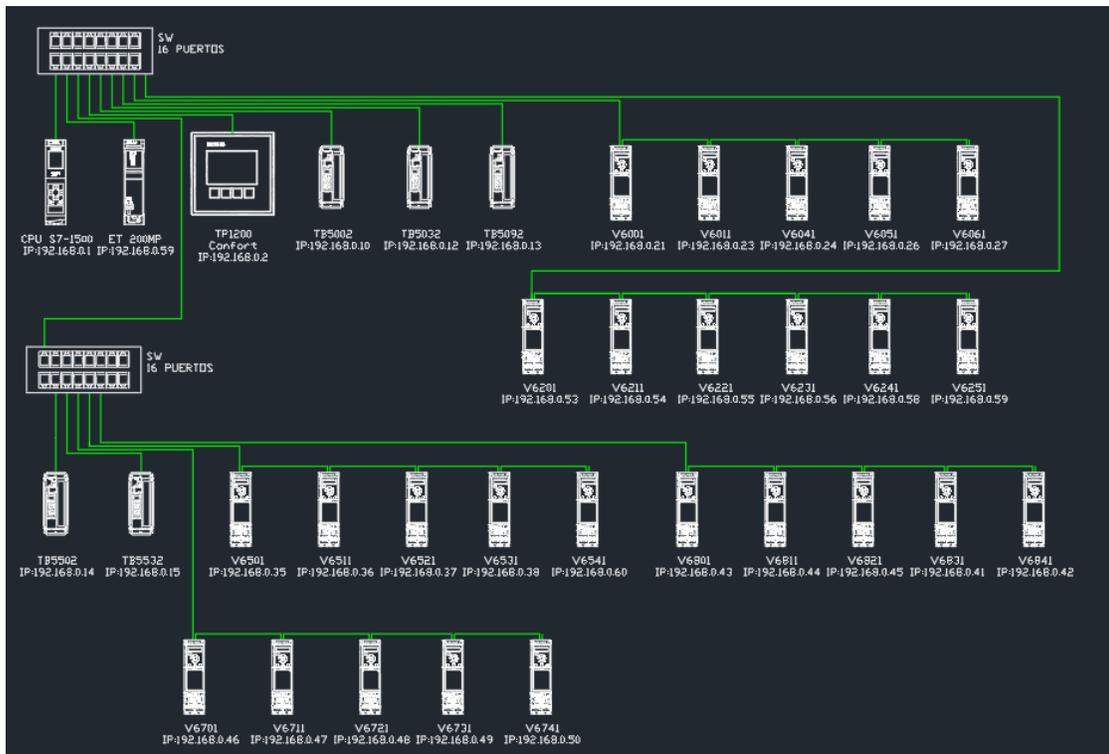
Fuente: Tabla elaborada por el autor

Tabla 22 Componentes Paletizador y Despaletizador

Características Técnicas	
Componente	V6001-V6011-V6041-V6051-V6061- V6201- V6211- V6221- V6231- V6241- V6251-V6501-V6511- V6521- V6531-V6541- V6801- V6811- V6821- V6831- V6841- V6701- V6711- V6721- V6731- V6741
Descripción	Familia de productos de Siemens conocida como Sinamics comprende una variedad de convertidores de frecuencia y accionamientos utilizados en sistemas de automatización industrial para controlar la velocidad y mejorar la eficiencia energética en procesos productivos[67].
Tipo de dispositivo	Convertidor de señales
Rango de temperatura de funcionamiento	-40 a 85 °C
Alimentación	12 a 48 V CC
Rango de frecuencia	Entrada 40 a 400 Hz, Salida 0 a 400 Hz
Corriente	0 a 100 A
Rango de tensión entrada y salida	0 a 1000 V
Potencia de salida	0,5 a 250 kW

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Figura 18 Línea de producción - Paletizador y Despletizador



Fuente: Imagen elaborada por el autor

3.4.5. Transportadores

Los sensores y dispositivos de detección en los transportadores envían señales a los controladores de lógica programable (PLC) para que puedan tomar decisiones en tiempo real sobre el movimiento y la ubicación de las botellas o latas a lo largo de la línea de producción.

En la figura 19. Se observa que esta etapa consta de 5 equipos, utiliza una conexión de red PROFIBUS. En este tipo de configuración, cada dispositivo se conecta al siguiente, formando una línea continua o también llamada topología de línea. Cada equipo en la red PROFIBUS tiene una dirección única asignada, lo que permite una comunicación precisa e individualizada entre los dispositivos.

La conexión en cadena es una forma eficiente de interconectar los equipos de la etapa de transportadores, ya que simplifica la instalación y reduce la cantidad de cables necesarios. Los dispositivos que intervienen en esta fase se detallan en la tabla 23, 24, 25 y 26:

Tabla 23 Componentes Transportadores

Características Técnicas	
Componente	ET200M DP:4
Descripción	Este equipo de periferia modular cuenta con un nivel de protección IP 20[68].
Puertos	2 para comunicación PROFINET
Módulos máx	12
Dispositivos compartidos en controladores IO	2
Protocolos	MRP, IRT
Comunicación en tiempo real	Isócrona
Suministro de voltaje de carga	24 V CC
Mayor flexibilidad	Ideal para aplicaciones con requisitos cambiantes
Mejora de la productividad	Fácil instalación y configuración para aumentar la productividad

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Tabla 24 Componentes Transportadores

Características Técnicas	
Componente	Acoplador DP:7
Descripción	El acoplador DP/DP es un módulo de enlace que permite la conexión de dos redes PROFIBUS DP, alimentación de corriente[69].
Fabricante	Siemens
Módulos máx por unidad base	64
Conexiones de comunicación	2 puertos PROFINET
Protocolos	MRP, IRT
Comunicación en tiempo real	Isócrona
Suministro de voltaje de cargo	24 V CC
Funciones de diagnóstico	Varias, incluyendo errores de módulo, cortocircuitos, fallo de bus
Cambio en caliente de módulo E/S	Compatible

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Tabla 25 Componentes transportadores

Características Técnicas	
Componente	ET Descapsulador DP:20
Descripción	Funciona como un acoplador que facilita la transmisión de datos entre dos segmentos de la red PROFIBUS DP, proporciona alimentación redundante para mejorar la disponibilidad del sistema y minimizar los tiempos de inactividad[70].
Fabricante	Siemens
Clase de protección	IP20
Dimensiones	120x64x40 mm
Protocolos	MRP, IRT
Consumo de energía	80 mA
Rango de temperatura de operación	-20 a 60 °C
Transmisión de datos	12 Mbps
Peso	0,5 kg

Fuente: Tabla elaborada por el autor

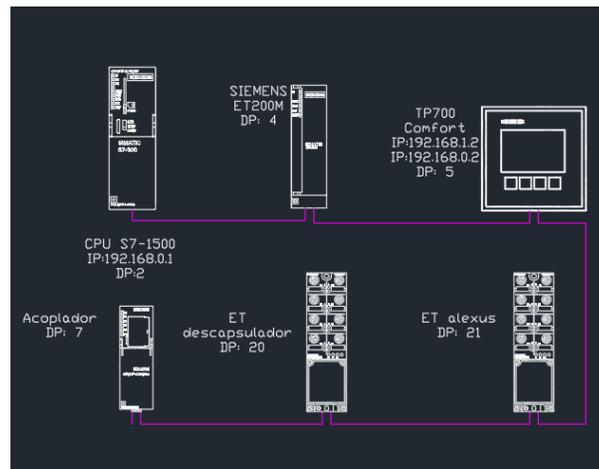
Tabla 26 Componentes Transportadores

Características Técnicas	
Componente	ET Alexis DP:21
Descripción	Detección de compuestos extraños en botellas recargables capaz de detectar una amplia gama de compuestos. La interfaz de usuario basada en Windows facilita la configuración y calibración del sistema, permite a los operadores monitorear los conteos de rechazos, historial de producción, estado del sistema y parámetros del sistema[71].
Procesador	4 a 8 núcleos
Memoria	2 GB a 4 GB de RAM
Almacenamiento	16 GB o 32 GB
Pantalla	5 o 6 pulgadas
Cámara	Frontal 2MP o 5MP, trasera 8MP o 13MP
Resolución	1280x720

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Los equipos, CPU S7-1500 y TP700 Comfort, tienen sus especificaciones técnicas completas disponibles en la sección 3.3.4 y 3.4.1, respectivamente. En dichas secciones, se proporcionan todos los detalles necesarios acerca de estas componentes.

Figura 19 Línea de producción - Transportadores



Fuente: Imagen elaborada por el autor

3.4.6. Lavadora

El proceso que comprende la lavadora va después de que se verifique con el sistema Alexis que los contenedores son actos, en esta etapa se realiza de la limpieza y desinfección de las botellas o latas antes de ser llenadas. Como se muestra en la figura 20. La red utilizada en esta etapa cuenta con un switch principal de 8 puertos, cuyos detalles se pueden encontrar en la sección 3.4.2 del documento. En el puerto 2 de este switch se conecta el CPU S7-1200, del cual se puede obtener información detallada en la sección 3.4.1. Además, en el puerto 5 se conecta el TP 700 Comfort,

cuyos detalles también están disponibles en la sección 3.4.1. El ET periferia de descarga se conecta al puerto 3, mientras que el ET periferia de señales analógicas se conecta al puerto 4. La conexión utilizada en esta línea de producción es PROFINET con una topología en estrella. A continuación, en la tabla 27 y 28 se describen los componentes que participan en la etapa de lavado:

Tabla 27 Componentes lavadora

Características Técnicas	
Componente	ET periferia descarga
Descripción	Como uno de los sistemas de periferia descentralizada más utilizados, debido a que ofrece la ventaja de colocar los módulos de entrada/salida en la ubicación más adecuada para su funcionamiento[72].
Suministro de voltaje	24 V CC
Consumo de energía	20 W por estación
Rango de temperatura de operación	-25 a 60 °C
Dimensiones	120x64x40 mm por estación
Peso	0.5 kg
Protocolos de comunicación	PROFIBUS DP, PROFINET y Ethernet/IP

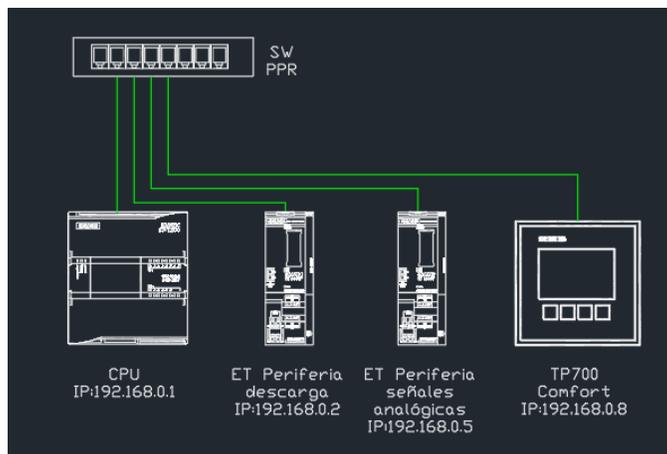
Fuente: Tabla elaborada por el autor

Tabla 28 Componentes lavadora

Características Técnicas	
Componente	ET periferia señales analógicas
Descripción	Capaz de supervisar y regular señales analógicas, tales como la temperatura y la presión. Esto permite obtener información precisa y en tiempo real, lo que es utilizado para mejorar la calidad y la eficiencia del producto[72].
Tipo de módulo	Analógicos
Número de canales	4
Rango de voltaje de entrada	0-10 V
Rango de corriente de entrada	0-20 mA
Resolución	12 bits
Alimentación	24 V CC
Consumo de energía	2 W
Temperatura	-25 a 60 °C

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Figura 20 Línea de producción - Lavadora



Fuente: Imagen elaborada por el autor

3.4.7. Encajonadora

En esta etapa, las botellas o latas llenas son agrupadas y colocadas en cajas para su transporte y distribución. En la figura 21 se representa la topología de conexión utilizada en esta etapa, la cual es en forma de estrella y se emplea el protocolo PROFINET para la comunicación entre los dispositivos.

Entre los equipos que intervienen en esta etapa se encuentran los siguientes y se detallan en la tabla 29:

Tabla 29 Componentes Encajonadora

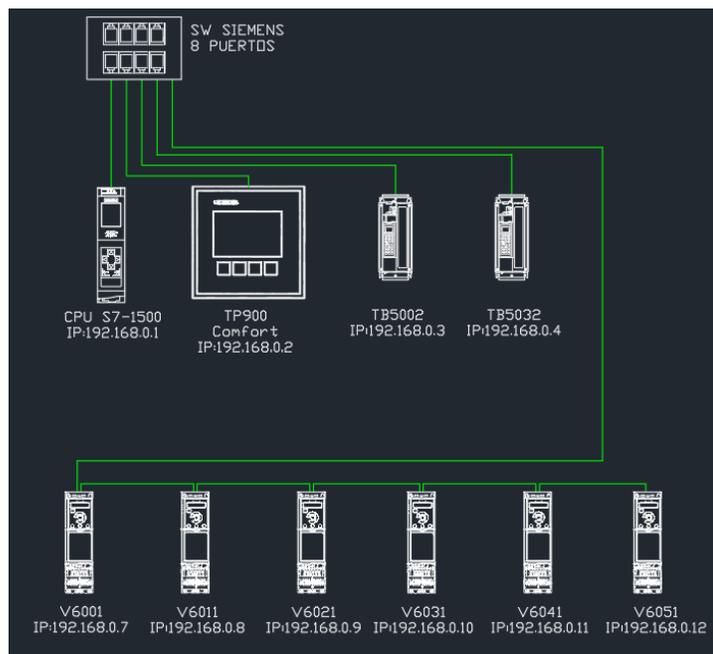
Características Técnicas	
Componente	TP900 Comfort
Descripción	Se conecta al puerto 4 del switch principal. Diseñada para aplicaciones de automatización industrial para llevar a cabo tareas de visualización de alto rendimiento directamente en la máquina[73].
Tamaño de la pantalla	12.1 pulgadas
Resolución	1280x800 píxeles
Memoria	2GB de RAM, 4GB de almacenamiento
Interfaces	Ethernet, PROFINET
Software	WinCC Comfort
Temperatura	0 a 55 °C
Dimensiones	324x206x70 mm
Peso	3.5 kg

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Los equipos clave de esta etapa incluyen el switch principal de 8 puertos, el CPU S7-1500, los módulos de entrada/salida TB5002 y TB5032, y los convertidores V6001-V6011-V6021-V6041-V6051. El switch

principal esta descrito en la sección 3.4.2, actúa como el núcleo de la red de comunicaciones, proporcionando conectividad. El CPU S7-1500, detallado en la sección 3.4.1, controla y supervisa las operaciones de agrupamiento y embalaje. Los módulos de entrada/salida TB5002 y TB5032, con información técnica en la sección 3.4.4, capturan datos de sensores y envían comandos a actuadores para un control preciso del proceso. Los convertidores V6001-V6011-V6021-V6031-V6041-V6051, conectados a puerto 7 del switch principal, controlan la velocidad y posición de la maquinaria. La sección 3.4.4 proporciona detalles completos sobre estos equipos.

Figura 21 Línea de producción - Encajonadora



Fuente: Imagen elaborada por el autor

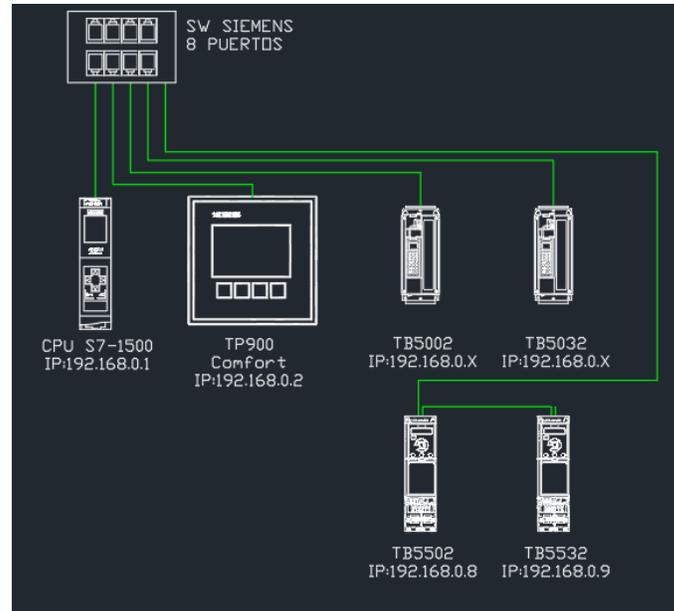
3.4.8. Desencajonadora

En esta etapa del proceso, se realiza la tarea de desencajonado de los productos embotellados, como las botellas, que son retirados de los contenedores o cajas en los que se transportan.

En la figura 22 se representa la configuración de los equipos utilizados en esta etapa. Estos equipos incluyen un switch principal de Siemens con 8 puertos, cuyos detalles se encuentran en la sección 3.4.2. Además, se utilizan los siguientes equipos que han sido mencionados anteriormente en la sección 3.4.4: el CPU S7-1500, que se conecta al switch principal en el puerto 2; el TB5002, que se conecta al puerto 6; el TB5032, que se conecta al puerto 8; el TB5502, que se conecta al puerto 7 y a este el TB5532; y el TP900 Comfort, que se conecta al puerto 4.

La conexión utilizada en esta etapa es PROFINET, protocolo de comunicación que garantiza una transmisión confiable de datos y comandos. La topología utilizada es en forma de estrella, donde cada equipo se conecta directamente al switch principal.

Figura 22 Línea de producción - Descapajonadora



Fuente: Imagen elaborada por el autor

3.4.9. Descapsulador

En la etapa de descapsulador, que es una parte crucial del proceso de producción de bebidas, se lleva a cabo la remoción de los tapones de las botellas antes de ser llenadas con la bebida. Esta tarea se realiza típicamente mediante el uso de una máquina descapsuladora automatizada que utiliza pinzas y cuchillas para retirar los tapones de las botellas de manera precisa.

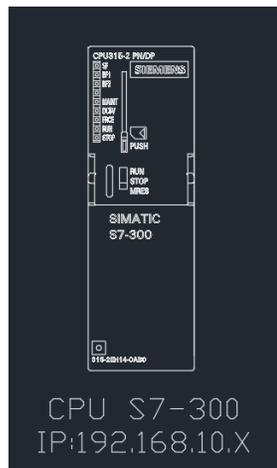
El equipo principal utilizado en esta etapa es el CPU S7-300, que desempeña un papel fundamental en el control y la gestión de la etapa de descapsulación. Este equipo se encarga de controlar y coordinar las operaciones de la máquina descapsuladora, asegurando que los tapones se retiren de manera adecuada y oportuna. Es importante tener en cuenta que, en la descripción proporcionada en la figura 23, el CPU S7-300 actualmente trabaja de manera independiente y no está interconectado con otros procesos. Esto significa que su función principal se limita al control y la gestión de la etapa de descapsulador sin una comunicación directa con otros equipos o etapas del proceso de producción. A continuación, se describe a detalle el equipo de la etapa descapsulación en la tabla 30:

Tabla 30 Componentes Descapsulador

Características Técnicas	
Componente	CPU S7-300
Descripción	Unidad central de procesamiento utilizada en los sistemas de automatización industrial de Siemens. Es ideal para los campos que requieren optimización en la productividad, en los procesos de construcción y líneas de producción[74].
Fuente de alimentación	24 V DC
Memoria	128 KB trabajo, 256 KB programa, 32KB datos
Número de interfaces de comunicación	2 (1xRS-485, 1x RS-232)
Interfaces	PROFINET, Ethernet,
Instrucciones por ciclo	45
Condiciones ambientales	0 a 55 °C
Retardo de instrucción máxima	0.15 us

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Figura 23 Línea de producción - Descapsulador



Fuente: Imagen elaborada por el autor

3.4.10. Alexis

El proceso de envasado incluye la etapa de inspección, donde se utiliza la máquina inspeccionadora Alexis. Esta máquina desempeña una función crucial al realizar una inspección minuciosa de las botellas para identificar posibles defectos en su forma, tamaño o etiquetado antes de que sean selladas y envasadas.

Como se observa en la figura 24 su falta de conexión directa con otros equipos y procesos en la línea de producción puede presentar limitaciones en términos de integración de datos,

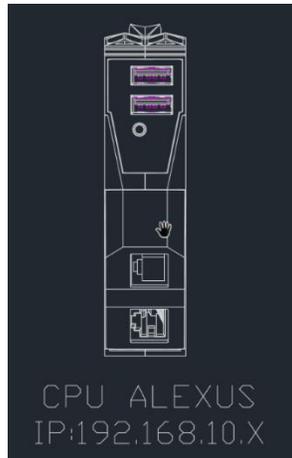
coordinación y sincronización, optimización del proceso y supervisión centralizada. A continuación, se detallan las especificaciones técnicas en la tabla 31:

Tabla 31 CPU Alexis

Características Técnicas	
Componente	CPU ALEXUS
Descripción	La máquina inspeccionadora Alexis trabaja con un CPU Alexis de forma independiente en la red de telecomunicación, aunque la máquina inspeccionadora Alexis puede llevar a cabo sus funciones de inspección de manera autónoma [75].
Tipo de procesador	Multinúcleo
Memoria	16 GB de RAM
Almacenamiento	SSD de 512 GB
Interfaces	PROFINET, Ethernet,
S.O	Windows 10 Enterprise
Interfaces de comunicación	Ethernet, PROFINET,USB
Velocidad de reloj	2.3 GHz

Fuente: Tabla elaborada por el autor

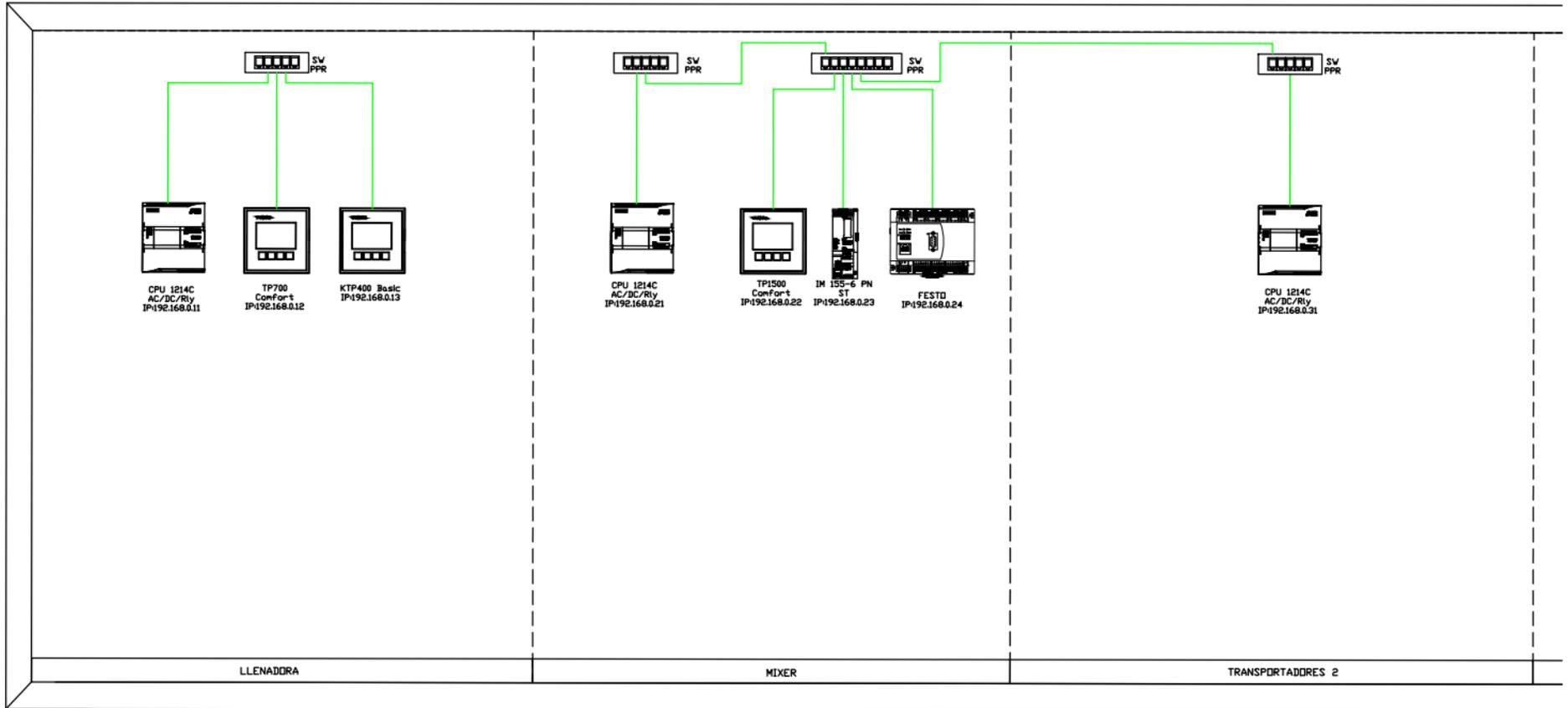
Figura 24 Línea de producción - Alexis



Fuente: Imagen elaborada por el autor

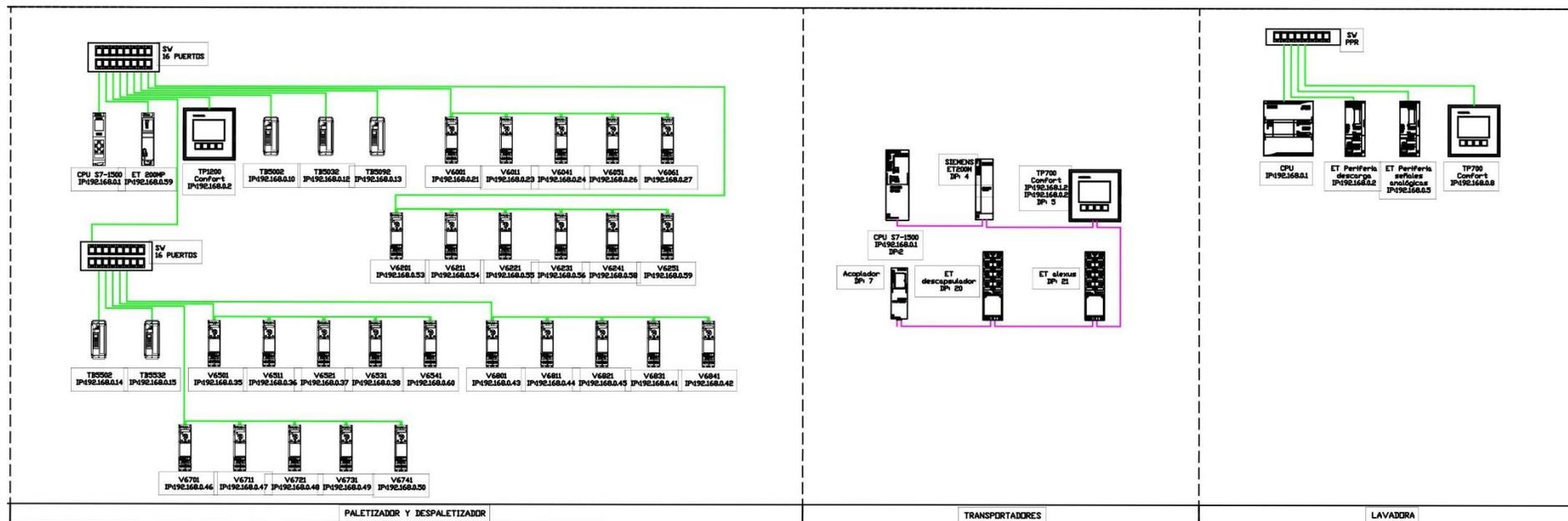
Después de describir en detalle las etapas y los dispositivos utilizados en la arquitectura actual de la planta de producción de bebidas, a continuación, se muestra el diagrama general en las figuras 25, 26 y 27:

Figura 25 Arquitectura red actual de la planta - parte 1 continuación



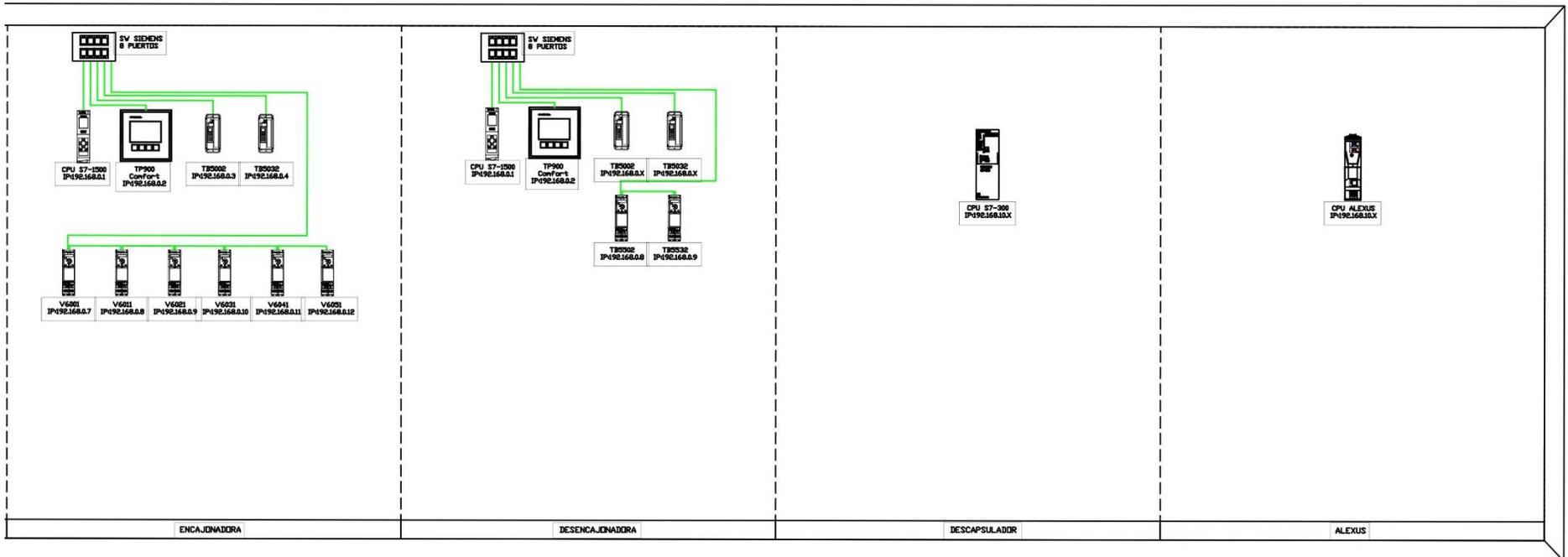
Fuente: Imagen elaborada por el autor

Figura 26 Arquitectura red actual de la planta - parte 2 continuación



Fuente: Imagen elaborada por el autor

Figura 27 Arquitectura red actual de la planta - parte 3



Fuente: Imagen elaborada por el autor

3.5. Diseño de la planimetría

La planimetría es una práctica esencial para crear representaciones visuales y detalladas de una ubicación específica. En la industria de las bebidas carbonatadas y no carbonatadas, su aplicación se centra en plasmar los procesos de producción, la disposición de equipos y la distribución de áreas de trabajo. Esto proporciona una gestión y organización óptimas de la planta, lo cual se traduce en una mayor eficiencia y productividad. Además, la planimetría resulta invaluable para identificar posibles riesgos y áreas de mejora en la instalación contribuyendo así a incrementar la seguridad y reducir los costos de mantenimiento.

En el ámbito de las telecomunicaciones, la planimetría juega un papel fundamental en la planificación y el diseño de redes. Al ofrecer una visión detallada de la disposición física de los componentes de la red, brinda una comprensión más clara de su estructura y configuración. Esta perspectiva resulta especialmente valiosa al identificar interferencias potenciales, puntos débiles o cuellos de botella en la infraestructura de las telecomunicaciones.

Área y Perímetro

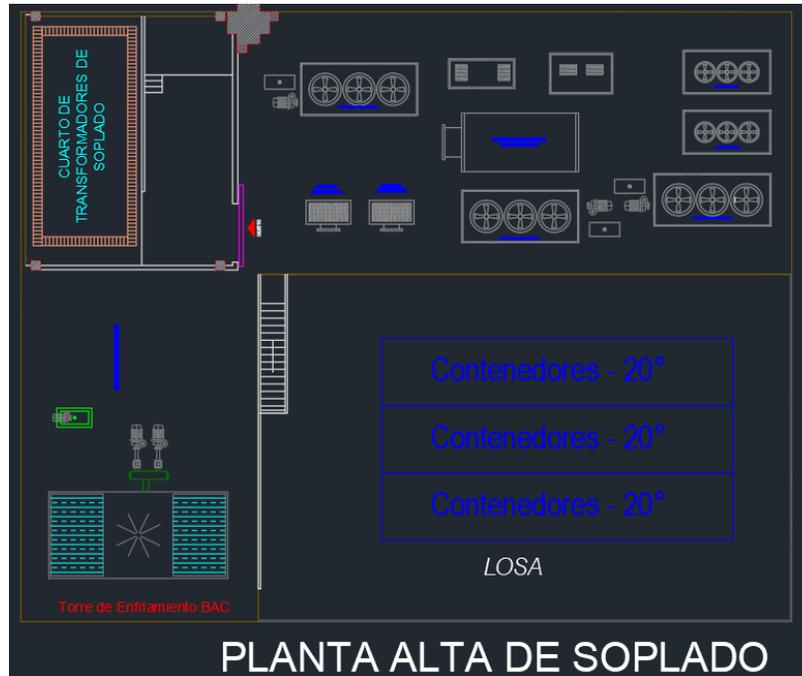
La planta de producción de la empresa embotelladora de bebidas se compone de un área total de 49.922.86 m² y un perímetro: 965.06 m.

A continuación, se describe cada sección del diseño del plano:

3.5.1 Planta alta de soplado

La figura 28 muestra la configuración de la planta de soplado, la cual está compuesta por múltiples elementos, incluyendo tres contenedores con una temperatura constante de -20°, cinco torres de enfriamiento BAC, una sala de transformadores de soplado, un extractor de aire para la sala de compresores, un chiller SIPA 16 y un chiller EVO 12.

Figura 28 Planta alta de soplado

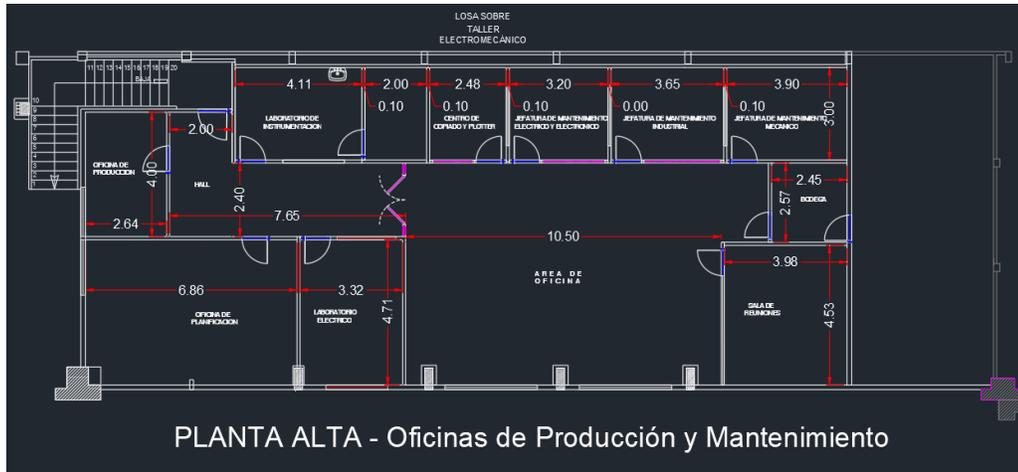


Fuente: Imagen elaborada por el autor

3.5.2 Planta alta - Oficinas de producción y mantenimiento

La figura 29 representa la planta que alberga las oficinas de los departamentos de producción y mantenimiento, conformada por diversas áreas. El área de oficina tiene medidas de 10.5 m de ancho por 4.71 m de largo. Además, encontramos una sala de reuniones de 3.98 m de ancho por 4.53 m de largo, una bodega de 2.45 m de ancho por 2.57 m de largo, un laboratorio eléctrico de 3.32 m de ancho y 4.71 m de largo, una oficina de planificación de 6.86 m de ancho por 4.71 m de largo, una oficina de producción de 2.64 m de ancho por 4 m de largo y un pasillo o vestíbulo de 2 m de ancho por 4 m de largo. También existe un pasillo frente al laboratorio eléctrico y al área de oficina, que mide 17.68 m de ancho por 2.4 m de largo. En el otro extremo del pasillo se encuentra el laboratorio de instrumentación, con dimensiones de 4.11 m de ancho por 3 m de largo. Junto a él, hay una sala de 2 m de ancho por 3 m de largo, seguida por un centro de copiado y plotter de 2.48 m de ancho por 3 m de largo. En el mismo lado, se encuentran las oficinas de la jefatura de mantenimiento eléctrico y electrónico, con medidas de 3.65 m de ancho por 3 de largo, y la oficina de la jefatura de mantenimiento mecánico, que tiene un tamaño de 3.90 m de ancho por 3 m de largo.

Figura 29 Planta alta Oficinas de producción y mantenimiento



Fuente: Imagen elaborada por el autor

3.5.3 Planta alta Of. Bodega de Materia prima

En el área representada en la figura 30 se encuentra destinado el almacenamiento y gestión de los insumos necesarios para la fabricación de los productos de la empresa. Aquí se lleva a cabo la recepción, almacenamiento y supervisión de los materiales y productos químicos utilizados en el proceso de producción.

Figura 30 Of. Bodega materia prima, planta alta



Fuente: Imagen elaborada por el autor

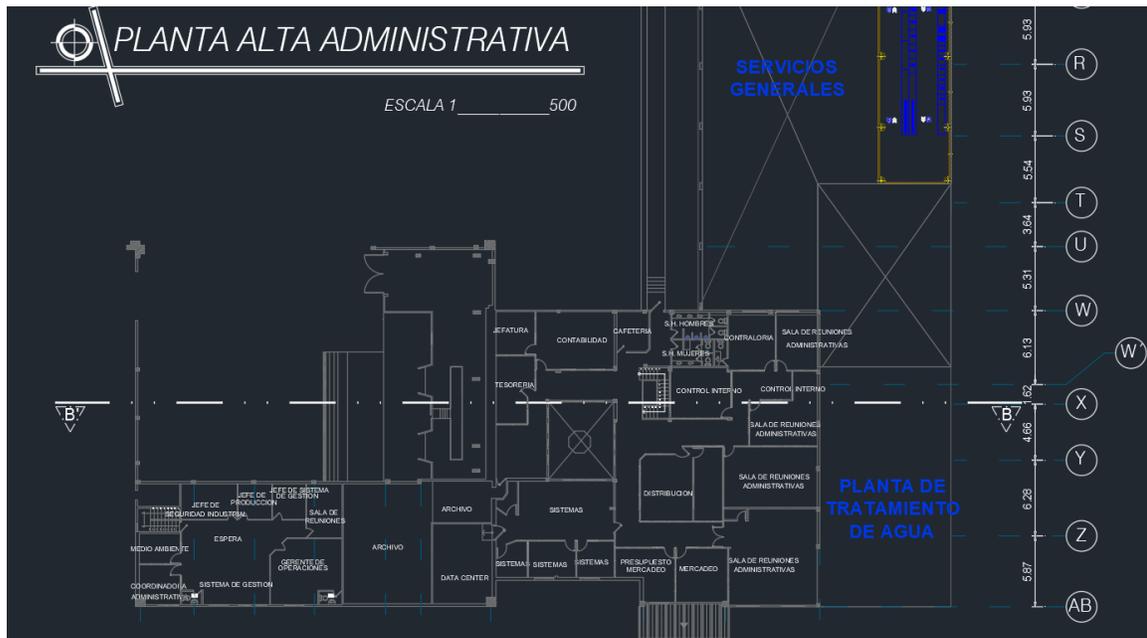
3.5.4 Planta alta área de servicios generales

En el área de servicios generales, tal como se muestra en la figura 31, se ubican componentes clave para el funcionamiento de la instalación. En primer lugar, destaca la presencia del PLC central, que desempeña un papel fundamental en el control y monitoreo de los diferentes sistemas y equipos presentes en la instalación, además, se disponen de dos espacios adicionales destinados a tableros.

3.5.6 Planta alta administrativa

La planta en cuestión presenta una variedad de áreas y oficinas, como se puede apreciar en la figura 33. Se incluyen cuatro salas de reuniones administrativas, el departamento de mercadeo, el área de presupuesto de mercadeo, cuatro salas del departamento de sistemas y un centro de datos. Además, se cuenta con dos áreas de archivo, un espacio para el sistema de gestión y una sala de espera con un baño. Las oficinas del gerente de operaciones, medio ambiente, coordinadora administrativa, jefe de seguridad industrial, jefe de producción y jefe del sistema de gestión también se encuentran en el lugar. En el área de operaciones, hay una sala de reuniones y un espacio dedicado a la distribución. Además, se dispone de un área para el control interno y una oficina de contraloría de control interno con baño propio. Los baños generales están separados en baños para hombres y mujeres. Los baños para hombres cuentan con tres urinarios, tres lavabos y dos inodoros, mientras que los baños de mujeres tienen dos inodoros, dos lavabos, un mostrador. Asimismo, se incluyen un área de cafetería una oficina de contabilidad, una oficina de jefatura y una oficina de tesorería. En el mismo piso, se encuentra la planta de tratamiento de agua, con dimensiones de 20.05 m, de largo por 10 m de ancho. Además, se cuenta con un área de servicios generales que alberga dos PLC centrales y dos espacios para tableros, así como un espacio para bomba BGS, una bomba BGR y un generador TEG-1.

Figura 33 Planta alta administrativa

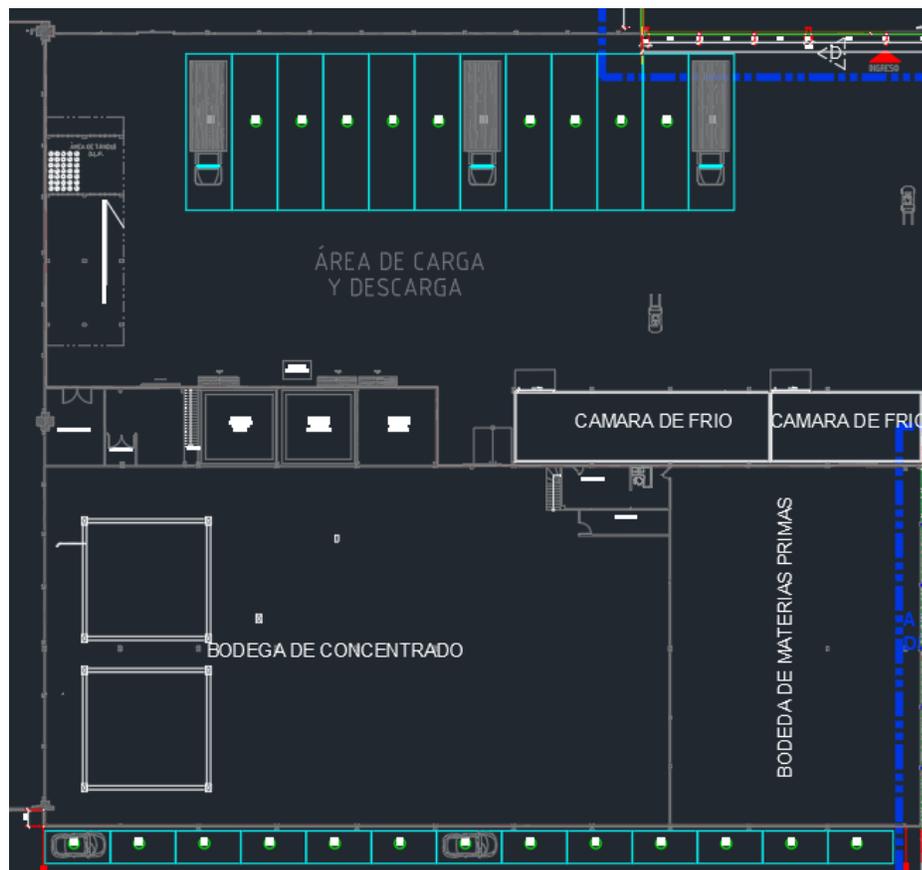


Fuente: Imagen elaborada por el autor

3.5.7 Planta Baja general

La planta baja en su conjunto tiene una longitud de 334 m y un ancho de 150 m. Esta área ha sido dividida en cuadrantes para lograr una mejor organización y diseño del plano. En la figura 34 se puede apreciar el primer cuadrante, el cual se encuentra distribuido entre varias áreas funcionales. Se incluye la bodega de concentrado, un espacio para la carga y descarga de doce camiones, la bodega de materia prima, dos cámaras frigoríficas, un área designada para los casilleros, la bodega de productos químicos ácidos, la bodega de productos químicos inflamables, la bodega de productos químicos oxidantes, un espacio destinado al ventilador y al transformador. Además, se ha provisto una ducha de emergencia, en cumplimiento de las normas de seguridad para trabajar con productos químicos, y se ha cercado un área con mallas para el tanque de G.L.P., garantizando así la seguridad en su entorno.

