



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL**

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES

Tema:

**“SISTEMA DE DIAGNÓSTICO DE FALLAS PROFIBUS-DP DE LA
MÁQUINA MP5 DE GRUPO FAMILIA MEDIANTE REDES NEURONALES
ARTIFICIALES”**

Trabajo de Titulación Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.

ÁREA: Comunicaciones

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Tecnologías de la Información y de la
Comunicación.**

AUTOR: Pedro Javier Muso Cela

TUTOR: Ing. Patricio Córdova

Ambato - Ecuador

Marzo – 2021

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del Trabajo de Titulación con el tema: “SISTEMA DE DIAGNÓSTICO DE FALLAS PROFIBUS-DP DE LA MÁQUINA MP5 DE GRUPO FAMILIA MEDIANTE REDES NEURONALES ARTIFICIALES”, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por el señor Pedro Javier Muso Cela, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 15 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y el numeral 7.4 del respectivo instructivo.

Ambato, marzo 2021.



Firmado electrónicamente por:
**EDGAR PATRICIO
CORDOVA CORDOVA**

Ing. Patricio Córdova

TUTOR

AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado: “SISTEMA DE DIAGNÓSTICO DE FALLAS PROFIBUS-DP DE LA MÁQUINA MP5 DE GRUPO FAMILIA MEDIANTE REDES NEURONALES ARTIFICIALES” es absolutamente original, auténtico y personal. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, marzo 2021.



Firmado electrónicamente por:
**PEDRO
JAVIER MUSO**

Pedro Javier Muso Cela

C.C. 0503132938

AUTOR

APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del Informe Final del Trabajo de Titulación presentado por el señor Pedro Javier Muso Cela, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado “SISTEMA DE DIAGNÓSTICO DE FALLAS PROFIBUS-DP DE LA MÁQUINA MP5 DE GRUPO FAMILIA MEDIANTE REDES NEURONALES ARTIFICIALES”, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 17 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y al numeral 7.6 del respectivo instructivo. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidenta del Tribunal.

Ambato, marzo 2021.



Firmado electrónicamente por:
**ELSA PILAR
URRUTIA**

Ing. Pilar Urrutia, Mg.
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL



Firmado electrónicamente por:
**ANA PAMELA
CASTRO**

Ing. Pamela Castro
PROFESOR CALIFICADOR



Firmado electrónicamente por:
**ANDREA PATRICIA
SANCHEZ ZUMBA**

Ing. Andrea Sánchez
PROFESOR CALIFICADOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación en favor de la Universidad Técnica de Ambato, con fines de difusión pública. Además, autorizo su reproducción total o parcial dentro de las regulaciones de la institución.

Ambato, marzo 2021.



Firmado electrónicamente por:

**PEDRO
JAVIER MUSO**

Pedro Javier Muso Cela

C.C. 0503132938

AUTOR

DEDICATORIA:

A toda mi familia y de manera especial a mi madre Luz que, con su amor y apoyo, siempre estuvo a mi lado y pendiente de mi progreso.

Pedro Javier Muso Cela

AGRADECIMIENTO:

Agradezco a la universidad y sus docentes que me dieron la oportunidad de abrir mi mente a conocimientos que hoy son de gran ayuda en mi vida profesional, como también a mi tutor el Ing. Patricio Córdova.

Pedro Javier Muso Cela

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA.....	iii
APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO.....	iv
DERECHOS DE AUTOR.....	v
DEDICATORIA:	vi
AGRADECIMIENTO:	vii
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO I.....	5
EL PROBLEMA	5
1.1. TEMA	5
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.3. DELIMITACIÓN.....	7
1.3.1. Delimitación de Contenido	7
1.3.2. Delimitación Espacial	7
1.3.3. Delimitación Temporal	7
1.4. JUSTIFICACIÓN	8
1.5. OBJETIVOS	10
1.5.1. Objetivo General	10
1.5.2. Objetivos Específicos.....	10
CAPÍTULO II	11
MARCO TEÓRICO.....	11
2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	11
2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	13
2.2.1. MÁQUINA ELABORADORA DE PAPEL.....	13

2.2.2. PROFIBUS.....	17
2.2.3. MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO PARA REDES PROFIBUS-DP	25
2.2.4. REDES NEURONALES ARTIFICIALES.....	32
2.3. PROPUESTA DE SOLUCIÓN	40
CAPÍTULO III.....	41
METODOLOGÍA	41
3.1. MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	41
3.2. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	42
3.3. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	42
3.4. DESARROLLO DEL PROYECTO	42
CAPÍTULO IV.....	44
DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	44
4.1. INTRODUCCIÓN	44
4.2. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD	45
4.2.1. Factibilidad Técnica.....	45
4.2.2. Factibilidad Económica.....	45
4.2.3. Factibilidad Bibliográfica.....	45
4.3. ESTADO ACTUAL DE LA RED PROFIBUS-DP EN LA MÁQUINA PAPELERA MP5.....	46
4.4. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS	54
4.4.1. Hardware.....	54
4.4.2. Software	58
4.5. RED PROFIBUS-DP DE PRUEBA	64
4.6. ADQUISICIÓN DE DATOS.....	77
4.7. RED NEURONAL ARTIFICIAL.....	83
4.8. ANÁLISIS DE RESULTADOS	90
4.9. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO	106
4.10. ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO.....	108
CAPÍTULO V	110
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	110
5.1. CONCLUSIONES	110
5.2. RECOMENDACIONES	111
5.3 BIBLIOGRAFÍA.....	111

ANEXOS.....	117
ANEXO A.....	118
Topología de la red PROFIBUS-DP de la máquina MP5.....	118
ANEXO B.....	119
Características técnicas del osciloscopio Instrustar ISDS205C obtenidas del manual de usuario.....	119
ANEXO C.....	121
Código para guardar archivo con datos de medidas.....	121
ANEXO D.....	123
Código de entrenamiento de la red neuronal.....	123
ANEXO E.....	125
Datos técnicos de la CPU 414-3.....	125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1. Distancia máxima de transmisión en función de la tasa de transmisión (PROFIBUS-DP) [21]	22
Tabla 2. 2. Distribución de pines de un conector Sub-D. [23].....	24
Tabla 2. 3. Requisitos técnicos de un osciloscopio para mediciones en PROFIBUS	29
Tabla 2. 4. Características de las aplicaciones con redes neuronales.....	34
Tabla 2. 4. Elementos básicos de una neurona artificial	36
Tabla 4. 1. Maestro de la red PROFIFUS-DP de la MP5	47
Tabla 4. 2. ET existentes en red PROFIFUS-DP de la MP5.....	48
Tabla 4. 3. Elementos que conforman la red PROFIFUS-DP de la MP5	50
Tabla 4. 4. Elementos que conforman la red PROFIFUS-DP de la MP5	51
Tabla 4. 5. Características técnicas de osciloscopios digitales	55
Tabla 4. 6. Características del maestro DP.	56
Tabla 4. 7. Características esclavos DP.	57
Tabla 4. 8. Características de algunos Frameworks para Deep Learning	62
Tabla 4. 9. Estructura del set de datos.....	85
Tabla 4.10. Entrenamientos realizados	93
Tabla 4.11. Curvas de aprendizaje y de pérdida	94
Tabla 4.12. Matriz de confusión numérica y porcentual.....	99
Tabla 4.13. Porcentaje de aciertos.....	105
Tabla 4. 10. Costo de los componentes del proyecto.	106
Tabla 4. 11. Costo intelectual por horas de trabajo.....	107
Tabla 4. 12. Costo total del proyecto de investigación.	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2. 1. Máquina Papelera MP5.....	14
Fig. 2. 2. Sistema clásico de formación de papel Tissue.....	16
Fig. 2. 3. Modelo referencial ISO/OSI.....	19
Fig. 2. 4. Topología lineal de una red PROFIBUS-DP.....	20
Fig. 2. 5. Posible aplicación de repetidores.....	21
Fig. 2. 6. Cable estándar PROFIBUS-DP.....	21
Fig. 2. 7. (a) Principio de conexión conector Sub-D (b) conector Sub-D con resistencia terminadora conmutable.....	23
Fig. 2. 8. Conector Sub-D macho.....	23
Fig. 2. 9. Codificación NRZ.....	25
Fig. 2. 10. Estructura de un carácter en una red PROFIBUS-DP.....	25
Fig. 2. 11. Dispositivo de testeo para redes PROFIBUS-DP BT-200 de Siemens	29
Fig. 2. 12. Visualización de configuración del sistema en Siemens STEP 7.....	31
Fig. 2. 13. (a) Estructura Básica de Neuronas Biológicas (b) Estructura Básica de una RNA.....	33
Fig. 2. 14. Neurona artificial.....	35
Fig. 2. 15. Funciones de activación parcialmente diferenciables.....	37
Fig. 2. 16. Funciones de activación totalmente diferenciables.....	39
Fig. 4. 1. Esquema general de la red PROFIBUS-DP de la MP5 en NetPro.....	46
Fig. 4. 2. Ubicación del S7-400 en el bastidor.....	47
Fig. 4. 3. ET 200 M con 8 módulos de E/S ubicado en un bastidor.....	49
Fig. 4. 4. Variador de frecuencia.....	49
Fig. 4. 5. Medidor de energía.....	51
Fig. 4. 6. Resistencia terminadora.....	52
Fig. 4. 7. Conectores PROFIBUS RS-485.....	58
Fig. 4. 8. Acciones tomadas con la red de prueba.....	64
Fig. 4. 9. Topología red PROFIBUS-DP de prueba.....	64
Fig. 4. 10. Tablero de prueba.....	65
Fig. 4. 11. Abrir el Administrados SIMATIC.....	66
Fig. 4. 12. Inicio de la creación de un proyecto con el Administrador SIMATIC.....	66
Fig. 4. 13. Introducción previa a la creación de un proyecto.....	67
Fig. 4. 14. Elección de la CPU para el proyecto.....	67
Fig. 4. 15. Definición de características de la CPU.....	68
Fig. 4. 16. características del proyecto.....	68
Fig. 4. 17. Nombre y ubicación del proyecto.....	69
Fig. 4. 18. Progreso de creación.....	69
Fig. 4. 19. Proyecto SIMATIC creado.....	70
Fig. 4. 20. Ficheros del proyecto creado.....	70
Fig. 4. 21. Bastidor del PLC.....	71