Figura 34 Primer cuadrante, planta baja general.

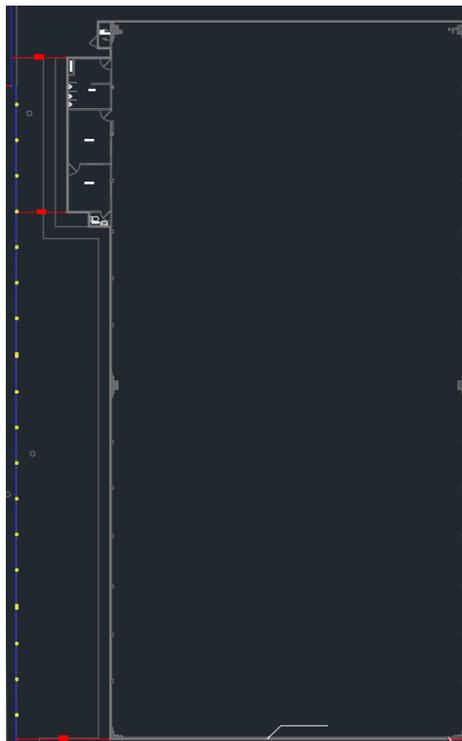


Fuente: Imagen elaborada por el autor

En la figura 35 se muestra el segundo cuadrante, que se encuentra adyacente al área de carga y descarga. Este cuadrante está compuesto por dos oficinas, cada una de ellas equipada con su propio baño interno que incluye lavamanos para mayor comodidad y funcionalidad. Además de estas oficinas, en esta área se encuentra un conjunto de baños públicos con sus respectivos lavamanos, asegurando que las instalaciones cumplan con las necesidades de higiene y servicio tanto para el personal como para visitantes.

En las cercanías de estos espacios, se identifica la ubicación estratégica de una sala eléctrica especializada, esta sala desempeña un papel crucial al brindar suministro y control de energía eléctrica necesario para el funcionamiento eficiente de toda el área. Su presencia asegura una gestión eficaz de la energía, garantizando así la operatividad continua y segura de las instalaciones.

Figura 35 Segundo cuadrante, planta baja general.

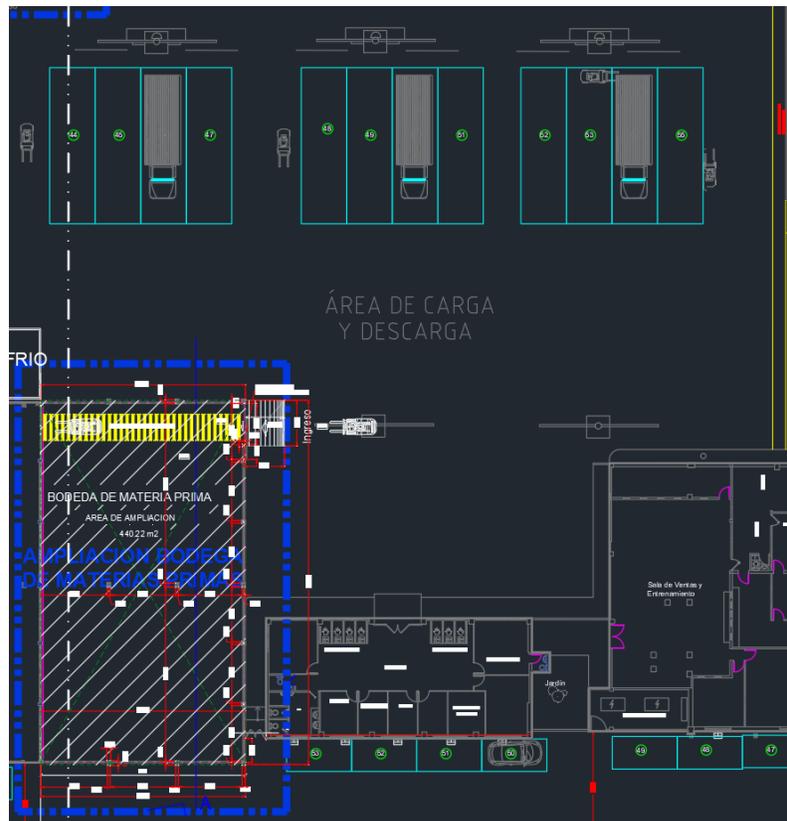


Fuente: Imagen elaborada por el autor

En el tercer cuadrante, como se muestra en la representación de la figura 36, se encuentran diversos elementos. Hay un jardín, una oficina para el gerente de ventas, una oficina para el coordinador de mercadeo, una sala de ventas, un área de logística, un cuarto para las claves y una recepción. Además, se incluyen siete cubículos para los supervisores de ventas y nueve espacios de

estacionamiento para vehículos. También se ha previsto un cuarto de transformadores, una sala para ventas y entrenamiento, cuatro oficinas para la junta administrativa y dos espacios adicionales para asistentes, que cuentan con un baño equipado con lavabo. En el área de ventas, se ubican un cuarto para la bomba, dos vestuarios y baños, dos bodegas, seis duchas, ocho baños, siete urinarios, un dispensador y un espacio designado para la carga y descarga de doce camiones.

Figura 36 Tercer cuadrante, planta baja general.

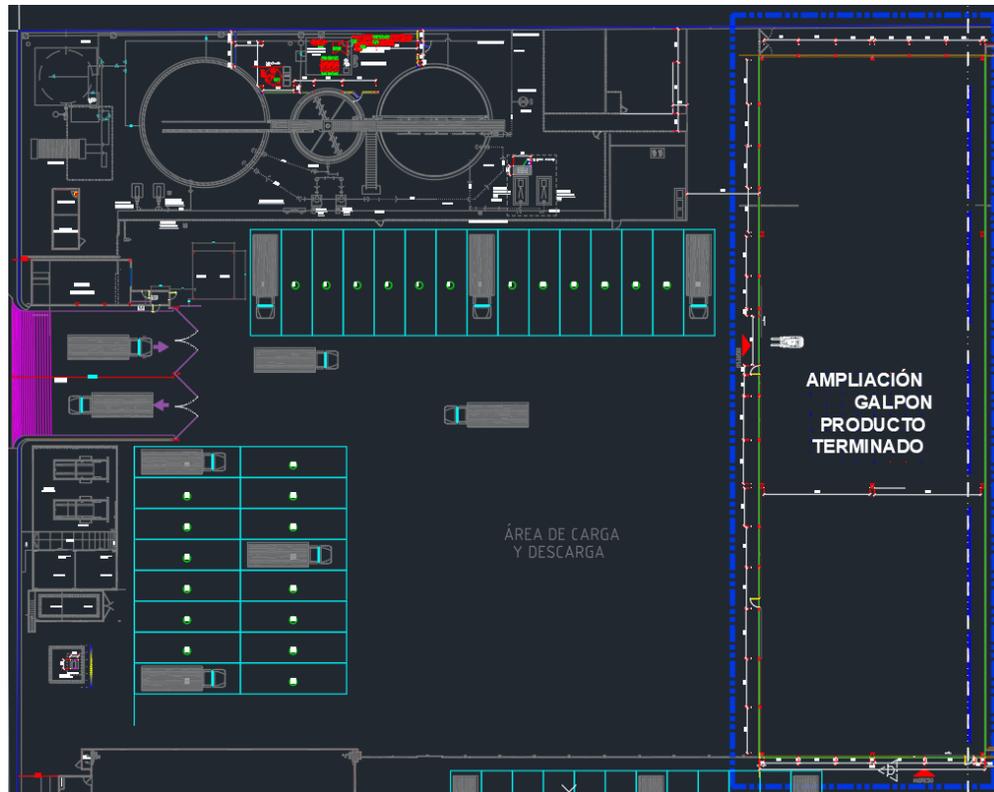


Fuente: Imagen elaborada por el autor

El cuarto cuadrante, como se puede apreciar en la representación de la figura 37, consta de varias áreas y elementos. Hay un espacio designado para el surtidor de gasolina y diésel, adyacente a una zona con paredes metálicas y una reja. Junto a estas áreas, se encuentran dos espacios con paredes metálicas que cuentan con puertas metálicas corredizas, una rampa de 18.30 m para la entrada y otra para la salida. También se incluyen un taller automotriz, un banco de transformadores, un laboratorio, un espacio para el generador, un espacio para dos sopladores del digestor y cuatro espacios para los equipos de producción. Estos últimos comprenden un tanque pulmón de 5000 litros, una trampa de grasa, una cisterna de agua recuperada para la limpieza, un laboratorio de aguas

residuales, dos paneles de control y tanque elevado. Asimismo, se encuentran dos bombas, dos sopladores de aire y un panel de control para los sopladores. Por último, se ha destinado un espacio para la futura ampliación del galpón de productos terminados.

Figura 37 Cuarto cuadrante, planta baja general.



Fuente: Imagen elaborada por el autor

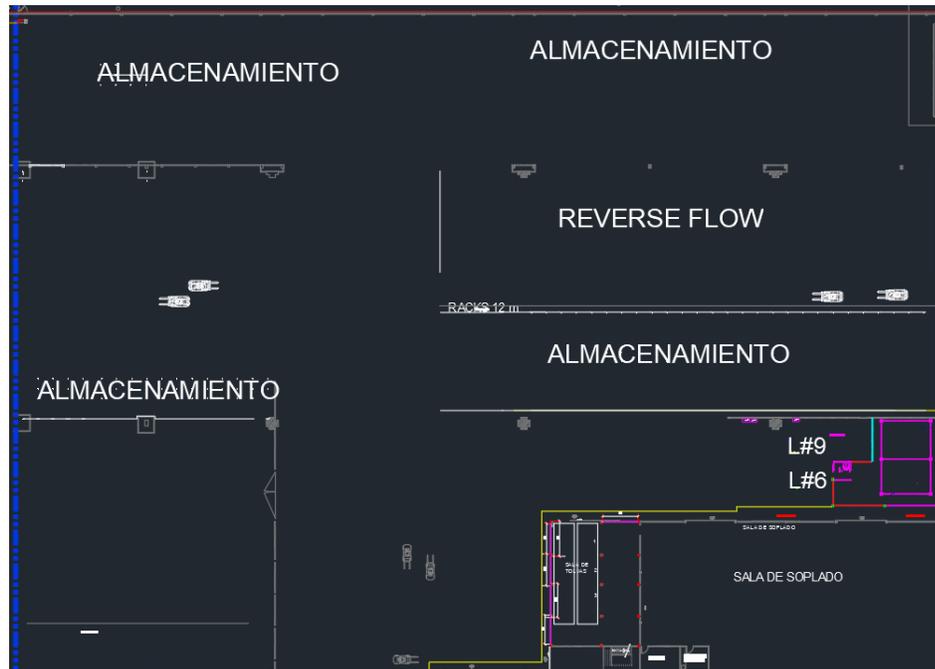
En el quinto cuadrante, conforme se detalla en la descripción de la figura 38, se distinguen cinco áreas destinadas al almacenamiento de productos, junto con una zona específicamente dedicada al proceso de Reverse Flow. En este diseño, se ha incorporado un espacio especialmente reservado para la línea número 9, con la inclusión de una línea linker que facilita de manera eficiente la transferencia de productos a lo largo de esta línea.

En este mismo sector, se sitúa la línea número 6, una sala de soplado y una sala de tolvas, componentes esenciales para el funcionamiento de las operaciones. Además, se ha dispuesto convenientemente la oficina de la jefatura, asegurando una administración efectiva y un rápido acceso a la toma de decisiones en el área.

Destacando aún más la atención al detalle, se ha incorporado un laboratorio de soplado en este quinto cuadrante, lo que garantiza un control riguroso de la calidad y procesos relacionados con

el soplado de productos. Esta combinación de áreas de almacenamiento, espacios especializados y zonas de gestión contribuyen en conjunto a la eficiencia y operatividad integral de esta sección.

Figura 38 Quinto cuadrante, planta baja general.



Fuente: Imagen elaborada por el autor

En el sexto cuadrante, se encuentra una sala de compresores, una bodega industrial y una planta de tratamiento y purificación de agua que cuenta con un laboratorio. Además, en este espacio se destina un área específica para el almacenamiento de nitrógeno. Cabe destacar que esta planta de agua está asociada a la línea 8, tal como se evidencia en la figura 39.

Figura 39 Sexto cuadrante, planta baja general.



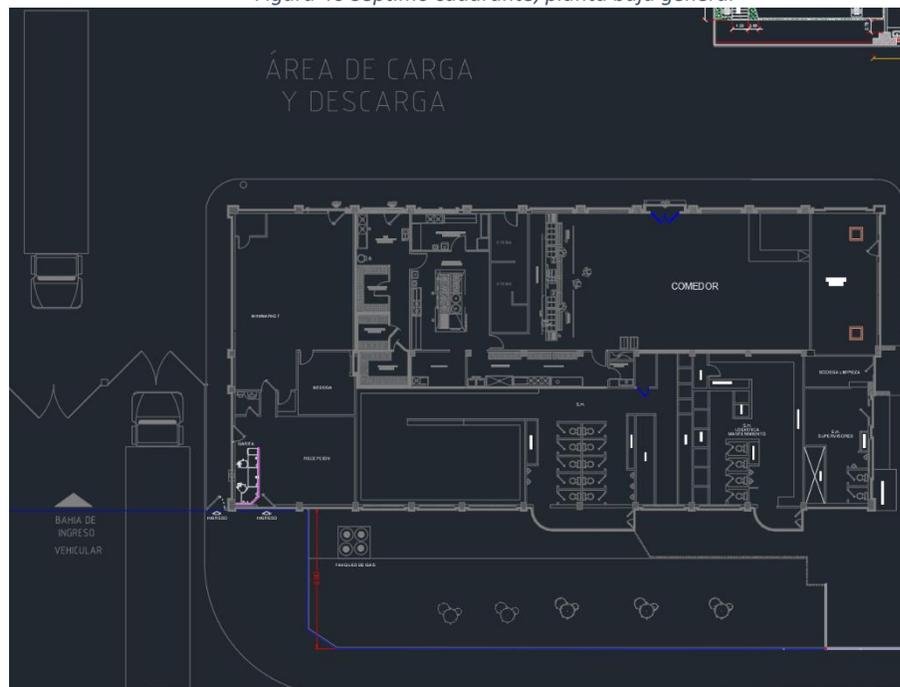
Fuente: Imagen elaborada por el autor

El séptimo cuadrante presenta una distribución detallada en la figura 40. En esta zona, se incluye una bahía para ingreso vehicular, un área designada para cargar y descarga, así como una

garita que cuenta con un cuarto de recepciones, una bodega, un minimarket y una zona de recepción para la clasificación y saneado de productos. Además, se dispone de una báscula, una bodega ambiental para productos secos, una cámara frigorífica de congelación, una cámara frigorífica de refrigeración y diferentes áreas para la preparación de alimentos calientes, una zona de pastelería, una zona de lavado de ollas, un espacio para desperdicios y una zona de lavado de vajillas.

En este cuadrante también se encuentran dos oficinas adyacentes, un comedor que incluye una zona de servicio, un cuarto para almacenar químicos y utensilios de limpieza. Además, se disponen de servicios higiénicos para logística y mantenimiento, que incluyen duchas, casilleros, bodegas, lavamanos y baños, junto con una bodega de limpieza. También se encuentran servicios higiénicos para los supervisores, que cuentan con lavamanos, baños, duchas y un cuarto para bombas. El cuadrante, incluye una zona de estacionamiento capaz de acomodar hasta nueve vehículos, un encantador espacio ajardinado que realza el entorno visual y una acera que promueve la seguridad y comodidad de los usuarios.

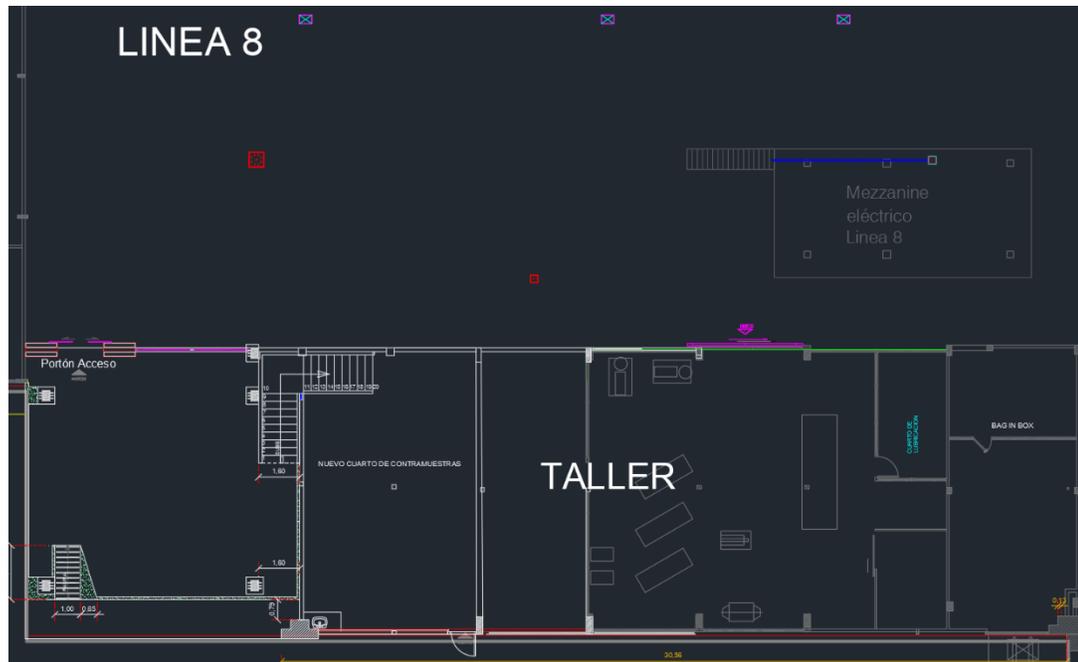
Figura 40 Séptimo cuadrante, planta baja general



Fuente: Imagen elaborada por el autor

El octavo cuadrante, representado en la figura 41, incluye diversas instalaciones y elementos. En este espacio, se encuentra un portón de acceso y una rampa, así como un cuarto destinado a las contramuestras. Además, se encuentra el taller, el cual alberga equipos y cuenta con un cuarto específico para la lubricación. También se dispone de un espacio designado para el “bag in box”, así como un mezzanine eléctrico correspondiente a la línea 8. Por último, se encuentra un área destinada a los equipos de producción de la línea 8.

Figura 41 Octavo cuadrante, planta baja general



Fuente: Imagen elaborada por el autor

El noveno cuadrante, tal como se presenta en la figura 42, constituye el epicentro de la producción al albergar las operaciones de las líneas 1,2,3,4,5 y 8. En este espacio estratégico, se destacan los paneles eléctricos correspondientes a la línea 1, junto con una unidad de llenado que desempeña un papel esencial en el proceso. Además, las líneas moradas en el plano indican la proyectada ubicación de los paneles eléctricos de la línea 5, lo que subraya la planificación meticulosa de la disposición.

Asimismo, en este sector incluye el tablero de control de la línea 4, lo que permite una supervisión eficaz y un control preciso de sus operaciones. Complementando esta configuración, se ha reservado un área específica destinada a los paneles eléctricos de las líneas 2, 3, 7 y 2 del

mezanine, lo que garantiza una distribución y acceso óptimos a las instalaciones eléctricas de estas líneas de productivas.

Figura 42 Noveno cuadrante, planta baja general



Fuente: Imagen elaborada por el autor

En la figura 43 se puede apreciar el décimo cuadrante, que abarca diversas áreas funcionales. Entre ellas se encuentra una bodega de azúcar, una sala de jarabe, una sala de reuniones, la oficina del director comercial y una oficina para los asistentes. También se encuentran tres áreas generales y dos salas dedicadas a la coordinación de selección y capacitación. Además, se encuentran tres cuartos de archivos, una oficina del jefe de capital humano y diversas salas de coordinación y administración de personal. Destaca la oficina de gerencia de talento humano, que cuenta con un baño equipado con lavamanos. Asimismo, en este cuadrante se ubican los servicios higiénicos, los cuales están divididos en dos secciones. La sección para caballeros cuenta con dos baños y tres urinarios. Por último, se encuentra el área de CIP, donde se lleva a cabo el proceso de retorno de glicol.

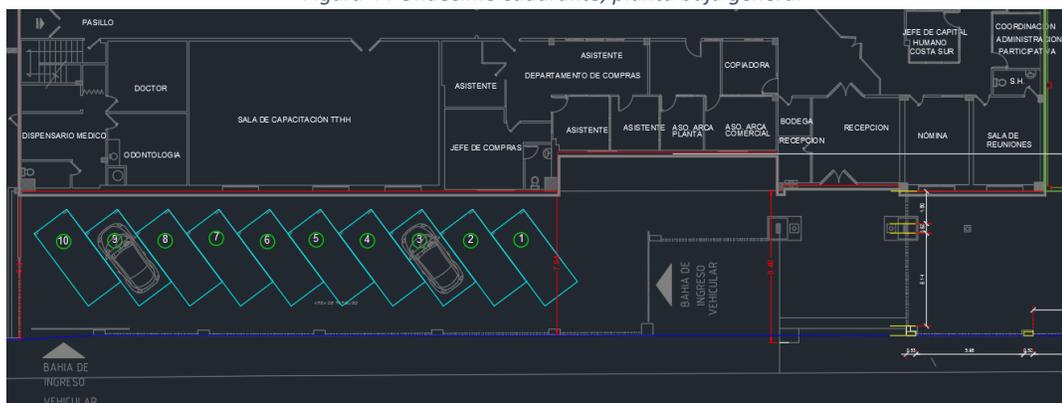
Figura 43 Decimo cuadrante, planta baja general



Fuente: Imagen elaborada por el autor

En el undécimo cuadrante, se encuentra una serie de áreas y oficinas de relevancia. Destaca el dispensario médico, el cual alberga la oficina del doctor y un área dedicada a la odontología. Asimismo, se encuentra la sala de capacitación de talento humano, la oficina del jefe de compras y tres oficinas para los asistentes. También se incluye el departamento de compras, una oficina para la asesoría de la planta y otra para la asesoría de la parte comercial. Además, se encuentran el cuarto de fotocopiado, la bodega, el cuarto de recepción y el cuarto de nóminas. Se dispone de una sala de reuniones con un baño interno y la sala de coordinación de administración participativa. También se incluye la oficina del jefe de capital humano. El cuadrante con un área de parqueo con capacidad para diez vehículos, un espacio de acera y una bahía de ingreso vehicular, como se aprecia en la figura 44.

Figura 44 Undécimo cuadrante, planta baja general



Fuente: Imagen elaborada por el autor

La figura 45 muestra el duodécimo cuadrante, donde se ubica la planta de embasamiento, un componente fundamental en el proceso de envasado de productos. Junto a esta planta, se encuentra el panel de control, encargado de supervisar y controlar los diferentes equipos y sistemas en esta área. Además, se encuentra un laboratorio de calidad que desempeña un papel crucial en el control y aseguramiento de la calidad de los productos.

En la figura también se puede observar la línea morada, que representa la proyección de la cubierta y el cerramiento de malla, que delimita y asegura el espacio. Estos elementos contribuyen a garantizar un entorno adecuado y seguro en el duodécimo cuadrante.

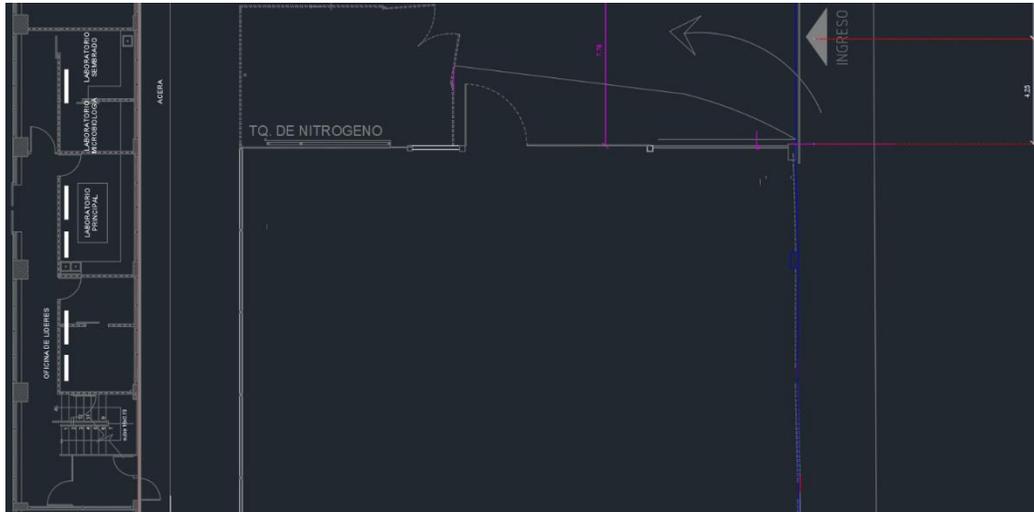
Figura 45 duodécimo cuadrante, planta baja general



Fuente: Imagen elaborada por el autor

En la figura 46 se presenta el décimo tercer cuadrante, el cual engloba diferentes áreas importantes. En este cuadrante, se encuentran el laboratorio de siembra, el laboratorio de micología y el laboratorio principal, espacios fundamentales para el análisis y estudio de muestras. Además, se destina un área específica para los tanques de nitrógeno, necesarios para el almacenamiento adecuado de este elemento. Asimismo, en este cuadrante se encuentra la oficina de los líderes, la cual se distingue por contar con una pared de yeso, brindando un espacio de trabajo privado. La distribución y disposición de estas áreas de detallan ofreciendo una visión clara de la organización del décimo tercer cuadrante.

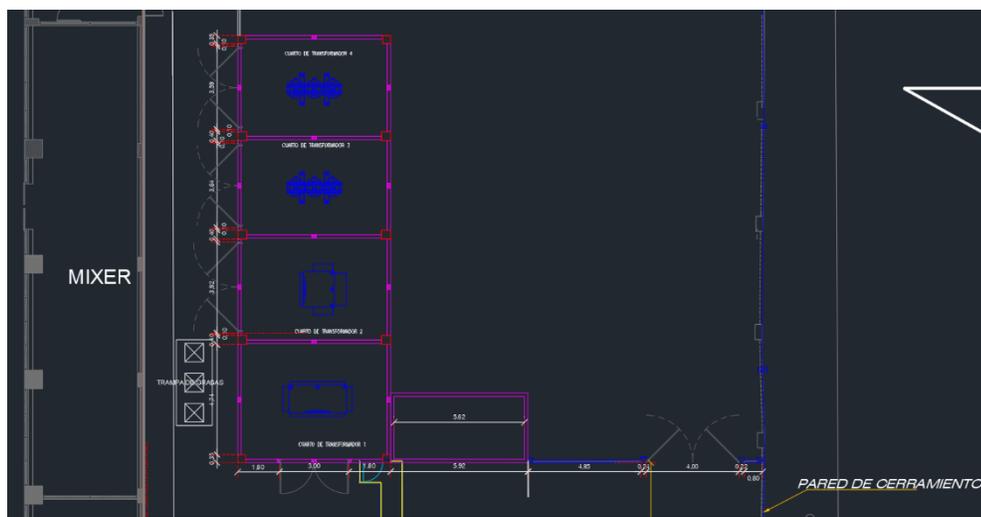
Figura 46 Décimo tercer cuadrante, planta baja general



Fuente: Imagen elaborada por el autor

El décimo cuarto cuadrante se caracteriza por la presencia de diferentes elementos clave. Este cuadrante alberga cuatro cuartos de transformadores, los cuales desempeñan un papel fundamental en el suministro y control de la energía eléctrica. Además, se encuentra un mixer o máquina de mezclado, utilizado en los procesos de producción, y una trampa de grasa, encargada de capturar los residuos y mantener la higiene adecuada. Es importante mencionar que este cuadrante está delimitado por una pared de cerramiento, brindando seguridad y protección a las instalaciones. La representación visual en la figura 47 permite apreciar con mayor detalle la disposición de estos elementos en el décimo cuarto cuadrante.

Figura 47 Décimo cuarto cuadrante, planta baja general

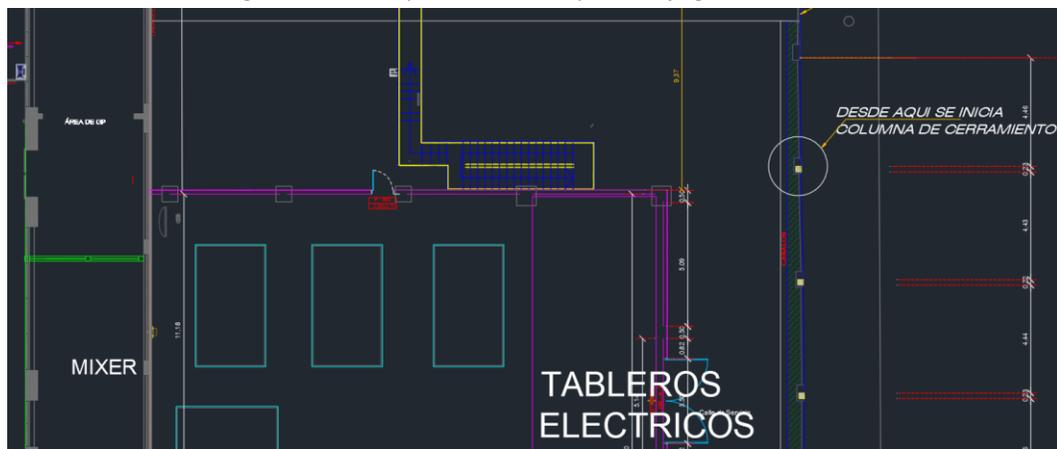


Fuente: Imagen elaborada por el autor

El décimo quinto cuadrante se caracteriza por la presencia de elementos esenciales en su composición. En este espacio se encuentran el área de tableros eléctricos y otro mixer, los cuales desempeñan funciones importantes en el suministro y control de la energía eléctrica, así como en los procesos de mezclado y producción. También se dispone de un espacio destinado a las canaletas, que permiten la organización y distribución de cables y conexiones.

Además, se observa una calle de servicio que facilita la circulación y acceso a diferentes áreas. Este cuadrante marca el inicio de la columna de cerramiento, que delimita y protege el perímetro de la instalación. La figura 48 ofrece una representación visual detallada de la disposición y distribución de estos elementos en el décimo quinto cuadrante.

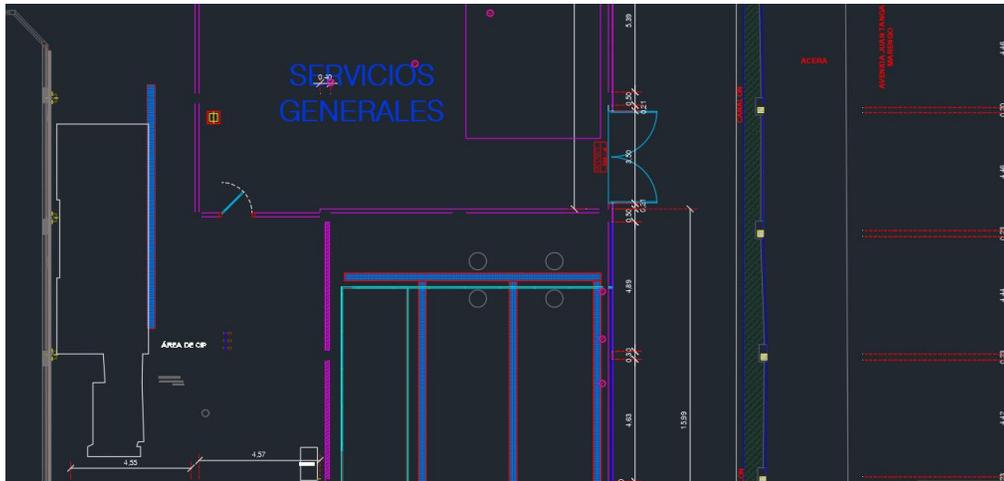
Figura 48 Décimo quinto cuadrante, planta baja general



Fuente: Imagen elaborada por el autor

En la figura 49 se muestra el décimo sexto cuadrante, que cuenta con diversos elementos. En primer lugar, está el área de servicios generales, encargada del soporte y mantenimiento de la instalación. Aquí se brindan los servicios necesarios para el funcionamiento adecuado de la planta. También se encuentra el área de calderos, donde se generan vapor y calor para el proceso de producción. Se destaca una acera para garantizar la seguridad peatonal en el área, facilitando la movilidad del personal. Por último, se mencionan los canales, diseñados para recolectar y drenar las aguas pluviales, evitando problemas de inundación.

Figura 49 Décimo sexto cuadrante, planta baja general



Fuente: Imagen elaborada por el autor

Después de detallar minuciosamente la disposición de la planta de producción, a continuación, se exhiben las representaciones visuales generales en las figuras 50 y 51. Estas imágenes proporcionan una visión panorámica y completa de la disposición de la planta, permitiendo una comprensión visual más amplia y efectiva de la distribución y organización espacial de las instalaciones.

Figura 50 Plano general parte interna de la planta de producción

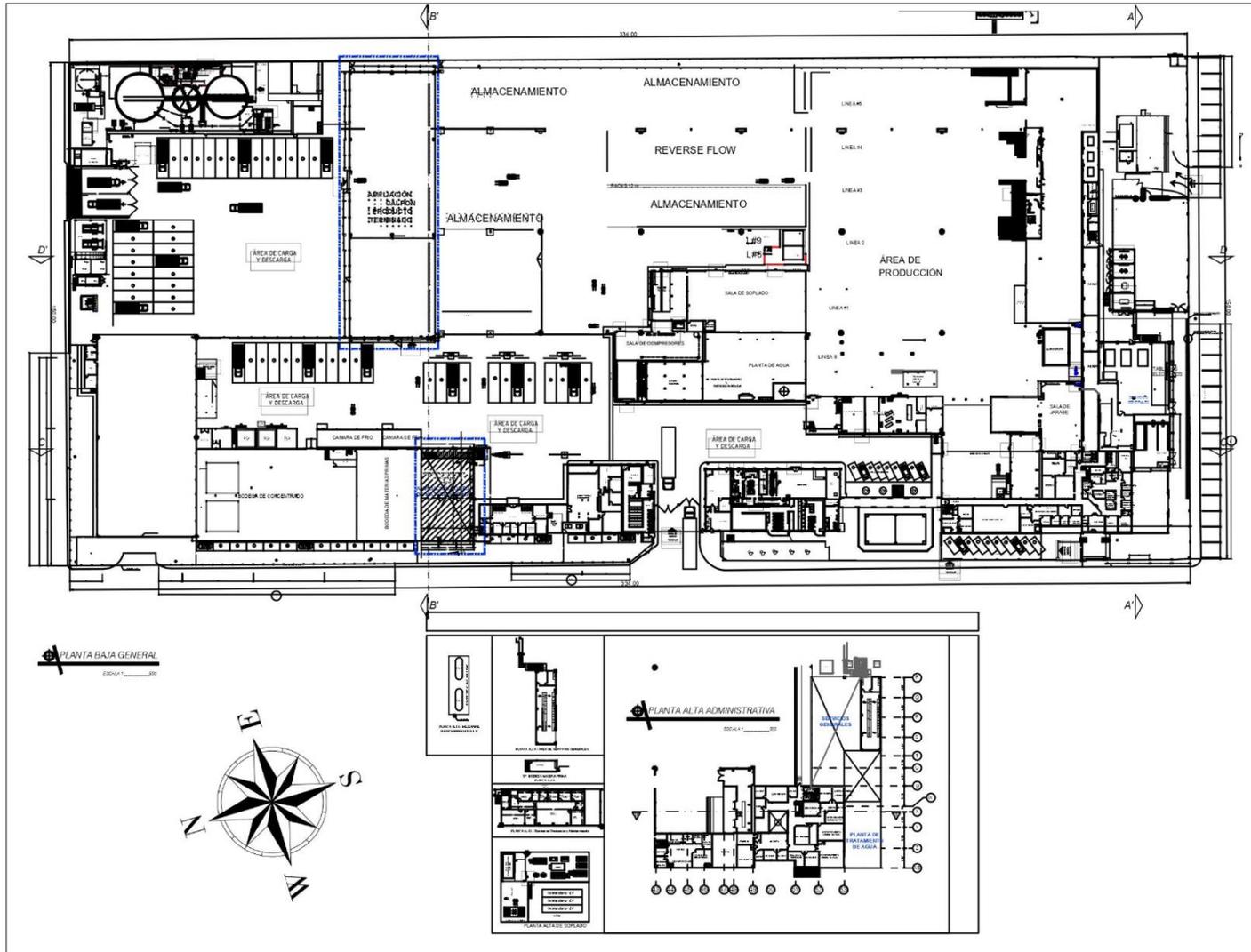
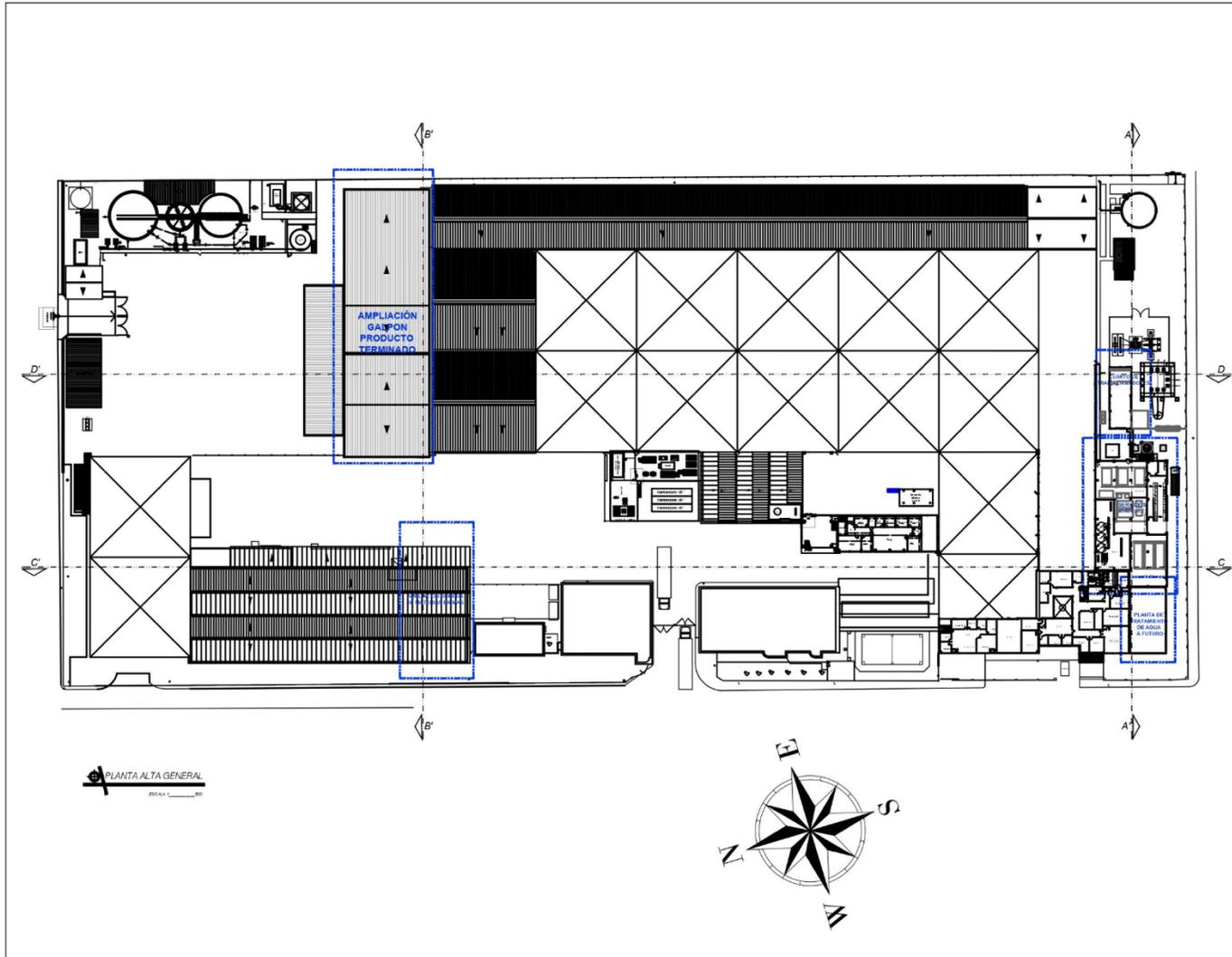


Figura 51 Plano general parte externa de la planta de producción



Fuente: Imagen elaborada por el autor

3.6 Selección de la herramienta de simulación

Hay varios simuladores disponibles para visualizar y simular redes. Cada uno tiene características únicas que se pueden adaptar a las necesidades y objetivos específicos de la red. Al evaluar las opciones, es importante considerar la representación precisa de protocolos y la capacidad de ajustar parámetros clave. Estos factores ayudarán a elegir el simulador más adecuado para lograr una representación precisa de la red en diversos escenarios.

Al evaluar las características presentadas en la tabla 32 de los diversos simuladores de redes, GNS3 y Cisco Packet Tracer emergen como opciones apropiadas. Sin embargo, debido a ciertas limitaciones de GNS3, la elección se inclina hacia Cisco Packet Tracer en este contexto particular. GNS3, aunque ofrece una amplia flexibilidad y profundidad técnica, requiere imágenes ISO de cada elemento de red, muchas de las cuales son de pago. Además, la complejidad aumenta considerablemente frente a la necesidad de 1014 elementos en la red. Estas limitaciones pueden dificultar la viabilidad de utilizar GNS3 de manera efectiva. Como alternativa, se ha optado por Cisco Packet Tracer, que a pesar de trabajar exclusivamente con equipos Cisco, presenta menos obstáculos en términos de disponibilidad de imágenes y complejidad de configuración. Con el fin de garantizar resultados imparciales, se emplearán dispositivos cuyas características de red se asemejen de manera notable a los equipos propuestos.

Tabla 32 Comparativa simuladores de red

Características	Simuladores de red			
	GNS-3	OPNET	QualNet	Cisco Packet Tracer
Tipo	Open source	Comercial	Comercial	Educativo
Plataformas soportadas	Linux, Windows, macOS	Windows, macOS, Linux, Solaris	Windows, macOS, Linux, Solaris	Windows, macOS, Linux
Tipos de redes	Cableado, inalámbrico	Cableado, inalámbrico	Cableado, inalámbrico	Cableado, inalámbrico[76]
Protocolos	TCP/IP, UDP, protocolos de enrutamiento, etc.[77]	TCP/IP, UDP, protocolos de enrutamiento, etc.[78]	TCP/IP, UDP, protocolos de enrutamiento, etc.[79]	TCP/IP, UDP, protocolos de enrutamiento, etc.[80]

Modelos de movilidad	Waypoint aleatorio, Gauss-Markov, etc.	Waypoint aleatorio, Gauss-Markov, etc.[78]	Waypoint aleatorio, Gauss-Markov, etc.	Waypoint aleatorio, Gauss-Markov, etc.
Herramientas de visualización	Animación, rastreo, etc.	Modelador OPNET	Visualizador QualNet	Interfaz gráfica de usuario
Facilidad de aprendizaje	Fácil de aprender	Difícil de aprender	Fácil de aprender	Fácil de aprender
Costo	Gratis	Pagado	Pagado	Gratis para estudiantes
Facilidad de uso	Necesita de las imágenes ISO de los elementos de la red/ compleja [77]	Difícil	Fácil de usar	Fácil/ limitaciones con los equipos con licencia

Fuente: Tabla elaborada por el autor

3.7 Selección del protocolo de enrutamiento de la simulación

La elección del protocolo de enrutamiento constituye un aspecto crítico y fundamental en el proceso de diseño de la infraestructura de red, dado que dicho protocolo determina la dirección y el flujo de los datos a través de la red. Este factor incide en la eficiencia operativa, la capacidad de escalabilidad y la integridad de la seguridad de la red. Cabe destacar que cada protocolo de enrutamiento presenta características y ventajas particulares.

En la elección del protocolo de enrutamiento, se considera tres aspectos esenciales: en primer lugar, el tamaño sustancial de la red, que exige un protocolos de enrutamiento capaz de gestionar una infraestructura de gran envergadura de manera eficiente; en segundo lugar, la redundancia de la red, que implica la implementación de medidas que garanticen la continuidad y la confiabilidad de la conectividad, reduciendo al mínimo los tiempos de inactividad; y, finalmente, la planificación para el crecimiento futuro.

Tabla 33 Ventajas y desventajas de los protocolos de enrutamiento

Protocolo de enrutamiento	Descripción	Ventajas	Desventajas
RIP	(Routing Information Protocol) Protocolo de enrutamiento de vector distancia que intercambia información de accesibilidad de red con enrutadores vecinos en forma de tablas de enrutamiento.	Sencillo de configurar e implementar	Tiempo de convergencia lento, propenso a bucles de enrutamiento y uso ineficiente del ancho de banda

OSPF	(Open Shortest Path First) Protocolo de enrutamiento de estado de enlace que intercambia información de topología con todos los demás enrutadores de la red para calcular la ruta más corta a cada destino.	Tiempo de convergencia rápido, escalable a redes grandes y uso eficiente del ancho de banda.	Más complejo de configurar e implementar que RIP.
EIGRP	(Enhanced Interior Gateway Routing Protocol) Protocolo de enrutamiento híbrido de vector distancia que utiliza técnicas de enrutamiento de vector distancia y estado de enlace.	Tiempo de convergencia rápido, escalable a redes grandes y uso eficiente del ancho de banda[81]	Más complejo de configurar e implementar que RIP.
BGP	(Border Gateway Protocol) Protocolo de vector de ruta utilizado para enrutamiento interdominio.	Escalable a redes muy grandes y flexible en su capacidad para seleccionar rutas.	Complejo de configurar e implementar, y requiere una planificación cuidadosa para evitar bucles de enrutamiento.

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Como se puede apreciar en la tabla 33, el Protocolo OSPF (Open Shortest Path First) emerge como la solución ideal para satisfacer las demandas de redes de gran envergadura y redundantes. OSPF es un protocolo de enrutamiento de estado enlace que se distingue por su eficacia y confiabilidad en entornos de red complejos. Su funcionamiento se basa en la transmisión de actualizaciones de estado de enlace, lo que significa que los routers comparten información sobre la topología de la red en tiempo real. Este enfoque dinámico permite una adaptación continua a los cambios en la red, lo que resulta fundamental en redes de gran tamaño donde las configuraciones pueden ser muy dinámicas. Además, OSPF es altamente escalable, lo que lo convierte en una elección óptima para redes redundantes de gran envergadura. Su capacidad para calcular rutas eficientes, su tolerancia a fallos y su soporte para la subdivisión de redes en áreas hacen de OSPF una elección sobresaliente para garantizar la disponibilidad y el rendimiento en entornos de redes críticas y complejos.

3.8 Selección del protocolo de redundancia en la simulación

La redundancia es una estrategia fundamental para garantizar la continuidad del servicio y la disponibilidad de los recursos de red, minimizando el tiempo de inactividad en caso de fallos o interrupciones. En este contexto, la elección del protocolo adecuado para la redundancia desempeña un papel esencial en la prevención de bucles infinitos de información en la red. En la tabla 34, se ofrece un valioso panorama de las ventajas y desventajas de los protocolos de redundancia más

destacados en el ámbito de las redes. Esta información proporciona una guía esencial para la toma de decisiones en la implementación de estrategias de redundancia.

Tabla 34 Ventajas y desventajas de los protocolos de redundancia

Protocolo de redundancia	Descripción	Ventajas	Desventajas
STP (Spanning Tree Protocol)	Protocolo de redundancia que evita bucles de red configurando un árbol de expansión que conecta todos los dispositivos de la red sin crear bucles.	Simple de configurar e implementar	Puede reducir el ancho de banda disponible y puede ser lento para converger.
HSRP (Hot Standby Router Protocol)	Protocolo de redundancia que proporciona una ruta de respaldo en caso de falla del enrutador principal.	Fácil de configurar e implementar	Solo puede proporcionar redundancia para un enrutador a la vez.
VRRP (Virtual Router Redundancy Protocol)	Protocolo de redundancia que crea una dirección IP virtual que puede ser utilizada por varios enrutadores.	Proporciona redundancia para múltiples enrutadores	Más complejo de configurar e implementar que HSRP.
GLBP (Gateway Load Balancing Protocol)	Protocolo de redundancia que distribuye el tráfico entre múltiples enrutadores para mejorar el rendimiento y la confiabilidad.	Proporciona redundancia y equilibrio de carga	Más complejo de configurar e implementar que HSRP o VRRP.

Fuente: Tabla elaborada por el autor

En el contexto de la red de la planta, se determina que el Protocolo de Árbol de Expansión (STP) es una elección cercana para garantizar la estabilidad y la prevención de bucles en la topología de la red. Sin embargo, se reconoce que las desventajas inherentes al STP, como el tiempo de convergencia lento y la falta de eficiencia en la gestión de recursos, podrían plantear problemas en un entorno donde la velocidad y la confiabilidad son fundamentales. Para abordar esta cuestión, en la tabla 35 se emprendió un análisis comparativo de protocolos derivados del STP, como RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol) y MSTP (Multiple Spanning Tree Protocol). Esta comparativa permitió evaluar la eficacia de estas variantes, considerando factores como la velocidad de convergencia, la utilización eficiente de recursos y la capacidad de adaptación a cambios en la topología de la red.

Tabla 35 Protocolos de redundancia basados en STP

Protocolo de redundancia	Descripción	Ventajas	Desventajas
STP (Spanning Tree Protocol)	Protocolo de redundancia que evita bucles de red configurando un árbol de expansión que conecta todos los dispositivos de la red sin crear bucles.	Simple de configurar e implementar	Puede reducir el ancho de banda disponible y puede ser lento para converger.
RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol)	Protocolo de redundancia derivado de STP que ofrece una convergencia más rápida que STP tradicional.	Convergencia más rápida que STP	Más complejo de configurar e implementar que STP tradicional.
MSTP (Multiple Spanning Tree Protocol)	Protocolo de redundancia derivado de STP que permite crear múltiples árboles de expansión, lo que puede mejorar el rendimiento y la confiabilidad de la red.	Permite crear múltiples árboles de expansión, lo que puede mejorar el rendimiento y la confiabilidad de la red	Más complejo de configurar e implementar que STP tradicional.
Per-VLAN Spanning Tree (PVST)	Protocolo de redundancia derivado de STP que permite crear un árbol de expansión independiente para cada VLAN.	Permite crear un árbol de expansión independiente para cada VLAN, lo que puede mejorar el rendimiento y la confiabilidad de la red	Más complejo de configurar e implementar que STP tradicional.

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Tras un análisis y comparación de diversos protocolos derivados del STP, se llegó a la conclusión de que PVST (Per VLAN Spanning Tree) es la elección más adecuada para la red. La razón principal de esta elección radica en su enfoque basado en VLAN, que aborda exitosamente la problemática del período de convergencia más lento que suele asociarse al STP tradicional. Al implementar PVST, se logra una convergencia más rápida en la red al crear un árbol de expansión mínima independiente para cada VLAN. Esto permite que las VLAN afectadas por cambios en la topología o fallos en la red se adapten de manera eficiente sin afectar a otras partes de la red, garantizando un rendimiento óptimo y una respuesta ágil a eventos críticos. La elección de PVST representa un equilibrio eficiente entre redundancia y eficacia en la red.

3.9 Protocolos de Internet

En el proceso de diseño de la infraestructura de red, hay que considerar la asignación de direcciones de red. En este sentido, la elección entre IPv4 e IPv6 desempeña un papel fundamental

y está estrechamente ligada a las necesidades específicas de la planta. Cada uno de estos protocolos de Internet ofrece ventajas y desventajas las cuales se presentan en las tablas 36 y 37.

Tabla 36 Ventajas y desventajas de IPv6

IPv6	
Ventajas	Desventajas
Espacio de direcciones abundante: utiliza direcciones IP de 128 bits	Adopción gradual: todavía no es tan ampliamente implementado lo que puede causar problemas de interoperabilidad en redes mixtas.
Mejora de la seguridad: incluye características de seguridad más avanzadas, como la autenticación y la integridad de los datos.	Complejidad inicial: Configurar y administrar IPv6 puede requerir una curva de aprendizaje, ya que es más complejo que IPv4.
Eficiencia enrutamiento: permite un enrutamiento más eficiente y reducir la carga en los dispositivos de red, lo que mejora el rendimiento.	Migración y costos: La transición puede ser costosa y requiere planificación y migración cuidadosa de la infraestructura existente.

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Tabla 37 Ventajas y desventajas de IPv4

IPv4	
Ventajas	Desventajas
Amplia compatibilidad: está ampliamente implementado y es compatible con la mayoría de los dispositivos y sistemas, lo que facilita la comunicación en Internet.	Escasez de direcciones: El espacio de direcciones IPv4 se ha agotado en gran medida, lo que dificulta la asignación de direcciones IP únicas a nuevos dispositivos.
Sencilla de configuración: es relativamente simple de configurar y administrar, lo que lo hace adecuado para una amplia variedad de aplicaciones.	Limitaciones de seguridad: carece de características de seguridad avanzadas, lo que lo hace más vulnerable a ciertos tipos de ataques cibernéticos.

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Se eligió trabajar con ipv4 a causa de los costos de migración a ipv6 serian altos debido a que la mayoría de los equipos de red actual trabajan con ipv4 y algunos no son compatibles con ipv6, además de la complejidad en la administración que traería tener una red hibrida y en la actualidad la planta no estaría preparada para esta transición.

CAPITULO IV

En este Capítulo, se aborda elementos para la construcción y sostenibilidad de la red. En primer lugar, se realiza la "Selección de componentes de convergencia", en la que se realiza una evaluación de las opciones de hardware y software con el fin de lograr una convergencia efectiva de servicios. Posteriormente, se profundiza en el "Análisis de costos y presupuestos", proporcionando una visión de la gestión financiera del proyecto. Finalmente, se proyecta una visión hacia el futuro con una "Proyección a 10 años", considerando las tendencias y desafíos que pueden influir en el crecimiento y la adaptabilidad a largo plazo de la red.

4.1 Diseño de la red

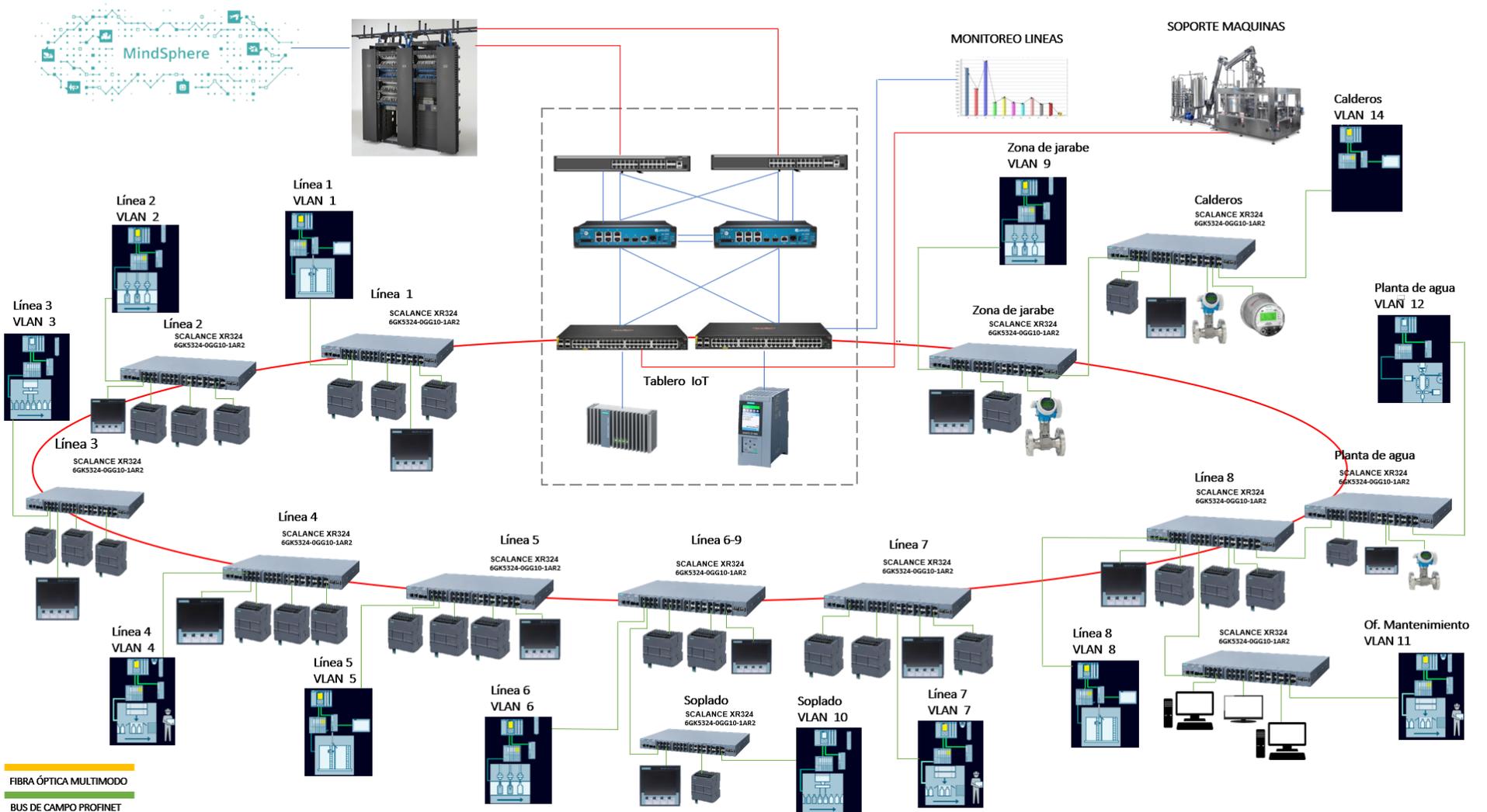
4.1.1. Topología física

Se lleva a cabo la convergencia física, lo que involucra la integración de la infraestructura TI y OT, garantizando una conectividad entre los equipos industriales. Asimismo, se ha aplicado la convergencia de software y datos, permitiendo que las aplicaciones y plataformas de TI se adapten a las necesidades de las operaciones industriales.

La convergencia TI/OT, en la cual parametriza la red industrial de la red TI, permite una conectividad segura entre ambas redes bajo la normativa IEC62443. Esta normativa garantiza la integración de la red OT con la red TI sin poner en riesgo la seguridad de los equipos industriales, logrando una interconexión protegida y el intercambio de datos entre los sistemas de información y control.

La topología física ha sido diseñada de la siguiente manera: en la figura 52 se puede observar el data center IoT, alrededor del cual se distribuyen las 9 líneas de producción, junto con áreas como soplado, planta de agua, zona de jarabe, calderos y oficina de mantenimiento. Estas áreas están interconectadas mediante una topología en forma de anillo, para optimizar los costos de cableado se ha establecido una conexión directa desde la línea 8 hasta la planta de agua y la oficina de mantenimiento. Además, el área de soplado se conecta desde las líneas 6 y 9, mientras que el área de calderos se conecta desde la zona de jarabe. Es importante resaltar que la mayoría de las conexiones se llevarán a cabo mediante el uso de fibra óptica para asegurar una alta velocidad y calidad de transmisión de datos. Asimismo, incluye la segmentación mediante el uso de VLANs.

Figura 52 Esquema topología anillo física



Fuente: Imagen elaborada por el autor

4.1.2 Segmentación de la red

Cada VLAN establece una zona de seguridad individual con sus propias políticas de acceso y control, lo que habilita una organización y dirección más eficiente de los sistemas y recursos de la red, todo esto lo gestiona el firewall que se ha seleccionado, el cual se denomina Palo Alto 220R. Para la segmentación de la red de la planta de producción se va a tomar en consideración los siguientes puntos:

- ◇ El número de segmentos de la red será de acuerdo con las áreas de las líneas de producción de la planta de bebidas.
- ◇ La necesidad de alta disponibilidad en la red para garantizar la continuidad del servicio y minimizar el tiempo de inactividad en caso de fallas en la red.
- ◇ La comunicación protegida para establecer una conexión segura entre las redes o dispositivos de la planta conectados a internet.
- ◇ El balance de carga es una necesidad fundamental en las redes, ya que busca distribuir de manera equitativa la carga de tráfico entre distintos enlaces o interfaces de red buscando evitar la congestión.

La segmentación de red ofrece numerosas ventajas y beneficios para la organización y gestión de sistemas de redes tal y como se muestra en la tabla 38.

Tabla 38 Beneficios de la segmentación de la red.

Beneficios y ventajas	Disminución de dominios de broadcast mejorando la seguridad entre las líneas de producción.
	Reduce los posibles incidentes de seguridad que podrían afectar la red de producción de cada línea.
	Brinda facilidad en el control y la administración de cada una de las líneas de producción.
	Una integración sencilla con la red TI.
	Permite la escalabilidad, y confiabilidad en la red a través de la configuración

Fuente: Tabla elaborada por el autor

4.2. Selección de componentes

La selección de componentes para la convergencia de las redes TI y OT es un proceso fundamental en la gestión y optimización de infraestructuras de comunicación en la era de la Industria 4.0. La convergencia TI/OT representa un paso crucial para lograr una comunicación más eficiente y una mayor integración de los sistemas informáticos y los dispositivos industriales. En este contexto, la selección de componentes se convierte en un factor determinante para asegurar que las redes de TI y OT trabajen en armonía, permitiendo un flujo de datos confiable entre los sistemas de la planta y las redes corporativas. Este apartado sienta las bases para explorar las consideraciones clave en la selección de componentes que respaldan la convergencia de las redes TI y OT, un tema de creciente importancia en la transformación de las operaciones industriales y la toma de decisiones basadas en datos.

4.2.1. Descripción de componentes de la infraestructura TI

La red TI de la planta de producción conecta elementos esenciales para gestionar información, comunicación entre las líneas de producción, intercambio de datos en tiempo real, supervisión y control de procesos, respaldando la toma de decisiones. Los componentes de la plataforma IoT seleccionados se han elegido cuidadosamente debido a su compatibilidad inherente con los equipos y sistemas que ya operan en la planta de producción. Estos componentes están diseñados para integrarse perfectamente con la infraestructura existente, lo que garantiza una transición fluida. A continuación, se describirán en detalle las funciones y capacidades de estos componentes, destacando su capacidad para mejorar la conectividad y la recopilación de datos en tiempo real, lo que permitirá una mayor optimización de los procesos de producción en la planta

La Tabla 39, que se presenta a continuación, resalta las características técnicas clave de Mindsphere, la plataforma de Internet de las Cosas (IoT) de Siemens. Estas características son fundamentales para comprender la capacidad de la plataforma para la recopilación y análisis de datos en tiempo real, lo que impulsa la toma de decisiones informada y la optimización de procesos en una amplia variedad de aplicaciones industriales.

Tabla 39 Características técnicas de Mindsphere

Mindsphere	
Característica	Descripción
Conectividad	admite una amplia gama de protocolos de conectividad, incluidos OPC UA, MQTT y API REST. Puede conectarse a dispositivos de cualquier proveedor, independientemente de su sistema operativo o lenguaje de programación.
Seguridad	está construido sobre una plataforma de nube segura y utiliza protocolos de seguridad estándar de la industria para proteger sus datos. Está certificado según ISO/IEC 27001 e IEC 62443-4-1.
Escalabilidad	es altamente escalable y puede manejar grandes volúmenes de datos de millones de dispositivos. Se puede implementar en las instalaciones, en la nube o como una solución híbrida.
Análisis	proporciona una variedad de herramientas analíticas para ayudarlo a comprender sus datos. Estas herramientas se pueden utilizar para identificar tendencias, patrones y anomalías. También puede utilizarlos para crear modelos predictivos y tomar mejores decisiones comerciales.
Aplicaciones	ofrece una creciente cantidad de aplicaciones de Siemens y sus socios. Estas aplicaciones se pueden utilizar para resolver una amplia gama de problemas industriales, como el mantenimiento predictivo, la optimización energética y el control de calidad.
Beneficios	puede ayudarlo a optimizar el consumo de energía en las plantas industriales, Gestionar el rendimiento, también permite realizar un seguimiento del estado de los activos industriales y predecir cuándo es necesario realizar el mantenimiento, Desarrollar aplicaciones personalizadas, Proporciona herramientas para analizar datos industriales de forma segura y eficiente, Permite registrar, conectar y administrar dispositivos industriales desde una sola plataforma [82]
Fabricante	Siemens

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Siemens Simatic IoT 2000 es una solución integral en el ámbito de la automatización industrial y IoT en la Tabla 40 se proporciona un análisis detallado de las especificaciones técnicas. Estas características han sido cuidadosamente seleccionadas para satisfacer las necesidades de la industria, facilitando una conectividad efectiva y permitiendo la adquisición de datos en tiempo real y el control de procesos. Al examinar en profundidad las especificaciones técnicas en esta tabla, se pone de manifiesto cómo Simatic IoT 2000 ha sido diseñado con el propósito de mejorar la eficiencia y apoyar la toma de decisiones fundamentadas en diversos entornos industriales.

Tabla 40 Características técnicas de Siemens Simatic IoT 2000

Siemens Simatic IoT 2000	
Característica	Descripción
CPU	Intel Quark X1000/X1020
Sistema operativo	Yocto Linux
Memoria	512 MB RAM, 4 GB flash
Puertos de comunicación	2 puertos Ethernet (10/100/1000 Mbps), 1 puerto USB 2.0, 1 ranura para tarjeta microSD
Fuente de alimentación	12 V DC, 2 A
Temperatura de funcionamiento	0 a 55 °C
Dimensiones	115 x 100 x 70 mm
Detalle	El IoT2000 se complementa con la plataforma MindSphere de Siemens, que proporciona una infraestructura en la nube para el almacenamiento, análisis y visualización de datos recopilado [83].

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Un análisis detallado de las características técnicas de dos componentes fundamentales en la red industrial está en las tablas 41 y 42. La Tabla 41 se centra en las características técnicas del PLC S7-1500, un controlador programable de alto rendimiento. Por otro lado, la Tabla 42 se enfoca en las especificaciones técnicas del IM 155-6 PN ST, un módulo de comunicación que facilita la conectividad en redes industriales. Al profundizar en estas tablas, se revelan aspectos esenciales sobre la velocidad de procesamiento, la conectividad, las interfaces y otras características, lo que proporciona información valiosa para la toma de decisiones y la optimización de procesos en entornos industriales diversificados.

Tabla 41 Características técnicas del PLC S7-1500

PLC S7-1500	
Característica	Descripción
Tipo de CPU	PLC de la serie S7-1500 de Siemens
Modelo	CPU 1511-1 PN
Número de entradas/salidas digitales	16 entradas digitales, 8 salidas digitales
Interfaz de red	PROFINET
Capacidad de memoria	1 MB de memoria de programa, 256 KB de memoria de datos
Velocidad de procesamiento	200 MHz

Alimentación eléctrica	24 V DC
Protocolos de comunicación	PROFINET, Modbus TCP/IP, OPC UA
Temperatura de funcionamiento	0 a 55 °C
Certificaciones	CE
Dimensiones físicas	100 x 70 x 70 mm

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Tabla 42 Características técnicas del IM 155-6 PN ST

IM 155-6 PN ST	
Característica	Descripción
Tipo de módulo	Módulo de comunicación industrial
Serie	6ES7155-6AU01-0BN0
Compatibilidad	Diseñado para su uso en sistemas de automatización Siemens SIMATIC
Interfaz de comunicación	PROFINET (PN)
Número de puertos	2 puertos Ethernet RJ45
Velocidad de comunicación	Hasta 1000 Mbps (1 Gbps)
Compatibilidad de red	Capacidad para comunicarse con otros dispositivos y sistemas en la red industrial a través de la interfaz PROFINET
Alimentación eléctrica	Rango de voltaje de alimentación típico de 24 V DC
Temperatura de funcionamiento	Generalmente, puede operar en un rango de temperatura de 0°C a 60°C
Certificaciones	Cumplimiento de normativas y estándares industriales, como CE y UL, según corresponda
Detalle	Se eligió debido a su compatibilidad con otros dispositivos de la red, facilitando la integración y la comunicación fluida. Consulte la sección 3.4.1. para obtener más detalles sobre sus características.

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Switch Core TI

El switch Aruba 2920 48G ha sido seleccionado como el núcleo central de la red debido a las numerosas características que ofrece para satisfacer las demandas de nuestra infraestructura. Estas características se detallan minuciosamente en la Tabla 43, proporcionando una visión completa de su capacidad para proporcionar conectividad de alto rendimiento, administración eficiente y seguridad en la red. Esta elección refleja nuestra dedicación a mantener una red robusta y confiable que respalde nuestras operaciones de manera óptima.

Tabla 43 Características técnicas del Aruba 2920 48G

Aruba 2920 48G	
Característica	Descripción
Tipo de conmutador	Conmutador Ethernet gestionado
Número de puertos	48 puertos Gigabit Ethernet (10/100/1000)
Puertos SFP	Puede incluir puertos SFP (Small Form-Factor Pluggable) o SFP+ para conectividad de fibra óptica
Capacidad de apilamiento	Puede admitir apilamiento físico o lógico de múltiples conmutadores
Rendimiento	Capacidad de conmutación, velocidad de reenvío y rendimiento de la red, que varían según el modelo específico
Administración	Ofrece administración y configuración basada en web, interfaz de línea de comandos (CLI), SNMP y otras opciones
PoE (Power over Ethernet)	Puede admitir la entrega de energía a través de Ethernet para alimentar dispositivos como teléfonos IP, cámaras y puntos de acceso inalámbrico
Seguridad	Incluye características de seguridad como autenticación de usuarios, control de acceso, VLANs y detección de amenazas [84]
Calidad de servicio (QoS)	Ofrece funcionalidades para priorizar el tráfico de red y garantizar un rendimiento óptimo para aplicaciones críticas
Gestión de energía	Puede tener opciones para administrar y reducir el consumo de energía, como el apagado de puertos inactivos
Montaje	Diseñado para montaje en rack o en escritorio según las necesidades de la instalación
Certificaciones	normativas y estándares industriales, como CE y UL, según corresponda

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Firewall

El firewall Palo Alto PA-220R ha sido seleccionado como parte integral de la infraestructura de seguridad de red debido a su capacidad para proporcionar una protección avanzada contra amenazas y un control de seguridad eficaz. Su enfoque en la prevención de amenazas cibernéticas y la capacidad de inspeccionar el tráfico en busca de actividades maliciosas lo convierten en una elección sólida para garantizar la seguridad de la red. A continuación, en la tabla 44 se detallarán las características y capacidades clave de Palo Alto PA-220R para comprender mejor su papel en la estrategia de seguridad.

Tabla 44 Características técnicas del firewall Palo Alto PA-220R

Palo Alto PA-220R	
Característica	Descripción
Dimensiones	2.0" H x 8.66" D x 9.25" W (51 mm x 220 mm x 235 mm)
Peso	4.5 lbs (2.0 kg)
Alimentación	12 V DC, 3 A
Temperatura de funcionamiento	-40 a 70 °C (-40 a 158 °F)
Temperatura de almacenamiento	-40 a 85 °C (-40 a 185 °F)
Interfaces	
2 puertos Ethernet 10/100/1000 Mbps 2 puertos SFP 1 puerto USB 2.0 1 ranura para tarjeta microSD	
Rendimiento	
Rendimiento de prevención de amenazas	Hasta 570 Mbps
Rendimiento de VPN IPsec	Hasta 570 Mbps
Funciones de seguridad	
Firewall (NGFW) Antivirus Antiphishing User-ID Integración con la nube Inspección de aplicaciones. Prevención de amenazas y detección de intrusiones. IPS Filtros de contenido web, de URL. Protección contra malware. Control de aplicaciones y usuarios. Seguridad SSL/TLS. Análisis de tráfico y registros [85]	

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Switch de distribución

Dentro de la infraestructura de red, el switch de distribución juega un papel fundamental al garantizar una conectividad eficiente y confiable en toda la organización. La elección de la solución Aruba 6300M para desempeñar esta función estratégica se basa en sus características técnicas sobresalientes, que se detallan en la Tabla 45. Esta tabla resalta aspectos clave, como la capacidad de conmutación, las opciones de administración, la resistencia y la escalabilidad del switch, destacando así por qué se considera la opción ideal para optimizar la infraestructura de red y respaldar las operaciones de manera eficiente.

Tabla 45 Características técnicas del switch Aruba 6300M

Aruba 6300M	
Característica	Descripción
Tipo de Switch	Switch Ethernet gestionado de la serie Aruba 6300M
Número de puertos	Variable según la configuración, con opciones que incluyen puertos Gigabit Ethernet (10/100/1000), puertos 10 Gigabit, puertos SFP (Small Form-Factor Pluggable), y otros tipos de interfaces.
Capacidad de apilamiento	Puede admitir apilamiento físico o lógico de múltiples conmutadores para aumentar la capacidad y la redundancia de la red.
Rendimiento	Capacidad de conmutación, velocidad de reenvío y rendimiento de la red, que varían según el modelo específico.
Administración	Ofrece administración y configuración basada en web, interfaz de línea de comandos (CLI), SNMP y otras opciones.
PoE (Power over Ethernet)	Puede admitir la entrega de energía a través de Ethernet para alimentar dispositivos como teléfonos IP, cámaras y puntos de acceso inalámbrico.
Seguridad	Incluye características de seguridad como autenticación de usuarios, control de acceso, VLANs y detección de amenazas. [86]
Calidad de servicio (QoS)	Ofrece funcionalidades para priorizar el tráfico de red y garantizar un rendimiento óptimo para aplicaciones críticas.
Gestión de energía	Puede tener opciones para administrar y reducir el consumo de energía, como el apagado de puertos inactivos.
Certificaciones	Cumplimiento de normativas y estándares industriales, como CE, FCC, UL, entre otros.

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Switch de agregación

El switch de agregación juega un papel en la gestión y la distribución del tráfico de datos en toda la planta. Para cumplir con esta función estratégica está el Switch Scalance XR324-12M. Las características técnicas que hacen que este switch sea la elección óptima se encuentran detalladas en la Tabla 46, donde se destacan aspectos fundamentales, como su capacidad de capa 3, la robustez y resistencia en entornos industriales, así como su capacidad de administración avanzada.

Tabla 46 Características técnicas del Switch Scalance XR324-12M

Switch Scalance XR324-12M	
Característica	Descripción
Tipo de Switch	Switch industrial administrable

Número de Puertos	Variable según la configuración, pero comúnmente incluye puertos Gigabit Ethernet y puertos 10 Gigabit, así como puertos SFP (Small Form-Factor Pluggable) para conectividad de fibra óptica. [87]
Capacidad de Capa 3	Puede admitir enrutamiento en la capa 3 para la segmentación de redes y la gestión de subredes.
Características de Gestión	Ofrece capacidades de administración avanzada, que incluyen interfaz de línea de comandos (CLI), SNMP, y acceso a través de interfaces web.
Resistencia y Robustez	Diseñado para funcionar en entornos industriales exigentes, con resistencia a condiciones ambientales adversas como vibración, temperatura extrema y humedad.
Conformidad con Estándares Industriales	Cumplimiento con estándares industriales relevantes, como IEEE 802.3, para garantizar la interoperabilidad con otros dispositivos.
Seguridad	Incluye características de seguridad como autenticación de usuarios, control de acceso, VLANs y detección de amenazas, que son críticas en entornos industriales.
Calidad de Servicio (QoS)	Ofrece funcionalidades para priorizar el tráfico de red y garantizar un rendimiento óptimo para aplicaciones críticas.
Certificaciones	Cumplimiento de normativas y estándares industriales, como CE, FCC, UL, IEC 61850, y otras certificaciones específicas de la industria.
Gestión de Energía	Puede incluir opciones para administrar y reducir el consumo de energía, como el apagado de puertos inactivos o la administración eficiente de la energía.

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Software de supervisión y control

El software de supervisión y control incluyen la visualización en tiempo real de datos, la generación de alarmas, el registro de eventos, la capacidad de controlar dispositivos y sistemas, y la recopilación y análisis de datos para la toma de decisiones informadas. En este contexto, se ha optado por el WinCC Runtime Profesional V17 de Siemens, una solución integral que proporciona las herramientas necesarias para la supervisión y el control de nuestros sistemas. Las características técnicas clave de este software se encuentran detalladas en la Tabla 47, donde se destacan aspectos fundamentales como su compatibilidad con sistemas de automatización SIMATIC y su capacidad para la visualización en tiempo real.

Tabla 47 Características técnicas del Wincc runtime profesional v17 siemens

Wincc runtime profesional v17 siemens	
Característica	Descripción
Tipo de Software	Software de supervisión y control de procesos industriales
Compatibilidad	Diseñado para trabajar con sistemas de automatización SIMATIC y otros dispositivos de Siemens
Interfaz de Usuario	Proporciona una interfaz de usuario intuitiva y personalizable para la visualización y el control de procesos industriales, Sistemas monousuario y multiusuario
Visualización	Permite la creación de pantallas de visualización en tiempo real para monitorear y controlar procesos industriales, secuencias de producción, máquinas e instalaciones en todas las industrias [88].
Conectividad	Ofrece conectividad con una amplia gama de dispositivos y controladores industriales, incluyendo controladores SIMATIC
Historización de Datos	Permite el registro y la historización de datos de proceso para análisis y seguimiento
Seguridad	Incluye características de seguridad, como autenticación de usuarios y control de acceso, para proteger los sistemas de control
Redundancia	incluye capacidades de redundancia para garantizar la disponibilidad continua del sistema, Redundancia del servidor
Alarma y Eventos	Proporciona capacidades de generación de alarmas y manejo de eventos para notificar a los operadores sobre problemas o eventos críticos
Scripting y Lenguajes de Programación	Puede admitir lenguajes de programación y scripting para personalizar la lógica de control y las funciones de supervisión, Potente lenguaje de secuencias de comandos para crear funciones personalizadas, Amplia biblioteca de gráficos y símbolos predefinidos.
Compatibilidad de Pantallas	Admite pantallas táctiles y resoluciones de pantalla múltiples, Soporte para una amplia gama de dispositivos HMI
Redes Industriales	Puede funcionar en entornos de redes industriales, como PROFINET, OPC, Modbus, Profibus, Profinet
Requisitos del Sistema para la instalación y ejecución del software	
Sistema operativo	Windows 7 SP1, Windows 8.1, Windows 10, Windows Server 2008 R2 SP1, Windows Server 2012 R2, Windows Server 2016, Windows Server 2019
Procesador	Intel Core 2 Duo 2,2 GHz o equivalente
Memoria	4 GB de RAM o más
Espacio en disco duro	5 GB de espacio libre
Arquitectura	cliente-servidor

Fuente: Tabla elaborada por el autor

4.2.2 Descripción de componentes de la infraestructura OT

La red OT de la planta de producción se compone de elementos clave que aseguran la eficiencia y seguridad de los procesos industriales. En el apartado 3.4, se han incorporado dispositivos esenciales para mejorar el rendimiento. Estos elementos adicionales optimizan el tráfico, brindan redundancia y facilitan una integración fluida de sistemas. A continuación, se describen los componentes en las tablas 48 y 49:

Tabla 48 Especificaciones técnica del Convertidor Ethernet/MPI

Convertidor Ethernet/MPI	
Característica	Descripción
Tipo de convertidor	Se puede configurar como un convertidor transparente o de protocolo.
Puertos	Dispone de un puerto MPI y dos puertos Ethernet (uno RJ-45 y otro SFP).
Velocidad	Ofrece una velocidad de transmisión de hasta 1 Gbps.
Características	Incluye funciones como compatibilidad con VLAN, monitoreo SNMP, administración web, soporte para DHCP y NTP.
Aplicaciones	Adecuado para una amplia gama de aplicaciones, como sistemas de control industrial, automatización de procesos, gestión de edificios y fabricación.
Ventajas	
<p>Alto rendimiento: El CP 5711 es capaz de operar a velocidades de hasta 1 Gbps, lo que lo hace idóneo para aplicaciones de alto rendimiento.</p> <p>Versatilidad: Su capacidad para operar en modos de conversión de protocolo o transparente lo hace adecuado para una amplia gama de aplicaciones.</p> <p>Fiabilidad: El CP 5711 está diseñado para ser resistente y duradero, incluso en entornos adversos.</p> <p>Características avanzadas: Ofrece una serie de características, como soporte para VLAN, monitoreo SNMP, administración web, DHCP y NTP. [89]</p>	

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Tabla 49 Especificaciones técnica del Convertidor Ethernet

Convertidor Ethernet	
Característica	Descripción
Tipo de convertidor	se puede configurar como un convertidor transparente o de protocolo. En modo transparente, el CP 5711 simplemente enruta el tráfico entre las redes serie y Ethernet. En modo de protocolo, el CP 5711 convierte el protocolo serie al protocolo Ethernet y viceversa. [90].
Puertos	tiene un puerto serie y dos puertos Ethernet. El puerto serie se utiliza para conectar dispositivos serie al convertidor. Los puertos Ethernet se utilizan para conectar el convertidor a redes Ethernet.
Velocidad	ofrece una velocidad de transmisión de hasta 1 Gbps. Esto lo hace adecuado para aplicaciones de alto rendimiento.

Compatibilidad con protocolos de comunicación serie	
El CP 5711 es compatible con una amplia gama de protocolos de comunicación serie, entre los que se incluyen: RS-232 RS-422 RS-485	
Compatibilidad con VLAN	compatible con VLAN, lo que permite a los usuarios segmentar sus redes Ethernet.
Monitoreo SNMP	admite el monitoreo SNMP, lo que permite a los usuarios supervisar el estado del convertidor.
Administración web	admite la administración web, lo que permite a los usuarios configurar y administrar el convertidor a través de un navegador web.
Soporte para DHCP	admite DHCP, lo que permite a los usuarios configurar el convertidor para que obtenga automáticamente una dirección IP de un servidor DHCP.
Soporte para NTP	admite NTP, lo que permite a los usuarios sincronizar el reloj del convertidor con un servidor NTP.

Fuente: Tabla elaborada por el autor

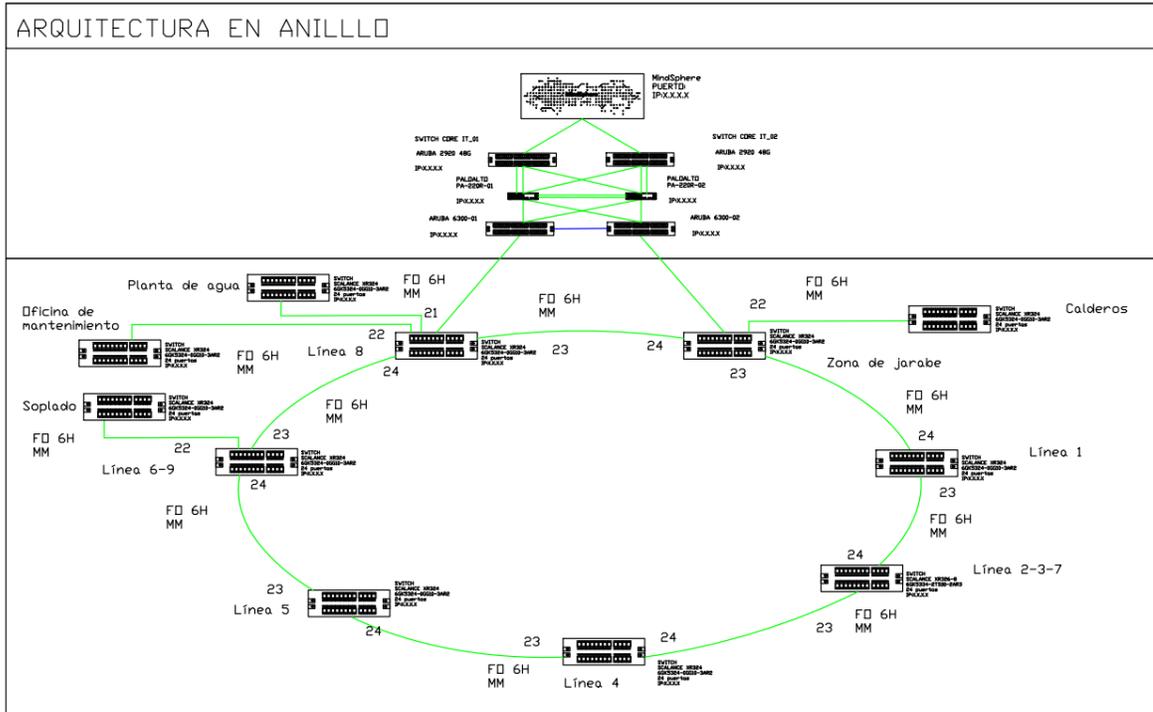
4.3 Diseño de la arquitectura de red de telecomunicaciones convergencia TI/OT

4.3.1. Arquitectura anillo

Se ha propuesto una arquitectura en forma de anillo, una configuración comúnmente utilizada en sectores industriales. Para lograr esto, se empleará el protocolo MRP, que se adapta muy bien a las topologías anillo. La arquitectura se dividirá en dos partes, conocidas como TI y OT. La parte TI, los dispositivos se conectarán utilizando cables UTP de cobre de categoría 6, que son compatibles con el bus de campo PROFINET utilizado en este proyecto. Además, se utilizará la tecnología de cableado stack para interconectar los switches que están conectados al tablero Iot.

Por otro lado, en la parte OT se utilizará fibra óptica de 6H MM junto con el bus de campo PROFINET para los switches de cada línea de producción los cuales conforman el anillo. Esto se debe a que la red OT de la planta de producción tiene distancias más largas en comparación con la parte TI, A continuación, en la figura 53 se presenta la arquitectura en forma de anillo:

Figura 53 Arquitectura anillo



Fuente: Imagen elaborada por el autor

4.3.1.1. Infraestructura TI

En esta sección se describe la plataforma Mindsphere seleccionada para la gestión y análisis de datos en la nube. A la plataforma estarán conectados el Switch Core_TI_01 y el Switch Core TI_02 a través de la configuración de la red, asegurando que los datos fluyan correctamente desde los dispositivos a la nube, en la tabla 50 se describen las conexiones.