Fig. 4. 22. Establecimiento de nombre de la red.....	71
Fig. 4. 23. determinación de velocidad de trabajo	72
Fig. 4. 24. Ventana de ajustes de la red PROFIBUS.....	72
Fig. 4. 25. Configuración de la red. (a) lista de elementos disponibles para la red (b) esclavos conectados a la red PROFIBUS-DP	73
Fig. 4. 26. Red completa en NetPro.	74
Fig. 4. 27. Señal aceptable en una red.....	75
Fig. 4. 28. Señal sin resistencia terminadora.....	75
Fig. 4. 29. Señal con corto entre A y B	76
Fig. 4. 30. Corto circuito entre B y blindaje	76
Fig. 4. 31. Cable demasiado largo.....	77
Fig. 4. 32. Formas físicas de las fallas analizadas con la RNA a) onda aceptable, b) corto A-Blindaje, c) corto B-Blindaje, d) corto A-B, e) cable largo, f) sin resistencia terminadora	78
Fig. 4. 33. Archivos proporcionados por el SDK.....	79
Fig. 4. 34. Ejecución del SDK de INSTRUSTAR	79
Fig. 4. 35. Función para graficar las formas de onda.....	80
Fig. 4. 36. Estructura para guardar datos de los dos canales.....	81
Fig. 4. 37. Guardar datos en un archivo.	82
Fig. 4. 38. Función de captura de datos a) antes, b) después.	83
Fig. 4. 39. Etapas para la creación de la RNA.	84
Fig. 4. 40. Importación de paquetes.	84
Fig. 4. 41. Carga de datos en variables.	86
Fig. 4. 42. Carga de datos en variables.	86
Fig. 4. 43. Estructura de una red neuronal multicapa. [41].....	87
Fig. 4. 44. Estructura en código de una red neuronal.....	88
Fig. 4. 45. (a) Red neuronal estándar (b) Red después de aplicar dropout.	88
Fig. 4. 46. Estructura de un modelo entrenado.	89
Fig. 4.47. Curva de aprendizaje (a) 400 mediciones por caso (b) 1000 mediciones por caso (c) 2000 mediciones por caso (b) 5000 mediciones por caso	90
Fig. 4.48. Código para variación de parámetros de la red.....	91
Fig. 4.49. Valores de TP, TN, FP y FN sobre una matriz de confusión	92
Fig. 4.50. Variación de la red PROFIBUS de prueba	102
Fig. 4.51. Matriz de confusión numérica en la red PROFIBUS de prueba variada .	103
Fig. 4.52. Matriz de confusión porcentual en la red PROFIBUS de prueba variada	103
Fig. 4.53. Pasos para ejecutar el sistema de diagnóstico.....	104

RESUMEN

En la presente investigación se desarrolla un sistema de diagnóstico de fallas PROFIBUS-DP de la máquina MP5 de Grupo Familia mediante Redes Neuronales Artificiales, que utiliza un modelo entrenado con el paquete keras, en base a mediciones de fallas comunes en la capa física que presenta una red PROFIBUS-DP. El sistema emite un diagnóstico de una falla probable en base a las mediciones que se realizan con un osciloscopio dentro de una red PROFIBUS-DP.

El proyecto de investigación describe el diseño e implementación de un sistema que permite diagnosticar fallas en la capa física de una red PROFIBUS-DP, con mediciones realizadas con un osciloscopio en los canales de transmisión de dicha red. La forma de onda indica si existe exceso de cable, un corto circuito o si le hace falta una resistencia terminadora en la red, los datos obtenidos de la forma de onda se guardan en un archivo generado por una aplicación que trabaja conjuntamente con un osciloscopio, finalmente se exporta el archivo a otra interfaz que contiene el modelo de clasificación previamente entrenado. El programa arroja en manera porcentual que tipo de falla puede estar presente, la probabilidad de certeza se reparte en seis casos de estudio; cinco fallas comunes y el escenario de correcto funcionamiento de la red.

Palabras clave: PROFIBUS, red neuronal artificial (RNA), osciloscopio, keras.

ABSTRACT

In this research, a PROFIBUS-DP fault diagnosis system of the Family Group MP5 machine is developed using Artificial Neural Networks, which uses a model trained with the keras package, based on measurements of common faults in the physical layer that presents a PROFIBUS-DP network. The system issues a diagnosis of a probable failure based on measurements made with an oscilloscope within a PROFIBUS-DP network.

The research project describes the design and implementation of a system that allows diagnosing faults in the physical layer of a PROFIBUS-DP network, with measurements made with an oscilloscope on the transmission channels of said network. The waveform indicates if there is excess cable, a short circuit or if a terminating resistor is missing in the network, the data obtained from the waveform is saved in a file generated by an application that works together with an oscilloscope, finally the file is exported to another interface that contains the previously trained classification model. The program gives a percentage of what type of failure may be present. The probability of certainty is divided into six case studies: five common failures and the correct network operation scenario.

Key words: PROFIBUS, artificial neural network (ANN), oscilloscope, keras.

INTRODUCCIÓN

PROFIBUS está presente alrededor del mundo en distintas empresas. En el Ecuador es utilizado como bus de comunicación en los procesos petroleros, mineros y de manufactura. Al ocurrir una falla, el personal encargado determina de que tipo es. El tiempo que se tarde en realizar el análisis dependerá en gran medida de su experiencia. El presente trabajo de investigación brinda un punto de partida hacia otras alternativas de diagnóstico de fallas físicas en una red PROFIBUS-DP, basado en un sistema de aprendizaje mediante Redes Neuronales Artificiales y aplicado en la Máquina Papelera MP5 de Grupo Familia.

A continuación, se presenta el contenido de cada capítulo de esta investigación:

Primer Capítulo: Se justifica porque se constató la necesidad de implementar un sistema de diagnóstico de fallas PROFIBUS-DP de la máquina MP5 de Grupo Familia mediante Redes Neuronales Artificiales, explicando las causas y consecuencias que lo origina, y por último se presentan los objetivos de la investigación.

Segundo Capítulo: Se presentan los antecedentes sobre investigaciones realizadas acerca del empleo de sistemas inteligentes para el diagnóstico de fallas en redes PROFIBUS; así como, la utilización de redes neuronales artificiales para otros propósitos en la industria. Igualmente se desarrolla el marco teórico en base al tema de investigación planteado.

Tercer Capítulo: Explica las técnicas de investigación a las que se recurrió para realizar el proyecto, la forma de obtención y análisis de datos y por último se presenta el proceso para el desarrollo del proyecto.

Cuarto Capítulo: Se detallan, todos los pasos que se realizaron para el desarrollo del prototipo, asimismo el análisis de los resultados que se obtuvieron de la aplicación del proyecto.

Quinto Capítulo: Se presentan las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron al desarrollar y aplicar el sistema de diagnóstico planteado.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. TEMA

“SISTEMA DE DIAGNÓSTICO DE FALLAS PROFIBUS-DP DE LA MÁQUINA MP5 DE GRUPO FAMILIA MEDIANTE REDES NEURONALES ARTIFICIALES”.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Alrededor del mundo las industrias siguen mejorando sus procesos con el afán de optimizar, generar calidad en sus productos y obtener un rendimiento económico que les permita crecer. La maquinaria y equipos empleados en cada empresa con frecuencia son reemplazados con equipos nuevos y estructurados de tal manera que los procesos de control sean óptimos. Para conectar los equipos que intervienen en el proceso de control son necesarios protocolos que permitan comunicar los distintos dispositivos de campo o locales, un ejemplo de protocolo utilizado es PROFIBUS. En este tipo de redes puede presentarse fallas cuando la red se está montando o una vez que la red esté trabajando, hay que tener en cuenta esto cuando un proceso falla. [1]

PROFIBUS (PROcess Field BUS) se ha convertido en uno de los buses de campo más utilizados en la industria de procesos contando con alrededor de 11 millones de dispositivos instalados hasta finales de 2017, según lo expuesto en la página oficial de PROFIBUS and PROFINET International (PI). Al existir gran cantidad de equipos conectados y un crecimiento en el uso de este tipo de buses de comunicación, es

necesario también un diagnóstico rápido y oportuno cuando la red presenta imperfectos como rupturas en el bus, entre varios que pueden ocurrir, permitiendo optimizar los tiempos de parada en la producción que se provoca al existir una avería o fallas en la comunicación. [2]

Empresas nacionales e internacionales dedicadas a distintas actividades que operan en el Ecuador utilizan buses de comunicación en sus procesos, que dependiendo de sus requerimientos optarán por determinado protocolo. PROFIBUS, es uno de los principales protocolos utilizados en el área petrolera, minera, y de manufactura en el Ecuador, está presente con sus beneficios y con los problemas que puede generar. Problemas como cortocircuitos en el bus son resueltos por expertos encargados de dar mantenimiento a las redes de comunicación instaladas, requiriendo paradas prolongadas en los procesos para brindar un diagnóstico que ralentizan la producción generando pérdidas. Las empresas en el Ecuador seguirán creciendo y mejorando en la parte electrónica y sus métodos de comunicación, herramientas que faciliten el diagnóstico de fallas en las redes de comunicación son necesarias para aumentar la producción. [3]

Las herramientas utilizadas para el diagnóstico no están montadas en cada una de las redes PROFIBUS-DP existentes en las empresas, al producirse algún fallo ya sea por un tramo de cable muy largo o no poseer una resistencia de cierre, el personal evalúa mediante equipos de monitoreo portátiles o software DCS (sistemas de control distribuidos). El tiempo que le toma al técnico encargado en montar el equipo de monitoreo y determinar su diagnóstico depende en gran medida de la experiencia que este posea con referencia al tema, si el técnico no está correctamente capacitado se demorará o en el peor de los casos fallará en su diagnóstico. En este caso surge la necesidad de tener una combinación de hardware y software que permitan visualizar el fallo en cuanto este suceda, brindando un diagnóstico capaz de ser interpretado por un técnico sin mucha experiencia. [4]

Grupo Familia es una empresa internacional dedicada a la elaboración de productos de aseo y cuidado personal, cuenta con una planta industrial ubicada en Lasso – Cotopaxi, la cual presenta problemas en la producción por paradas no programadas de las

máquinas, estas paradas pueden tener raíz en un problema mecánico, eléctrico u operacionales. Dentro de los problemas eléctricos pueden existir daños en la red PROFIBUS-DP debido a demasiados equipos conectados en la red, interferencias electromagnéticas, entre otros, para lo cual es necesario la utilización de dispositivos especiales y el análisis de un experto para dar un diagnóstico preciso y oportuno, minimizando de esta manera el tiempo de parada que puede tener un proceso.

1.3. DELIMITACIÓN

1.3.1. Delimitación de Contenido

Área Académica: Comunicaciones.
Línea de Investigación: Tecnologías de la Información y de la Comunicación.
Sublínea de Investigación: Protocolos de Comunicación

1.3.2. Delimitación Espacial

La presente investigación se realizó en la Máquina Papelera MP5 instalada en la Planta de Producción de Grupo Familia ubicada en la provincia de Cotopaxi, en la ciudad de Latacunga, en el sector Lasso Km. 20 vía a Quito.

1.3.3. Delimitación Temporal

El presente proyecto se realizó en el periodo académico septiembre 2020 – febrero 2021 de acuerdo con el Reglamento de Graduación para obtener el Título Terminal de Tercer Nivel de la Universidad Técnica de Ambato, aprobado mediante Resolución 0533-CU-P-2015 del 31 de marzo de 2015 (RGTTTNUA).

1.4. JUSTIFICACIÓN

El interés que ha existido desde que la producción en masa apareció, es disminuir los tiempos de parada en las maquinarias que intervienen en el proceso y que en los últimos años ha pasado a ser automática. Cronogramas para realizar un mantenimiento preventivo son aplicados con el fin de conservar un servicio constante, apuntando a ejes vulnerables, mientras que aplicar un mantenimiento correctivo se lo realiza cuando la falla ya ha ocurrido, este segundo genera paros imprevistos y de acuerdo con los tipos de fallas, puede tener tiempos cortos o largos para reanudar el proceso, dependiendo de la complejidad de la avería. Para el área eléctrica, los problemas de sensores, transmisores o presentes en la misma red que los conecta, son los más comunes. Mientras menor sea el tiempo de diagnóstico, se corregirá de manera oportuna la falla, derivando en una mejor producción. [5]

Las herramientas de diagnóstico para redes PROFIBUS-DP han venido evolucionando con el pasar de los años, dado a la extensa aplicabilidad que tienen este tipo de redes, sin embargo, la persona encargada de brindar el diagnóstico debe tener experiencia previa, y mientras la planta industrial y sus instalaciones crecen, mayor es la complejidad para brindar un diagnóstico certero. Existen trabajos que proponen un sistema de diagnóstico automático en base a las tramas y formas de onda características que se obtiene cuando las redes PROFIBUS-DP fallan, otra de las alternativas es la que se ha propuesto en este trabajo de titulación, con el análisis de las formas de onda por un sistema inteligente. Brindando de esta manera una nueva alternativa para el diagnóstico de redes PROFIBUS-DP en la industria.

La transición de las empresas hacia la Industria 4.0 está enfocada a la creación y la utilización de herramientas que dinamicen los procesos, conceptos como: Big Data, Machine Learning, entre otros, se está ya implementando alrededor del mundo, por lo que las empresas deben estar constantemente innovando con nuevas tecnologías para poder competir en el mercado. Se puede utilizar una o varias herramientas que se han perfeccionado en los últimos años y se encuentran disponibles en distintas plataformas, para desarrollar un sistema que proporcione un diagnóstico probable si se produce una falla en la capa física de una red PROFIBUS-DP. [6]

Utilizar conceptos de machine learning para poder identificar eventos que se producen dentro de la red PROFIBUS-DP, y a la vez poder procesarlos, permitirá determinar los errores más comunes que se dan dentro de la capa física de una red implementada en cualquier planta, permitiendo proveer información de fallas que se están produciendo. La implementación de estos conceptos encamina a la planta Lasso de Grupo Familia a la era de la Industria 4.0 enfocada a la optimización y reducción de tiempo muerto en los procesos, aumentando de esta manera la producción.