Tabla 50 Conexiones de la Infraestructura TI - parte 1

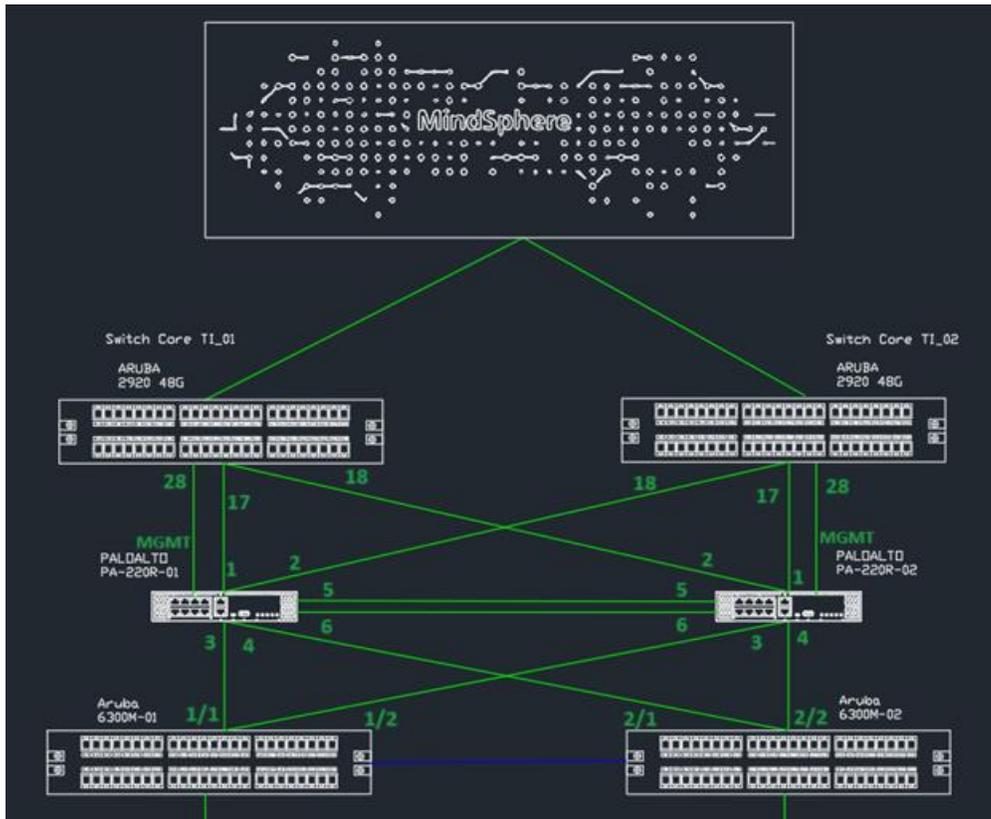
Dispositivo	Puerto	Conectado a	Dispositivo
Switch Core_TI_01	Puerto 17	Puerto SFP 1	Firewall PA-220R-01
Switch Core_TI_01	Puerto 18	Puerto SFP 2	Firewall PA-220R-02
Switch Core_TI_01	Puerto 28	Puerto MGMT	Firewall PA-220R-01
Switch Core_TI_02	Puerto 17	Puerto SPF 1	Firewall PA-220R-02
Switch Core_TI_02	Puerto 18	Puerto SPF 2	Firewall PA-220R-01
Switch Core_TI_02	Puerto 28	Puerto MGMT	Firewall PA-220R-02
Firewall PA-220R-01	Puerto 5	Puerto 5	Firewall PA-220R-02
Firewall PA-220R-01	Puerto 6	Puerto 6	Firewall PA-220R-02
Firewall PA-220R-01	Puerto SFP 3	Puerto 1/1	Switch SW Aruba 6300M-01
Firewall PA-220R-01	Puerto SFP 4	Puerto 2/1	Switch SW Aruba 6300M-02
Firewall PA-220R-02	Puerto SFP 3	Puerto 1/2	Switch SW Aruba 6300M-01

Firewall PA-220R-02	Puerto SFP 4	Puerto 2/2	Switch SW Aruba 6300M-02
Switch SW Aruba 6300M-01	Puerto 1/24	Puerto 1/24	Switch SW Aruba 6300M-02

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Es importante destacar que la interconexión de la plataforma IoT, switches de distribución, firewall y los switches de agregación se estableció la conexión del cableado UTP cobre Cat 6, a excepción de la conexión entre los switches de agregación de Aruba, que utilizarán un cable de tipo stack para su interconexión. A continuación, se observan las respectivas conexiones en la figura 54.

Figura 54 Infraestructura TI - parte 1



Fuente: Imagen elaborada por el autor

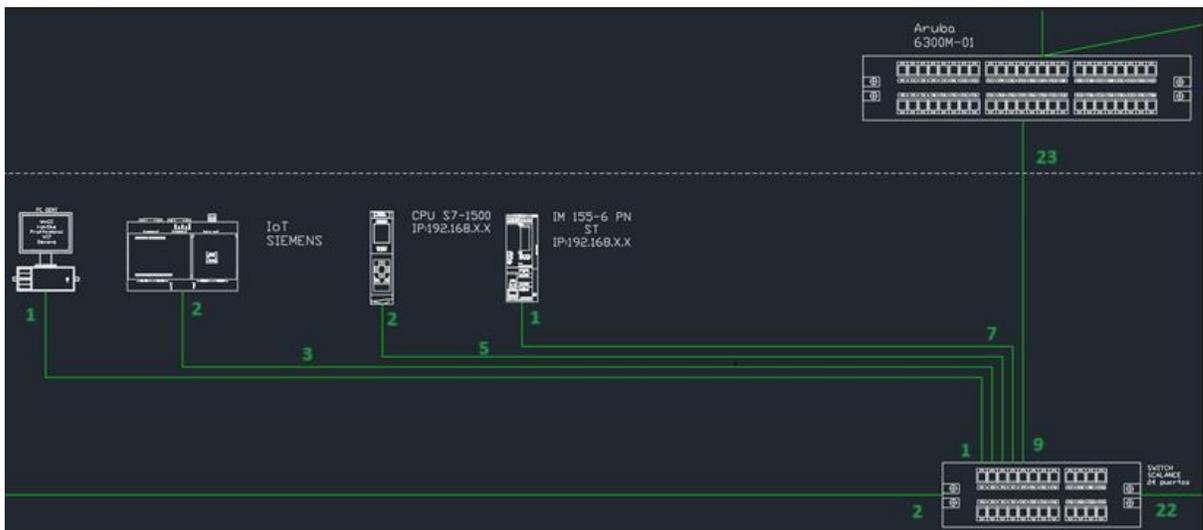
Continuando con la sección anterior en la figura 55 el switch de distribución SW Aruba 6300M-01 desde el puerto 24 establece una conexión al puerto 9 del Switch Scalance XR324, el cual será el encargado de la conexión de los equipos para el tablero IoT y este a su vez se conectará al primer y último switch de las líneas de producción como se detalla en la tabla 51.

Tabla 51 Conexiones de la Infraestructura TI - parte 2-3

Dispositivo	Puerto	Conectado a	Dispositivo
Switch SW Aruba 6300M-01	Puerto 23	Puerto 9	Switch Scalance XR324
Switch Scalance XR324	Puerto 2	Puerto 1	Switch de capa de acceso para la línea de producción 1
Switch Scalance XR324	Puerto 22	Puerto 2	Switch de capa de acceso para la zona de jarabe
Switch Scalance XR324	Puerto 1	Puerto 1	PC GENT
Switch Scalance XR324	Puerto 3	Puerto 2	IoT de Siemens 2000
Switch Scalance XR324	Puerto 5	Puerto 2	CPU S7-1500
Switch Scalance XR324	Puerto 7	Puerto 1	IM 155- PN ST
Switch SW Aruba 6300M-02	Puerto 24	Puerto 24	Switch de capa de acceso para la zona de jarabe

Fuente: Tabla elaborada por el autor

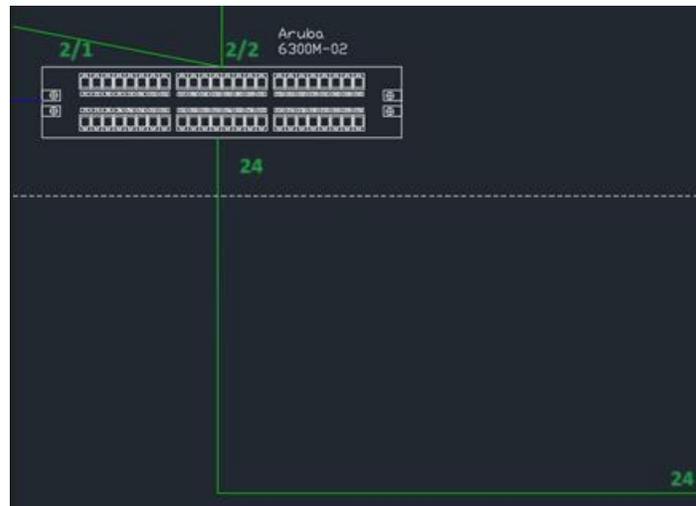
Figura 55 Infraestructura TI - parte 2



Fuente: Imagen elaborada por el autor

El switch Aruba 6300M-02 establece una conexión mediante fibra óptica desde el puerto 24 con el puerto 24 del switch ZONA DE JARABE. Estableciendo así la conexión para converger la parte TI y la parte OT que forma el anillo de red industrial como se muestra en la figura 56.

Figura 56 Infraestructura TI - parte 3



Fuente: Imagen elaborada por el autor

4.3.1.2 Infraestructura OT

La parte OT está compuesta por 9 líneas de producción. Todos estos procesos contarán con los mismos equipos integrados en su arquitectura actual, que se detallaron previamente en el apartado 3.4, a excepción de los cambios realizados como la incorporación de un switch principal para mantener la interconexión de todos los procesos y líneas de producción. Además, se agregarán dos convertidores Ethernet/MPI en el descapsulador y el alexus correspondientes a estos procesos de las 9 líneas de producción.

Aparte de las 9 líneas de producción, se incorporaron a la arquitectura otras aéreas críticas, como la zona de jarabe, calderos, planta de agua, oficina de mantenimiento y soplado, para mejorar la comunicación, gestión y control en toda la planta. A continuación, se detallan los puertos de conexión del switch principal de cada línea y la interconexión entre ellas, todas utilizando fibra óptica a través de PROFINET.

La línea de producción 8 como se observa en la figura 57, cuenta con un switch principal el cual tiene por nombre LINEA 8, en el puerto 1 de este switch estará conectado el switch Scalance del tablero IoT en el puerto 2, así mismo, el puerto 3 del switch en la LINEA 8 se enlaza con el puerto 1 del switch en la LINEA 6-9. También se conectarán del puerto 3 de la LINEA 8 al puerto 1 el switch de la PLANTA AGUA y el puerto 24 el switch de la LINEA 8 al puerto 23 de la OF MANTENIMIENTO. A continuación, se muestra en la tabla 52 los enlaces de conexión del switch de la LINEA 8 a los procesos.

Tabla 52 Enlaces de conexión línea de producción 8

Enlaces de conexión línea de producción 8		
Switch LINEA 8 (puertos)	Switch de cada proceso (puertos)	Tipo de proceso
Puerto 2	Puerto 1	Llenadora
Puerto 4	Puerto 1	Mixer
Puerto 6	Puerto 1	Transportadores 1
Puerto 8	Puerto 1	Paletizador y despaletizador
Puerto 10	CPU S7-300	Transportadores 2
Puerto 12	Puerto 1	Lavadora
Puerto 14	Puerto 1	Encajonadora
Puerto 16	Puerto 1	Desencajonadora
Puerto 18	Convertidor Ethernet/MPI	Descapsulador
Puerto 20	Convertidor Ethernet	Alexus

Fuente: Tabla elaborada por el autor

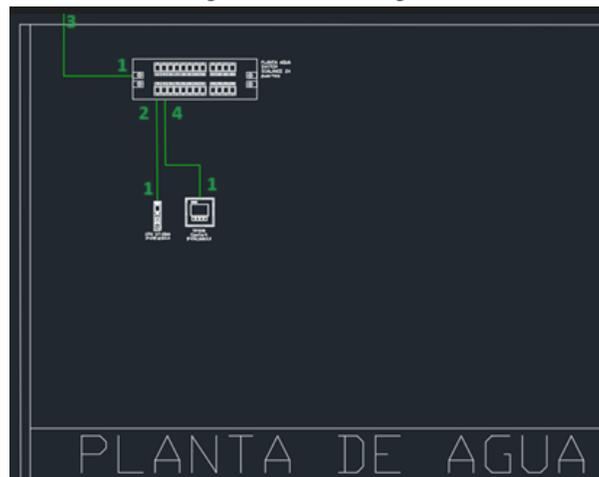
Figura 57 Línea de producción 8



Fuente: Imagen elaborada por el autor

Como se mencionó anteriormente, el puerto 3 del switch de la LINEA 8 se conectará al puerto 1 del switch de la PLANTA AGUA, en este switch se enlaza el CPU S7-1500 en el puerto 2 y en el puerto 4 se conecta el TP1500 Comfort. A continuación, se puede observar en la figura 58.

Figura 58 Planta de agua



Fuente: Imagen elaborada por el autor

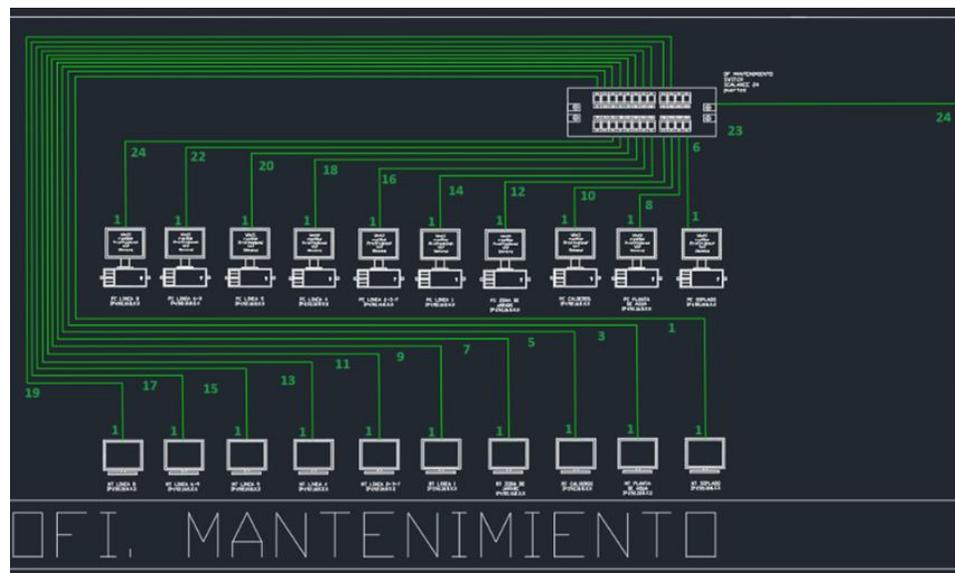
En la figura 59, el puerto 24 del switch de la LINEA 8 se conecta al puerto 23 del switch de MANTENIMIENTO, que servirá para enlazar 10 PC y 10 monitores. Los detalles de los puertos de conexión de los dispositivos de red al switch de MANTENIMIENTO se encuentran en la tabla 53.

Tabla 53 Enlaces de conexión Of. Mantenimiento

Enlaces de conexión Oficina de Mantenimiento	
Switch Of. Mantenimiento (puertos)	Dispositivos
Puerto 19	MT Línea 8
Puerto 17	MT Línea 6-9
Puerto 15	MT Línea 5
Puerto 13	MT Línea 4
Puerto 11	MT Línea 2-3-7
Puerto 9	MT Línea 1
Puerto 7	MT Zona de Jarabe
Puerto 5	MT Calderos
Puerto 3	MT Planta de agua
Puerto 1	MT Soplado
Puerto 24	PC Soplado
Puerto 22	PC Planta de agua
Puerto 20	PC Calderos
Puerto 18	PC Zona de jarabe
Puerto 16	PC Línea 1
Puerto 14	PC Línea 2-3-7
Puerto 12	PC Línea 4
Puerto 8	PC Línea 5
Puerto 6	PC Línea 6-9
Puerto 4	PC Línea 8

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Figura 59 Oficina de Mantenimiento



Fuente: Imagen elaborada por el autor

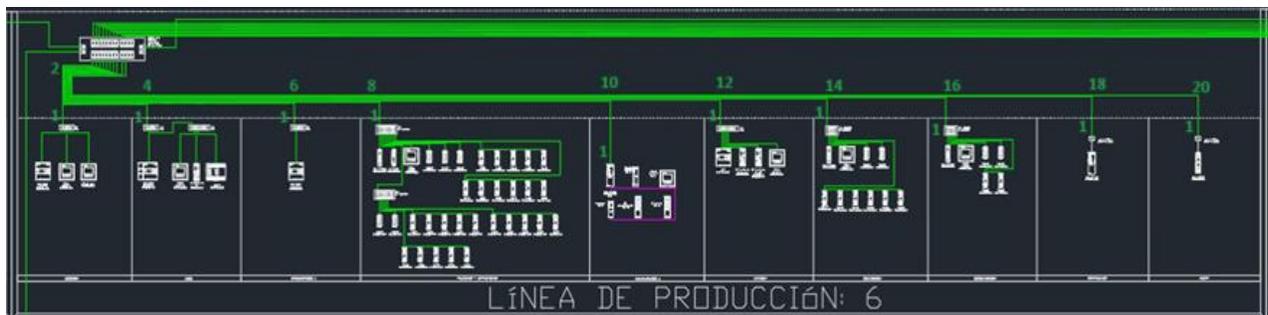
La línea de producción 6-9 cuenta con un switch principal denominado “LINEA 6-9”. En este switch el puerto 23 se encuentra conectado al puerto 21 switch de la LINEA 1, mientras que el puerto 23 se conecta al puerto 1 del switch de la LINEA 5, también en el puerto 22 del switch de la LINEA 6-9 se enlaza al puerto 1 del switch SOPLADO. Los detalles de las conexiones se encuentran detallados en la tabla 54 y su esquema de conexión en las figuras 60 y 61.

Tabla 54 Enlaces de conexión Línea de producción 6-9

Enlaces de conexión línea de producción 6-9		
Switch LINEA 6-9 (puertos)	Switch de cada proceso (puertos)	Tipo de proceso
Puerto 2	Puerto 1	Llenadora
Puerto 4	Puerto 1	Mixer
Puerto 6	Puerto 1	Transportadores 1
Puerto 8	Puerto 1	Paletizador y despaletizador
Puerto 10	CPU S7-300	Transportadores 2
Puerto 12	Puerto 1	Lavadora
Puerto 14	Puerto 1	Encajonadora
Puerto 16	Puerto 1	Desencajonadora
Puerto 18	Convertidor Ethernet/MPI	Descapsulador
Puerto 20	Convertidor Ethernet	Alexus
Puerto 19	Puerto 1	Llenadora
Puerto 17	Puerto 1	Mixer
Puerto 15	Puerto 1	Transportadores 1
Puerto 13	Puerto 1	Paletizador y despaletizador
Puerto 11	CPU S7-300	Transportadores 2
Puerto 9	Puerto 1	Lavadora
Puerto 7	Puerto 1	Encajonadora
Puerto 5	Puerto 1	Desencajonadora
Puerto 3	Convertidor Ethernet/MPI	Descapsulador
Puerto 1	Convertidor Ethernet	Alexus

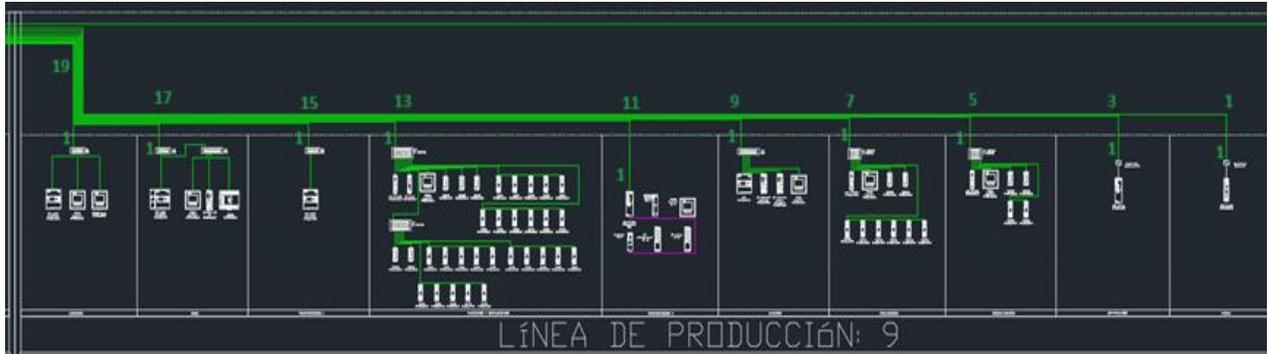
Fuente: Tabla elaborada por el autor

Figura 60 Línea de producción 6



Fuente: Imagen elaborada por el autor

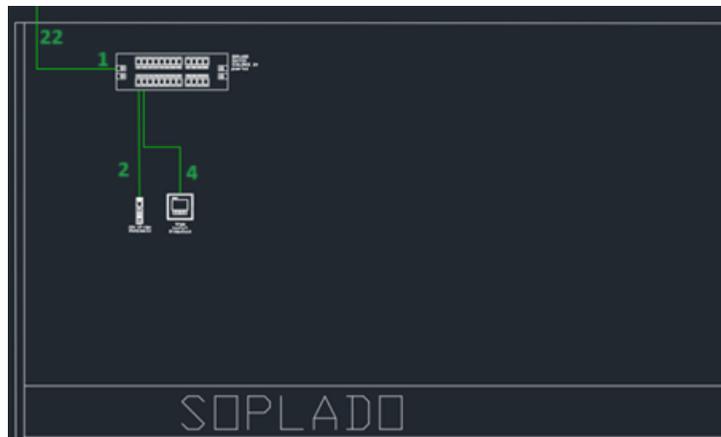
Figura 61 Línea de producción 9



Fuente: Imagen elaborada por el autor

En el área de soplado, se establece una conexión desde el puerto 22 del switch de la LINEA 6-9 hacia el puerto del switch llamado “SOPLADO”. Este switch en particular tiene dos dispositivos conectados: el CPU S7-1500 en el puerto 2 y el HMI TP900 Comfort en el puerto 4. La figura 62 proporciona una visualización más clara de esta configuración para una mejor comprensión.

Figura 62 Sala de Soplado



Fuente: Imagen elaborada por el autor

Como se ha hecho referencia anteriormente, se establece una conexión entre el puerto 23 de la línea de producción 6-9 y el puerto 1 del switch de la LINEA 5. A su vez, esta línea se conecta desde el puerto 23 hasta el puerto 1 de la LINEA 4. Con el fin de facilitar la comprensión visual de esta configuración, se adjunta la figura 63, donde se pueden observar de manera clara dichas conexiones. Además, se proporciona la tabla 55 para detallar las conexiones de los procesos que forman parte de este esquema.

Tabla 55 Enlaces de conexión Línea de producción 5

Enlaces de conexión línea de producción 5		
Switch LINEA 5 (puertos)	Switch de cada proceso (puertos)	Tipo de proceso
Puerto 2	Puerto 1	Llenadora
Puerto 4	Puerto 1	Mixer
Puerto 6	Puerto 1	Transportadores 1
Puerto 8	Puerto 1	Paletizador y despaletizador
Puerto 10	CPU S7-300	Transportadores 2
Puerto 12	Puerto 1	Lavadora
Puerto 14	Puerto 1	Encajonadora
Puerto 16	Puerto 1	Desencajonadora
Puerto 18	Convertidor Ethernet/MPI	Descapsulador
Puerto 20	Convertidor Ethernet	Alexus

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Figura 63 Línea de producción 5



Fuente: Imagen elaborada por el autor

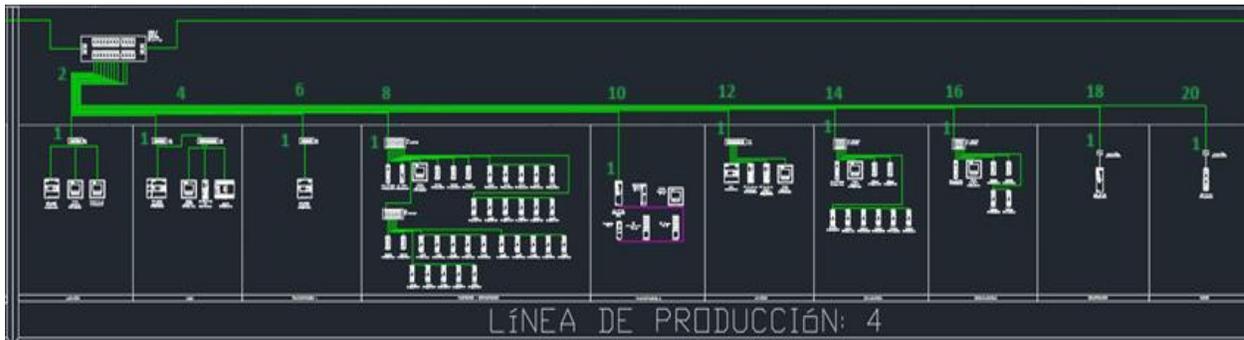
Previamente, la conexión de la línea de producción 5 establece desde el puerto 23 hasta el puerto 1 la conexión con la LINEA 4. Asimismo, esta línea se conecta desde el puerto 29 del switch de la LINEA 2-3-7. En la tabla 56 se pueden observar los enlaces de conexión, mientras que la figura 64 muestra un esquema de conexión para una mejor visualización.

Tabla 56 Enlaces de conexión Línea de producción 4

Enlaces de conexión línea de producción 4		
Switch LINEA 4 (puertos)	Switch de cada proceso (puertos)	Tipo de proceso
Puerto 2	Puerto 1	Llenadora
Puerto 4	Puerto 1	Mixer
Puerto 6	Puerto 1	Transportadores 1
Puerto 8	Puerto 1	Paletizador y despaletizador
Puerto 10	CPU S7-300	Transportadores 2
Puerto 12	Puerto 1	Lavadora
Puerto 14	Puerto 1	Encajonadora
Puerto 16	Puerto 1	Desencajonadora
Puerto 18	Convertidor Ethernet/MPI	Descapsulador
Puerto 20	Convertidor Ethernet	Alexus

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Figura 64 Línea de producción 4



Fuente: Imagen elaborada por el autor

La línea de producción 4 se conecta al puerto 29 del switch de la LINEA 2-3-7. A su vez, este switch se conecta desde el puerto 34 al switch de la LINEA 1. El switch de la LINEA 2-3-7 incluye tres líneas de producción conectadas. A continuación, se detallan los enlaces de conexión en la tabla 57 y las figura 67, 68, 69 se presentan un esquema visual que facilita la comprensión de las conexiones.

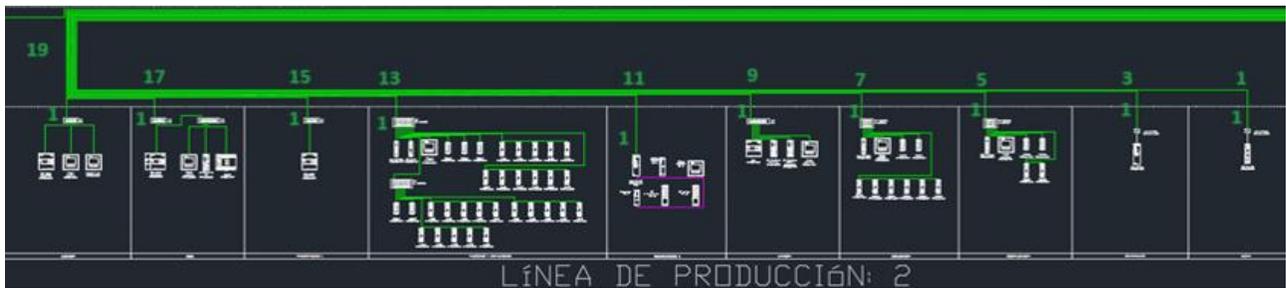
Tabla 57 Enlaces de conexión Línea de producción 2-3-7

Enlaces de conexión línea de producción 2-3-7		
Switch LINEA 2-3-7 (puertos)	Switch de cada proceso (puertos)	Tipo de proceso
Puerto 1	Convertidor Ethernet	Alexus
Puerto 3	Convertidor Ethernet/MPI	Descapsulador
Puerto 5	Puerto 1	Desencajonadora
Puerto 7	Puerto 1	Encajonadora
Puerto 9	Puerto 1	Lavadora
Puerto 11	CPU S7-300	Transportadores 2
Puerto 13	Puerto 1	Paletizador y despaletizador
Puerto 15	Puerto 1	Transportadores 1
Puerto 17	Puerto 1	Mixer
Puerto 19	Puerto 1	Llenadora
Puerto 2	Puerto 1	Llenadora
Puerto 4	Puerto 1	Mixer
Puerto 6	Puerto 1	Transportadores 1
Puerto 8	Puerto 1	Paletizador y despaletizador
Puerto 10	CPU S7-300	Transportadores 2
Puerto 12	Puerto 1	Lavadora
Puerto 14	Puerto 1	Encajonadora
Puerto 16	Puerto 1	Desencajonadora
Puerto 18	Convertidor Ethernet/MPI	Descapsulador
Puerto 20	Convertidor Ethernet	Alexus
Puerto 22	Puerto 1	Llenadora

Puerto 24	Puerto 1	Mixer
Puerto 26	Puerto 1	Transportadores 1
Puerto 21	Puerto 1	Paletizador y despaletizador
Puerto 23	CPU S7-300	Transportadores 2
Puerto 25	Puerto 1	Lavadora
Puerto 27	Puerto 1	Encajonadora
Puerto 29	Puerto 1	Desencajonadora
Puerto 31	Convertidor Ethernet/MPI	Descapsulador
Puerto 33	Convertidor Ethernet	Alexus

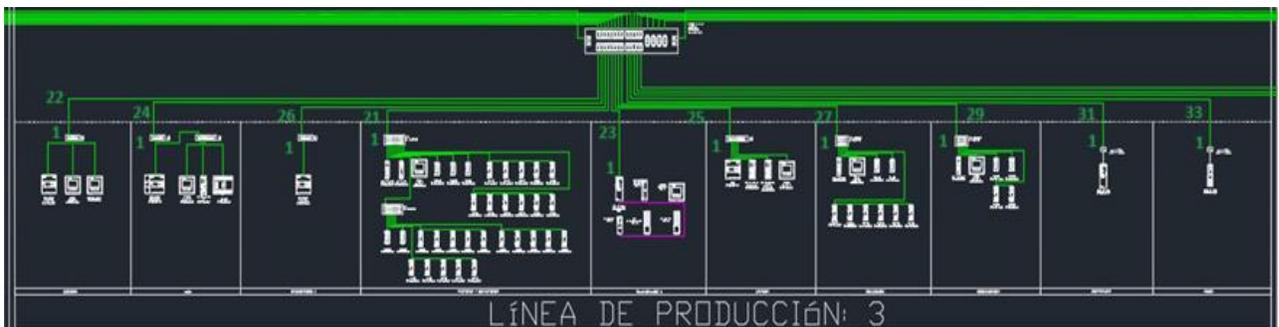
Fuente: Tabla elaborada por el autor

Figura 65 Línea de conexión 2



Fuente: Imagen elaborada por el autor

Figura 66 Línea de producción 3



Fuente: Imagen elaborada por el autor

Figura 67 Línea de producción 7



Fuente: Imagen elaborada por el autor

Como se indicó anteriormente, se establece una conexión desde el puerto 34 de la línea de producción LINEA 2-3-7 hacia el switch de la LINEA 1. En la LINEA 1, específicamente en la ZONA JARABE, se realiza una conexión desde el puerto 23 hasta el puerto 1. La figura 68 ofrece una visualización clara de estas conexiones, mientras que en la tabla 58 se detallan los puertos de conexión de los procesos al switch.

Tabla 58 Enlaces de conexión Línea de producción 1

Enlaces de conexión línea de producción 1		
Switch LINEA 1 (puertos)	Switch de cada proceso (puertos)	Tipo de proceso
Puerto 2	Puerto 1	Llenadora
Puerto 4	Puerto 1	Mixer
Puerto 6	Puerto 1	Transportadores 1
Puerto 8	Puerto 1	Paletizador y despaletizador
Puerto 10	CPU S7-300	Transportadores 2
Puerto 12	Puerto 1	Lavadora
Puerto 14	Puerto 1	Encajonadora
Puerto 16	Puerto 1	Desencajonadora
Puerto 18	Convertidor Ethernet/MPI	Descapsulador
Puerto 20	Convertidor Ethernet	Alexus

Fuente: Tabla elaborada por el autor

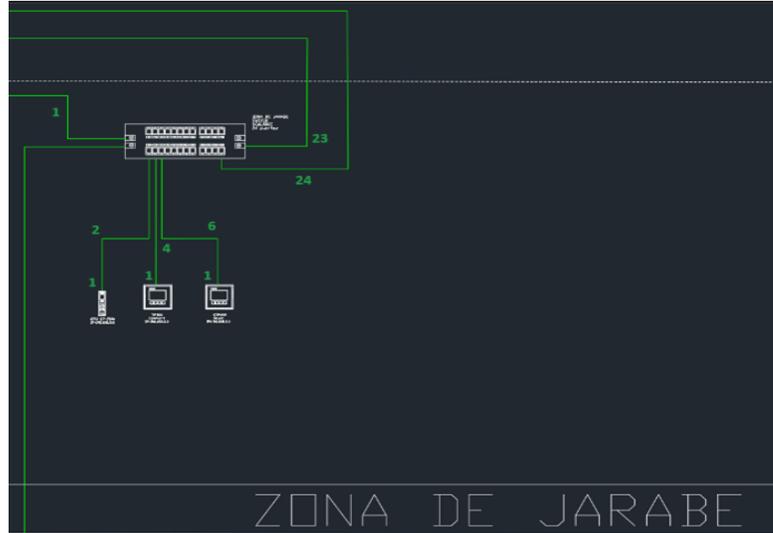
Figura 68 Línea de producción 1



Fuente: Imagen elaborada por el autor

La ZONA DE JARABE se conecta a través del puerto 1 a la LINEA 1, mientras que se establece una conexión desde el puerto 24 de la ZONA DE JARABE al puerto 24 del switch Aruba 6300M-02. Además, se realiza una conexión desde el puerto 23 al puerto 23 del tablero IoT de la infraestructura TI, cerrando así el ciclo de la arquitectura anillo y logrando la convergencia entre todos los dispositivos y equipos de la red. Esta zona de jarabe está compuesta por tres dispositivos que se pueden observar en la figura 69. En el puerto 2 se conecta el CPU S7-1500, en el puerto 4 el TP900 Comfort y en el puerto 6 el KTP400 Basic.

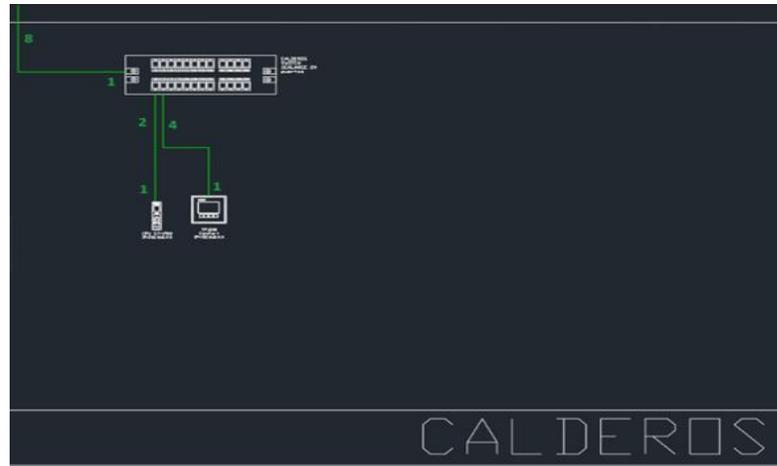
Figura 69 Zona de Jarabe



Fuente: Imagen elaborada por el autor

El área de Calderos se establece mediante la conexión del puerto 1 al puerto 8 de la zona de jarabe, como se indica en la figura 70. Esta área está compuesta por dos dispositivos ubicados en dicha figura: el CPU S7-1500 en el puerto 2 y el TP1200 Comfort en el puerto 4.

Figura 70 Calderos

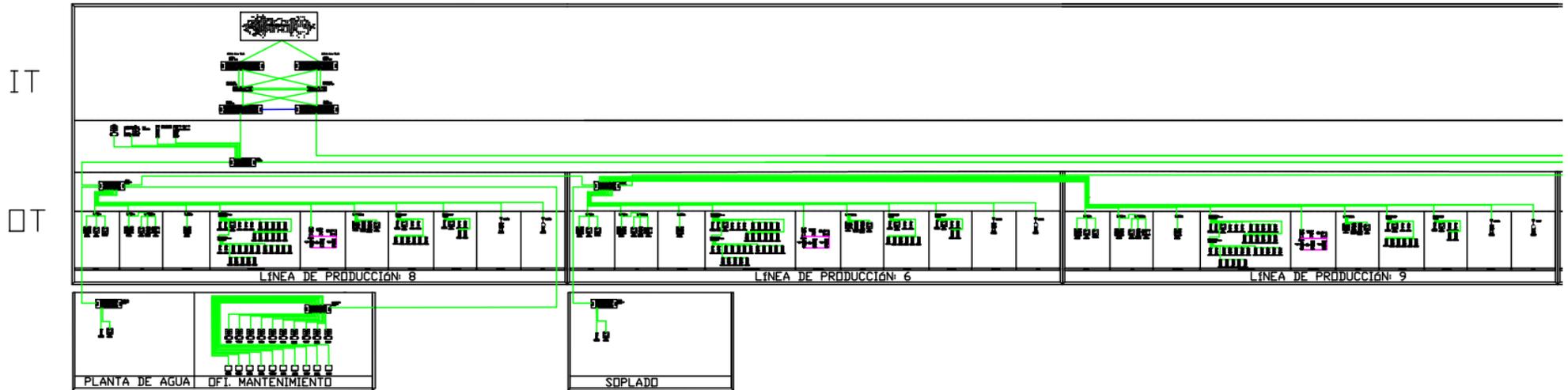


Fuente: Imagen elaborada por el autor

Luego de una exhaustiva presentación y descripción detallada de la estructura de red de telecomunicación Industrial 4.0 destinada a una planta de producción de bebidas, se procede a mostrar las figuras 71, 72 y 73 que abarcan dicha estructura, incluyendo sus interconexiones.

Figura 71 Arquitectura de red de telecomunicación propuesta - parte 1 continuación

ARQUITECTURA DE RED



Fuente: Imagen elaborada por el autor

Figura 73 Arquitectura de red de la telecomunicación propuesta - parte 2 continuación



Fuente: Imagen elaborada por el autor

Figura 72 Arquitectura de red de telecomunicación propuesta - parte 3



Fuente: Imagen elaborada por el autor

4.3.2. Configuración del Firewall para la convergencia de la red TI/OT

Para la seguridad de la red, se presentan dos propuestas que emplean el firewall Palo Alto, una solución de seguridad avanzada. Estas propuestas se diseñaron considerando las demandas tanto TI como de OT en la planta de producción. La primera propuesta se basa en el Cisco 2920, mientras que la segunda se basa en el switch Aruba 6300M. Ambos switches son adecuados para las necesidades de la red, con configuraciones y características diferentes que pueden adaptarse eficazmente al entorno.

4.3.2.1 Propuesta de conexión 1

La primera propuesta destaca la inclusión del switch Cisco 2920, se sugiere la interconexión de los equipos mediante el uso de cables de cobre de categoría 6, específicamente cables UTP. Para garantizar una transmisión de datos rápida y confiable en la planta de producción, se conectarán en paralelo los dos firewalls Palo Alto para establecer la alta disponibilidad y redundancia mediante el protocolo HA. Se asignan roles específicos, el PA-220R-01 como primario y el PA-220R-02 como secundario, esto aprovecha al máximo su capacidad de hasta 10Gbps y un ancho de banda de 250Mhz. Los puertos están conectados como se detalla en la tabla 59, además se ilustra las conexiones en la figura 74 para una adecuada comprensión.

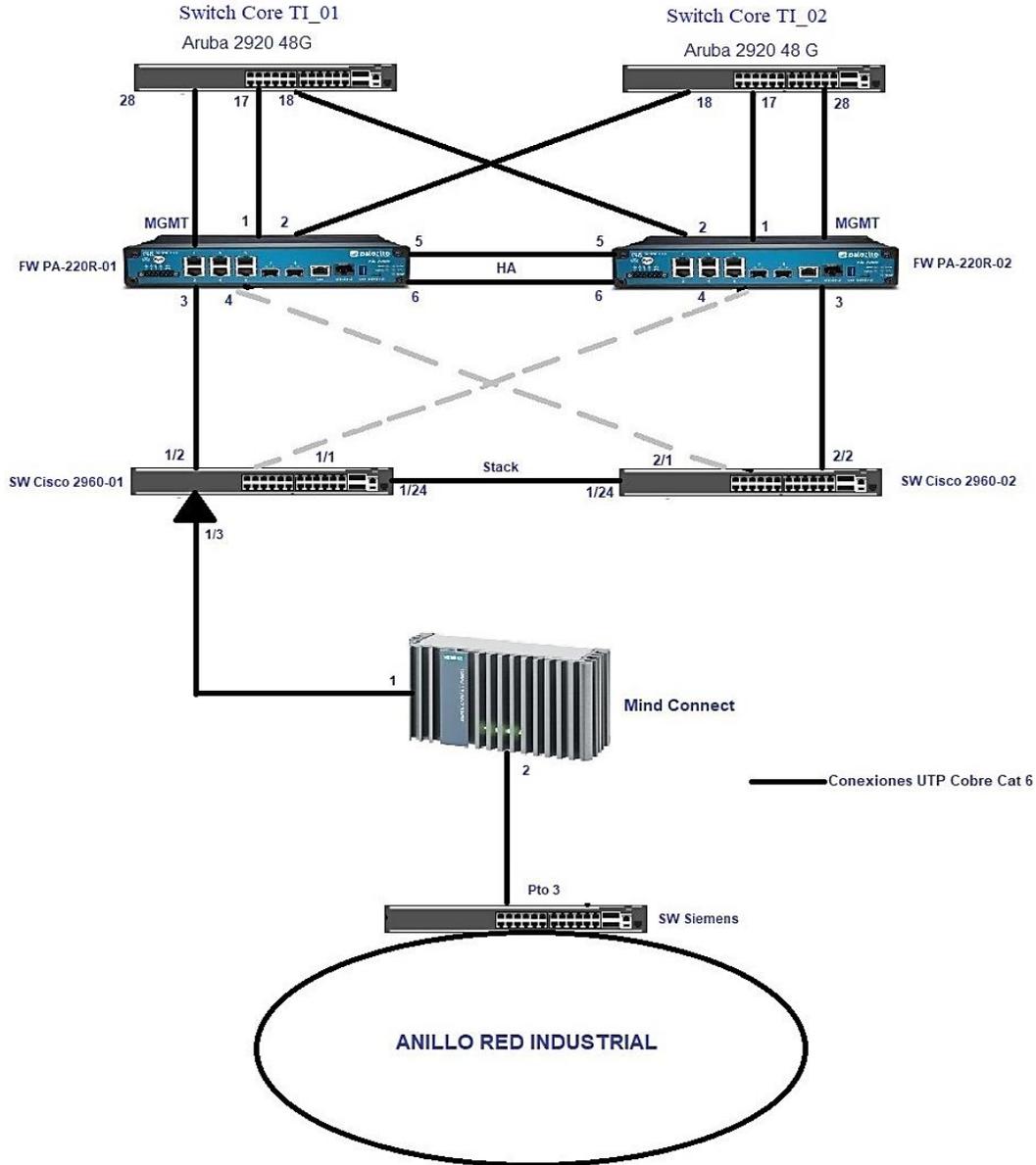
Tabla 59 Conexión de la propuesta 1

Dispositivo	Puerto	Conectado a	Dispositivo
Firewall primario	Puerto SFP 1	Puerto 17	Switch Core TI_01
Firewall primario	Puerto SFP 2	Puerto 18	Switch Core TI_02
Firewall primario	Puerto SFP 3	Puerto 2 M1	Switch SW Cisco 2920-01
Firewall primario	Puerto SFP 4	Puerto 1 M2	Switch SW Cisco 2920-02
Firewall primario	Puerto MGMT	Puerto 28	Switch Core TI_01
Firewall primario	Puerto SFP 5	Puerto 5	Firewall secundario
Firewall primario	Puerto SFP 6	Puerto 6	Firewall secundario
Firewall secundario	Puerto SFP 1	Puerto 17	Switch Core TI_02
Firewall secundario	Puerto SFP 2	Puerto 18	Switch Core TI_01
Firewall secundario	Puerto SFP 3	Puerto 2 M2	Switch SW Cisco 2920-02
Firewall secundario	Puerto SFP 4	Puerto 1	Switch SW Cisco 2920-01
Firewall secundario	Puerto MGMT	Puerto 28	Switch Core TI_02
Switch SW Cisco 2920-01	Puerto 24 M1	Puerto 24 M1	Switch SW Cisco 2920-02
Switch SW Cisco 2920-01	Puerto 3 M1	Puerto 1	Mind Connect

Mind Connect	Puerto 2	Puerto 3	Switch de Siemens
Switch de Siemens	Puerto 3	Red OT	Red OT

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Figura 74 Conexión de firewall opción 1



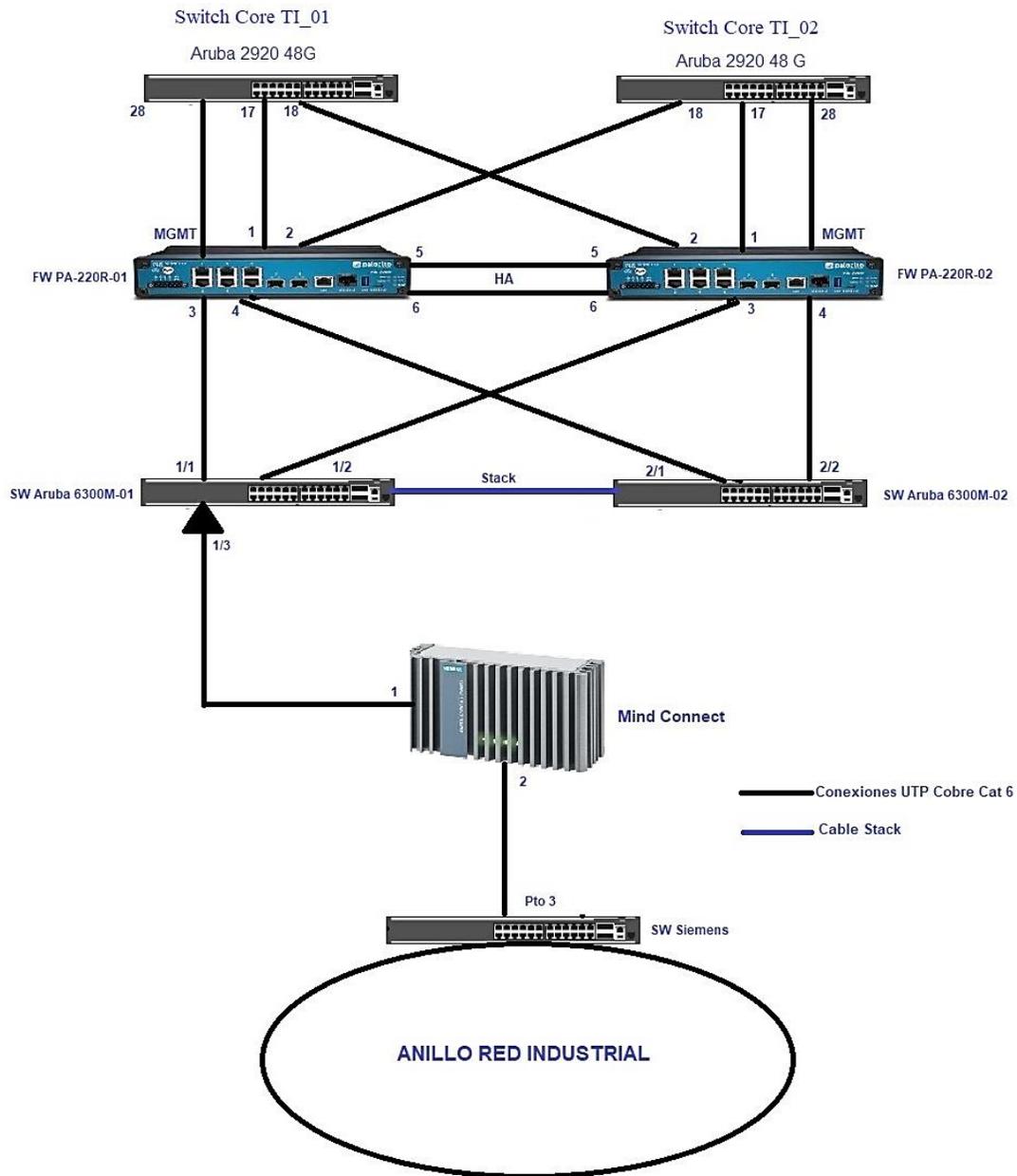
Fuente: Imagen elaborada por el autor

4.3.2.2 Propuesta de conexión 2

La propuesta de conexión 2 tiene como diferencia el switch Aruba 6300M y la conexión y configuración de estos switches en stack lo cual brindara alta fiabilidad, rendimiento y facilidad de

administración, los puertos se conectaron como expone la tabla 60 quedando las conexiones como se observa en la figura 75.