Al proporcionar un diagnóstico del estado de la red PROFIBUS-DP, la planta Lasso de Grupo Familia se beneficia reduciendo tiempos de parada en el proceso que se observan cuando la red presenta una avería, permitiendo que la fabricación no se corte por tiempos excesivos a los permitidos por fallas de este tipo. Las pérdidas se estiman de acuerdo con la producción diaria que debe generar la empresa que esta parametrizada en 74 toneladas/día con un costo de 1150 USD/tonelada. Indirectamente el trabajo propuesto puede servir como punto de partida para futuras investigaciones relacionadas para analizar los mismos problemas o requieran una solución alternativa, mejorando el rendimiento de la producción.

La información requerida para el desarrollo del presente trabajo se encuentra distribuida en distintas plataformas encargadas de difundir temas de investigación, existe, además información en textos que se encuentran en la biblioteca de la Universidad Técnica de Ambato, así como también se cuenta con datos que aportan al desarrollo del tema, en páginas oficiales con respecto a PROFIBUS-DP. Por otra parte, Grupo Familia puso a disposición tanto software como hardware necesarios para que la investigación pueda ser implementado dentro de sus instalaciones. Mientras que: software libre externos a la empresa pudieron ser descargados desde la web. Los puntos expuestos anteriormente determinaron la factibilidad para desarrollo del presente trabajo de titulación.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General

- Implementar un sistema de diagnóstico de fallas PROFIBUS-DP de la máquina MP5 de Grupo Familia mediante redes neuronales artificiales.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Determinar las características de la red PROFIBUS-DP en la máquina papelera MP5 de Grupo Familia.
- Analizar métodos, técnicas y dispositivos utilizados para el diagnóstico de fallos para PROFIBUS-DP.
- Diseñar un sistema basado en redes neuronales artificiales que brinde un diagnóstico probable del estado de la red PROFIBUS-DP.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

PROFIBUS-DP, se ha convertido en uno de los protocolos abiertos más utilizados en los procesos automáticos para la conexión de dispositivos de campo, permitiendo a los equipos conectarse a un mismo bus con tasas altas de transmisión de datos, el crecimiento constante de redes que utilizan este bus de campo requiere de un diagnóstico rápido, que minimicen los tiempos que permanecen inactivos los procesos de producción. Para el diagnóstico de fallas se puede pasar por varias etapas que van desde inspecciones visuales del estado físico de la red hasta la utilización de equipos especializados que junto con programas proporcionan una idea de lo que ocurre en la red [7]. A continuación, se exponen trabajos relacionados con el diagnóstico y herramientas que permiten identificar fallas en redes PROFIBUS y otros trabajos relacionados con redes neuronales artificiales aplicadas en la industria, que brindaron un punto de partida para el desarrollo de la presente investigación.

Eduardo Mossin de la Universidad de Sao Paulo en su tesis de doctorado desarrollada en 2012 y en un artículo publicado en 2016, propone un “Diagnóstico automático de redes PROFIBUS”, el trabajo plantea la utilización de un sistema inteligente que automáticamente diagnostica y localiza fallas en redes industriales que utilizan PROFIBUS-DP, realizando un análisis de las señales transmitidas por la capa física, de los mensajes enviados por la capa de enlace y de funciones de la capa de usuario del protocolo PROFIBUS-DP. Para el análisis de la capa física, se procesa las señales eléctricas y se trabajan con Redes Neuronales Artificiales que se clasifican de acuerdo con su forma de onda. Si las señales presentan una deformación determinada el sistema indica la causa probable de la falla existente. Por medio de sistemas expertos se

analizan mensajes de la capa de enlace para detectar fallas de configuración, finalmente se propone un sistema difuso que proporciona el valor de la variable “target rotation time”. Las pruebas que respaldan esta investigación fueron realizadas en un laboratorio. El software obtenido puede diagnosticar las principales fallas simples que se producen en una red PROFIBUS-DP. [8] [9]

Guilherme Sestito de la Universidad de Sao Paul, en su trabajo denominado "Artificial neural networks and signal clipping for PROFIBUS-DP diagnostics", publicado en 2014, utiliza redes neuronales artificiales para diagnosticar redes industriales que utilizan como protocolo de comunicación PROFIBUS-DP, el diagnóstico se realiza en base a la información que brinda la capa física del protocolo PROFIBUS-DP. Lo que se realiza en primera instancia es pre-procesar la señal con Matlab por el método de clipper, luego, las redes neuronales artificiales analizan muestras de señales en búsqueda de alguna deformación y al encontrarla indica la posible causa del problema, dado que las fallas en redes PROFIBUS generan una forma de onda característica. Las pruebas fueron realizadas en un ambiente de laboratorio conformado por un maestro (PLC) y cinco esclavos adquiriendo información con un osciloscopio de las formas de onda, evidenciando la versatilidad que tienen los sistemas inteligentes de cómputo en la resolución de problemas industriales. Por otro lado, se observó que una la señal de puede variar en su forma con un mismo problema, por lo que los errores en el diagnóstico varía dependiendo de la red. [10]

Murilo Rocha de la Universidad de Sao Paul en 2016 expone en su trabajo “Desenvolvimento de um analisador de rede profibus de baixo custo” el desarrollo de un analizador de redes PROFIBUS de bajo costo, el cual recolecta datos digitales a cualquier velocidad en la que está trabajando la red y muestras analógicas de uno de los canales con velocidades de red que estén bajo los 500 kbps. El objetivo principal el desarrollo del dispositivo con el menor costo posible, por lo que el hardware utilizado (tarjeta BeagleBone Black) es relativamente barato en comparación a otros dispositivos que se encuentran disponibles en el mercado. La herramienta también está desarrollada como software abierto, brindando datos en tiempo real con los que se pueden trabajar en lenguajes de programación que tengan compatibilidad con TCP/IP. [11]

Javier Fornarién de la Universitat Politècnica de València en su trabajo denominado “Reconocimiento de Patrones de Procesos Industriales mediante el uso de redes neuronales artificiales” desarrollado en 2015 identifica y clasifica las variables que caracterizan procesos industriales en el ámbito de la industria metalúrgica, como estrategia para modelizar y optimizar estos procesos, a partir de los datos de un conjunto de empresas de la región centro y sur de la Provincia de Santa Fe, Argentina. Como herramienta integradora de análisis plantea la aplicación de redes neuronales artificiales, en particular mediante mapas autoorganizativos (SOM, Self-Organizing Maps). Los resultados preliminares confirman que el enfoque utilizado es capaz de proporcionar valiosa información y ofrece posibilidades para la aplicación directa sobre la industria local. [12]

En el trabajo titulado “Sistema de reconocimiento inteligente de señales mioeléctricas del movimiento de mano humana” publicado en 2017 en México, Vicario Vázquez presenta el diseño de un algoritmo de reconocimiento de señales mioeléctricas por medio de una arquitectura de redes neuronales artificiales, para la fabricación de un prototipo de prótesis de una mano humana. En la primera etapa del proyecto se diseñó el sensor mioeléctrico que ayudó a la captura de las señales que corresponden al movimiento de cada dedo de una mano humana. Se generó una base de datos con las señales mioeléctricas capturadas, la cual sirvió para el entrenamiento de la red neuronal artificial (RNA), obteniendo los pesos y bias de dicha red. El rendimiento de la arquitectura fue evaluado con criterios estadísticos para la validación de la RNA, comparando datos simulados con datos experimentales. Encontramos que la mejor arquitectura en este trabajo cuenta con 7 neuronas en la capa oculta, una en la capa de salida y con un 96% de coeficiente de correlación. [13]

2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.2.1. MÁQUINA ELABORADORA DE PAPEL

En la industria papelera existen varias etapas que ayudan a que el producto final llegue a las manos del consumidor. En la planta de producción de Grupo Familia se procesa papel reciclado y pulpa de madera que es convertida en papel de tipo Tissue que tiene

alta capacidad de absorción de líquidos y bajo peso, destinado al uso doméstico y sanitario. Una de las máquinas encargada de llevar a cabo este proceso se visualiza en la figura 2.1 y es la denominada Máquina Papelera 5 (MP5). [14]



Fig. 2. 1. Máquina Papelera MP5

Fuente: Investigador

Para la elaboración de papel se necesita que la madera sea tratada, la preparación se puede llevar a cabo de dos maneras; por medio de un proceso de trituración, los bloques de madera se aprietan contra una muela abrasiva giratoria que arranca fibras. Se obtiene fibras cortas que solamente son empleadas para la producción de papel prensa barato o también para realizar mezclas con distintos tipos de fibra de madera para producir papel de alta calidad. [14]

Mediante un proceso de tipo químico; se disuelven las astillas de madera eliminando la lignina y resinas que posee, dejando así fibras puras de celulosa. En 1851 se introdujo el proceso a base de sosa cáustica (hidróxido de sodio) como disolvente, en una caldera a presión se cuece la madera en este recurso. Las fibras obtenidas no son muy resistentes, por lo que se mezclan con otras fibras de madera. En la actualidad se utiliza el sulfato de sodio o de magnesio como disolvente con mucha frecuencia. [14]

En el presente, la mayoría del papel se fabrica en máquinas Fourdrinier, similares a la primera máquina eficaz para elaborar papel, desarrollada en los primeros años del siglo

XIX. La primera máquina de papel fue inventada en Holanda en 1680. En 1774 este proceso avanzó una etapa más al descubrir que al aplicar cloro a las fibras estas se podían blanquear. Desde entonces, para producir papel blanco se utilizaban las fibras coloreadas. Proveyendo de nuevos indicios para la fabricación de papel. [14]

En 1827 la primera máquina fue exportada. Hacia fines del siglo XIX los métodos de producción de papel usando tecnología de control digital y pulpa de madera fueron desarrollados. Por 1900 una máquina en Alemania producía papel a 150 m/min y un ancho de casi 3 m. El 2005 la máquina elaboradora de papel más rápida registrada en Lontar Papyrus, Indonesia, funcionaba a 2110 m/min (126.6 km/h). En promedio la mayoría de las máquinas modernas funcionan a una velocidad de alrededor 1500 metros por minuto. [14]

ELEMENTOS QUE CONFORMAN A LA MP5

La sección Molinos de la Planta de Producción Lasso de Grupo Familia, cuenta con dos máquinas papeleras Fourdriniers denominadas MP2 y MP5, esta última es de fabricación holandesa que a la vez se encuentra constituida por una serie de componentes que trabajan coordinadamente para transformar la pasta de papel, generada en una etapa anterior denominada PPP5, en bobinas de papel semielaborado que pasaran a ser materia prima para el Área de Conversión de la planta y para ser distribuida hacia otras plantas de Grupo Familia. Algunos de los componentes principales se pueden visualizar en la figura 2.2 y se describen de la siguiente manera: [14]

1. Reel. - Es un Rodillo metálico rotatorio de grandes proporciones que permite envolver el papel en bobinas.
2. Zaranda. - Es un vibrador que realiza la última limpieza del papel, previo a su ingreso a la malla.
3. Malla, Fieltro. - Como su nombre lo indica son mallas que transportan la pasta del papel hasta el Yankee, trayecto en el cual se le retira casi la totalidad del agua y se forma el papel.

4. Rodillos. - Son los que permiten el cambio de dirección, ajuste de la malla y además ayudan a succionar el agua de la pasta.
5. Quemador. - Es el que produce el aire caliente el cual permite el secado del papel.
6. Campana o Capota. - Pieza de metal hueca ubicada sobre el Yankee y que transfiere el vapor resultante de los quemadores hacia él.
7. Yankee. - Es un cilindro metálico rotatorio mucho más grande que el Reel, que por su interior circula el vapor y por su exterior aire caliente, todo esto con el objetivo de secar el papel. La diferencia de velocidad entre el Yankee y el Reel establece el crepado del papel.
8. Cuchillas. - Tienen como función principal desprender el papel del Yankee después del secado.
9. Calandra. – Consta de rodillos al final, que alisan el papel para que tenga un grosor completamente uniforme.

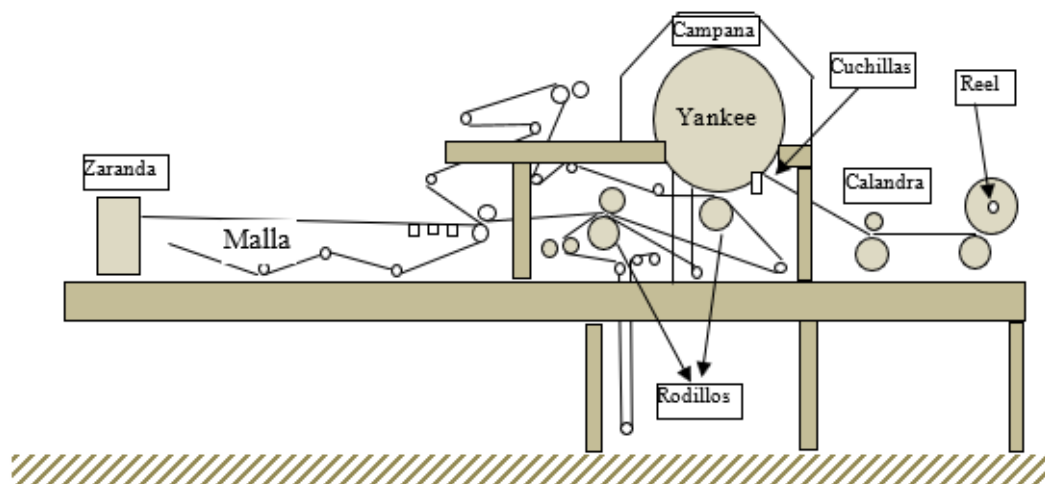


Fig. 2. 2. Sistema clásico de formación de papel Tissue. [14]

ETAPAS DE LA MÁQUINA

Para que el papel tissue se forme con sus características es necesario que se desarrollen las siguientes etapas: [16]

- Etapa de formación
- Etapa de succión
- Etapa de secado
- Etapa de enrollamiento

La etapa de formación consiste en inyectar la pasta de papel sobre una malla en movimiento donde gran parte del agua es retirada, obteniéndose así una trama de fibras que forman una hoja continua, la cual luego pasará y adherirá al fieltro. Para que esta transferencia se logre se necesita que la velocidad a la cual se mueve la malla y el fieltro, acopladas al movimiento de motores independientes, sean iguales. [16]

Cuando el material resultante de la etapa anterior se encuentra en el fieltro se transporta hacia las prensas (Etapa de succión) que son rodillos perforados los cuales lo presionan contra un cilindro extrayéndole una gran cantidad de agua. La hoja resultante necesita adherirse al Yankee para lo cual también se necesita que exista un equilibrio de velocidad con el fieltro. Una vez que el material se encuentra en el Yankee y se pone en contacto con su superficie que se encuentra a una temperatura superior a los 100°C (el Yankee es calentado internamente con vapor a presión) es expuesto a una capa de aire caliente que se encuentra a una temperatura de 500° C suministrada por una campana o capota envolvente que rodea al Yankee. Todo este proceso (Etapa de Secado) dura sólo un par de segundos ya que el papel viaja sobre el Yankee a una velocidad cercana a los 1200 m/min. [16]

Finalmente, el material resultante de la Etapa de Secado es retirado del Yankee por medio de una cuchilla obteniéndose así láminas de papel tissue que son enrolladas (Etapa de enrollamiento) con la ayuda del Reel para producir bobinas de grandes dimensiones (típicamente de 2,5 metros de largo, 1,2 metros de diámetro y 2 toneladas de peso) a la que se le denomina “Bobina semielaborada”. En esta etapa se requiere que exista una diferencia de velocidad entre el Yankee y el Reel para obtener ciertos niveles de crepado en el papel. [16]

2.2.2. PROFIBUS

PROFIBUS (PROcess FieldBUS) es un protocolo fieldbus que fue desarrollado en Alemania en los años 1980, por un grupo de 21 instituciones y compañías, quienes publicaron las especificaciones para el primer protocolo denominado PROFIBUS FMS (Fieldbus Message Specification) diseñado principalmente para permitir la

comunicación entre PLCs y computadoras hospedadas. Este protocolo resultó ser muy complejo al momento de implementarse en aplicaciones de control de procesos, por lo que en 1993 se lanzó el denominado PROFIBUS-DP (Decentralized Periphery), con la ventaja de tener una configuración más sencilla y rápida en su comunicación. La organización de usuarios PROFIBUS fue establecida en 1989, con el fin de mantener las especificaciones, garantizar el cumplimiento de los equipos y la certificación. Una comunidad de mayor magnitud fue establecida en 1995, denominada PROFIBUS Internacional (PI) con el fin de continuar con los avances de PROFIBUS a nivel mundial. [17]