Figura 75 Conexión firewall propuesta 2.



Fuente: Imagen elaborada por el autor

Tabla 60 Conexión de la propuesta 2

Dispositivo	Puerto	Conectado a	Dispositivo
Firewall primario	Puerto SFP 1	Puerto 17	Switch Core TI_01
Firewall primario	Puerto SFP 2	Puerto 18	Switch Core TI_02
Firewall primario	Puerto SFP 3	Puerto 1 M1	Switch SW Aruba 6300M-01
Firewall primario	Puerto SFP 4	Puerto 1 M2	Switch SW Aruba 6300M-02
Firewall primario	Puerto MGMT	Puerto 28	Switch Core TI_01
Firewall primario	Puerto SFP 5	Puerto 5	Firewall secundario
Firewall primario	Puerto SFP 6	Puerto 6	Firewall secundario
Firewall secundario	Puerto SFP 1	Puerto 17	Switch Core TI_02
Firewall secundario	Puerto SFP 2	Puerto 18	Switch Core TI_01
Firewall secundario	Puerto SFP 3	Puerto 2 M1	Switch SW Aruba 6300M-01
Firewall secundario	Puerto SFP 4	Puerto 2 M2	Switch SW Aruba 6300M-02
Firewall secundario	Puerto MGMT	Puerto 28	Switch Core TI_02
Switch SW Aruba 6300M-01	Puerto 24	Puerto 24	Switch SW Aruba 6300M-02
Switch SW Aruba 6300M-01	Puerto 3 M1	Puerto 1	Mind Connect
Mind Connect	Puerto 2	Puerto 3	Switch de Siemens
Switch de Siemens	Puerto 4	Red OT	Red OT

Fuente: Imagen elaborada por el autor

Ambas opciones son adecuadas para satisfacer las necesidades actuales de la planta de producción. Sin embargo, al considerar el crecimiento futuro de dispositivos a conectar y las características de administración de la red, la segunda propuesta ofrece una ventaja significativa. Esta propuesta brinda una mayor facilidad de administración de la red a través del uso del stack no solo en la conexión por cable como en la primera propuesta si no en la configuración de los switches como uno solo, esto mejora la vigilancia de la red tanto en términos de seguridad y control de amenazas como en la gestión de la congestión de la red.

No obstante, es importante tener en cuenta que este enfoque tiene un costo más elevado en comparación con la primera propuesta. Por lo tanto, la elección de las alternativas más adecuadas se deja a discreción de acuerdo con las necesidades y recursos individuales.

A continuación, en la tabla 61 se muestra una comparativa de los dos switches de distribución:

Tabla 61 Tabla comparativa de los switches de distribución.

Características	Switch Cisco 2920	Switch Aruba 6300
Puertos Ethernet	Ethernet de 24 Gigabits.	Ethernet de 24 Gigabits.
Banda ancha	10 Gb/s	25 Gb/s
Alimentación a través de Ethernet (PoE)	150 vatios	370 vatios
Apilado	Hasta 8 interruptores	Hasta 16 interruptores
VLAN	Admite hasta 4096 VLAN	Admite hasta 8096 VLAN.
QoS	Soporta ocho niveles de prioridad.	Admite ocho niveles de prioridad y ocho clases de servicio.
Seguridad	Admite autenticación MAC, seguridad de puertos y SSH.	Admite autenticación MAC, seguridad de puerto, SSH y autenticación RADIUS.
Gestión	Admite CLI, GUI y SNMP.	Admite CLI, GUI, SNMP y Aruba Central.
Garantía	3 años	5 años

Fuente: Tabla elaborada por el autor

4.4 Volumen de obra

A lo largo de esta sección se proporcionarán detalles técnicos, especificaciones de equipos y componentes, costos, inversión requerida, supuestos y un modelo de evaluación económica para garantizar el éxito de esta iniciativa estratégica en el ámbito de las telecomunicaciones industriales 4.0.

4.4.1 Presupuesto y costos

La sección presupuestaria ha sido cuidadosamente evaluada, considerando aspectos como calidad, capacidad, escalabilidad y vida útil de los equipos. Además, se ha tomado en cuenta la posibilidad de futuras expansiones y la compatibilidad. En la tabla 62, se muestra un presupuesto necesario de \$260,203.21 de los dispositivos seleccionados para la infraestructura de red propuesta. A continuación, se presenta un desglose detallado de los datos relevantes a considerar:

Tabla 62 Presupuesto y costos

ITEM	#PARTE	DESCRIPCIÓN	CANT.	UNIDAD	V.UNIT.	V.TOTAL
FIREWALL PALO ALTO PA-220R						
1	PAN-PA-220R	Palo Alto Networks PA-220R	2	unid.	\$3,736,45	\$7,472,91
2	PAN-PA-220R-TP-3YR-HA2	Suscripción de prevención de amenazas plazo de 3 años para dispositivo en un par HA, PA-220R.	2	unid.	\$1,916,96	\$3,833,93
3	PAN-PA-220R-WF-3YR-HA2	Suscripción WildFire plazo de 3 años para dispositivo en un par HA, PA-220R.	2	unid.	\$1,916,96	\$3,833,93
4	PAN-SVC-PREM-220R-3YR	Soporte premium por 3 años, PA-220R	2	unid.	\$2,739.73	\$5,497,47
5	PAN-PWR-60W-AC	Adaptador de corriente 60W AC	4	unid.	\$173.28	\$693.12
6	PAN-PWR-CORD-US	Cable de alimentación para Norteamérica con IEC-60320 C13 y NEMA 5-15P extremos del cable 10A, 125V máx., 6ft.	4	unid.	\$1.00	\$4.00
SWITCH ARUBA 6300M 48G						
7	JL661A	Switch Aruba 6300M 48G CL4 PoE 4SFP56.	2	unid.	\$7,505.40	\$15,010.80
8	HR4Z1E	Aruba 3Y FC NBD Exch 6300M 48 PoE SVC (para JL661A)	2	unid.	\$3,210.77	\$6,421.54
9	JL087A	Fuente de alimentación de CA Aruba X372 54VDC 1050W.	4	unid.	\$847.63	\$3,390,52
10	JL087A ABA	INCLUIDO: Cable de alimentación localización U.S.	4	unid.	\$0.01	\$0.04
11	J4858D	Transceptor Aruba 1G SFP LC SX para fibra multimodo (MMF) de 500 metros.	9	unid.	\$138.61	\$1,247.50
12	J9281D	Cable DAC Aruba 10G SFP+ a SFP+ de 1 metro.	2	unid.	\$64.88	\$129.76
SWITCH ARUBA 2920 48G						
13	J9729A	Switch Administrable, Aruba 2920-48-G-POE+, full capa L3 con soporte para stacking (apilamiento) con 44 puertos Gigabit 10/100/1000 PoE+, 04 puertos de fibra SFP, 01 slot para módulo de apilamiento, 02 slots opcionales para módulos de 10G.	2	unid.	\$2,799.00	\$5,598.00
14	H1LN6E	3Y FC NBD EXCH ARUBA 2920 48G SW SVC.	2	unid.	\$1,850.00	\$3,700.00
15	J9281D	Cable DAC Aruba 10G SFP+ a SFP+ de 1 metro.	2	unid.	\$64.88	\$129.76

		Licencias Airwave				
	JW546AAE	Aruba LIC-AW Aruba Airwave con RAPIDS and VisualRF 1 licencia de dispositivo E-LTU.	4	unid.	\$39.99	\$159.96
	H2YV4E	Aruba 3Y FC SW AW 1 DEV E-L SVC (para JW546AAE).	4	unid.	\$47.82	\$191.28
		SWITCH SCALANCE XR324-12M				
16	6GK5324-0GG10-3AR2	Switch IE Gestionado, rack de 19"; 12 módulos 100/1000 Mbits/s módulos de medio de 2 puertos, tanto eléctricos como ópticos, incluye diagnóstico LED, contactos de señalización contacto, pulsador Select/Set, PROFINET IO Device, ofrece funciones como administrador de redundancia, Office Features (RSTP, VLAN, IGMP) C-PLUG en el volumen de suministro alimentación 230 V AC.	12	unid.	\$3,561.25	\$42,735.00
17	6GK5992-2GA00-8AA0	Accesorios para SCALANCE X; módulo de medio MM992-2CUC; 2 x 100/1000 Mbits/s puertos RJ45, eléctricos; con collar de sujeción.	96	unid.	\$505.00	\$48,480.00
18	6GK5992-2AS00-8AA0	accesorios para SCALANCE X; módulo de medio MM992-2SFP; 2 x 100/1000 Mbits/s para SFP transceptor enchufable.	24	unid.	\$398.75	\$9,570.00
19	6GK5991-1AD00-8AA0	Elementos complementarios para SCALANCE X, incluye un transceptor SFP991-1 de conexión rápida con un puerto LC de 100 Mbits/s, diseñado para comunicación: óptica, multimodo, vidrio, un alcance máximo de 5 km.	24	unid.	\$222.50	\$5,340.00
		SWITCH SCALANCE XR326-8				

20	6GK5334-2TS00-2AR3	Rack de 19" con 24 puertos RJ45 100/1000 Mbits/s; 2 puertos RJ45 1000/10000 Mbits/s y 8 puertos SFP+ 1G/10G, incluye diagnóstico LED; contacto de señalización, pulsador Select/Set, es compatible con PROFINET IO Device y ofrece gestión de red y administración de redundancia, cuenta con funciones como RSTP, VLAN, IGMP. Alimentación 24 V DC.	1	unid.	\$5,490.88	\$5,490.88
21	6GK5992-1AG00-8AA0	Accesorios para SCALANCE X, incluyendo un transceptor SFP992-1+ con un puerto LC de 1000 Mbits/s, diseñado para comunicación óptica multimodo de vidrio, con un alcance de hasta 2000 metros.	2	unid.	\$399.80	\$799.60
SIMATIC IoT 2000						
22	6ES7647-0AA00-1YA2	SIMATIC IoT 2000 módulo de entradas y salidas, 5x DI 2x AI 2x DO, shield de ARDUINO para Simatic IoT2040 e IoT2050.	1	unid.	\$644.00	\$644.00
CPU S7-1500						
23	6ES7512-1CK01-A0B0	CPU 1512C-1 PN, Unidad central con 250 KB de memoria para programa y 1MB para datos, 32 DI, 32 DO, 5 AI, 2 AO, 6 contadores rápidos, interfaz 1: switch PROFINET IRT con 2 puertos, 48 NS BIT-Performance.	1	unid.	\$2,653.28	\$2,653.28
24	6ES7954-8LF03-0AA0	Tarjeta de memoria SIMATIC de 24MB. Compatible con Simatic S7-1500. Permite, además, el registro de variables de proceso (Datalogging).	1	unid.	\$857.00	\$857.00
IM 155-6 PN ST						
25	6ES7155-6AR00-0AN0	SIMATIC ET 200SP Módulo de interfaz básico PROFINET máx. 12 Módulos periféricos 24 V CC, 2 puertos RJ45 interruptor integrado incluido módulo de servidor.	1	unid.	\$789.00	\$789.00
WINCC RUNTIME PROFESSIONAL V17						

26	6AV2105-0DA07-0AA0	SIMATIC WINCC RUNTIME PROFESSIONAL 512 POWERTAGS V17, software runtime en TIA Portal, licencia única, SW y documentación en DVD, clave de licencia en memoria USB, clase A, 5 idiomas (DE, EN, IT, FR, ES).	11	unid.	\$7,353.00	\$80,883.00
CONVERTIDOR ETHERNET/MPI PARA DESCAPSULADOR						
27	6GK7343-1CX10-0XE0	Procesador de comunicaciones CP 343-1 Lean diseñado para establecer la conexión entre SIMATIC S7-300 a Industrial Ethernet vía TCP/IP y UDP. Permite la función envío y recepción Multicast SEND/RECEIVE con y sin RFC1006, Fetch/Write, facilita la comunicación S7 como servidor, interruptor integrado de 2 puertos PROFINET IO Device switch integrado ERTEC 200, sustitución de módulos sin necesidad de programadora, diagnóstico SNMP.	1	unid.	\$3,563.00	\$3,563.00
CONVERTIDOR ETHERNET PARA ALEXUS						
28	ABC4013	Anybus Data Gateway: Interfaz para PROFINET, Ethernet/IP, Ethernet Industrial, 24 V CC.	1	unid.	1,0033.93	1,033.93
					TOTAL:	260,203.21

Fuente: Tabla elaborada por el autor

4.4.2 Inversión

Con el objetivo de realizar una infraestructura de red eficiente y de alto rendimiento, se ha efectuado un análisis exhaustivo de los recursos y equipos necesarios para este proyecto. A continuación, se detalla la inversión requerida para llevar a cabo la propuesta de infraestructura de red de telecomunicación, y estos datos se encuentran documentados en la tabla 63. Este análisis de costos proporciona una visión clara y detallada de los recursos financieros requeridos para llevar a cabo la infraestructura de red propuesta.

Tabla 63 Inversión del proyecto

Desglose detallado de inversión total		Año 0
Inversión Total del Proyecto (USD)		332.199,77
Descripción de los activos o servicios de la inversión		
PLANTA DE PRODUCCIÓN	EQUIPOS	\$ 260.203,21
	SERVICIOS	\$ 12.000,00
	INSTRUMENTACIÓN	\$ 26.947,17
LICENCIA MINDSPHERE	SOFTWARE	\$ 14.922,25
ROLL OUT OEE	SERVICIO	\$ 8.451,42
IMPREVISTOS		\$ 9.675,72

Fuente: Tabla elaborada por el autor

4.4.3 Supuestos

A continuación, se presenta los supuestos considerados para el análisis de rentabilidad, resumidos en la tabla 64. Estos supuestos son esenciales para proyectar los flujos de efectivo y evaluar la viabilidad económica del proyecto.

Tabla 64 Supuestos

Supuestos	
País	Ecuador
Unidad de negocio	Bebidas Ecuador
Supuestos Económicos	
Impuestos	25%
PTU	15%
Tipo de cambio (MXP/USD)*	20,00
Tipo de cambio (ARS/USD)*	37,50
Tipo de cambio (Sol/USD)*	4,03
Tasa de descuento	10, 0%
Valor terminal	Si
¿Requiere cálculo de Δ en capital de trabajo?	No
Días Clientes (@Ventas)	0
Días Inventarios (@Costos Variables)	0
Días Proveedores (@Costos Variables)	0
Otros supuestos del análisis	
a) Inflación	2,63 %
b) Los cálculos de beneficios están calculados con base en los datos del 2021 de Planta Quito, Guayaquil y Santo Domingo.	1,0263
c) El capex para la mantención de las licencias de Mindsphere ingresará al presupuesto OPEX de TI.	

Fuente: Tabla elaborada por el autor

4.4.4 Ingresos

En la tabla 65, se presenta la estimación de los ingresos totales proyectados para un período de 10 años.

Tabla 65 Ingresos

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ahorro por uso de caso de uso	-	318.064	318.064	318.064	318.064	318.064	318.064	318.064	318.064	318.064
Ingresos netos totales (USD)	-	318.064	318.064	318.064	318.064	318.064	318.064	318.064	318.064	318.064

Fuente: Tabla elaborada por el autor

4.4.5 Gastos fijos

A continuación, en la tabla 66 se detallan los gastos fijos incrementales considerados en el análisis de rentabilidad. Estos gastos han sido cuidadosamente evaluados para obtener una visión integral del análisis de rentabilidad del proyecto.

Tabla 66 Gastos fijos

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Gastos Fijos Incrementales (USD)	(30.324)	(31.234)	(32.171)	(33.136)	(34.130)	(35.154)	(36.208)	(37.295)	(38.414)	(39.566)
Mantenimiento Licencias Mindsphere	(30.324)	(31.234)	(32.171)	(33.136)	(34.130)	(35.154)	(36.208)	(37.295)	(38.414)	(39.566)

Fuente: Tabla elaborada por el autor

4.4.6 Resumen de ahorros

Se presenta un resumen detallado de los ahorros proyectados en un período de 10 años en la planta. Estos ahorros se muestran en la tabla 67 y reflejan los beneficios estimados que se obtendrán a lo largo de la implementación del proyecto durante ese período.

Tabla 67 Resumen de ahorros

\$1,00		DATOS PROYECTADOS A 10 AÑOS									
Concepto de Ahorro	Planta	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Planta Bebidas		\$ -	\$65.854,17	\$65.854,17	\$65.854,17	\$65.854,17	\$65.854,17	\$65.854,17	\$65.854,17	\$65.854,17	\$65.854,17

Fuente: Tabla elaborada por el autor

4.4.7 Proyección 10 años

A continuación, se muestra en la tabla 68 un resumen de la proyección de 10 años, con los indicadores de Utilidad de Línea (UL), Costo Unitario (CU) y Mejora. Estos indicadores son clave para evaluar el desempeño y la rentabilidad de la planta de producción de bebidas a lo largo del período proyectado. La UL refleja en la tabla 69, la ganancia neta que se espera obtener después de deducir todos los costos y gastos de la operación, mientras el CU en la tabla 70 indica el costo promedio de producción por unidad de producto. El indicador de mejora representará el porcentaje de aumento o disminución en comparación con el período inicial. Este indicador muestra el impacto positivo de las estrategias implementadas y cómo ha evolucionado a lo largo de los 10 años proyectados.

Para continuar con el análisis de rentabilidad, se ha seleccionado la Línea 5 como línea piloto con el objetivo de aumentar la UL en un 0.5%. Se busca lograr este aumento mediante la reducción de los gastos asociados a la mala operación de los equipos, lo que actualmente ocasiona pérdidas y un consumo excesivo de recursos. Los datos de los indicadores UL, CU y Mejora son evaluados a través de los datos de referencia del año 2021, estos se han utilizado para proyectar los valores estimados de ahorro durante un período de 10 años.

Tabla 68 Proyección 10 años

Ahorro	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Planta Bebidas		\$ 65.854	\$ 65.854	\$ 65.854	\$ 65.854	\$ 65.854	\$ 65.854	\$ 65.854	\$ 65.854	\$ 65.854

MARGEN CONTRIBUCIÓN USD/CU	\$ 1,51
-----------------------------------	----------------

	UL 2021	CU 2021	MEJORA	CU MEJORA	\$ MEJORA
Planta bebidas	48,48%	4.228.775	0,50%	43.612,04	65.854,17

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Tabla 69 Producción UL

PRODUCCIÓN UL

UL (UTILIZACIÓN DE LINEA).		Mes.												
Planta	Puesto	Ene'21	Feb'21	Maz'21	Abr'21	May'21	Jun'21	Jul'21	Ago'21	Sep'21	Oct'21	Nov'21	Dic'21	Total general
Planta bebidas	Línea # 1	54,14%	44,68%	49,85%	56,34%	55,26%	48,45%	53,34%	49,36%	51,67%	50,18%	54,73%	51,40%	51,60%
	Línea # 2	68,98%	65,12%	72,67%	69,08%	68,61%	64,94%	66,81%	62,76%	77,29%	70,24%	69,69%	68,07%	68,59%
	Línea # 3	67,07%	65,97%	62,65%	70,18%	66,59%	59,19%	60,41%	67,38%	62,84%	65,55%	62,50%	66,26%	64,73%
	Línea # 4	66,75%	62,21%	62,23%	68,73%	68,06%	57,41%	59,77%	57,43%	60,00%	65,72%	62,48%	57,14%	62,17%
	Línea # 5	45,44%	46,60%	49,13%	44,80%	48,20%	51,13%	51,24%	54,97%	53,83%	50,33%	46,28%	42,97%	48,48%
	Línea # 6	95,77%	84,85%	96,16%	94,71%	88,97%	90,58%	92,74%	97,80%	97,46%	97,28%	95,72%	96,08%	94,44%
	Línea # 7	54,47%	54,08%	56,72%	40,63%	54,04%	56,05%	58,47%	61,98%	58,47%	59,22%	56,92%	53,79%	54,97%
	Línea # 8	57,38%	62,49%	57,20%	55,18%	59,19%	66,38%	60,20%	61,13%	57,89%	50,08%	56,83%	57,70%	58,15%
	Línea # 9 Linker	68,65%	63,00%	72,86%	66,52%	79,75%	70,82%	77,87%	82,47%	74,23%	73,73%	71,66%	81,13%	73,99%
Total Planta bebidas		62,63%	59,40%	63,80%	63,20%	64,38%	60,95%	63,46%	64,51%	62,96%	63,50%	63,46%	62,07%	62,87%

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Tabla 70 Producción CU

		2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Planta bebidas	Línea # 1	12.850.487,00	13.107.496,74	13.369.646,67	13.637.039,61	13.909.780,40	14.187.976,01	14.471.735,53	14.761.170,24	15.056.393,64	15.357.521,52	15.664.671,95
	Línea # 2	3.507.081,00	3.577.222,62	3.648.767,07	3.721.742,41	3.796.177,26	3.872.100,81	3.949.542,82	4.028.533,68	4.109.104,35	4.191.286,44	4.275.112,17
	Línea # 3	4.228.775,00	4.313.350,50	4.399.617,51	4.487.609,86	4.577.362,06	4.668.909,30	4.762.287,48	4.857.533,23	4.954.683,90	5.053.777,58	5.154.853,13
	Línea # 4	13.044.067,00	13.304.948,34	13.571.047,31	13.842.468,25	14.119.317,62	14.401.703,97	14.689.738,05	14.983.532,81	15.283.203,47	15.588.867,54	15.900.644,89
	Línea # 5	4.387.490,00	4.475.239,80	4.564.744,60	4.656.039,49	4.749.160,28	4.844.143,48	4.941.026,35	5.039.846,88	5.140.643,82	5.243.456,69	5.348.325,83
	Línea # 6	2.919.156,00	2.977.539,12	3.037.089,90	3.097.831,70	3.159.788,33	3.222.984,10	3.287.443,78	3.353.192,66	3.420.256,51	3.488.661,64	3.558.434,88
	Línea # 7	6.559.522,00	6.690.712,44	6.824.526,69	6.961.017,22	7.100.237,57	7.242.242,32	7.387.087,16	7.534.828,91	7.685.525,49	7.839.236,00	7.996.020,72
	Línea # 8	15.764.853,00	16.080.150,06	16.401.753,06	16.729.788,12	17.064.383,88	17.405.671,56	17.753.784,99	18.108.860,69	18.471.037,91	18.840.458,67	19.217.267,84
	Línea # 9 Linker	1.154.806,00	1.177.902,12	1.201.460,16	1.225.489,37	1.249.999,15	1.274.999,14	1.300.499,12	1.326.509,10	1.353.039,28	1.380.100,07	1.407.702,07

Fuente: Tabla elaborada por el autor

4.4.8 Evaluación de rentabilidad

La evaluación de rentabilidad se ha realizado mediante el análisis de tres indicadores clave: el Valor Presente Neto conocido como VAN, la Tasa Interna de Retorno también referido como TIR y el periodo de recuperación. Estos indicadores han permitido determinar la viabilidad financiera del proyecto de manera integral. En la tabla 71, se encuentran detallados los resultados de la evaluación de rentabilidad para el proyecto. Los indicadores han sido calculados cuidadosamente utilizando los flujos de efectivo proyectados y los supuestos establecidos previamente. Los resultados obtenidos han confirmado la viabilidad financiera del proyecto, con un VAN positivo, una TIR que supera la tasa de descuento y un período de recuperación dentro de los límites establecidos como aceptables.

Con base en estos resultados, podemos determinar que el proyecto es rentable y cumple con los objetivos de la evaluación de rentabilidad. Esto respalda la toma de decisiones informadas y proporciona una base sólida para continuar avanzando con el desarrollo de la infraestructura de red propuesta en una planta de producción de bebidas carbonatadas y no carbonatadas.

Tabla 71 Evaluación de rentabilidad

Nombre del proyecto:	Inversión en año en curso (miles USD)
Infraestructura de red Industria 4.0	\$ 332.199,77
País:	Resumen de Indicadores de Rentabilidad
Ecuador	Valor Presente Neto (USD) 664.512,5
Inversión total (USD)	Tasa Interna de Rendimiento (%) 33,3%
\$ 332.199,77	Periodo de Recuperación (Meses) 45,0

Modelo	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Inversión Total del Proyecto (USD)	332.200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultados (Miles USD)											
Ingresos Incrementales	-	-	318.063,8	318.063,8	318.063,8	318.063,8	318.063,8	318.063,8	318.063,8	318.063,8	318.063,8
Costos Variables Incrementales	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Contribución Marginal % / Ventas	-	-	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Gastos Fijos Incrementales	-	(30.324,0)	(31.233,7)	(32.170,7)	(33.135,9)	(34.129,9)	(35.153,8)	(36.208,4)	(37.294,7)	(38.413,5)	(39.565,9)
PTU	15%	(434,4)	(48.007,5)	(47.867,0)	(47.722,2)	(47.573,1)	(47.419,5)	(47.261,3)	(47.098,4)	(46.930,5)	(46.757,7)
Depreciación + Amortización	-	33.220,0	33.220,0	33.220,0	33.220,0	33.220,0	33.220,0	33.220,0	33.220,0	33.220,0	33.220,0
Gastos Fijos Incrementales Totales	-	2.461,6	(46.021,3)	(46.817,7)	(47.638,1)	(48.483,0)	(49.353,3)	(50.249,8)	(51.173,1)	(52.124,1)	(53.103,6)
Utilidad de Operación (EBIT) % / Ventas	-	2.461,6	272.042,6	271.246,1	270.425,7	269.580,8	268.710,5	267.814,0	266.890,7	265.939,7	264.960,2
	-	-	85,5%	85,3%	85,0%	84,8%	84,5%	84,2%	83,9%	83,6%	83,3%
Impuestos	25%	(615,4)	(68.010,6)	(67.811,5)	(67.606,4)	(67.395,2)	(67.177,6)	(66.953,5)	(66.722,7)	(66.484,9)	(66.240,0)
Utilidad Neta % / Ventas	-	1.846,2	204.031,9	203.434,6	202.819,3	202.185,6	201.532,9	200.860,5	200.168,0	199.454,8	198.720,1
	-	-	64,1%	64,0%	63,8%	63,6%	63,4%	63,2%	62,9%	62,7%	62,5%
Flujo de Efectivo (Miles USD)											
Flujo de la Operación (EBITDA) % / Ventas	-	(30.758,4)	238.822,6	238.026,1	237.205,8	236.360,8	235.490,5	234.594,1	233.670,8	232.719,7	231.740,2
	-	-	75,1%	74,8%	74,6%	74,3%	74,0%	73,8%	73,5%	73,2%	72,9%
Flujo del Capital Neto de Trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Impuestos Totales	-	(615,4)	(68.010,6)	(67.811,5)	(67.606,4)	(67.395,2)	(67.177,6)	(66.953,5)	(66.722,7)	(66.484,9)	(66.240,0)
Flujo Neto de Efectivo (Miles de USD corrientes)	(332.199,8)	(31.373,79)	170.811,94	170.214,60	169.599,33	168.965,61	168.312,87	167.640,56	166.948,07	166.234,81	165.500,15
Flujo Neto de Efectivo (Miles USD constantes)	(332.199,8)	(30.608,6)	162.581,3	158.061,2	153.648,6	149.341,0	145.135,7	141.030,2	137.022,1	133.108,9	129.288,5
Tasa de descuento	10%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Valor Terminal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	646.442,3
Flujo Neto de Efectivo para Evaluación	(332.199,8)	(30.608,6)	162.581,3	158.061,2	153.648,6	149.341,0	145.135,7	141.030,2	137.022,1	133.108,9	775.730,7
Flujos de Efectivo Descontados	(332.199,8)	(27.826,0)	134.364,7	118.753,7	104.944,1	92.729,0	81.925,3	72.370,8	63.921,8	56.451,2	299.077,8
Indicadores de Rentabilidad (Miles USD)											
Valor Presente Neto (Miles USD)	664.512,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tasa Interna de Rendimiento (TIR)	33%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Periodo de Recuperación (Meses)	45,0	12,0	12,0	12,0	9,0	-	-	-	-	-	-

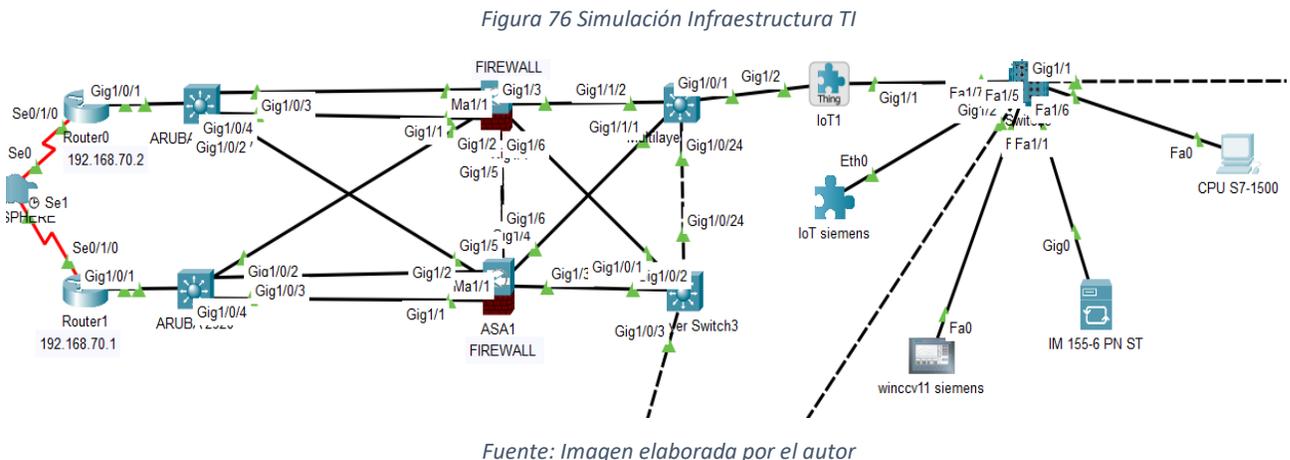
Fuente: Tabla elaborada por el autor

4.5 Análisis de viabilidad y funcionalidad

En este análisis, se evaluarán los riesgos potenciales y se abordarán estrategias de mitigación para asegurar una ejecución exitosa del proyecto. Asimismo, se contemplará la capacidad de escalabilidad de la red, permitiendo su expansión y ajuste sin contratiempos a medida del crecimiento de la planta y la integración de nuevas líneas de producción y equipos. En el análisis de funcionalidad de redes, una comprensión del comportamiento del sistema es fundamental para garantizar su rendimiento y su capacidad de cumplir con los objetivos establecidos. En este contexto, la simulación emerge como una herramienta invaluable que permite recrear virtualmente, evaluar interacciones entre componentes y anticipar posibles fallos o ineficiencias.

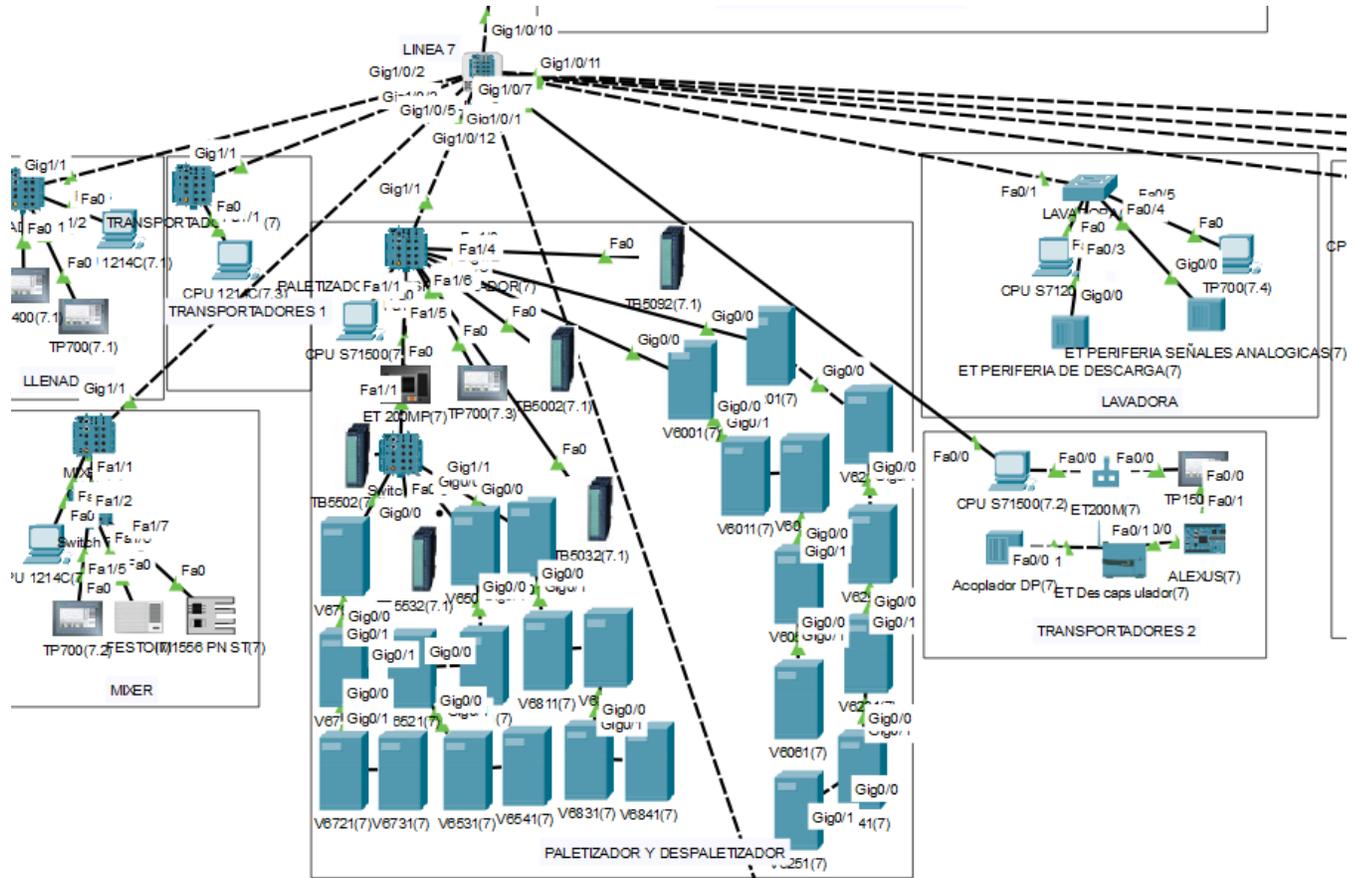
4.5.1 Configuración de la red

El inicio del proceso de simulación involucró la representación visual de la topología previamente delineada en las secciones anteriores, dentro del entorno del simulador, en total son 1014 equipos que conforman la red.



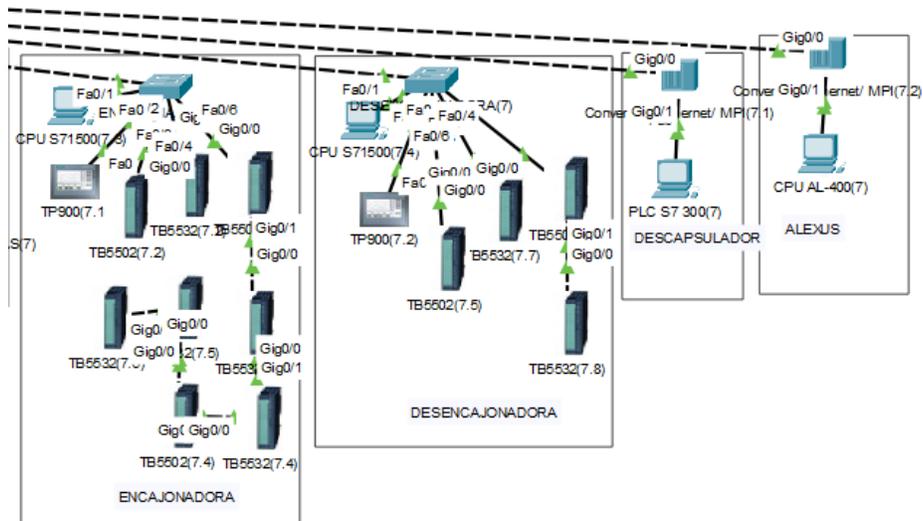
Las figuras 76, 77 y 78 representan la topología de la infraestructura de red. En la tabla 74, se visualiza la infraestructura de TI, ofreciendo una perspectiva de los componentes y dispositivos involucrados. En las tablas 77 y 78, se representa la Línea 7, destacando que todas las líneas están compuestas por las mismas clases de equipos y elementos.

Figura 77 Simulación Línea 7, Parte 1



Fuente: Imagen elaborada por el autor

Figura 78 Simulación Línea 7, Parte 2



Fuente: Imagen elaborada por el autor

4.5.2 Asignación de Direcciones IP

En el contexto actual de la planta de producción, se ha identificado la necesidad de reestructurar las direcciones IP utilizadas, debido a la incorporación de nuevos equipos que aún no han sido integrados a la red existente. Este incremento de dispositivos ha ocasionado la escasez de las direcciones IP disponibles, generando un obstáculo para la expansión fluida de la infraestructura de red. Además, se constató que la red carece de una segmentación eficiente, lo que ha motivado la adopción de un enfoque de red proporcionado en la simulación. En este proceso, la red original se ha rediseñado y segmentado en conformidad con los parámetros detallados en la tabla 72.

Tabla 72 Direcciones de red por áreas

Segmento de red	Área
192.168.59.0	Línea 8-Planta De Agua- Of. Mantenimiento
192.168.60.0	Línea 6, Soplado
192.168.61.0	Línea 9
192.168.62.0	Línea 5
192.168.63.0	Línea 4
192.168.64.0	Línea 2
192.168.65.0	Línea 3
192.168.66.0	Línea 7
192.168.67.0	Línea 1-Zona De Jarabe-Calderos

Fuente: Tabla elaborada por el autor

En particular, se desarrolló una conexión entre la línea 8 y los dispositivos de la planta de agua y la oficina de mantenimiento, siguiendo una lógica similar para la unión de los equipos de la línea 6 con el área de soplado y la línea 1 con la zona de jarabe y calderos. Este enfoque basado en la ubicación y la cantidad de equipos. Posteriormente, se procedió a la ejecución del proceso de Subneteo de Longitud Variable con el objetivo de segmentar la red. Esta metodología permitió asignar direcciones IP de manera precisa, optimizando el espacio y anticipando el crecimiento futuro en las distintas áreas de la planta. La subdivisión de la red se llevó a cabo en conformidad con el número de subáreas presentes en la línea de producción lo cual se esquematizó en la tabla 73.

Tabla 73 Segmentación de la red Línea 8-Planta de agua - Of. mantenimiento

Subáreas	Subred	Hosts	Máscara	Primer Host	Último Host	Broadcast
Subred 1	192.168.59.0/26	62	255.255.255.192	192.168.59.1	192.168.59.62	192.168.59.63
Of. mantenimiento	192.168.59.64/27	30	255.255.255.224	192.168.59.65	192.168.59.94	192.168.59.95
Paletizadora y despaletizador	192.168.59.96/27	30	255.255.255.224	192.168.59.97	192.168.59.126	192.168.59.127
Subred 2	192.168.59.128/27	30	255.255.255.224	192.168.59.129	192.168.59.158	192.168.59.159
Desencajonadora	192.168.59.160/28	14	255.255.255.240	192.168.59.161	192.168.59.174	192.168.59.175

Encajonadora	192.168.59.176/28	14	255.255.255.240	192.168.59.177	192.168.59.190	192.168.59.191
Planta de agua	192.168.59.192/29	6	255.255.255.248	192.168.59.193	192.168.59.198	192.168.59.199
Llenadora	192.168.59.200/29	6	255.255.255.248	192.168.59.201	192.168.59.206	192.168.59.207
Mixer	192.168.59.208/29	6	255.255.255.248	192.168.59.209	192.168.59.214	192.168.59.215
Transportadores1	192.168.59.216/29	6	255.255.255.248	192.168.59.217	192.168.59.222	192.168.59.223
Transportadores 2	192.168.59.224/29	6	255.255.255.248	192.168.59.225	192.168.59.230	192.168.59.231
Lavadora	192.168.59.232/29	6	255.255.255.248	192.168.59.233	192.168.59.238	192.168.59.239
Descapsulador	192.168.59.240/29	6	255.255.255.248	192.168.59.241	192.168.59.246	192.168.59.247
Alexus	192.168.59.248/29	6	255.255.255.248	192.168.59.249	192.168.59.254	192.168.59.255

Fuente: Tabla elaborada por el autor

La segmentación de la línea 6 y el área de soplado ha sido representada en la tabla 74 de asignación de redes por área, la cual proporciona una vista clara de cómo se ha distribuido estratégicamente el espacio de direcciones IP para adaptar las diversas subáreas y sus respectivas necesidades de conectividad. La tabla a continuación brinda una visión integral de esta planificación, facilitando la administración y expansión futura de la red.