Existen muchas variaciones especializadas de PROFIBUS, en las cuales se incluyen PROFIBUS PA (orientada a la instrumentación utilizándola en automatización de procesos), PROFIsafe (para aplicaciones de seguridad) y PROFIdrive (para aplicaciones que requieran accionamiento de alta velocidad). Pero la variante más utilizada en la industria es PROFIBUS-DP, que a su vez posee tres variantes denominadas: PROFIBUS DP-V0, DP-V1 y DP-V2. Existe también tres modos de comunicación para PROFIBUS: asíncrono, síncrono y vía Ethernet utilizando ethertype 0x8892 (PROFINET17). [18]

PROFIBUS es un protocolo basado en el paso o difusión de testigo (token) entre maestro y esclavo, este protocolo soporta múltiple maestro, cuando un maestro tienen el control del token se puede comunicar con sus esclavos, cada esclavo está configurado para responder a un solo maestro. Por lo general un maestro PROFIBUS es un PLC o un RTU, mientras que los esclavos pueden ser: sensores, motores o cualquier otro dispositivo o sistema de control. [19]

ARQUITECTURA DE LAS REDES PROFIBUS

La arquitectura de las redes PROFIBUS está posicionada dentro del modelo de referencia ISO/OSI como se ilustra en la figura 2.3. Las especificaciones de la capa 1 y 2 se encuentran dentro de la normativa IEC 1158-2, que entre otros aspectos menciona el medio físico por el que los datos serán enviados, la capa de enlace de datos es conocida como FDL (Fieldbus Data Link), mientras que la capa 7 es utilizada

por PROFIBUS-FMS. La utilización de la interfaz de usuario se hace por parte de PROFIBUS-DP y PROFIBUS-PA, las otras capas del modelo referencial OSI no son implementadas. Esta arquitectura brinda una transmisión de datos eficiente y rápida. [20]

	Modelo de referencia OSI	PROFIBUS
		Usuario
Capa 7	Aplicación	Aplicación
Capa 6	Presentación	
Capa 5	Sesión	
Capa 4	Transporte	
Capa 3	Red	
Capa 2	Enlace de datos	Enlace de datos
Capa 1	Física	Física

Fig. 2. 3. Modelo referencial ISO/OSI. [20]

Tipos de PROFIBUS

Existen diferentes tipos de PROFIBUS, los dos tipos más comunes se describen a continuación: [21]

- PROFIBUS-DP. – Es un bus de alta velocidad (hasta 12000 kbps), destinado a la conexión remota de entradas y salidas, actuadores y de otras unidades inteligentes.
- PROFIBUS-MBP (PA). – Es un bus lento (31,25 kbps), diseñado para la conexión directa de transmisores que pueden ser alimentados por el cable de bus, este bus es adecuado para el uso en áreas peligrosas.

El trabajo presentado se desarrolló en torno a la capa física de PROFIBUS-DP, por esta capa son transmitidos los datos en forma de bits hasta los equipos terminales, por un medio de transmisión que puede ser un par de hilos de cobre o fibra óptica, por lo que se explica los parámetros técnicos y eléctricos que deben ser cumplidos para un correcto funcionamiento de la red.

Topología de una red PROFIBUS

Al momento de realizar un cableado PROFIBUS-DP, se puede elegir entre cables de cobre o la utilización de fibra óptica para que se realice la transmisión, diferentes topologías son permitidas dependiendo del medio de transmisión utilizado. Cuando se utiliza cable de cobre sin componentes activos adicionales dentro de un segmento se tiene una topología lineal pura, como se muestra en la figura 2.4. [21]

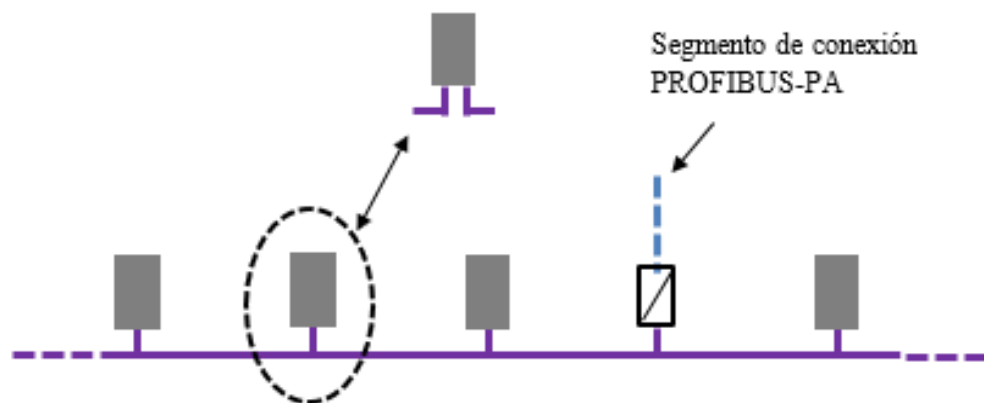


Fig. 2. 4. Topología lineal de una red PROFIBUS-DP. [21]

Dependiendo de la velocidad de transmisión con la que se trabaje, la red puede alcanzar hasta 1200 m por segmento con cables de cobre. Cuando se requieren tramos de transmisión más largas, dos segmentos PROFIBUS DP pueden ser acoplados por un repetidor. Este tipo de conexión se puede utilizar en cualquier punto la red de transmisión. Los repetidores pueden usarse no solo para lograr tramos de transmisión más largas, sino también para segmentar la red, tal y como se muestra en la figura 2.5. [21]

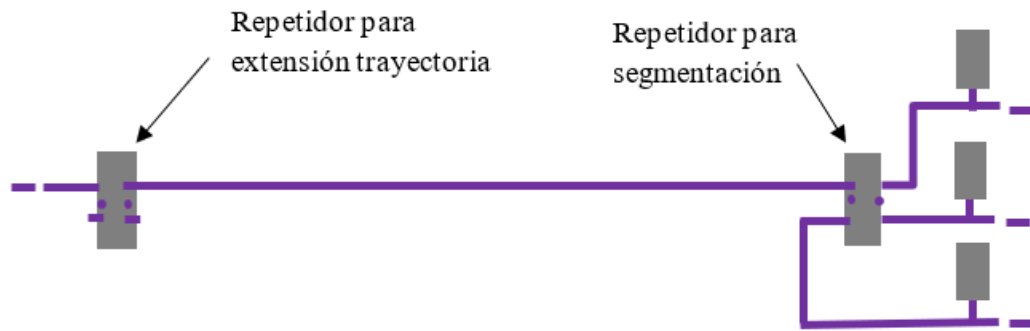


Fig. 2. 5. Posible aplicación de repetidores. [21]

Tasa y distancia de transmisión para PROFIBUS-DP

La tasa de transmisión de datos de PROFIBUS-DP puede ser ajustada en definidos pasos que van desde los 9,6 kbps hasta los 12000 kbps. La tasa de transmisión de datos debe ser idéntica para todos los segmentos de una line PROFIBUS. La Tabla 2.1 muestra la máxima distancia que se puede alcanzar cuando se utiliza cable de cobre. Sin embargo, hay que tener en cuenta que con la ayuda de repetidores las distancias expuestas pueden aumentar. [21]

Cables PROFIBUS-DP

En el mercado existe varias versiones y variantes especiales de cables para PROFIBUS-DP. Uno de los más usados es el denominado cable estándar, que en general se aplica en instalaciones en interiores o exteriores de edificios, también es el más utilizado en proyectos de automatización. El par de conductores de cobre flexibles o solidos que se observa en la figura 2.6 se puede identificar por su típico color violeta y su diámetro aproximado de 8 mm.



Fig. 2. 6. Cable estándar PROFIBUS-DP. [21]

Tabla 2. 1. Distancia máxima de transmisión en función de la tasa de transmisión (PROFIBUS-DP)
[21]

Tasa de transmisión [kbps]	Distancia máxima de transmisión [m]
9,2	1200
19,2	1200
45,45	1200
93,75	1200
187,5	1000
500	400
1500	200
3000	100
6000	100
12000	100

Conectores

Los conectores son por lo general la forma de unir equipos a una red PROFIBUS-DP, estos conectores son:

- Conector Sub-D (9 pines)
- Conectores M12 (5 pines, B- codificado)
- Conectores híbridos

En el caso de los conectores Sub-D de 9 pines el cable entrante es conectado con el cable saliente, como se muestra en la figura 2.7-a eliminando de esta manera la utilización de uniones en T. Además, muchos de los terminales poseen una resistencia terminadora conmutable (figura 2.7-b), con la que el cable saliente, queda aislado eléctricamente cuando se activa la resistencia terminadora.

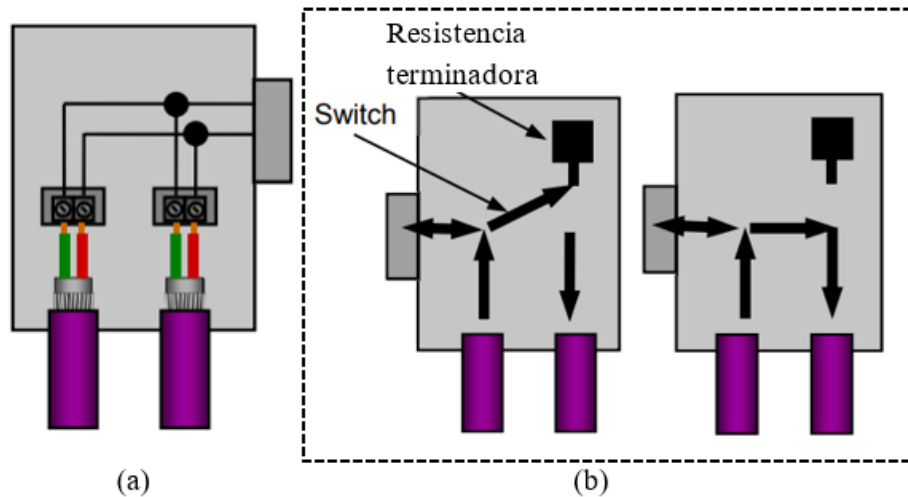


Fig. 2. 7. (a) Principio de conexión conector Sub-D (b) conector Sub-D con resistencia terminadora conmutable. [21]

El conector Sub-D de 9 pines es adecuado para su uso dentro de armarios de control. Cada conjunto de terminales está etiquetado normalmente como "A" y "B" o se le da una referencia de color, por ejemplo. "verde" y "rojo". Estos dos terminales se conectan a los dos cables de datos en el cable PROFIBUS. El esquema de color debe ser usado de manera adecuada dentro de un segmento; es decir, los cables no deben ser intercambiados. Según especificaciones de instalación para PROFIBUS se asignan de la siguiente manera: [23]

- A: verde
- B: rojo

En la figura 2.8. se observa el esquema de pines para un conector Sub-D o también conocido comúnmente como conector DB9, mientras que en la Tabla 2.2 se presenta la distribución de cada uno de los pines, que se utiliza en PROFIBUS.

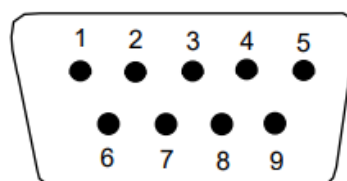


Fig. 2. 8. Conector Sub-D macho. [23]

Tabla 2. 2. Distribución de pines de un conector Sub-D. [23]

Pin	Señal	Descripción		Especificación
		Cable	Dispositivo	
1	Blindaje	Blindaje o equalizador de potencial		No recomendada
2	M24		Tierra para alimentación de 24 V	Opcional
3	RxD/TxD-P	Transmisión/recepción de datos; línea B (rojo)		Obligatorio
4	CNTR-P		Control de dirección de repetidor	Opcional
5	DGND		Tierra de datos (voltaje de referencia a VP)	Obligatorio
6	VP		Fuente de poder +5V (p.ej. para terminación de bus)	Obligatorio
7	P24		Fuente de poder +24V	Opcional
8	RxD/TxD-N	Transmisión/recepción de datos; línea A (verde)		Obligatorio
9	CNTR-N		Control de dirección de repetidor	Opcional

Método de codificación de las señales

La forma más fácil y común de transmitir señales digitales es usando dos niveles de voltaje diferentes, para los dígitos binarios. En PROFIBUS es utilizada este método de codificación denominada NRZ (Non-Return-to-Zero), que mantiene un nivel de voltaje (alto o bajo) constante durante el intervalo de bit. El modo de sincronización es asíncrono. El bit está determinado por el nivel “0” o “1” de la señal durante un tiempo que coincide con el periodo de reloj utilizado para realizar la comunicación, como se observa en la figura 2.9. [24]

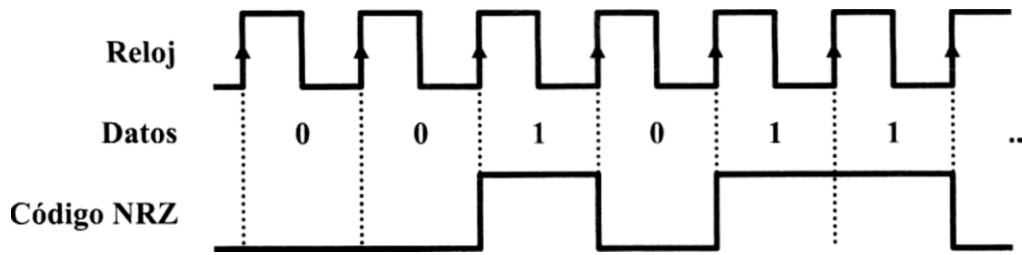


Fig. 2. 9. Codificación NRZ. [24]

Formato de mensajes

Ya se ha mencionado que PROFIBUS-DP utiliza el modo de sincronización asíncrono, denominado de esta manera porque tanto el transmisor como el receptor poseen relojes independientes. Debido a ello al procesador de comunicaciones que lo implementa se le denomina UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) La unidad mínima de información transmitida en una red PROFIBUS-DP es un carácter, como se lo puede observar en la figura 2.10., formado por 9 bits (8 bits de dato y 1 de paridad), precedido de un bit de inicio ST (start bit) que tiene nivel bajo (0 lógico) y de un bit de fin de transmisión SP (Stop bit) que tiene nivel alto (1 lógico). [24]

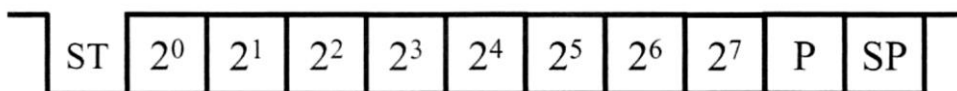


Fig. 2. 10. Estructura de un carácter en una red PROFIBUS-DP. [24]

2.2.3. MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO PARA REDES PROFIBUS-DP

Existen varios métodos para verificar si existe fallas o evaluar el desempeño de una red PROFIBUS-DP, los procedimientos van desde la evaluación en el proyecto antes de ser implementado, verificación visual de la instalación, verificación de y validación de las formas de ondas características de los paquetes de mensajes enviados, etc. Para cada análisis se puede hacer uso de herramientas como: multímetro, osciloscopio, programas de configuración o herramientas de diagnóstico especiales. Entre los

procedimientos que se pueden emplear para un diagnóstico y localización de fallas ya sea en la implementación u operación de redes de comunicación industriales PROFIBUS-DP se encuentran: [7]

- Inspección visual
- Verificación de los leds de estado de los dispositivos PROFIBUS-DP
- Pruebas utilizando un multímetro
- Pruebas utilizando comprobadores de bus (bus testers)
- Pruebas utilizando osciloscopio
- Pruebas utilizando herramientas de configuración del maestro PROFIBUS-DP
- Pruebas utilizando herramientas de monitorización de red
- Pruebas utilizando un repetidor de diagnóstico

Inspección visual

Una inspección visual del cableado debe realizarse siempre antes de iniciar cualquier otra prueba en una red PROFIBUS. La inspección visual permite verificar que la instalación se llevó a cabo de acuerdo con las especificaciones del cableado. Errores como daños en el cable PROFIBUS, radio de curvatura insuficiente, incumplimiento de las longitudes de cable mínimas y otras posibles fallas pueden ser detectadas durante esta etapa. Esta inspección se realiza acompañada de una lista de verificación con los elementos que deben ser revisados durante la inspección visual. [25]