Tabla 74 Segmentación de la red Línea 6 - Soplado

Área	Subred	Hosts	Máscara	Primer Host	Último Host	Broadcast
Subred 1	192.168.60.0/26	62	255.255.255.192	192.168.60.1	192.168.60.62	192.168.60.63
Subred 2	192.168.60.64/27	30	255.255.255.224	192.168.60.65	192.168.60.94	192.168.60.95
Paletizadora y despaletizador	192.168.60.96/28	14	255.255.255.240	192.168.60.97	192.168.60.110	192.168.60.111
Encajonadora	192.168.60.112/28	14	255.255.255.240	192.168.60.113	192.168.60.126	192.168.60.127
Desencajonadora	192.168.60.128/28	14	255.255.255.240	192.168.60.129	192.168.60.142	192.168.60.143
Mixer	192.168.60.144/28	14	255.255.255.240	192.168.60.145	192.168.60.158	192.168.60.159
Lavadora	192.168.60.160/28	14	255.255.255.240	192.168.60.161	192.168.60.174	192.168.60.175
Llenadora	192.168.60.176/28	14	255.255.255.240	192.168.60.177	192.168.60.190	192.168.60.191
Soplado	192.168.60.192/29	6	255.255.255.248	192.168.60.193	192.168.60.198	192.168.60.199
Transportadores 1	192.168.60.200/29	6	255.255.255.248	192.168.60.201	192.168.60.206	192.168.60.207
Transportadores 2	192.168.60.208/29	6	255.255.255.248	192.168.60.209	192.168.60.214	192.168.60.215
Descapsulador	192.168.60.216/29	6	255.255.255.248	192.168.60.217	192.168.60.222	192.168.60.223
Alexus	192.168.60.224/29	6	255.255.255.248	192.168.60.225	192.168.60.230	192.168.60.231

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Para la línea 9, es necesario realizar la conectividad de 109 equipos a la red. Anticipando la futura expansión de esta área, se ha diseñado la red de manera que sea capaz de soportar un número total de 208 hosts la tabla 75 detalla de qué manera fueron distribuidos los hosts. Este enfoque estratégico no solo satisface las necesidades actuales de la línea 9, sino que también asegura la

capacidad suficiente para acomodar un crecimiento proyectado, garantizando así la escalabilidad de la infraestructura de red en esta área específica de la planta.

Tabla 75 Segmentación de la red Línea 9

Área	Subred	Hosts	Máscara	Primer Host	Último Host	Broadcast
Subred 1	192.168.61.0/26	62	255.255.255.192	192.168.61.1	192.168.61.62	192.168.61.63
Subred 2	192.168.61.64/27	30	255.255.255.224	192.168.61.65	192.168.61.94	192.168.61.95
Paletizador y despaletizador	192.168.61.96/27	30	255.255.255.224	192.168.61.97	192.168.61.110	192.168.61.111
Encajonadora	192.168.61.128/28	14	255.255.255.240	192.168.61.129	192.168.61.142	192.168.61.143
Desencajonadora	192.168.61.144/28	14	255.255.255.240	192.168.61.145	192.168.61.158	192.168.61.159
Mixer	192.168.61.160/28	14	255.255.255.240	192.168.61.161	192.168.61.174	192.168.61.175
Lavadora	192.168.61.176/28	14	255.255.255.240	192.168.61.177	192.168.61.190	192.168.61.191
Llenadora	192.168.61.192/29	6	255.255.255.248	192.168.61.193	192.168.61.198	192.168.61.199
Transportadores 1	192.168.61.200/29	6	255.255.255.248	192.168.61.201	192.168.61.206	192.168.61.207
Transportadores 2	192.168.61.208/29	6	255.255.255.248	192.168.61.209	192.168.61.214	192.168.61.215
Descapsulador	192.168.61.216/29	6	255.255.255.248	192.168.61.217	192.168.61.222	192.168.61.223
Alexus	192.168.61.224/29	6	255.255.255.248	192.168.61.225	192.168.61.230	192.168.61.231

Fuente: Tabla elaborada por el autor

En la línea 5 se conectarán 103 dispositivos a la red. Se ha dividido la red de manera que tenga la capacidad de alojar en su totalidad hasta 208 hosts. Los detalles específicos sobre la asignación de estos hosts se encuentran disponibles en la tabla 76.

Tabla 76 Segmentación de la red Línea 5

Área	Subred	Hosts	Máscara	Primer Host	Último Host	Broadcast
Subred 1	192.168.62.0/26	62	255.255.255.192	192.168.62.1	192.168.62.62	192.168.62.63
Subred 2	192.168.62.64/27	30	255.255.255.224	192.168.62.65	192.168.62.94	192.168.62.95
Paletizadora y despaletizador	192.168.62.96/27	30	255.255.255.224	192.168.62.97	192.168.62.126	192.168.62.127
Encajonadora	192.168.62.128/28	14	255.255.255.240	192.168.62.129	192.168.62.142	192.168.62.143
Desencajonadora	192.168.62.144/28	14	255.255.255.240	192.168.62.145	192.168.62.158	192.168.62.159
Mixer	192.168.62.160/28	14	255.255.255.240	192.168.62.161	192.168.62.174	192.168.62.175
Lavadora	192.168.62.176/28	14	255.255.255.240	192.168.62.177	192.168.62.190	192.168.62.191
Llenadora	192.168.62.192/29	6	255.255.255.248	192.168.62.193	192.168.62.198	192.168.62.199
Transportadores 1	192.168.62.200/29	6	255.255.255.248	192.168.62.201	192.168.62.206	192.168.62.207
Transportadores 2	192.168.62.208/29	6	255.255.255.248	192.168.62.209	192.168.62.214	192.168.62.215

Descapsulador	192.168.62.216/29	6	255.255.255.248	192.168.62.217	192.168.62.222	192.168.62.223
Alexus	192.168.62.224/29	6	255.255.255.248	192.168.62.225	192.168.62.230	192.168.62.231

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Las Tablas 77 y 78 reflejan la segmentación de la red para las líneas 4 y 2, respectivamente. En la línea 4, se requiere la conectividad de 102 hosts, mientras que en la línea 2, se establece la conexión de 103 hosts. En ambos casos, se ha considerado cuidadosamente la expansión futura de estas áreas y se ha dejado un margen de 100 direcciones IP adicionales disponibles para el crecimiento proyectado.

Tabla 77 Segmentación de la red Línea 4

Área	Subred	Hosts	Máscara	Primer Host	Último Host	Broadcast
Subred 1	192.168.63.0/26	62	255.255.255.192	192.168.63.1	192.168.63.62	192.168.63.63
Subred 2	192.168.63.64/27	30	255.255.255.224	192.168.63.65	192.168.63.94	192.168.63.95
Paletizadora y despaletizador	192.168.63.96/27	30	255.255.255.224	192.168.63.97	192.168.63.126	192.168.63.127
Encajonadora	192.168.63.128/28	14	255.255.255.240	192.168.63.129	192.168.63.142	192.168.63.143
Desencajonadora	192.168.63.144/28	14	255.255.255.240	192.168.63.145	192.168.63.158	192.168.63.159
Mixer	192.168.63.160/28	14	255.255.255.240	192.168.63.161	192.168.63.174	192.168.63.175
Lavadora	192.168.63.176/28	14	255.255.255.240	192.168.63.177	192.168.63.190	192.168.63.191
Llenadora	192.168.63.192/29	6	255.255.255.248	192.168.63.193	192.168.63.198	192.168.63.199
Transportadores 1	192.168.63.200/29	6	255.255.255.248	192.168.63.201	192.168.63.206	192.168.63.207
Transportadores 2	192.168.63.208/29	6	255.255.255.248	192.168.63.209	192.168.63.214	192.168.63.215
Descapsulador	192.168.63.216/29	6	255.255.255.248	192.168.63.217	192.168.63.222	192.168.63.223
Alexus	192.168.63.224/29	6	255.255.255.248	192.168.63.225	192.168.63.230	192.168.63.231

Fuente: Tabla elaborada por el autor

En cada una de las divisiones de las redes de cada línea de producción se ha adoptado un enfoque coherente mediante la creación de dos subredes adicionales que estarán disponibles para los elementos conectados en cascada. Esta decisión facilita la gestión de la conectividad al proporcionar un espacio dedicado a los dispositivos que se conectan secuencialmente a través de otros.

Tabla 78 Segmentación de la red Línea 2

Área	Subred	Hosts	Máscara	Primer Host	Último Host	Broadcast
Subred 1	192.168.64.0/26	62	255.255.255.192	192.168.64.1	192.168.64.62	192.168.64.63
Subred 2	192.168.64.64/27	30	255.255.255.224	192.168.64.65	192.168.64.94	192.168.64.95
Paletizadora y despaletizador	192.168.64.96/27	30	255.255.255.224	192.168.64.97	192.168.64.126	192.168.64.127

Encajonadora	192.168.64.128/28	14	255.255.255.240	192.168.64.129	192.168.64.142	192.168.64.143
Desencajonadora	192.168.64.144/28	14	255.255.255.240	192.168.64.145	192.168.64.158	192.168.64.159
Mixer	192.168.64.160/28	14	255.255.255.240	192.168.64.161	192.168.64.174	192.168.64.175
Lavadora	192.168.64.176/28	14	255.255.255.240	192.168.64.177	192.168.64.190	192.168.64.191
Llenadora	192.168.64.192/29	6	255.255.255.248	192.168.64.193	192.168.64.198	192.168.64.199
Transportadores 1	192.168.64.200/29	6	255.255.255.248	192.168.64.201	192.168.64.206	192.168.64.207
Transportadores 2	192.168.64.208/29	6	255.255.255.248	192.168.64.209	192.168.64.214	192.168.64.215
Descapsulador	192.168.64.216/29	6	255.255.255.248	192.168.64.217	192.168.64.222	192.168.64.223
Alexus	192.168.64.224/29	6	255.255.255.248	192.168.64.225	192.168.64.230	192.168.64.231

Fuente: Tabla elaborada por el autor

En la línea 3, se ha implementado una asignación específica de subredes para satisfacer las necesidades de conectividad de sus distintos equipos. La paletizadora, que requiere la conexión directa de 14 equipos, se ha asignado a la subred 192.168.65.96/27, la cual tiene la capacidad de soportar hasta 30 equipos. Por otro lado, la encajonadora, que demanda la conectividad de 5 equipos directos y de allí surge otra subred de 9 equipos en cascada, ha sido asignada a la subred 192.168.65.128/28, diseñada para alojar hasta 14 equipos como se desglosa en la tabla 79.

Tabla 79 Segmentación de la red Línea 3

Área	Subred	Hosts	Máscara	Primer Host	Último Host	Broadcast
Subred 1	192.168.65.0/26	62	255.255.255.192	192.168.65.1	192.168.65.62	192.168.65.63
Subred 2	192.168.65.64/27	30	255.255.255.224	192.168.65.65	192.168.65.94	192.168.65.95
Paletizadora y despaletizador	192.168.65.96/27	30	255.255.255.224	192.168.65.97	192.168.65.126	192.168.65.127
Encajonadora	192.168.65.128/28	14	255.255.255.240	192.168.65.129	192.168.65.142	192.168.65.143
Desencajonadora	192.168.65.144/28	14	255.255.255.240	192.168.65.145	192.168.65.158	192.168.65.159
Mixer	192.168.65.160/28	14	255.255.255.240	192.168.65.161	192.168.65.174	192.168.65.175
Lavadora	192.168.65.176/28	14	255.255.255.240	192.168.65.177	192.168.65.190	192.168.65.191
Llenadora	192.168.65.192/29	6	255.255.255.248	192.168.65.193	192.168.65.198	192.168.65.199
Transportadores 1	192.168.65.200/29	6	255.255.255.248	192.168.65.201	192.168.65.206	192.168.65.207
Transportadores 2	192.168.65.208/29	6	255.255.255.248	192.168.65.209	192.168.65.214	192.168.65.215
Descapsulador	192.168.65.216/29	6	255.255.255.248	192.168.65.217	192.168.65.222	192.168.65.223
Alexus	192.168.65.224/29	6	255.255.255.248	192.168.65.225	192.168.65.230	192.168.65.231

Fuente: Tabla elaborada por el autor

En la línea 7, se ha realizado una asignación de subredes detallada en la tabla 80. Para el mixer, que requiere la conectividad de 4 equipos, se ha asignado la subred 192.168.66.160/28, diseñada para alojar hasta 14 equipos. Del mismo modo, la lavadora, que también necesita conectar 4 equipos, ha sido asignada a la subred 192.168.66.16/28, soportando hasta 14 equipos.

Tabla 80 Segmentación de la red Línea 7

Área	Subred	Hosts	Máscara	Primer Host	Último Host	Broadcast
Subred 1	192.168.66.0/26	62	255.255.255.192	192.168.66.1	192.168.66.62	192.168.66.63
Subred 2	192.168.66.64/27	30	255.255.255.224	192.168.66.65	192.168.66.94	192.168.66.95
Paletizadora y despaletizador	192.168.66.96/27	30	255.255.255.224	192.168.66.97	192.168.66.126	192.168.66.127
Encajonadora	192.168.66.128/28	14	255.255.255.240	192.168.66.129	192.168.66.142	192.168.66.143
Desencajonadora	192.168.66.144/28	14	255.255.255.240	192.168.66.145	192.168.66.158	192.168.66.159
Mixer	192.168.66.160/28	14	255.255.255.240	192.168.66.161	192.168.66.174	192.168.66.175
Lavadora	192.168.66.176/28	14	255.255.255.240	192.168.66.177	192.168.66.190	192.168.66.191
Llenadora	192.168.66.192/29	6	255.255.255.248	192.168.66.193	192.168.66.198	192.168.66.199
Transportadores 1	192.168.66.200/29	6	255.255.255.248	192.168.66.201	192.168.66.206	192.168.66.207
Transportadores 2	192.168.66.208/29	6	255.255.255.248	192.168.66.209	192.168.66.214	192.168.66.215
Descapsulador	192.168.66.216/29	6	255.255.255.248	192.168.66.217	192.168.66.222	192.168.66.223
Alexus	192.168.66.224/29	6	255.255.255.248	192.168.66.225	192.168.66.230	192.168.66.231

Fuente: Tabla elaborada por el autor

La red 192.168.67.0 se ha dividido de la línea de producción 1, la zona de jarabe y el área de calderos. Se ha asignado la subred 192.168.67.216/29 al área de calderos, y la subred 192.168.67.208/29 ha sido designada para satisfacer los requerimientos de la zona de jarabe como esta puntualizado en la tabla 81.

Tabla 81 Segmentación de la red Línea 1 - Zona de jarabe - Calderos

Área	Subred	Hosts	Máscara	Primer Host	Último Host	Broadcast
Subred 1	192.168.67.0/26	62	255.255.255.192	192.168.67.1	192.168.67.62	192.168.67.63
Subred 2	192.168.67.64/27	30	255.255.255.224	192.168.67.65	192.168.67.94	192.168.67.95
Paletizadora y despaletizador	192.168.67.96/27	30	255.255.255.224	192.168.67.97	192.168.67.126	192.168.67.127
Encajonadora	192.168.67.128/28	14	255.255.255.240	192.168.67.129	192.168.67.142	192.168.67.143
Desencajonadora	192.168.67.144/28	14	255.255.255.240	192.168.67.145	192.168.67.158	192.168.67.159
Mixer	192.168.67.160/28	14	255.255.255.240	192.168.67.161	192.168.67.174	192.168.67.175
Lavadora	192.168.67.176/28	14	255.255.255.240	192.168.67.177	192.168.67.190	192.168.67.191
Llenadora	192.168.67.192/28	14	255.255.255.240	192.168.67.193	192.168.67.206	192.168.67.207

Zona de jarabe	192.168.67.208/29	6	255.255.255.248	192.168.67.209	192.168.67.214	192.168.67.215
Calderos	192.168.67.216/29	6	255.255.255.248	192.168.67.217	192.168.67.222	192.168.67.223
Transportadores 1	192.168.67.224/29	6	255.255.255.248	192.168.67.225	192.168.67.230	192.168.67.231
Transportadores 2	192.168.67.232/29	6	255.255.255.248	192.168.67.233	192.168.67.238	192.168.67.239
Descapsulador	192.168.67.240/29	6	255.255.255.248	192.168.67.241	192.168.67.246	192.168.67.247
Alexus	192.168.67.248/29	6	255.255.255.248	192.168.67.249	192.168.67.254	192.168.67.255

Fuente: Tabla elaborada por el autor

4.5.3 Configuración de los switches de la arquitectura anillo

En la configuración de la red del anillo que compone la planta de producción, se han utilizado switches de capa 3. Su capacidad para operar en la capa de red les permite tomar decisiones inteligentes sobre cómo dirigir el tráfico entre diferentes segmentos de la planta, optimizando así la eficiencia de la comunicación. A continuación, se muestra en la tabla 82 el detalle de la configuración de los switches:

Tabla 82 Configuración switches

Switch	Puerto	IP	Mascara
Línea 1	G1/0/1	192.168.68.1	255.255.255.248
Línea 1	G1/0/12	192.168.68.9	255.255.255.248
Línea 1	G1/0/14	192.168.68.17	255.255.255.248
Línea 3-2	G1/0/22	192.168.68.26	255.255.255.248
Línea 3-2	G1/0/1	192.168.68.33	255.255.255.248
Línea 4	G1/0/12	192.168.68.34	255.255.255.248
Línea 4	G1/0/1	192.168.68.41	255.255.255.248
Línea 5	G1/0/12	192.168.68.42	255.255.255.248
Línea 5	G1/0/1	192.168.68.49	255.255.255.248
Línea 6	G1/0/23	192.168.68.50	255.255.255.248
Línea 6	G1/0/1	192.168.68.57	255.255.255.248
Línea 7	G1/0/10	192.168.68.2	255.255.255.248
Línea 7	G1/0/12	192.168.68.25	255.255.255.248
Línea 8	G1/0/14	192.168.68.58	255.255.255.248
Línea 8	G1/0/23	192.168.68.65	255.255.255.248

Fuente: Tabla elaborada por el autor

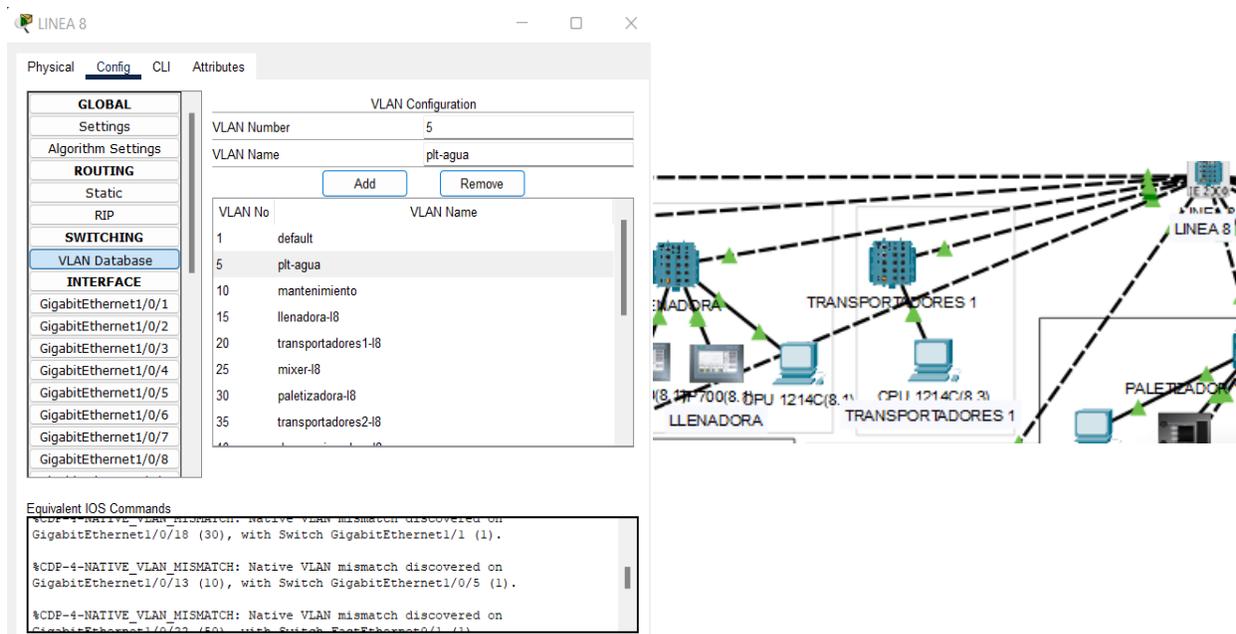
4.5.4 Creación de las VLANs de cada línea de producción

Las VLANs dentro de la red desempeñan un papel esencial debido a su capacidad para separar eficazmente las distintas áreas de la línea de producción. Esta segmentación proporciona un nivel de aislamiento que es fundamental en entornos industriales y de manufactura. Al permitir que

cada área de producción forme su propia VLAN, se asegura una gestión de red y una mayor capacidad para aplicar políticas específicas a cada segmento. Esto no solo mejora la protección de datos y procesos críticos, sino que también facilita el control de tráfico y el rendimiento en toda la infraestructura, contribuyendo así a una operación más fluida y segura en el entorno industrial.

En la línea 8, se ha implementado un esquema de creación de VLANs que sigue un incremento de 5 para cada una. Esto implica que se inició con la VLAN 5 y se incrementó en 5 para asignar números de VLAN sucesivos a las diferentes áreas o segmentos de la red. En la Figura 79, se puede apreciar la creación de la VLAN 5, que está dedicada a la planta de agua, y este patrón de aumento continúa hasta la VLAN 35, que corresponde al área de transportadores 2.

Figura 79 VLAN 5-35, Línea 8



Fuente: Imagen elaborada por el autor

La Figura 80 muestra la creación de VLANs en la línea 8, la VLAN 40 se ha asignado a la desencajonadora de esta línea, VLAN 60 corresponde al área del Alexis.

Figura 80 VLAN 40-60, Línea 8

The screenshot shows the configuration for VLAN 5. The VLAN Name is 'plt-agua'. Below is a table of VLANs:

VLAN No	VLAN Name
25	mixer-l8
30	paletizadora-l8
35	transportadores2-l8
40	descajonadora-l8
45	lavadora-l8
50	encajonadora-l8
55	descapsulador-l8
60	alexus-l8

The network diagram on the right shows a central switch 'LINEA 8' connected to various devices including 'TRANSPORTADORES 1', 'MIXER', 'PALETIZADOR Y DE', 'CPU S71500(8.2)', 'CPU 1214C(8.3)', 'CPU 1214C(8.4)', 'IM1558 FN ST(8)', 'FESTO 8', and 'TB5002(8)'. A dashed line labeled 'LINEA 8' spans across the top of the diagram.

Fuente: Imagen elaborada por el autor

La línea 6 comienza desde la VLAN 65, asignada al área de soplado, y se extiende hasta la VLAN 115, que corresponde al área del Alexis como se puede observar en la figura 81.

Figura 81 VLAN 65-100, Línea 6

The screenshot shows the configuration for VLAN 65. The VLAN Name is 'soplado-L6'. Below is a table of VLANs:

VLAN No	VLAN Name
65	soplado-L6
70	MIXER-L6
75	TRANSPORTADORES1-L6
80	PALETIZADOR-L6
85	DESCAPSULADOR-L6
90	LLENADORA-L6
95	DESCAJONADORA-L6
100	LAVADORA-L6

The network diagram on the right shows a central switch 'LINEA 6' connected to devices in two areas: 'SOPLADO' (CPU S7 1500(6.1), TP400(6.1)) and 'LLENADORA' (TP400(6), TP700(6), CPU 1214C(6.1)). A dashed line labeled 'LINEA 6' spans across the top of the diagram.

Fuente: Imagen elaborada por el autor

La creación de las VLAN para la línea 9 se encuentra representada en la Figura 82, y se inicia con la VLAN 120, que está asignada al área de mezclado o mixer.

Figura 82 VLAN 105-135, Línea 6-9

The screenshot shows a network configuration interface for 'LINEA 6'. The 'VLAN Configuration' section is active, displaying the following details:

- VLAN Number: 125
- VLAN Name: LLENADORA-L9

The 'VLAN Database' table lists the following VLANs:

VLAN No	VLAN Name
100	LAVADORA-L6
105	ENCAJONADORA-L6
110	TRANSPORTADORES2-L6
115	ALEXUS-L6
120	MIXER-L9
125	LLENADORA-L9
130	PALETIZADORA-L9
135	TRANSPORTADORES1-L9

The 'Equivalent IOS Commands' section shows the following warnings:

```
%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/7 (95), with Switch FastEthernet0/1 (1).
%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/22 (165), with Switch FastEthernet0/1 (1).
```

To the right, a network diagram for 'LINEA 9' shows various devices connected to a central switch. Devices include transportadores (TRANSPORTADORES 1(9), 2(9)), lavadora (LAVADORA(9)), encajonadora (ENCAJONADORA(9)), and mixer (MIXER(9)). Other devices shown are CPU S7 1214C(9.3), CPU S7 1214C(9.2), TP700(9.3), ET 200M(9), TB5502(9.3), TB5002(9.2), TB5032(9.2), TB5092(9.5), TB5532(9.1), Switch 9.1, V6811(9), V6701(9), V6501(9), V6821(9), V6811(9), V6711(9), V6511(9), V6831(9), V606(9), CPU S7 1500(9.1), PALETIZADORA(9), TP700(9.3), ET 200M(9), TB5502(9.3), TB5002(9.2), TB5032(9.2), TB5092(9.5), TB5532(9.1), V6701(9), V6501(9), V6821(9), V6811(9), V6711(9), V6511(9), V6831(9), V606(9), CPU S7 1500(9.1), PALETIZADORA(9), TP700(9.3), ET 200M(9), IM1556 PN ST(9), MIXER(9).

Fuente: Imagen elaborada por el autor

En la Figura 83, donde se ha registrado la asignación de la VLAN 135 para el área de transportadores hasta la VLAN 165, que corresponde a la encajonadora de la línea 9.

Figura 83 VLAN 140-165, Línea 9

The screenshot shows a network configuration interface for 'LINEA 6'. The 'VLAN Configuration' section is active, displaying the following details:

- VLAN Number: 125
- VLAN Name: LLENADORA-L9

The 'VLAN Database' table lists the following VLANs:

VLAN No	VLAN Name
135	TRANSPORTADORES1-L9
140	TRANSPORTADORES2-L9
145	LAVADORA-L9
150	DESCAPSULADOR-L9
155	ALEXUS-L9
160	DESCAJONADORA-L9
165	ENCAJONADORA-L9
1002	fdi-default

The 'Equivalent IOS Commands' section shows the following warnings:

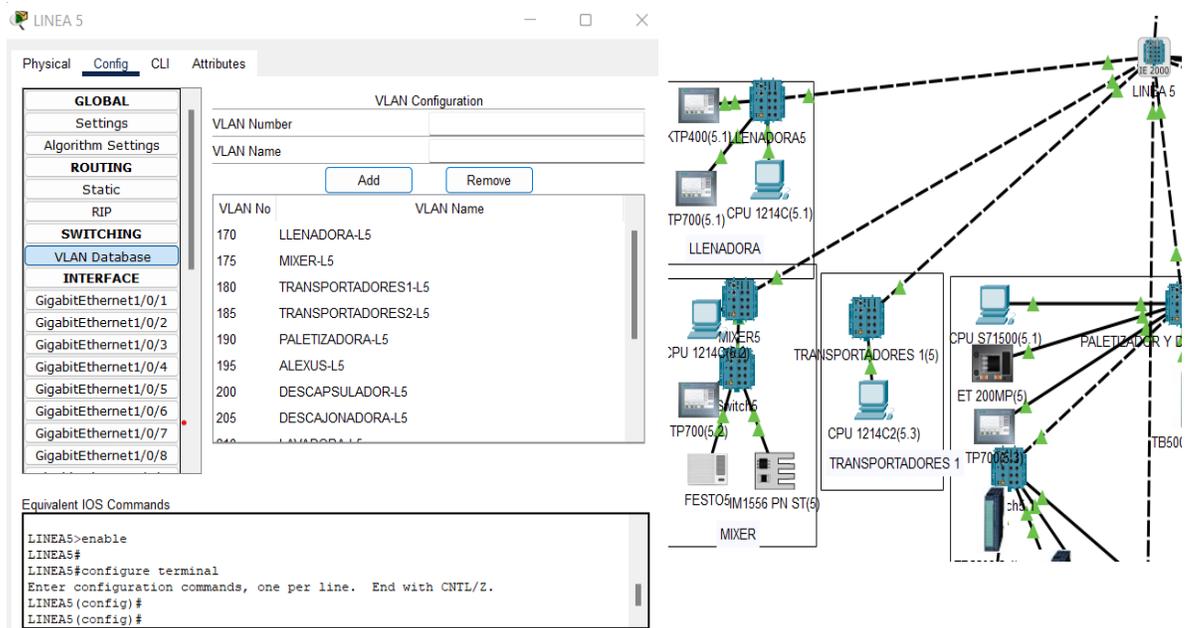
```
%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/7 (95), with Switch FastEthernet0/1 (1).
%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/22 (165), with Switch FastEthernet0/1 (1).
```

To the right, a network diagram for 'LINEA 9' shows various devices connected to a central switch. Devices include lavadora (LAVADORA(9)), encajonadora (ENCAJONADORA(9)), transportadores (TRANSPORTADORES 1(9), 2(9)), and descapsulador (DESCAPSULADOR(9)). Other devices shown are CPU S7 1200(9), TP700(9.4), ET PERIFERIA SEÑALES ANALOGICAS(9), CPU S7 1500(9.3), ET PERIFERIA DE DESCARGA(9), TP900(9.1), TB5502(9.2), TB5532(9.2), CPU S7 1500(9.1), ET 200M(9), TP1500(9), TB5532(9.6), TB5532(9.5), TB5502(9.4), TB5532(9.4), TB5532(9.6), CPU S7 1500(9.1), ET 200M(9), TP1500(9), ALEXUS(9), TRANSPORTADORES 2(9), CPU S7 1500(9.1), ET 200M(9), TP1500(9), ALEXUS(9), TRANSPORTADORES 2(9).

Fuente: Imagen elaborada por el autor

La línea 5 se inicia con la VLAN 170, que se ha destinado para el área de la llenadora. La Figura 84 proporciona una representación visual de este proceso de asignación de VLANs, que se extiende hasta la VLAN 205 correspondiente al área de la desencajonadora.

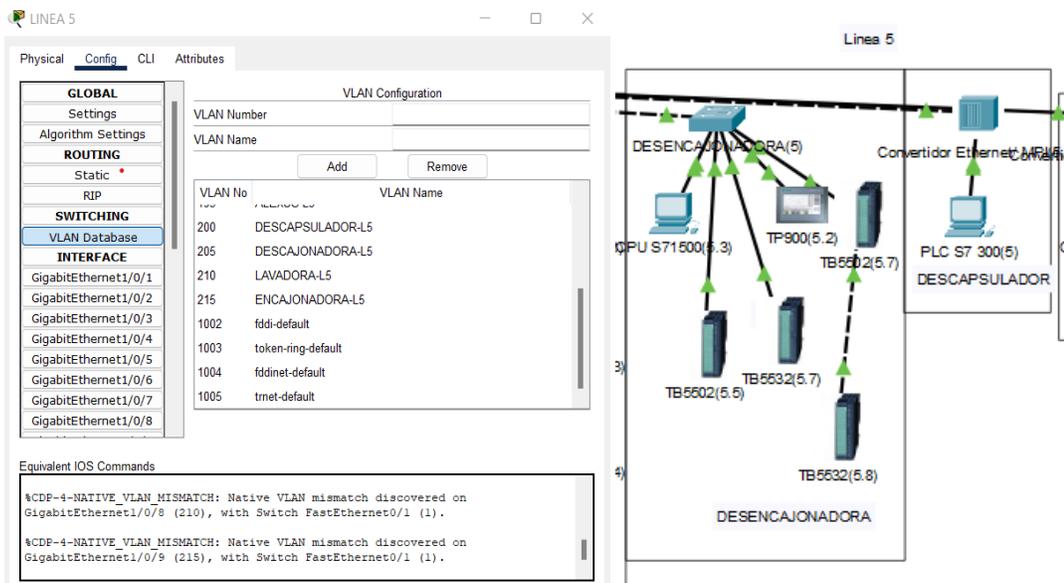
Figura 84 VLAN 170-205, Línea 5



Fuente: Imagen elaborada por el autor

En la Figura 85 la VLAN 210 ha sido reservada para la lavadora en la línea 5, y se extiende hasta la VLAN 215, que corresponde al área de la encajonadora en esta misma línea.

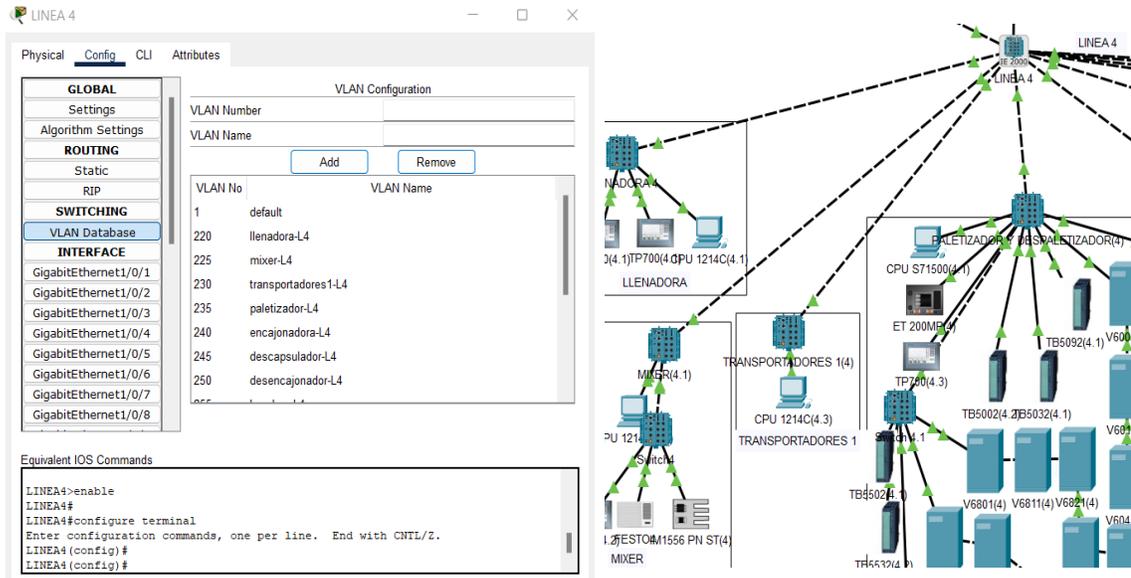
Figura 85 VLAN 210-215, Línea 5



Fuente: Imagen elaborada por el autor

Línea 4 se inicia con la VLAN 220, que ha sido dedicada al área de la llenadora. La Figura 86 proporciona una representación visual de esta asignación que continúa hasta la VLAN 250, correspondiente al área de la desencajonadora.

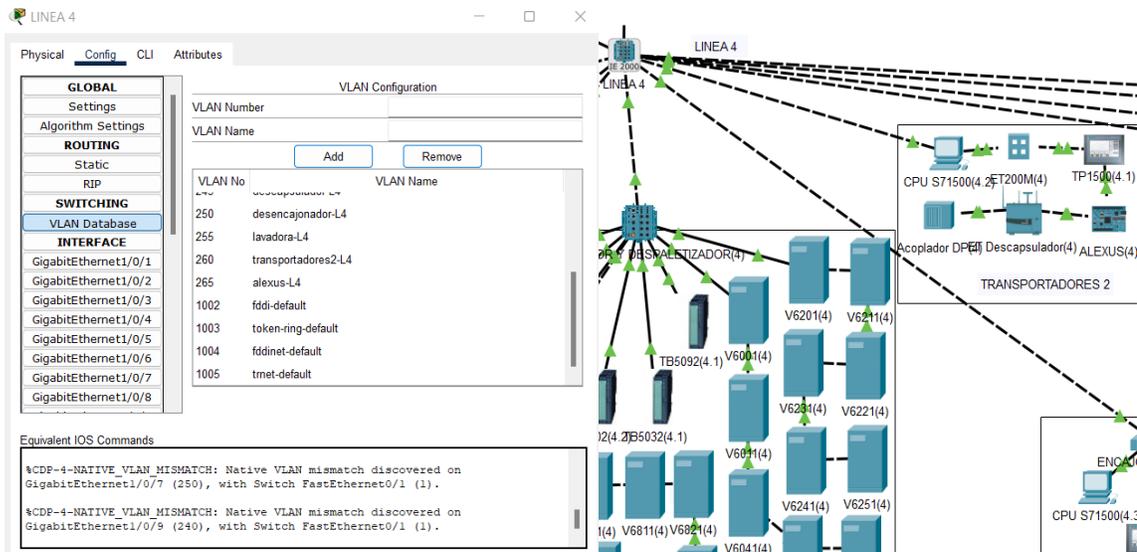
Figura 86 VLAN 220-250, Línea 4



Fuente: Imagen elaborada por el autor

En la Figura 87, se observa que se asigna en la línea 4 la VLAN 255 para el área de la lavadora, hasta la VLAN 265, que corresponde al área del Alexus.

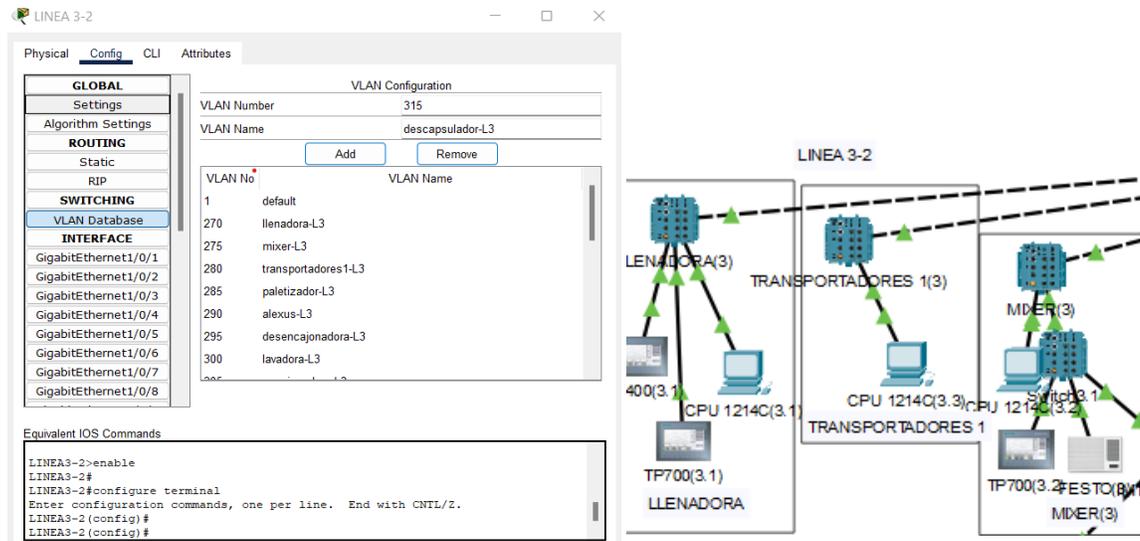
Figura 87 VLAN 255-265, Línea 4



Fuente: Imagen elaborada por el autor

En la línea 3, la VLAN 270, reservada para el área de la llenadora, y se extiende hasta la VLAN 315, que corresponde al descapsulador. Esto se aprecia claramente en las Figuras 88 y 89, que proporcionan una representación visual de esta asignación de VLANs.

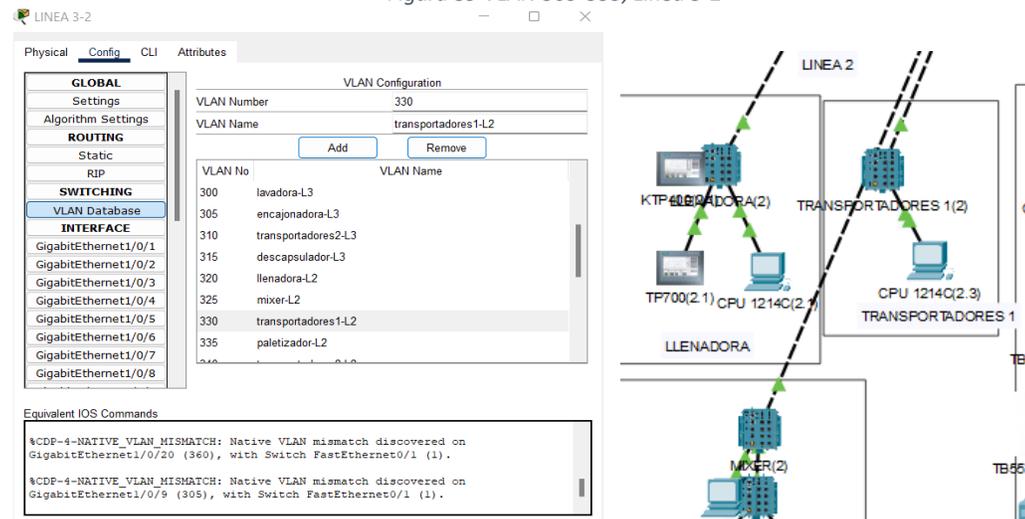
Figura 88 VLAN 270-300, Línea 3



Fuente: Imagen elaborada por el autor

En la Figura 89, también se observa la asignación de las VLANs para la línea 2. Esta asignación comienza con la VLAN 320, que se ha destinado al área de la llenadora en la línea 2.

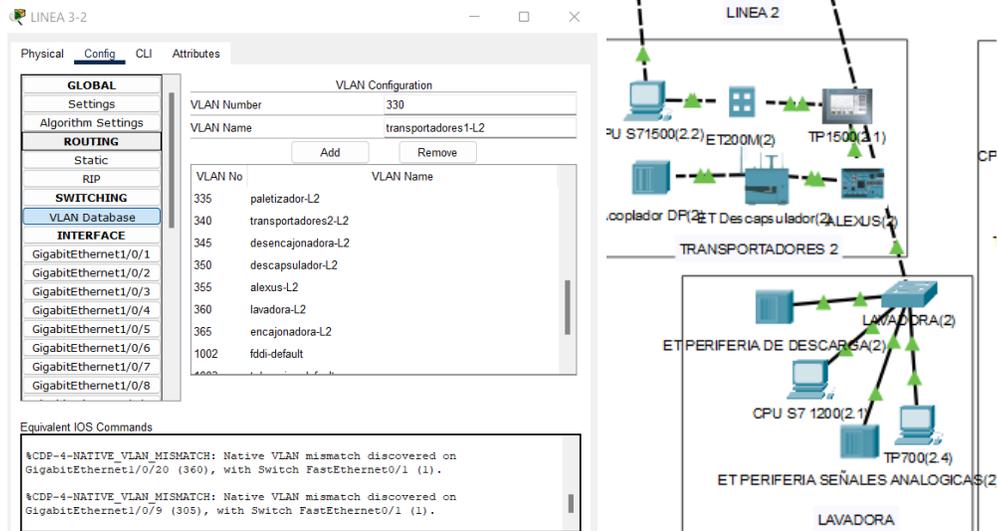
Figura 89 VLAN 305-335, Línea 3-2



Fuente: Imagen elaborada por el autor

La asignación de VLANs para la línea 2 se extiende en la Figura 90, donde se puede ver que la VLAN 335 se ha asignado al área de la paletizadora hasta la VLAN 365, que corresponde a la encajonadora de la misma línea.

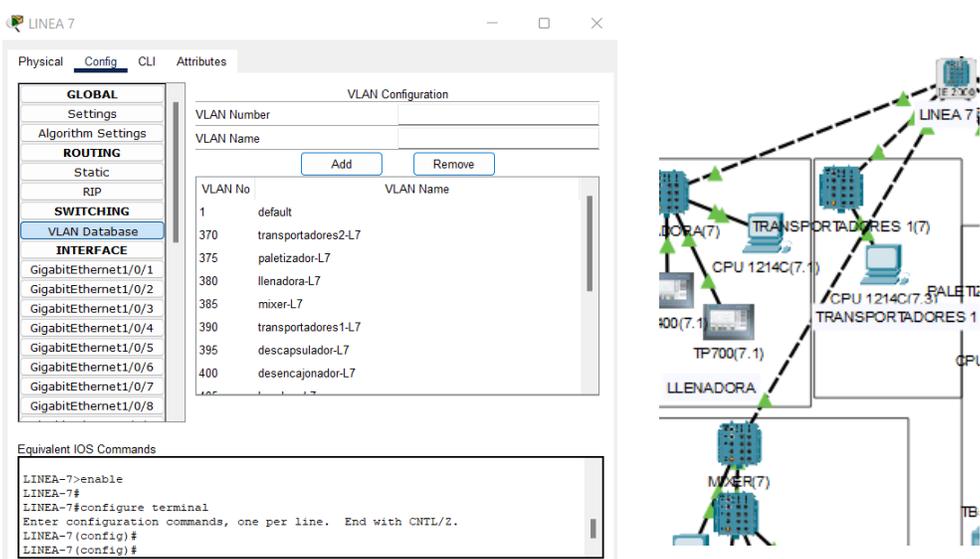
Figura 90 VLAN 340-365, Línea 2



Fuente: Imagen elaborada por el autor

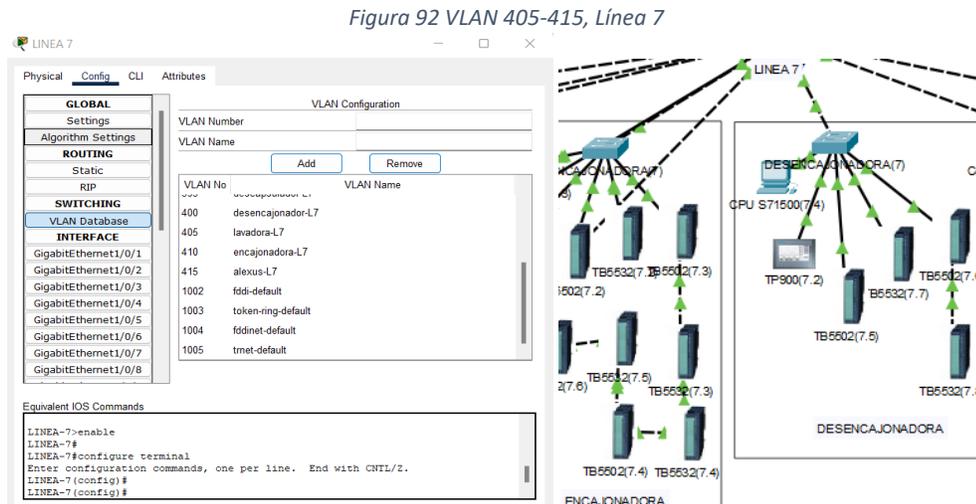
En la línea 7, la VLAN 370, asignada al área de transportadores 2. La Figura 91 muestra la asignación que se extiende hasta la VLAN 400, correspondiente al área de la desencajadora.

Figura 91 VLAN 370-400, Línea 7



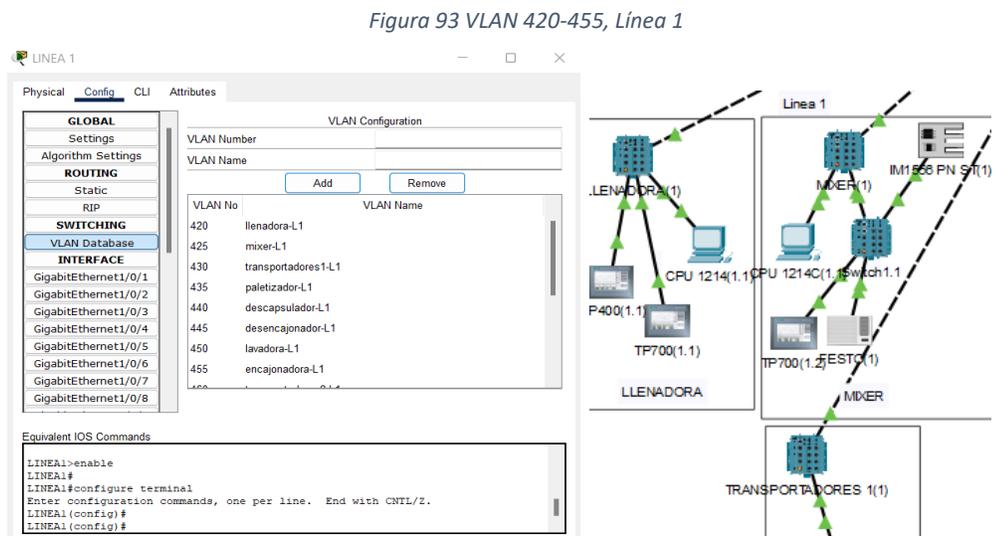
Fuente: Imagen elaborada por el autor

En la Figura 92, se visualiza la asignación de la VLAN 405, que está dedicada al área de la lavadora en la línea 7, y continúa hasta la VLAN 415, que corresponde al área del Alexis en esta misma línea.



Fuente: Imagen elaborada por el autor

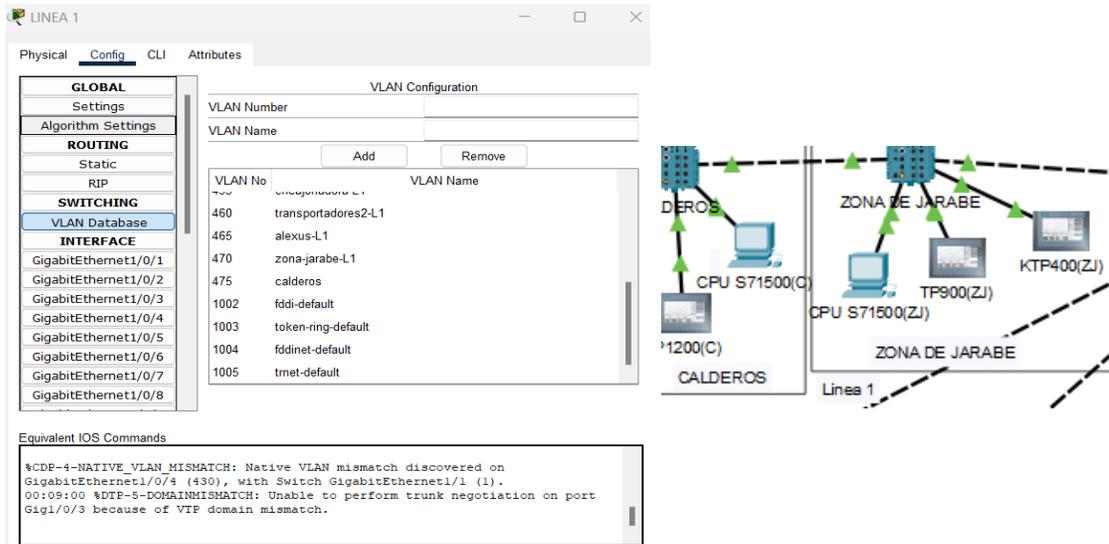
En la línea 1, la asignación de la VLAN 420 al área de la llenadora se muestra en la figura 93 que ofrece una representación visual de esta asignación hasta la VLAN 455, que corresponde al área de la encajonadora en la línea 1.



Fuente: Imagen elaborada por el autor

En la Figura 94, se puede apreciar claramente la creación de la VLAN 460, que ha sido destinada al área de los transportadores 2 en la línea 1, y se extiende hasta la VLAN 475, que corresponde al área de calderos de la planta de producción.

Figura 94 VLAN 460-475, Línea 1

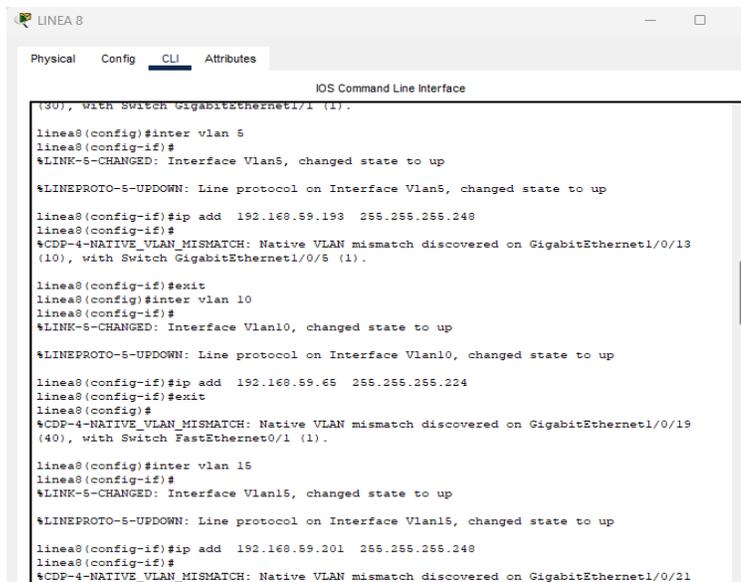


Fuente: Imagen elaborada por el autor

4.5.5 Creación de la interfaz VLAN SVI

En la configuración de la línea 8. En el proceso de configuración se utilizó el comando “**interface vlan**” para crear la interfaz de VLAN, en este caso se abrevió el comando como “**inter vlan**” como se observa en la figura 95, donde se especificó el número de VLAN correspondiente. Además, del comando “**ip address**” abreviado “**ip add**” para asignar a cada interfaz VLAN una dirección IP junto con su máscara de subred correspondiente.

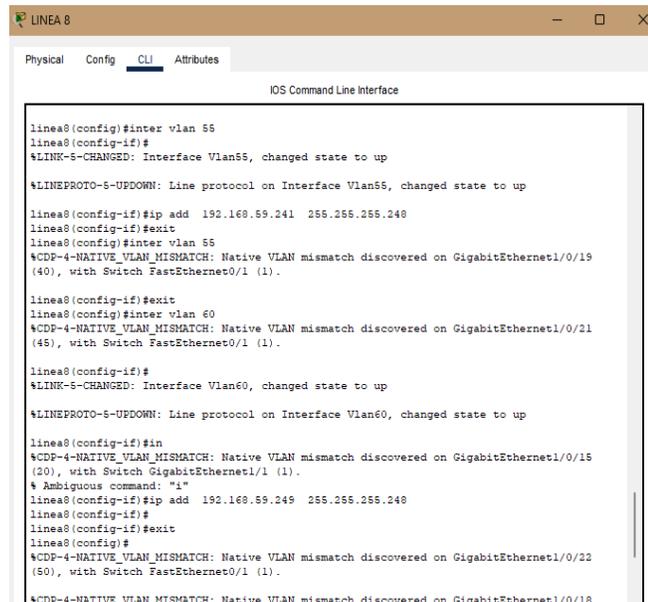
Figura 95 Ips de las SVI VLAN 5-15, línea 8



Fuente: Imagen elaborada por el autor

En la figura 96 se puede observar la creación de las SVI de la VLAN 55 a la VLAN 60 y su asignación de IP y máscara de red.

Figura 96 Ips de las SVI VLAN 55-60, línea 8



```
LINEA 8
Physical Config CLI Attributes
IOS Command Line Interface

linea8(config)#inter vlan 55
linea8(config-if)#
%LINK-5-CHANGED: Interface Vlan55, changed state to up
%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Vlan55, changed state to up

linea8(config-if)#ip add 192.168.59.241 255.255.255.248
linea8(config-if)#exit
linea8(config)#inter vlan 55
%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/19
(40), with Switch FastEthernet0/1 (1).

linea8(config-if)#exit
linea8(config)#inter vlan 60
%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/21
(45), with Switch FastEthernet0/1 (1).

linea8(config-if)#
%LINK-5-CHANGED: Interface Vlan60, changed state to up
%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Vlan60, changed state to up

linea8(config-if)#in
%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/15
(20), with Switch GigabitEthernet1/1 (1).
% Ambiguous command: "i"
linea8(config-if)#ip add 192.168.59.249 255.255.255.248
linea8(config-if)#
linea8(config-if)#exit
linea8(config)#
%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/22
(50), with Switch FastEthernet0/1 (1).

%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/18
```

Fuente: Imagen elaborada por el autor

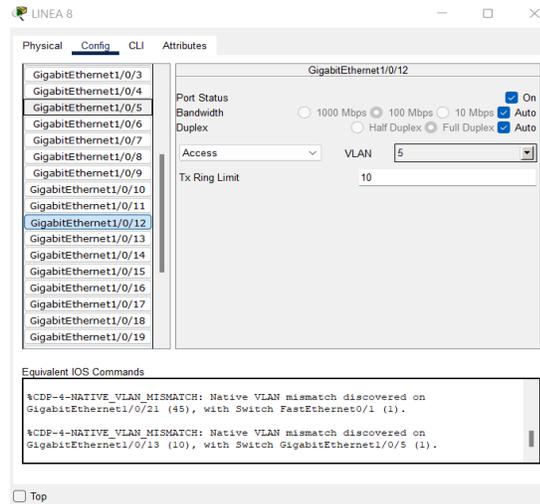
4.5.6 Configuración de los puertos de acceso

En la configuración de los puertos de acceso se asignan las VLAN a los puertos, lo que determina a que red lógica pertenecen los dispositivos conectados a esos puertos. Además, se configuran la velocidad y el modo de duplexión de los puertos para garantizar una comunicación óptima entre el switch y los dispositivos finales. Las velocidades de los distintos puertos de los switches se establecerán en modo de auto-negociación(automático) con el objetivo de mejorar la eficiencia, la flexibilidad y la adaptabilidad de la infraestructura de red. En primer lugar, la auto-negociación simplifica la gestión de la red al eliminar la necesidad de configuraciones manuales en cada puerto, lo que resulta en ahorro de tiempo y una reducción significativa de la posibilidad de errores en la configuración. Además, esta práctica asegura una mayor interoperabilidad al permitir que los dispositivos conectados se comuniquen y acuerden de manera automática las velocidades y modos dúplex más adecuados. Esto no solo simplifica la incorporación de nuevos dispositivos a la red, sino que también optimiza el rendimiento al permitir que las conexiones operen a la velocidad máxima que los dispositivos finales sean capaces de admitir.

La Figura 97 muestra la configuración detallada del puerto GigabitEthernet1/0/12 en la cual se ha asignado acceso a la VLAN 5. Además, se ha configurado en auto el ancho de banda y el modo

de duplexión para este puerto. También se ha habilitado el puerto para que se encuentre activo y funcional.

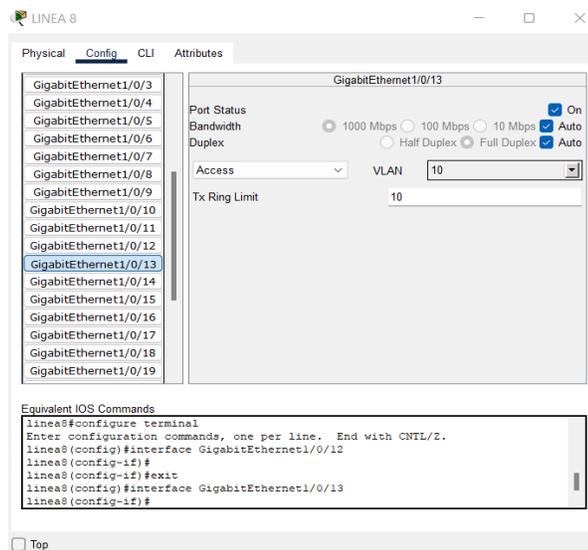
Figura 97 Puerto de acceso VLAN 5



Fuente: Imagen elaborada por el autor

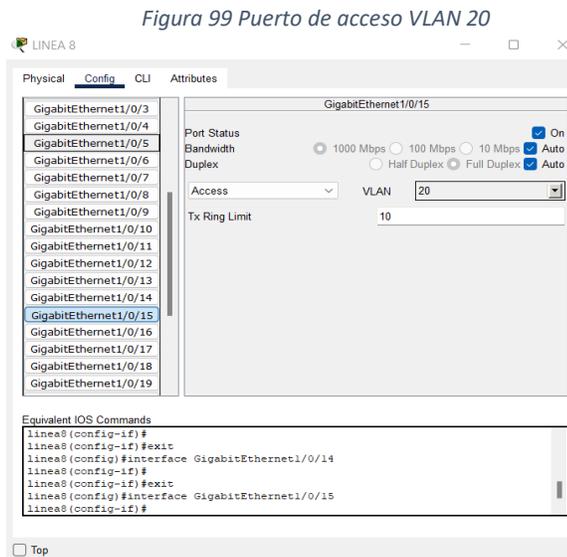
El puerto GigabitEthernet1/0/13 ha sido configurado de manera específica para acceder a la VLAN 10. En esta configuración, se ha optado por configurar tanto el ancho de banda como el modo de duplexión en "auto", lo que permite que el puerto se adapte dinámicamente a las condiciones de la red para garantizar una transmisión eficiente de datos. Además, se ha habilitado el puerto, asegurando que esté activo y listo para la comunicación como se visualiza en la figura 98.

Figura 98 Puerto de acceso VLAN 10



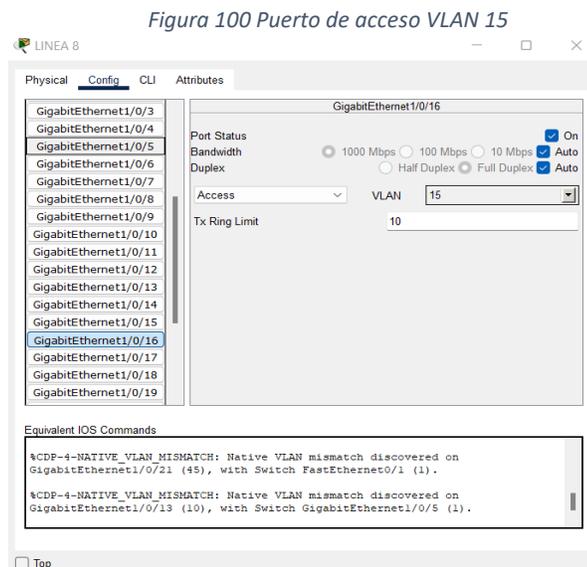
Fuente: Imagen elaborada por el autor

El puerto GigabitEthernet1/0/15 se encuentra detallada en la Figura 99, en la cual se puede observar que este puerto ha sido configurado para tener acceso a la VLAN 20. Además, se ha habilitado el puerto, asegurando que esté activo y listo para la comunicación. En cuanto a la configuración de ancho de banda y duplex, se ha establecido en "automático".



Fuente: Imagen elaborada por el autor

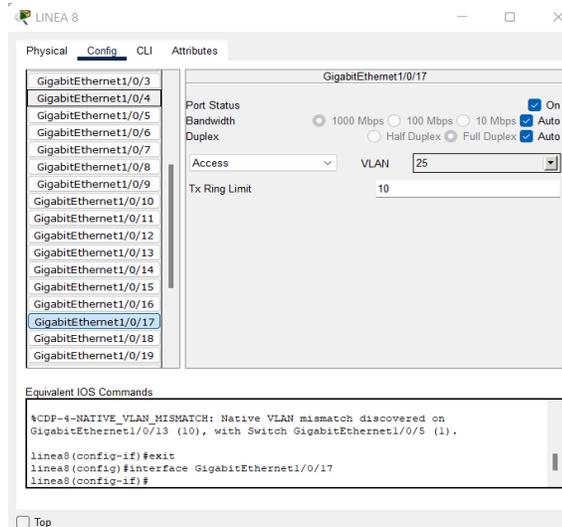
El puerto GigabitEthernet1/0/16 se ha configurado para tener acceso a la VLAN 15 como se muestra en la Figura 100, el ancho de banda y modo de duplexión, se ha establecido en "automático". Además, el puerto ha sido habilitado, asegurando su activación para la comunicación.



Fuente: Imagen elaborada por el autor

En la figura 101 se puntualiza la configuración del puerto GigabitEthernet1/0/17 que se ha definido para que tenga acceso a la VLAN 25, donde se conectarán todos los equipos relacionados con el mixer.

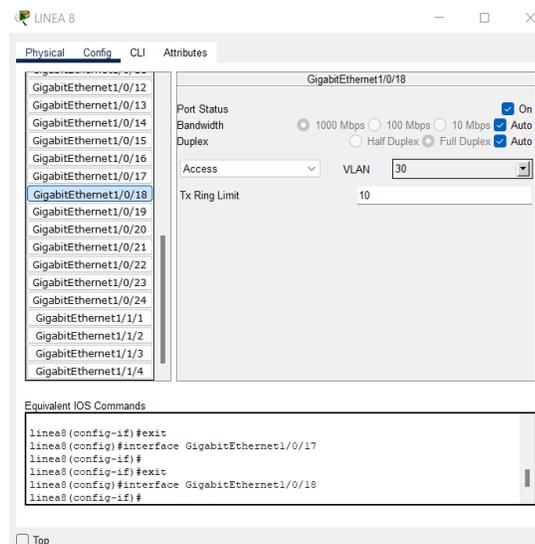
Figura 101 Puerto de acceso VLAN 25



Fuente: Imagen elaborada por el autor

Los equipos de la paletizadora van a ir conectados en el puerto GigabitEthernet1/0/18 el cual se le dará acceso a la VLAN 30 como se observa en la figura 102.

Figura 102 Puerto de acceso VLAN 30



Fuente: Imagen elaborada por el autor

La tabla 83 recopila de manera concisa la asignación de cada uno de los puertos del switch principal de la línea 8, junto con la VLAN a la que están asociados.

Tabla 83 Asignación de VLAN a los puertos.

Puerto	VLAN Asignada
GigabitEthernet1/0/12	5
GigabitEthernet1/0/13	10
GigabitEthernet1/0/15	20
GigabitEthernet1/0/16	15
GigabitEthernet1/0/17	25
GigabitEthernet1/0/18	30
GigabitEthernet1/0/19	40
GigabitEthernet1/0/20	35
GigabitEthernet1/0/21	45
GigabitEthernet1/0/22	50
GigabitEthernet1/0/23	55
GigabitEthernet1/0/24	60

Fuente: Tabla elaborada por el autor

4.5.7 Configuración de los puertos enrutados

Se utilizó el comando “**no switchport**” como se especifica en la figura 103 para indicar que el puerto debe operar en modo de enrutamiento en lugar de ser un puerto de acceso a una VLAN. Posteriormente, se empleó el comando “**ip address**” para asignar una dirección IP y una máscara de subred directamente al puerto.

Figura 103 Configuración puerto enrutado G1/0/1

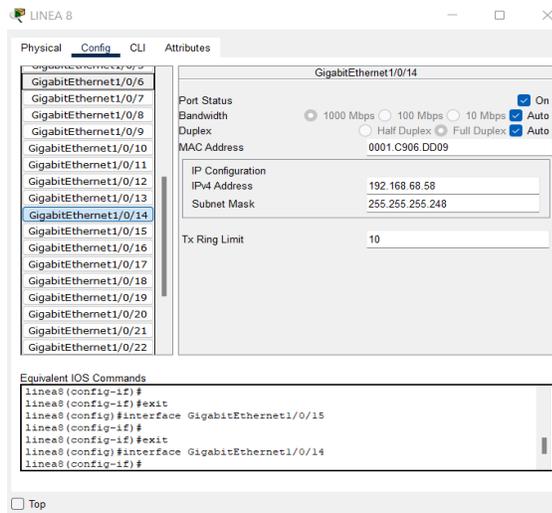
```

line0(config)#interface GigabitEthernet1/0/1
line0(config-if)#no switchport
line0(config-if)#
%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet1/0/1, changed state to
down
%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet1/0/1, changed state to up
%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/21
(45), with Switch FastEthernet0/1 (1).
line0(config-if)#exit
line0(config)#interface GigabitEthernet1/0/1
line0(config-if)#
%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/15
(20), with Switch GigabitEthernet1/1 (1).
ip address 192.168.68.65 255.255.255.0
line0(config-if)#
%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/22
(50), with Switch FastEthernet0/1 (1).
%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/18
(30), with Switch GigabitEthernet1/1 (1).
ip address 192.168.68.65 255.255.255.248
line0(config-if)#
line0(config-if)#exit
line0(config)#interface GigabitEthernet1/0/14
line0(config-if)#
%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/13
(10), with Switch GigabitEthernet1/0/5 (1).
line0(config-if)#no switchport
line0(config-if)#
%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet1/0/14, changed state to
down
    
```

Fuente: Imagen elaborada por el autor

La Figura 104 representa la configuración del puerto enrutado G1/0/14. En esta configuración, se muestra claramente la dirección IP asignada al puerto, así como la máscara de red correspondiente.

Figura 104 Habilitación del puerto enrutado G1/0/14



Fuente: Imagen elaborada por el autor

Al finalizar todas las configuraciones anteriores del switch principal de la línea 8 se observa una vista general de los puertos y las VLAN SVI en la figura 105.

Figura 105 Vista general de los puertos y VLAN SVI

```

Device Name: LINEA 8
Device Model: 3650-24PS
Hostname: linea8
  
```

Port	Link	VLAN	IP Address	IPv6 Address	MAC Address
GigabitEthernet1/0/1	Up	--	<not set>	<not set>	0004.9A6D.DD7D
GigabitEthernet1/0/2	Down	1	<not set>	<not set>	0001.6433.993E
GigabitEthernet1/0/3	Down	1	<not set>	<not set>	0009.7CEC.08A7
GigabitEthernet1/0/4	Down	1	<not set>	<not set>	0002.1709.4D74
GigabitEthernet1/0/5	Down	1	<not set>	<not set>	0060.2F8B.7048
GigabitEthernet1/0/6	Down	1	<not set>	<not set>	0001.C7D7.52B6
GigabitEthernet1/0/7	Down	1	<not set>	<not set>	0090.2B70.8B28
GigabitEthernet1/0/8	Down	1	<not set>	<not set>	0002.1707.B8C0
GigabitEthernet1/0/9	Down	1	<not set>	<not set>	0060.3E35.7735
GigabitEthernet1/0/10	Down	1	<not set>	<not set>	00E0.F9E3.5616
GigabitEthernet1/0/11	Down	1	<not set>	<not set>	000C.854D.7074
GigabitEthernet1/0/12	Up	5	<not set>	<not set>	00E0.8F7D.DA0E
GigabitEthernet1/0/13	Up	10	<not set>	<not set>	000A.F342.D667
GigabitEthernet1/0/14	Up	--	<not set>	<not set>	0001.C906.DD09
GigabitEthernet1/0/15	Up	20	<not set>	<not set>	0001.428C.CACB
GigabitEthernet1/0/16	Up	15	<not set>	<not set>	0001.422D.626D
GigabitEthernet1/0/17	Up	25	<not set>	<not set>	0030.A3A2.0349
GigabitEthernet1/0/18	Up	30	<not set>	<not set>	0003.E449.A84B
GigabitEthernet1/0/19	Up	40	<not set>	<not set>	00D0.9768.5125
GigabitEthernet1/0/20	Up	35	<not set>	<not set>	0001.642E.E1ED
GigabitEthernet1/0/21	Up	45	<not set>	<not set>	000B.BE05.1D5B
GigabitEthernet1/0/22	Up	50	<not set>	<not set>	00D0.BA74.539E
GigabitEthernet1/0/23	Up	55	<not set>	<not set>	00D0.5893.52E3
GigabitEthernet1/0/24	Up	60	<not set>	<not set>	0030.F267.3959
GigabitEthernet1/1/1	Down	1	<not set>	<not set>	000D.BDA8.212E
GigabitEthernet1/1/2	Down	1	<not set>	<not set>	0001.9725.E6BC
GigabitEthernet1/1/3	Down	1	<not set>	<not set>	00D0.58DD.0226
GigabitEthernet1/1/4	Down	--	<not set>	<not set>	0090.2144.588B
Vlan1	Down	1	<not set>	<not set>	000A.F365.28BC
Vlan5	Up	5	192.168.59.193/29	<not set>	000A.F365.2801
Vlan10	Up	10	192.168.59.65/27	<not set>	000A.F365.2802
Vlan15	Up	15	192.168.59.201/29	<not set>	000A.F365.2803
Vlan20	Up	20	192.168.59.217/29	<not set>	000A.F365.2804
Vlan25	Up	25	192.168.59.209/29	<not set>	000A.F365.2805
Vlan30	Up	30	192.168.59.97/27	<not set>	000A.F365.2806
Vlan35	Up	35	192.168.59.225/29	<not set>	000A.F365.2807
Vlan40	Up	40	192.168.59.161/28	<not set>	000A.F365.2808
Vlan45	Up	45	192.168.59.233/29	<not set>	000A.F365.2809
Vlan50	Up	50	192.168.59.177/28	<not set>	000A.F365.280A
Vlan55	Up	55	192.168.59.241/29	<not set>	000A.F365.280B
Vlan60	Up	60	192.168.59.249/29	<not set>	000A.F365.280C

Physical Location: Intercity > Home City > Corporate Office > Main Wiring Closet > Rack > LINEA 8

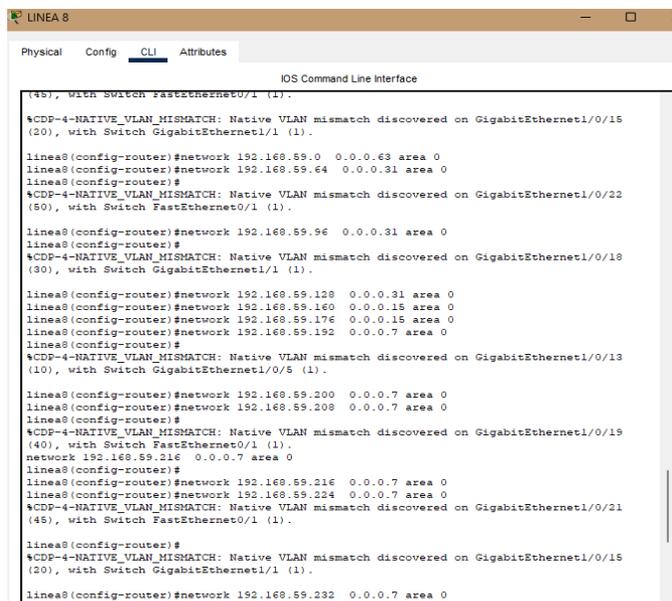
Fuente: Imagen elaborada por el autor

4.5.8 Configuración del enrutamiento

La configuración de enrutamiento en los switches se inició de manera efectiva mediante el comando “**ip routing**”, que habilita la funcionalidad de enrutamiento en el switch. Luego, se procedió a configurar el enrutamiento OSPF utilizando el comando “**router ospf**”, lo que permite al switch participar en el protocolo de enrutamiento OSPF (Open Shortest Path First).

Un paso fundamental en la configuración OSPF es especificar las redes que pertenecen al proceso OSPF y definir sus máscaras wildcard asociadas. Esto se logró a través del comando “**network**” como se observa en la figura 106, que permite detallar las redes y sus máscaras wildcard para que OSPF pueda reconocerlas y anunciarlas a otros equipos de enrutamiento en la red.

Figura 106 Enrutamiento OSPF línea 8, parte 1



```
LINEA 8
Physical Config CLI Attributes
IOS Command Line Interface

(45), with Switch FastEthernet0/1 (1).
%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/15
(20), with Switch GigabitEthernet1/1 (1).
line8(config-router)#network 192.168.59.0 0.0.0.63 area 0
line8(config-router)#network 192.168.59.64 0.0.0.31 area 0
line8(config-router)#
%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/22
(50), with Switch FastEthernet0/1 (1).
line8(config-router)#network 192.168.59.96 0.0.0.31 area 0
line8(config-router)#
%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/18
(30), with Switch GigabitEthernet1/1 (1).
line8(config-router)#network 192.168.59.128 0.0.0.31 area 0
line8(config-router)#network 192.168.59.160 0.0.0.15 area 0
line8(config-router)#network 192.168.59.176 0.0.0.15 area 0
line8(config-router)#network 192.168.59.192 0.0.0.7 area 0
line8(config-router)#
%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/13
(10), with Switch GigabitEthernet1/0/5 (1).
line8(config-router)#network 192.168.59.200 0.0.0.7 area 0
line8(config-router)#network 192.168.59.208 0.0.0.7 area 0
line8(config-router)#
%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/19
(40), with Switch FastEthernet0/1 (1).
network 192.168.59.216 0.0.0.7 area 0
line8(config-router)#
line8(config-router)#network 192.168.59.216 0.0.0.7 area 0
line8(config-router)#network 192.168.59.224 0.0.0.7 area 0
%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/21
(45), with Switch FastEthernet0/1 (1).
line8(config-router)#
%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/15
(20), with Switch GigabitEthernet1/1 (1).
line8(config-router)#network 192.168.59.232 0.0.0.7 area 0
```

Fuente: Imagen elaborada por el autor

En un esfuerzo por optimizar la operación del protocolo de enrutamiento OSPF en la línea 8, se procedió a ingresar todas las subredes en el área 0. Este paso es esencial para permitir que el protocolo OSPF detecte cualquier adyacencia disponible dentro de esta área como se especifica en la figura 107.

Figura 107 Enrutamiento OSPF línea 8, parte 2

```
LINEA 8
Physical Config CLI Attributes
IOS Command Line Interface

linea8(config-router)#
%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/15
(20), with Switch GigabitEthernet1/1 (1).
linea8(config-router)#network 192.168.59.232 0.0.0.7 area 0
linea8(config-router)#network 192.168.59.240 0.0.0.7 area 0
linea8(config-router)#
%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/22
(150), with Switch FastEthernet0/1 (1).
linea8(config-router)#network 192.168.59.248 0.0.0.7 area 0
linea8(config-router)#
%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/18
(30), with Switch GigabitEthernet1/1 (1).
network 192.168.68.56 0.0.0.7 area 0
linea8(config-router)#
linea8(config-router)#network 192.168.68.56 0.0.0.7 area 0
linea8(config-router)#network 192.168.68.64 0.0.0.7 area 0
linea8(config-router)#exit
linea8(config)#
03:15:30: %OSPF-5-ADJCHG: Process 10, Nbr 192.168.68.57 on GigabitEthernet1/0/14 from
LOADING to FULL, Loading Done
end
linea8#
%SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console

linea8#
%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/13
(10), with Switch GigabitEthernet1/0/5 (1).

linea8#
%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/19
(40), with Switch FastEthernet0/1 (1).

%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/21
(45), with Switch FastEthernet0/1 (1).

%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/15
(20), with Switch GigabitEthernet1/1 (1).
```

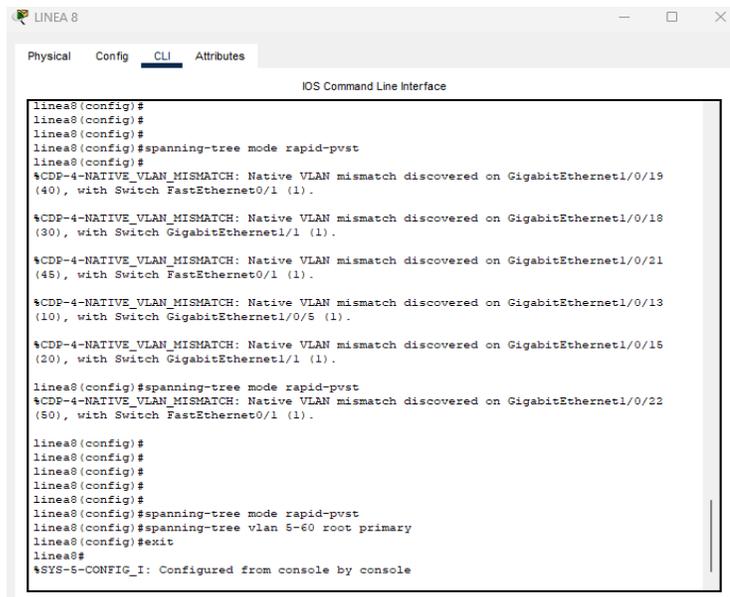
Fuente: Imagen elaborada por el autor

4.5.9 Configuración del protocolo Spanning Tree

La configuración del Protocolo Spanning Tree (STP) con la variante Rapid Per-VLAN Spanning Tree (Rapid PVST) es una estrategia efectiva para acelerar la convergencia en redes con múltiples VLANs. Al asignar prioridades a las VLANs específicas de la 5 a la 60 en la línea de producción 8, se está tomando en cuenta la importancia de estas VLANs dentro de ese segmento de la red. Esto significa que, en caso de que ocurra una reconvergencia del árbol de expansión debido a un cambio en la topología o una falla, estas VLANs tendrán prioridad para seleccionar el camino mucho más rápido.

Se estableció el modo de STP como Rapid PVST (Per-VLAN Spanning Tree) mediante el comando “**spanning-tree mode rapid-pvst**”. Además, se designó un switch como la switch raíz de la VLAN principal utilizando el comando “**spanning-tree vlan root primary**” como se observa en la figura 108, así se configuró el switch de cada línea estableciendo en cada una sus propias VLANs.

Figura 108 Configuración del protocolo STP línea 8



```
LINEA 8
Physical Config CLI Attributes
IOS Command Line Interface
line8(config)#
line8(config)#
line8(config)#
line8(config)#spanning-tree mode rapid-pvst
line8(config)#
%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/19
(40), with Switch FastEthernet0/1 (1).
%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/18
(30), with Switch GigabitEthernet1/1 (1).
%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/21
(45), with Switch FastEthernet0/1 (1).
%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/13
(10), with Switch GigabitEthernet1/0/5 (1).
%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/15
(20), with Switch GigabitEthernet1/1 (1).
line8(config)#spanning-tree mode rapid-pvst
%CDP-4-NATIVE_VLAN_MISMATCH: Native VLAN mismatch discovered on GigabitEthernet1/0/22
(50), with Switch FastEthernet0/1 (1).
line8(config)#
line8(config)#
line8(config)#
line8(config)#
line8(config)#
line8(config)#spanning-tree mode rapid-pvst
line8(config)#spanning-tree vlan 5-60 root primary
line8(config)#exit
line8#
$SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console
```

Fuente: Imagen elaborada por el autor

CAPÍTULO V

5.1 Pruebas y resultados

Para verificar que la prueba de enrutamiento se haya realizado de la manera correcta se empleó el comando “**show ip route**” que ahora debe tener rutas hacia las subredes de las otras líneas.

En la figura 109, se puede apreciar que el protocolo OSPF ha diseñado una ruta para la red 60, la cual se ha subdividido en varias subredes, cada una con su respectiva máscara. Además, se ha establecido una ruta para las 10 subredes de la red 61, cada una con sus tres máscaras correspondientes. De manera similar, para la red 62, donde se ha creado una ruta para las 10 subredes individuales, cada una con sus tres máscaras respectivas.

Figura 109 Ruta hacia la red 60-62

```
LINEA 8
Physical Config CLI Attributes
IOS Command Line Interface
linea8#show ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
       I - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
       * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
       P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

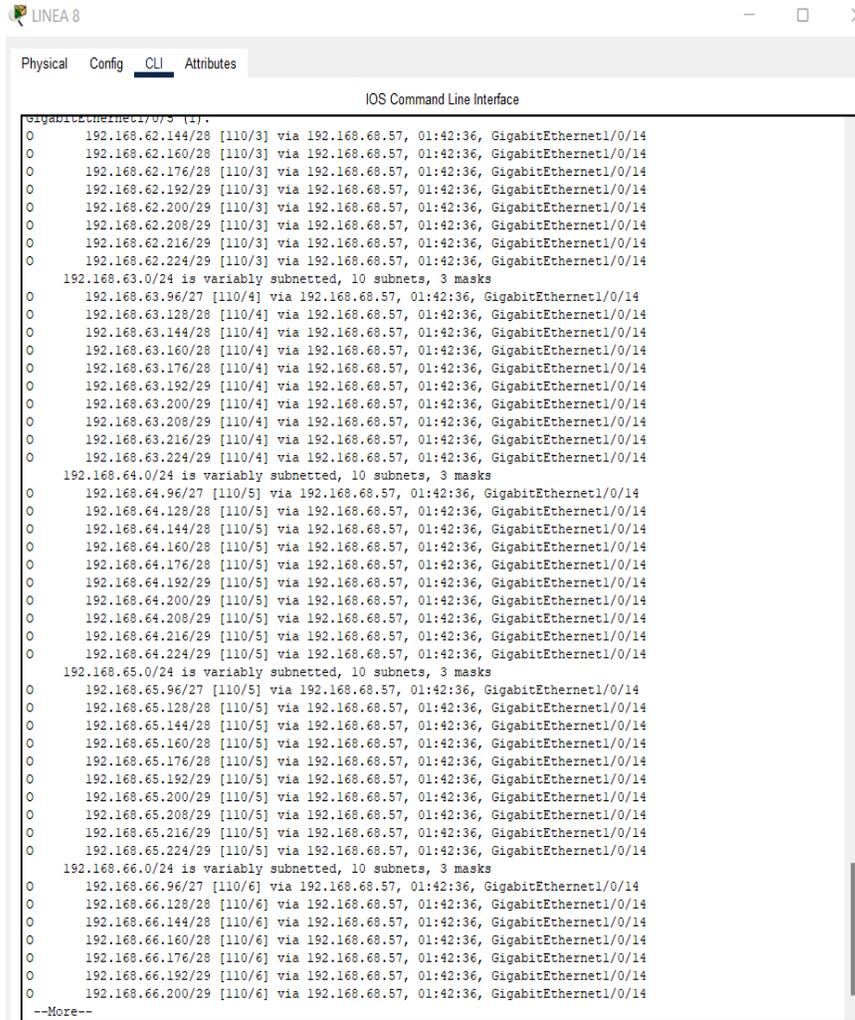
192.168.59.0/24 is variably subnetted, 12 subnets, 3 masks
C    192.168.59.64/27 is directly connected, Vlan10
C    192.168.59.96/27 is directly connected, Vlan30
C    192.168.59.160/28 is directly connected, Vlan40
C    192.168.59.176/28 is directly connected, Vlan50
C    192.168.59.192/29 is directly connected, Vlan5
C    192.168.59.200/29 is directly connected, Vlan15
C    192.168.59.208/29 is directly connected, Vlan25
C    192.168.59.216/29 is directly connected, Vlan20
C    192.168.59.224/29 is directly connected, Vlan35
C    192.168.59.232/29 is directly connected, Vlan45
C    192.168.59.240/29 is directly connected, Vlan55
C    192.168.59.248/29 is directly connected, Vlan60
192.168.60.0/24 is variably subnetted, 11 subnets, 2 masks
O    192.168.60.96/28 [110/2] via 192.168.68.57, 01:42:46, GigabitEthernet1/0/14
O    192.168.60.112/28 [110/2] via 192.168.68.57, 01:42:46, GigabitEthernet1/0/14
O    192.168.60.128/28 [110/2] via 192.168.68.57, 01:42:46, GigabitEthernet1/0/14
O    192.168.60.144/28 [110/2] via 192.168.68.57, 01:42:46, GigabitEthernet1/0/14
O    192.168.60.160/28 [110/2] via 192.168.68.57, 01:42:46, GigabitEthernet1/0/14
O    192.168.60.176/28 [110/2] via 192.168.68.57, 01:42:46, GigabitEthernet1/0/14
O    192.168.60.192/29 [110/2] via 192.168.68.57, 01:42:46, GigabitEthernet1/0/14
O    192.168.60.200/29 [110/2] via 192.168.68.57, 01:42:46, GigabitEthernet1/0/14
O    192.168.60.208/29 [110/2] via 192.168.68.57, 01:42:46, GigabitEthernet1/0/14
O    192.168.60.216/29 [110/2] via 192.168.68.57, 01:42:46, GigabitEthernet1/0/14
O    192.168.60.224/29 [110/2] via 192.168.68.57, 01:42:46, GigabitEthernet1/0/14
192.168.61.0/24 is variably subnetted, 10 subnets, 3 masks
O    192.168.61.96/27 [110/2] via 192.168.68.57, 01:42:46, GigabitEthernet1/0/14
O    192.168.61.128/28 [110/2] via 192.168.68.57, 01:42:46, GigabitEthernet1/0/14
O    192.168.61.144/28 [110/2] via 192.168.68.57, 01:42:46, GigabitEthernet1/0/14
O    192.168.61.160/28 [110/2] via 192.168.68.57, 01:42:46, GigabitEthernet1/0/14
O    192.168.61.176/28 [110/2] via 192.168.68.57, 01:42:46, GigabitEthernet1/0/14
O    192.168.61.192/29 [110/2] via 192.168.68.57, 01:42:46, GigabitEthernet1/0/14
O    192.168.61.200/29 [110/2] via 192.168.68.57, 01:42:46, GigabitEthernet1/0/14
O    192.168.61.208/29 [110/2] via 192.168.68.57, 01:42:46, GigabitEthernet1/0/14
O    192.168.61.216/29 [110/2] via 192.168.68.57, 01:42:46, GigabitEthernet1/0/14
O    192.168.61.224/29 [110/2] via 192.168.68.57, 01:42:46, GigabitEthernet1/0/14
192.168.62.0/24 is variably subnetted, 10 subnets, 3 masks
O    192.168.62.96/27 [110/3] via 192.168.68.57, 01:42:36, GigabitEthernet1/0/14
--More--
```



Fuente: Imagen elaborada por el autor

Las rutas para la red 63, 64, 65 y 66 las cuales han sido subdivididas en 10 subredes individuales cada una, y para cada subred se han configurado las tres máscaras correspondientes como se observa en la figura 110.

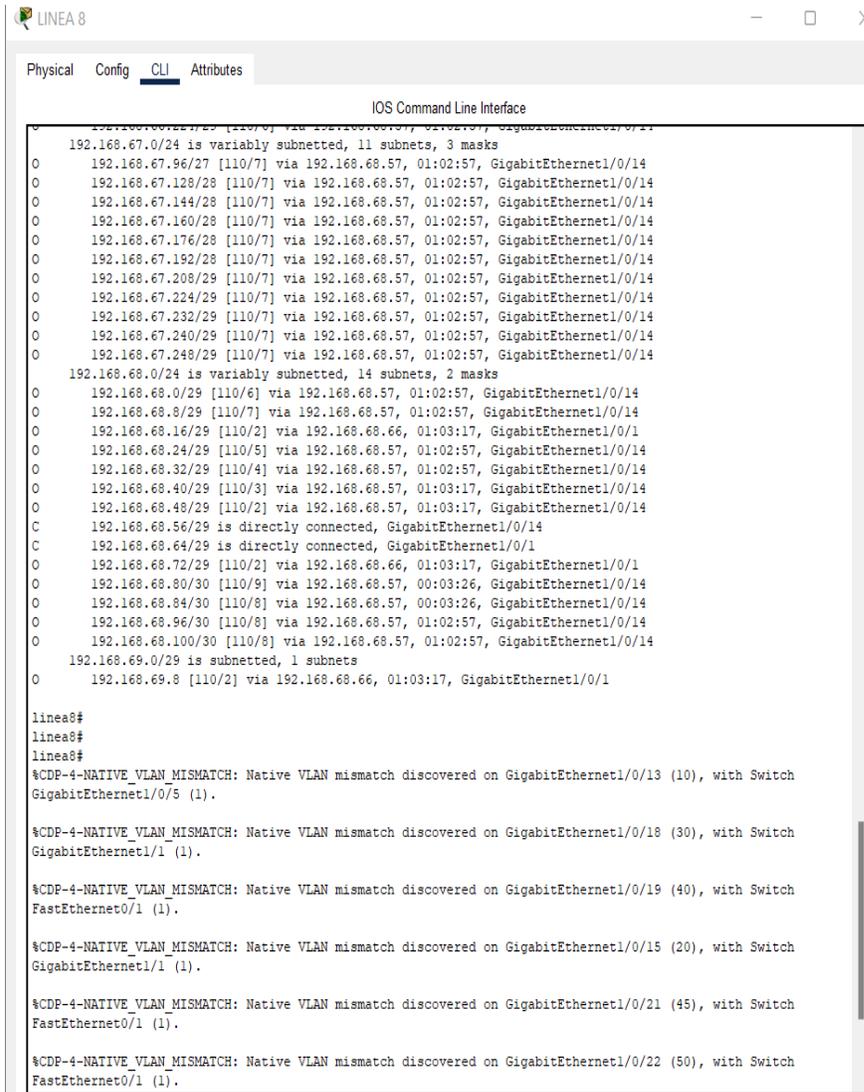
Figura 110 Ruta hacia la red 63-66



Fuente: Imagen elaborada por el autor

La figura 111 proporciona una visión de las rutas establecidas por el protocolo OSPF en la red 67, que ha sido subdividida en 11 subredes; la red 68, con 14 subredes; y, por último, la red 69, que cuenta con una sola subred.

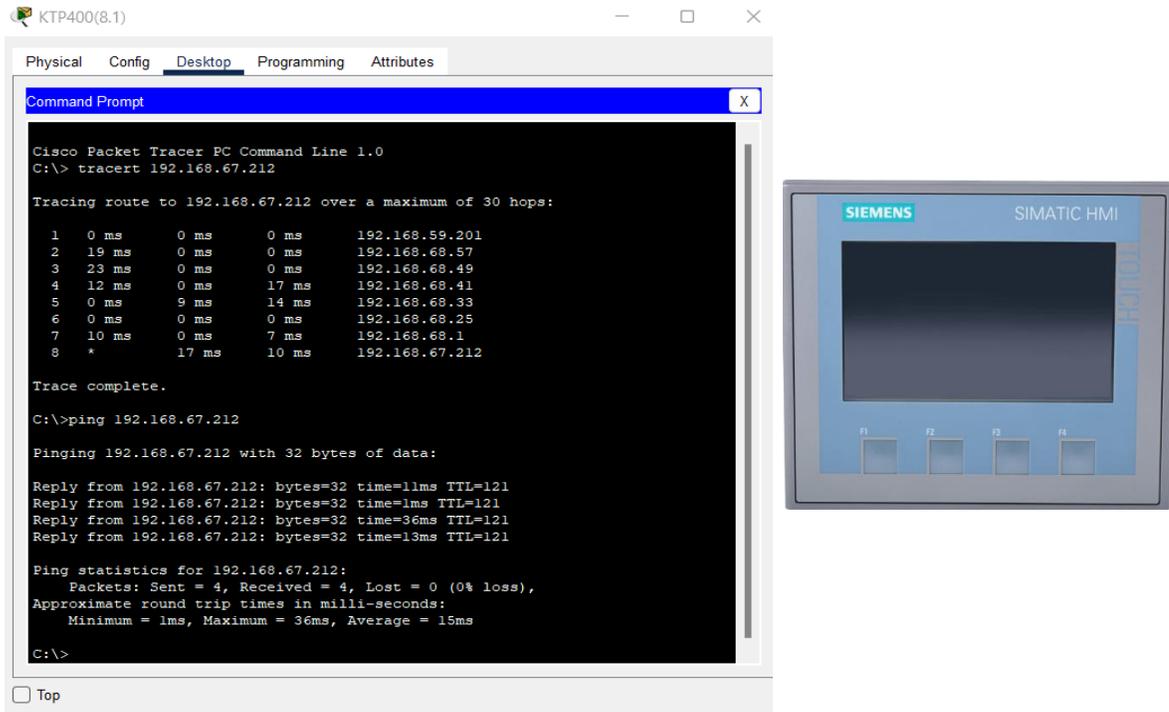
Figura 111 Ruta hacia la red 67-69



Fuente: Imagen elaborada por el autor

Se realizó una prueba de conectividad en la línea 8, desde la estación de llenado se utilizó el dispositivo KTP400(8.1) para ejecutar un seguimiento de ruta “**tracert**” hasta la zona de jarabe al KTP400(ZJ) de la línea, como se detalla en la figura 112. Además, se empleó el comando “**ping**” para evaluar la posible pérdida de paquetes.

Figura 112 Conectividad entre la línea 8 y línea 1

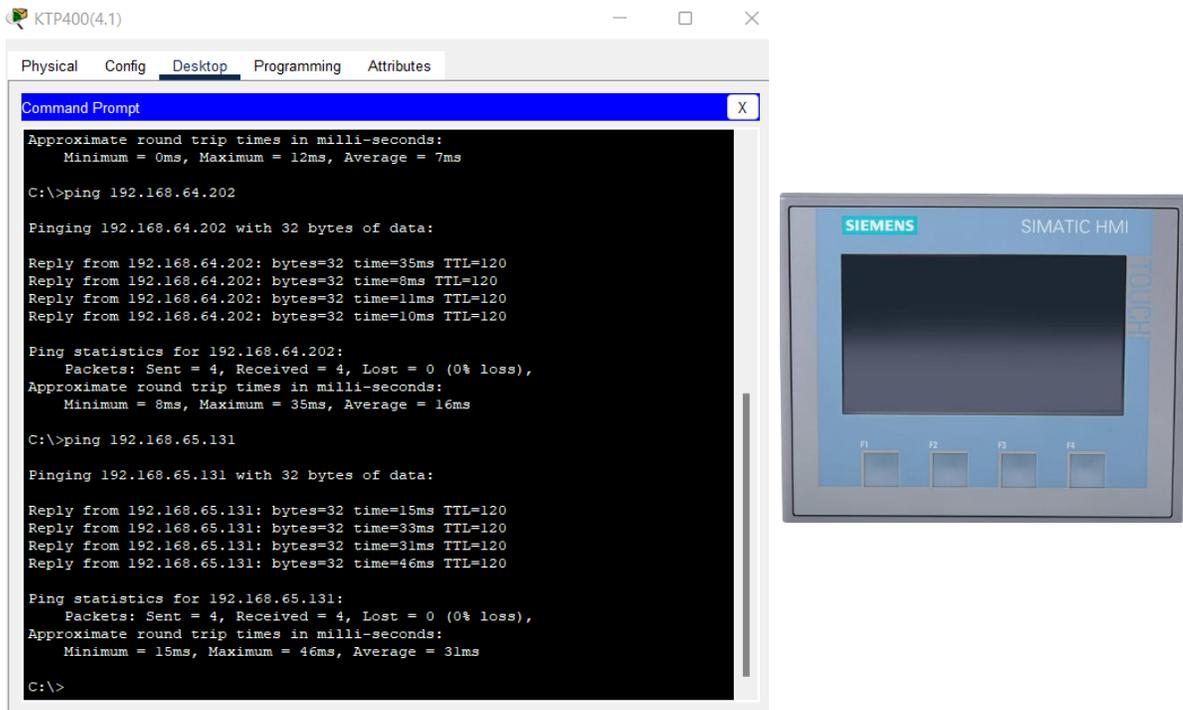


Fuente: Imagen elaborada por el autor

La figura 112 muestra un aspecto esencial del rendimiento de la red: la ausencia de pérdida de paquetes. Este resultado es positivo, ya que indica que todos los paquetes de datos enviados a través de la red alcanzaron su destino sin interrupciones ni pérdidas en el camino. La falta de pérdida de paquetes es un indicador crucial de la estabilidad y la calidad de la red, lo que significa que la infraestructura de red está funcionando de manera eficiente y que los dispositivos y protocolos involucrados están trabajando de manera confiable. Este es un resultado que es fundamental para garantizar que las aplicaciones y servicios que dependen de la red funcionen sin interrupciones y proporcionen una experiencia fluida a los usuarios finales.

En la prueba de tolerancia a fallos, se ha simulado un escenario en el que se produjo una interrupción en el enlace que conecta el switch principal de la línea 4 con el switch de la línea 3-2. El propósito de esta simulación fue evaluar la capacidad de la red para mantener la comunicación entre todas las líneas de producción a pesar de esta falla. Se procedió a realizar una prueba de conectividad mediante un “ping” desde el equipo KTP400 (4.1) ubicado en la llenadora de la línea 4 hacia el transportador 1 de la línea 2 y hacia el equipo TP900(3.1) de la encajonadora de la línea 3, como se observa en la figura 113.

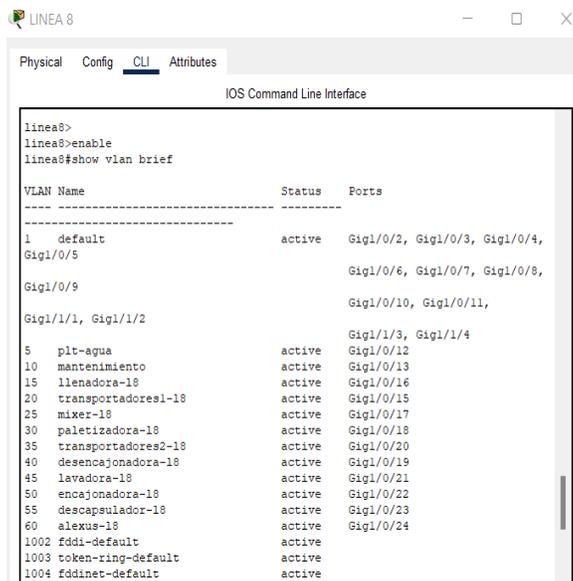
Figura 113 Ping de la línea 4 hacia la línea 2-3



Fuente: Imagen elaborada por el autor

Los resultados obtenidos en la prueba confirman que la comunicación entre la línea 4 y la línea 2-3 es efectiva, Esto valida tanto la configuración en topología de anillo como la implementación del protocolo OSPF que están operando de manera óptima. La exitosa comunicación entre diferentes partes de la red demuestra la robustez de la infraestructura y la capacidad del protocolo OSPF para adaptarse a cambios en la topología de la red, garantizando una conectividad constante y confiable. Para verificar la correcta creación y asignación de las VLANs a sus respectivos puertos, se empleó el comando "**show vlan brief**" como se detalla en la figura 114. Esta herramienta proporciona una visión concisa del estado de las VLANs, asegurando que estén activas y configuradas según lo planeado. La información obtenida a través de esta verificación confirma la correcta segmentación de la red en las VLANs y su asignación a los puertos correspondientes, lo que es esencial para un funcionamiento eficiente y seguro de la red.

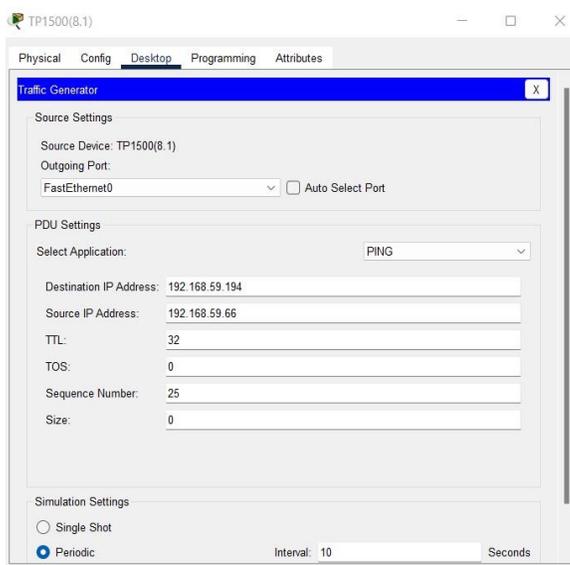
Figura 114 Prueba de asignación de VLAN



Fuente: Imagen elaborada por el autor

La prueba de escalabilidad se realiza para evaluar la capacidad de la red aumentando la carga de tráfico sin que se degrade significativamente el rendimiento. En este escenario de prueba se utilizó el comando "ping" para generar tráfico adicional desde la planta de agua de la línea 8 hacia el MON1, que se encuentra en la oficina de mantenimiento de la misma línea, tal como se observa en la figura 115. Esta simulación de tráfico adicional tiene como objetivo comprobar la respuesta de la red frente a un incremento en la carga.

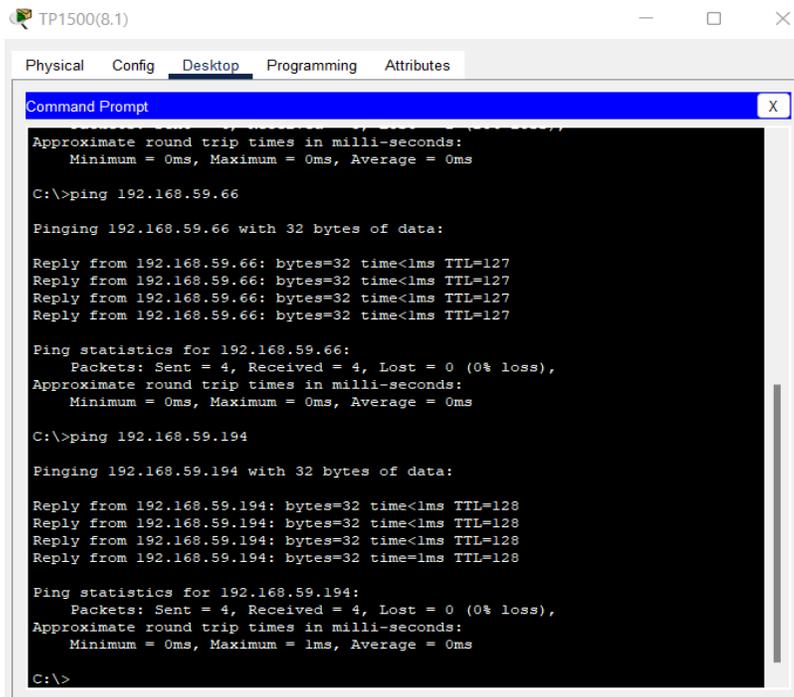
Figura 115 Generación de tráfico en la línea 8



Fuente: Imagen elaborada por el autor

La figura 116 evidencia que la prueba de tráfico adicional arrojó resultados positivos, demostrando que la comunicación en la línea no resultó considerablemente afectada a pesar del incremento en el tráfico simulado. Este adquiere una importancia crítica, ya que señala que la red es escalable y capaz de gestionar de manera efectiva una carga de datos más elevada sin experimentar interrupciones notables en la comunicación ni en su rendimiento.

Figura 116 Verificación del estado de la comunicación.



```
TP1500(8.1)
Physical Config Desktop Programming Attributes
Command Prompt
Approximate round trip times in milli-seconds:
  Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Average = 0ms
C:\>ping 192.168.59.66
Pinging 192.168.59.66 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.59.66: bytes=32 time<1ms TTL=127
Ping statistics for 192.168.59.66:
  Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
  Approximate round trip times in milli-seconds:
    Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Average = 0ms
C:\>ping 192.168.59.194
Pinging 192.168.59.194 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.59.194: bytes=32 time<1ms TTL=128
Reply from 192.168.59.194: bytes=32 time<1ms TTL=128
Reply from 192.168.59.194: bytes=32 time<1ms TTL=128
Reply from 192.168.59.194: bytes=32 time=1ms TTL=128
Ping statistics for 192.168.59.194:
  Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
  Approximate round trip times in milli-seconds:
    Minimum = 0ms, Maximum = 1ms, Average = 0ms
C:\>
```



Fuente: Imagen elaborada por el autor

Conclusiones

- ◇ La selección de las tecnologías TI y OT cuidadosamente adaptadas a las necesidades específicas de la planta de producción representa un paso esencial en la ruta hacia la excelencia operativa y la competitividad sostenible. La fusión de estas esferas tecnológicas establece una base sólida para la digitalización y la adaptabilidad a un entorno industrial en constante evolución.
- ◇ El análisis completo de la arquitectura de comunicación actual en la planta brindó información crucial para la planificación de manera efectiva. Esta descripción detallada permitió identificar áreas de mejora y establecer una base sólida para la evolución tecnológica de la planta.
- ◇ De acuerdo con el estudio realizado de las diversas alternativas, se respalda el tipo de convergencia física de las redes de TI y OT en la planta de producción de bebidas carbonatadas y no carbonatadas como la opción más viable y efectiva. La implementación de herramientas especializadas como “MindConnect” y “MindSphere” representan un paso estratégico en la transformación digital de la planta, generando un impacto significativo en la eficiencia de la organización en un entorno industrial cada vez más interconectado y desafiante.
- ◇ La elección de AutoCAD como plataforma CAD para el diseño de la red de telecomunicación se basó en su capacidad para crear planos precisos y su relevancia educativa. Además, la incorporación de Packet Tracer para el análisis de viabilidad y funcionalidad complementa estas capacidades. Ambas herramientas respaldan la eficiencia del diseño de la red y contribuyen a su mejora continua.
- ◇ La creación del diseño de infraestructura de red de telecomunicación propuesta marca un avance fundamental hacia la modernización y la eficiencia en la industria. Esta arquitectura de red no solo establece las bases para una planta altamente conectada y tecnológicamente avanzada, sino que también capacita hacia la era de la Industria 4.0.
- ◇ Después de una exhaustiva evaluación de las ventajas y desventajas de varias topologías de red, se ha optado por la topología en anillo. Esta elección se fundamenta en su comprobada fiabilidad, respaldada por pruebas de simulación que garantiza una alta disponibilidad de la red y la capacidad de mantener la conectividad incluso en caso de fallos en un enlace.

- ◇ Considerando los ingresos proyectados durante un período de 10 años, que ascienden a un total de \$318,064 dólares y los gastos fijos incrementales de \$30.324 dólares, así como un resumen de ahorros de \$65,854.17 dólares, se puede concluir que el proyecto muestra un equilibrio financiero positivo.
- ◇ Tomando en consideración los indicadores de la evaluación de rentabilidad, que incluyen, el VAN del \$664.512,5 dólares, el TIR del 33,3% y el período de recuperación de 45 meses, respaldan de manera concluyente la viabilidad financiera de este trabajo de titulación. Los resultados obtenidos demuestran que el proyecto es rentable y cumple con los objetivos de la evaluación de rentabilidad establecidos para el desarrollo de la infraestructura de red propuesta, incluso con una inversión de \$332.199,77 dólares.
- ◇ Al simular fallas a dispositivos y enlaces, se ha confirmado la resiliencia y la capacidad de recuperación de la red. Estos resultados respaldan la confiabilidad de la infraestructura y garantizan que, incluso en situaciones adversas, la comunicación continúe siendo efectiva, lo que es esencial para mantener la continuidad de las operaciones y la satisfacción de los usuarios.
- ◇ En la simulación, se configuró el protocolo VSTP como sustituto del protocolo de redundancia de medios MRP, debido a que MRP no es viable para configuración en Packet Tracer. A pesar de que tanto VSTP como MRP comparten el mismo propósito esencial para garantizar la estabilidad y eliminar bucles en redes conmutadas mediante la provisión de redundancia, es importante destacar que VSTP no se emplea en pruebas de redundancia controladas.

Recomendaciones

- ◇ Se recomienda considerar este trabajo de titulación como un caso de estudio y utilizarlo como referencia para futuras investigaciones en el campo de la transformación hacia la Industria 4.0 en plantas de producción. Se sugiere analizar en detalle el desarrollo y resultados de la infraestructura de red propuesta, tomando en cuenta factores como la eficiencia operativa, la optimización de procesos, la seguridad de datos y la mejora de la productividad. Un seguimiento a largo plazo permitiría evaluar el impacto en el rendimiento de la planta y la posibilidad de replicar el diseño en otras plantas, contribuyendo al avance en tecnologías de telecomunicaciones para la Industria 4.0 en el sector de bebidas y otras industrias afines.
- ◇ Periódicamente, evaluar y considerar la actualización de dispositivos y tecnologías para mantenerse al día con las demandas cambiantes.
- ◇ A medida que la red crezca, realizar pruebas de escalabilidad para asegurarse de que pueda manejar un aumento en la carga de trabajo.
- ◇ Continuar evaluando y actualizando las políticas y procedimientos para asegurar el cumplimiento normativo en constante cambio.
- ◇ Realizar pruebas periódicas de conectividad para verificar la eficacia de la comunicación entre todos los dispositivos de la red y garantizar una operación sin interrupciones.

Anexos

CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

Diseño de una infraestructura de red de telecomunicaciones para la transformación hacia la Industria

2% Similitudes
1% Texto entre comillas < 1% similitudes entre comillas
1% Idioma no reconocido

Nombre del documento: Diseño de una infraestructura de red de telecomunicaciones para la transformación hacia la Industria .docx
 ID del documento: 57a7e44e2f73552ef48954ef56e3a8dd0200a1aa
 Tamaño del documento original: 34,44 MB

Depositante: VLADIMIR ISRAEL GARCIA SANTOS
 Fecha de depósito: 9/9/2023
 Tipo de carga: interface
 fecha de fin de análisis: 9/9/2023

Número de palabras: 83.093
 Número de caracteres: 558.168

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes

Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	www.logicbus.com.mx Protocolos de comunicación industriales - Blog Logicbus 6 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (347 palabras)
2	miratelecomunicaciones.com INDUSTRIA 4.0 - Mira Telecomunicaciones 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (178 palabras)
3	uvadoc.uva.es Implantación de robots colaborativos en línea de producción	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (168 palabras)
4	community.fs.com Explicación del apilamiento de switches: Fundamentos, confi...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (151 palabras)
5	enredandoconredes.com Enredando con redes ...MRP, Media Redundancy Proto...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (157 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	mall.industry.siemens.com Detalles de Producto - Industry Mall - Siemens Mexico	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (35 palabras)
2	Documento de otro usuario #f5ce0a El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (21 palabras)
3	hdl.handle.net Implementación y mejora de la digitalización del sistema de segui...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (19 palabras)
4	www.logicbus.com.mx Guía para entender EtherNet/IP - Blog Logicbus	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (28 palabras)
5	www.autycom.com SIMATIC HMI TP1500 Comfort, Comfort Panel, mando t?ctil, P...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- <https://www.pragma.com>
- <https://dspace.ups.edu.ec>
- <https://pixabay.com>
- <https://www.questionpro.com>
- <https://www.sapia.com>

Bibliografía

- [1] Valverde Obando Adrián Alexander, «Bebidas azucaradas y su importancia en la legislación ecuatoriana», 2019.
- [2] U. Mejor Empresa, «Informe Anual 2011», Accedido: 27 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.arcacontal.com/media/11920/informe_anual_2011.pdf
- [3] Carmen Berenice Ynzunza Cortés, Juan Manuel Izar Landeta, Jacqueline Guadalupe Bocarando, Felipe Aguilar Pereyra, y Martín Larios Osorio, «El entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y Perspectivas Futuras», nov. 2017.
- [4] G. Murray, M. N. Johnstone, y C. Valli, «La convergencia de IT y OT en infraestructuras críticas», pp. 149-155, 2017, doi: 10.4225/75/5a84f7b595b4e.
- [5] R. P. Kranendonk y R. P. Kranendonk, «La convergencia e integración de sistemas de tecnología operativa y tecnología de la información: un estudio de caso en el sector de petróleo y gas».
- [6] P. Pascual, «Una metodología de Ciberseguridad para Pymes en entornos industriales», 2019, Accedido: 16 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://reunir.unir.net/bitstream/handle/123456789/9422/Palafox%20Pascual%2c%20Lorena.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [7] Ospina Ardilla Camilo Andres, «Convergencia de seguridad en sistemas de tecnologías operacionales y tecnologías de la información», 2019, Accedido: 17 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/31643/71782435.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [8] Factoria del Futuro, «La convergencia IT-OT, el reto clave para alcanzar el éxito en la digitalización industrial». Accedido: 18 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.factoriadelfuturo.com/la-convergencia-it-ot-el-reto-clave-para-alcanzar-el-exito-en-la-digitalizacion-industrial/>
- [9] «Industria 4.0 – Los desafíos claves de la integración OT-IT | MCS Networks». Accedido: 18 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://mcs.com.mx/industria-4-0-los-desafios-claves-de-la-integracion-ot-it/>
- [10] J. P. S. Jara, M. R. O. Bravo, y J. K. S. Sarmiento, «Estimación de la demanda de bebidas no alcohólicas en Ecuador», *Eca Sinergia*, vol. 11, n.º 3, pp. 72-83, 2020.
- [11] Navarro Coronel y Claudia Ángela, «Análisis de estrategias de trade marketing para el posicionamiento de bebidas gaseosas en Guayaquil», 2022. Accedido: 18 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23578/1/UPS-GT003982.pdf>
- [12] Arca Continental, «Visión Arca Continental». Accedido: 21 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.arcacontal.com/nuestra-compa%C3%B1%C3%ADa/cultura-organizacional.aspx>
- [13] R.; Blanc, A.; Rodríguez, y L. Lepratte, «INDUSTRIA 4.0, CONVERGENCIA TECNOLÓGICA Y DESAFÍOS PARA SU DESARROLLO A ESCALA REGIONAL», 2019.
- [14] M. En, G. Estratégica, y D. E. Sistemas, «Impacto de la convergencia tecnológica sobre el Upstream», mar. 2020.

- [15] E. G. Sarango y Morán Roque Alejandro, «Propuesta de un modelo de gestión, planificación y control de la producción enfocado en la industria 4.0 y sustentabilidad, según una categorización de niveles de automatización, en la industria manufacturera de bebidas no alcohólicas», 2022.
- [16] I. Jesús Gonzalez-Hernandez, B. Armas-Álvarez, M. Coronel-Lazcano, O. Vergara-Martínez, N. Maldonado-López, y R. Granillo-Macías, «El desarrollo tecnológico en las revoluciones industriales», 2021. [En línea]. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/sahagun/issue/archive>
- [17] Luis Guashpa Yantalema y Cesar Urgiles Delgado, «LA INDUSTRIA 4.0 Y SU IMPACTO COMO PROPUESTA PARA LA OPTIMIZACION DE PROCESOS PRODUCTIVOS Y LOGISTICOS EN», *Trabajo de titulación*, 2018.
- [18] «Qué es la industria 4.0 | SafetyCulture». Accedido: 19 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://safetyculture.com/es/temas/que-es-la-industria-4-0/>
- [19] A. M. Pangol Lascano, «Industria 4.0, implicaciones, certezas y dudas en el mundo laboral», *Revista Universidad y Sociedad*, vol. 14, pp. 453-465, feb. 2022, Accedido: 27 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/download/3067/3018/>
- [20] E. G. Sarango Sarango, «Modelo de gestión, planificación y control de la producción enfocado en la industria 4.0», Quito: UCE, 2022. Accedido: 27 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/27750>
- [21] L. C. Ríos Ramírez, L. I. Pérez Domínguez, y J. C. Pérez Olguin, «Tendencias actuales de la industria 4.0 Reflexiones contables (Cúcuta)», pp. 8-22, 2019.
- [22] «Tecnologías de la industria 4.0 - AuraQuantic». Accedido: 19 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.auraquantic.com/es/tecnologias-industria-inteligente/>
- [23] J. F. Falip, «Ciberseguridad de la tecnología operacional (OT) y el futuro de los vehículos eléctricos (EV) Memoria (curso GEP)», 2022.
- [24] S. Ecuador, Á. De Educación, M. Stephania, y C. Arellano, «Las nuevas tecnologías de la información y la comunicación como herramienta pedagógica en la era digital», 2019.
- [25] D. F. Orellana-Daube, «El efecto global de la actual revolución tecnológica 4ª revolución industrial y la industria 4.0 en acción», *Revista GEON (Gestión, Organizaciones y Negocios)*, vol. 7, n.º 2, pp. 1-24, ago. 2020, doi: 10.22579/23463910.194.
- [26] Pastrano Patricio y Torres Jhonatan, «ESTUDIO DEL LEAN MANUFACTURING E INDUSTRIA 4.0 APLICADO A LAS MICROEMPRESAS», 2020. Accedido: 18 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8321>
- [27] R. María Cabeza Gavira Tutor y D. Velázquez Alonso, «Industria 4.0, la optimización de procesos y eficiencia energética», 2018.
- [28] F. De, B. Artes, C. De Propios Martínez, M. Jesús, y R. Palomino, «Arte e Inteligencia artificial: técnicas de aprendizaje automático en el arte generativo actual», 2021.
- [29] D. Tabuena Alcusón, «IMPLANTACIÓN DE ROBOTS COLABORATIVOS EN LINEA DE PRODUCCIÓN», 2017.
- [30] «¿En qué se diferencia OT de TI? OT vs. TI - Cisco». Accedido: 29 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/internet-of-things/what-is-ot-vs-it.html>

- [31] C. - Clara Morlière, «Convergencia TI/OT: Una integración fructífera de sistemas de información y sistemas operativos», 2019.
- [32] «Qué es la convergencia TI/OT? Todo lo que necesitas saber». Accedido: 29 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.techtarget.com/searchitoperations/definition/IT-OT-convergence>
- [33] Francisco Mosqueira Saez, «Tecnologías de comunicación en tiempo real en entornos de automatización industrial. Análisis de la problemática y alternativas.», 2020.
- [34] I. M. Navidad Peñalba, «Diseño de un sistema de cableado estructurado para un entorno de oficinas», 2020.
- [35] C. F. ROBERTO y G. O. CRUZ, «REESTRUCTURACIÓN FÍSICA Y LÓGICA DE LA RED DE VOZ Y DATOS DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO, FASE 2».
- [36] A. Calvo Perales, «Diseño de una red backhaul para el pirineo Catalán», 2020.
- [37] Howard, «Explicación del apilamiento de switches: Fundamentos, configuración y preguntas frecuentes | Comunidad FS». Accedido: 20 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://community.fs.com/es/blog/switch-stacking-explained-basis-configuration-and-faqs.html>
- [38] M. A. Mejía Martijena *et al.*, «Protocolos y topologías utilizadas en los sistemas de comunicación de las microrredes eléctricas», *Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones*, vol. 4, n.º 1, pp. 81-95, 2021.
- [39] J. Granados, «Propuesta de implementación de una red de datos con cableado estructurado», 2019, Accedido: 8 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: http://repositorio.uladech.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13032/15085/CABLEADO_ESTRUCTURADO_GRANADOS_PALACIOS_JEISSON_JOEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [40] S. P. Sanchez y H. M. Delgadillo, «Topología aplicada en redes ad hoc», *Mare Ingenii*, vol. 2, n.º 1, pp. 18-26, 2020.
- [41] E. Roque y J. Antonio, «Protocolos de comunicaciones industriales Logicbus S.A de C.V».
- [42] Álvaro Roberto Rojas Castro, «Protección en infraestructuras críticas- Análisis de seguridad de los sistemas de control industrial», 2019.
- [43] M. Andrés Ortiz y N. Bogotá, «Implementación del protocolo de redundancia paralela (PRP) con encriptación de tramas utilizando el estándar de encriptación avanzada (AES)», 2021.
- [44] «¿Qué es el enrutamiento? | Enrutamiento IP | Cloudflare». Accedido: 20 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.cloudflare.com/es-es/learning/network-layer/what-is-routing/>
- [45] «Aprende Redes.com» Protocolo de árbol de expansión (STP)». Accedido: 20 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://aprenderedes.com/2019/11/protocolo-de-arbol-de-expansionstp/>
- [46] «Tipos de Protocolos de Árbol de Expansión (STP) - CCNA desde Cero». Accedido: 20 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://ccnadesdecero.es/tipos-protocolos-arbol-expansion-stp/>
- [47] «Qué es el protocolo de árbol de expansión (STP) - abcXperts». Accedido: 20 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://abcxperts.com/que-es-el-spanning-tree-protocol-stp/>

- [48] «DRP Protocolo de Redundancia Distribuido - Los Miércoles de Tecnología - Davantel». Accedido: 20 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.davantel.com/drp-distributed-redundancy-protocol-los-miercoles-de-tecnologia>
- [49] «Redes de comunicación industrial IEC EN 62439-5 - Protocolo de redundancia de señal (BRP)». Accedido: 20 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://www.laboratuar.com/es/testler/elektrik-elektronik-testleri/iec-en-62439-5-endustriyel-iletisim-aglari---isaret-yedeklilik-protokolu-\(brp\)/](https://www.laboratuar.com/es/testler/elektrik-elektronik-testleri/iec-en-62439-5-endustriyel-iletisim-aglari---isaret-yedeklilik-protokolu-(brp)/)
- [50] «Prp Y Hsr Protocolos Redundantes | INCIBE-CERT | INCIBE». Accedido: 20 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.incibe.es/incibe-cert/blog/prp-y-hsr-protocolos-redundantes>
- [51] «Protocolos redundantes de comunicación industrial PRP y HSR». Accedido: 20 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://netcloudengineering.com/protocolos-redundantes-prp-hsr/>
- [52] «Enredando con redes ...MRP, Protocolo de redundancia de medios». Accedido: 10 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://enredandoconredes.com/2017/03/26/mrp-media-redundancy-protocol/>
- [53] N. Engineering, «Ingeniería de redes, telecomunicaciones y ciberseguridad en Barcelona», Accedido: 10 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://netcloudengineering.com/protocolo-mrp-entornos-industriales/>
- [54] «SCALANCE XB005, Switch Industrial 5 Puertos RJ45 - Calimport». Accedido: 4 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://calimport.cl/productos/1/6/1756-scalance-xb005-switch-industrial-5-puertos-rj45>
- [55] «SIMATIC S7-1200: automatización de tareas simples con alta precisión - AUTYCOM». Accedido: 4 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.autycom.com/simatic-s7-1200-automatizacion-tareas-con-precision/>
- [56] «SIMATIC HMI TP700 Comfort». Accedido: 4 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.autycom.com/producto/simatic-hmi-tp700-comfort-outdoor-comfort-panel-mando-tactil-pantalla-tft-widescreen-de-7-16-millones-de-colores-interfaz-profinet-interfaz-mpi/>
- [57] A. De *et al.*, «UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL FACULTAD DE INGENIERÍAS CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA Tesis previa a la obtención del Título de INGENIERO ELECTRÓNICO».
- [58] «6GK5008-0BA10-1AB2 | Siemens | PLC-City». Accedido: 4 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.plc-city.com/shop/es/siemens/6gk5008-0ba10-1ab2-nfs.html?SubmitCurrency=1&id_currency=3&gad=1&gclid=Cj0KCQjw0tKiBhC6ARIsAAOXutlgIAYJelGfAECgdm97ILDm81Fm7RkURJFR_uNwSqdXaubWjh2RmqgaAjXqEALw_wcB
- [59] Autycom, «Panel SIMATIC HMI TP1500 Comfort». Accedido: 5 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.autycom.com/producto/simatic-panel-6av2124-0qc02-0ax1-siemens/>
- [60] D. F. As, «Módulo de interfaz PROFINET IM 155-6 PN ST (6ES7155-6AU01-0BN0)».

- [61] «Terminal de movimiento Festo VTEM». Accedido: 6 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.festo.com/net/es-es_es/SupportPortal/Files/730482/118522_Festo_VTEM-MotionTerminal_PSIplus_ES142289_202106_V02.pdf
- [62] Perlesystems, «Switch industrial Siemens. Accedido: 7 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.perlesystems.es/products/switches/industrial-ethernet-switch.shtml#:~:text=Los%20Switches%20Ethernet%20de%20nivel,%C2%B0C%2C%20vibraciones%20e%20impactos.>
- [63] Siemens México, «SIMATIC S7-1500 CPUs». Accedido: 7 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://new.siemens.com/mx/es/productos/automatizacion/systems/industrial/plc/1500cpus.html>
- [64] Siemens, «SIMATIC ET 200MP: la solución perfecta para su controlador avanzado». Accedido: 7 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/io-systems/simatic-et-200mp.html>
- [65] Siemens, «Panel de interfaz Humano-Máquina (HMI) SIMATIC TP1200». Accedido: 7 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/266052?pdtd=td&dl=es&lc=es-ES>
- [66] Siemens, «Unidad periférica descentralizada ET 200L, ET 200L-SC y ET 200L-SC IM-SC».
- [67] Siemens, «Convertidores SINAMICS para accionamientos monoeje».
- [68] I. I. As Sm Id, «SIMATIC Sistema de periferia descentralizada ET 200M», 2008, Accedido: 9 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo2&aktprim=99&lang=>
- [69] Siemens, «6ES7158-0AD01-0XA0». Accedido: 8 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/es/Catalog/Product/6ES7158-0AD01-0XA0>
- [70] Siemens, «Repetidor de diagnóstico para PROFIBUS-DP ». Accedido: 9 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/183/7915183/att_82179/v1/Diagnose_Repeater_s.pdf
- [71] Thermo Electron Corporation, «Sistema de detección de contaminantes Alexis PA».
- [72] Siemens, «Sistema de periferia descentralizada ET 200». Accedido: 9 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/470/1142470/att_30723/v1/ET200_s.pdf
- [73] Siemens, «Panel de interfaz Humano-Máquina (HMI) SIMATIC TP900 Comfort», 2022.
- [74] AUTYCOM, «PLC Siemens S7 300». Accedido: 9 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.autycom.com/plc-siemens-s7-300-caracteristicas/>
- [75] Michael Obrayan, «proceso-productivo-coca-cola».
- [76] Norman Gwangwava y Tinashe B. Mubvirwi, «Diseño y simulación de sistemas IoT utilizando Cisco Packet Tracer», *Avances en internet de las cosas*, vol. Vol.11, 2021.
- [77] Jason C. Neumann, El libro *GNS3: Construir Laboratorios Virtuales de Red utilizando Cisco, Juniper, y más*. 2015.

- [78] V. Y. H. Adarshpal S. Sethi, La guía práctica del Usuario de OPNET para simulación de Redes de Computadoras. CRC Press, 2013.
- [79] Nahidah Hussein Ismail AL-Rekabi y Basheer Yousif Mohsin AL-Sultan, «Desempeño de agrupamiento de Qualnet basado en cuadrícula para protocolos de enrutamiento de WSN», *Revista Indonesia de Ingeniería Eléctrica e informática*, vol. Vol. 17, n.º : 2502-4752, pp. 448-455, 2020.
- [80] Alaa H. Ahmed y Mokhaled N. A. Al-Hamadani, «Diseño de una red Segura en el campus y simulación con Cisco Packet», *Revista Indonesia de ingeniería Eléctrica e Informática*, vol. Vol. 23, pp. 479-489, 2021.
- [81] Ambresh G. Biradar, «Estudio comparative de protocolos de enrutamiento: RIP, OSPF Y EIGRP y su análisis utilizando GNS-3», en *2020 5th Conferencia internacional de IEEE sobre avances recientes e innovaciones en ingeniería (ICRAIE) IEEE.*, pp. 1-15, dic. 2020, doi: 10.1109/ICRAIE51050.2020.9358327.
- [82] S. V Novikov y A. A. Sazonov, «Aplicación del Sistema operativo Abierto ‘MindSphere’ en la transformación digital de empresas de alta tecnología», *Revista de economía*, vol. 1, n.º 1, pp. 20-26, 2019.
- [83] SIEMENS, «SIMATIC IOT2000». Accedido: 20 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/pc-based/iot-gateways/iot2000.html>
- [84] N. H. Thanh *et al.*, «Sobre el perfilado, Evaluación comparativa y análisis de comportamiento de la Arquitectura SDN bajo ataques DDoS», *Revista de gestión de redes y sistemas*, vol. 31, n.º 2, pp. 1-32, 2023.
- [85] Redes Palo Alto, «Hoja de datos PA-220R». Accedido: 18 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.paloaltonetworks.com/recursos/hojas-de-datos/pa-220r>
- [86] Redes Aruba, «Hoja de datos del switch Aruba CX 6300». Accedido: 19 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.arubanetworks.com/assets/_es/ds/DS_6300Series.pdf
- [87] SIEMENS, «Hoja de datos 6GK5324-0GG10-1AR2». Accedido: 20 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6GK5324-0GG10-1AR2>
- [88] SIEMENS, «WinCC Professional V11 Manual de sistema». Accedido: 20 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/716/53385716/att_60976/v1/33752149643_es-ES.pdf
- [89] sstautomation, «EtherNet MPI Adapter». Accedido: 13 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.sstautomation.com/Products/Ethernet/MPI_Ethernet/GT100-IE-MPI.html?gclid=CjwKCAjw5MOlBhBTEiwAAJ8e1qui4g8X6mPTz19QeEcr4S3wLO6ujEaj3xfy8tzqby6t5sfw2mIexoCzgoQAvD_BwE
- [90] Holykell tecnologia, «Convertidor Ethernet H305».