Verificación de los leds de estado de los dispositivos PROFIBUS-DP

Este es un simple procedimiento para la detección de fallos en redes PROFIBUS. Primeramente, es importante verificar en la documentación del maestro PROFIBUS, si hay algún LED para indicar el estado de la comunicación con sus Esclavos asociados. En general, existe un error de indicación LED rojo en bus identificado como " Fault Bus " o BF. Con esto, si el dispositivo Maestro presenta este LED encendido o parpadeando, indica que la red PROFIBUS DP tiene algún problema. Para detectar el problema es necesario chequear a cada uno de los Esclavos y la red físicamente. [7]

De la misma manera, la mayoría de los Esclavos también tienen un LED para fallo en el bus (BF) o similar, que indica si el dispositivo está comunicando satisfactoriamente con el Maestro. Si el LED está encendido en verde o apagado (con el Esclavo energizado), entonces el dispositivo está intercambiando los datos de E/S de modo satisfactorio con el Maestro. El LED se enciende o parpadea en rojo, por lo general indica que el dispositivo ha presentado algún error en el inicio y, por lo tanto, el problema debe ser identificado y sanado para el correcto funcionamiento del equipo. [7]

Pruebas utilizando un multímetro

Un multímetro es probablemente la herramienta más simple que se puede utilizar para solucionar problemas en una instalación PROFIBUS. Con un multímetro es posible detectar y localizar fallas como: [25]

- Simple inversión entre las líneas de datos
- Interrupción de una de las dos líneas de datos
- Interrupción del cable de blindaje
- Corto circuito entre las líneas de datos
- Corto circuito entre las líneas de datos y el cable de blindaje

Las mediciones no proporcionan un 100% precisión, pero sí proporciona una aproximación. Sin embargo, el requisito previo para las mediciones es que deben utilizarse componentes uniformes (cable y conectores PROFIBUS) en todo el segmento. Los componentes PROFIBUS no deben estar conectados al momento de realizar las mediciones. El cable PROFIBUS debe estar desenergizado. Puede determinar si el cable se desactiva midiendo el voltaje entre el blindaje y las dos líneas de datos. Además, todos los terminadores deben estar desconectados. Si se ha conectado permanentemente componentes PROFIBUS en el sistema, como repetidores, entonces estos deben estar desconectados. Cada segmento debe ser medido por separado. [25]

Pruebas utilizando comprobadores de bus (bus testers)

Existen equipos que se utilizan para probar el medio físico de la red PROFIBUS y son conocidos como " Bus Tester " o " Tester Net ", y generalmente detectan los siguientes defectos: [7]

- Cortocircuito entre las líneas de datos A y B
- Cortocircuito entre las líneas de datos A y B y el blindaje del cable
- Inversión simple de las líneas de datos A y B
- Interrupción de una de las líneas de datos A y B
- Interrupción en el cable de blindaje
- Pérdida de un terminal o terminales excesivos.

Algunos probadores de bus también poseen recursos adicionales tales como:

- Determinar el tamaño del segmento de red
- Verifican la existencia de reflexiones e indican la localización del problema en el bus
- Medir los niveles de la señal en las líneas de datos A y B mientras el bus está en operación
- Prueba de los conductores RS-485 de un dispositivo PROFIBUS
- Determinar una lista de direcciones utilizadas por los dispositivos del bus

Estos probadores se utilizan después del montaje de la red y de los conectores, y optimizan la ejecución de las pruebas. La mayoría de estos equipos permiten realizar pruebas con todos los dispositivos PROFIBUS conectados al bus, sin embargo, se debe verificar siempre la documentación del fabricante por garantía. La figura 2.11. muestra un ejemplo de un comprobador de bus PROFIBUS denominado BT-200 perteneciente a la empresa Siemens. [7]

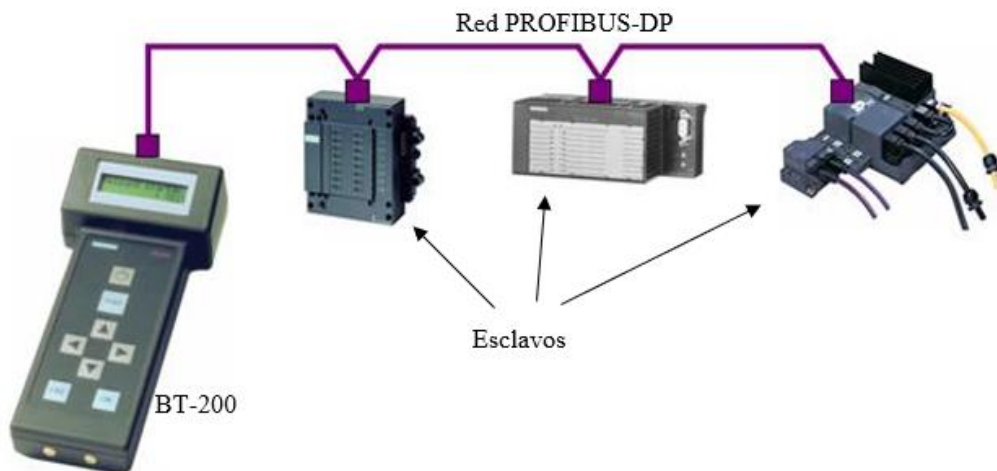


Fig. 2. 11. Dispositivo de testeo para redes PROFIBUS-DP BT-200 de Siemens. [7]

Pruebas utilizando osciloscopio

La utilización de un osciloscopio para la detección de errores en una red PROFIBUS es muy efectiva, esta técnica requiere un cierto nivel de experiencia para poder interpretar las formas de onda y relacionarlas con los errores que se pueden presentar en la red. Además, es necesario un equipo que cumpla con ciertas características las cuales se pueden ver en la Tabla 2.3. [25]

Tabla 2. 3. Requisitos técnicos de un osciloscopio para mediciones en PROFIBUS [25]

Diseño	Osciloscopio digital
Ancho de banda	100 MHz
Canales	2, con aislamiento entre los dos canales y entre la conexión a tierra del dispositivo
Trigger	Interno y externo
Tipo de acoplamiento	DC

El aislamiento entre los canales y la conexión a tierra del dispositivo es importante si se va a medir con una misma punta de prueba las dos líneas de la red PROFIBUS (A y B), ya que se puede producir un cortocircuito si se conecta de forma incorrecta, sin

embargo si se utiliza dos canales para conectar cada una de las líneas se puede realizar las mediciones sin riesgo, tomando en cuenta que la diferencia entre el canal B y A será la onda que se está transmitiendo. [25]

Pruebas utilizando herramientas de configuración del maestro PROFIBUS-DP

La configuración del maestro PROFIBUS se realiza a través de una herramienta de software específica, suministrada o comercializada por el fabricante del equipo. En este tipo de herramienta, el usuario configura el maestro y define los esclavos, además de configurar los parámetros de funcionamiento de la red PROFIBUS DP. [7]

Algunas herramientas también tienen funciones de diagnóstico en línea PROFIBUS. La figura 2.12. muestra una de estas funciones, lo que permite la visualización de la configuración en línea del sistema (Siemens STEP7 Software). A través de esta función, se puede verificar el estado del Maestro y de cada uno de los esclavos PROFIBUS asociados. En este caso, el esclavo dirigido como nodo 5 presenta un error. [7]

Pruebas utilizando herramientas de monitorización de red

Existen herramientas avanzadas que pueden ser utilizadas para diagnosticar problemas en el sistema. Los monitores o analizadores de red son dispositivos que pueden mostrar y registrar el tráfico de datos en la red y proporcionan un camino efectivo para observar el rendimiento de la comunicación entre las estaciones PROFIBUS. Sin embargo, el análisis de las informaciones registradas requiere cierta experiencia y conocimiento detallado del protocolo PROFIBUS y de las interacciones entre Maestros y Esclavos. [7]

Los monitores de red son dispositivos pasivos, lo que quiere decir que, si se conectan al bus, capturan todos los mensajes entre maestros y esclavos y no generan tráfico adicional. Tampoco afectan a los tiempos involucrados en la red PROFIBUS. Existen varios modelos de monitores de red PROFIBUS disponibles en el mercado y la mayoría de ellos presentan características muy similares. [7]

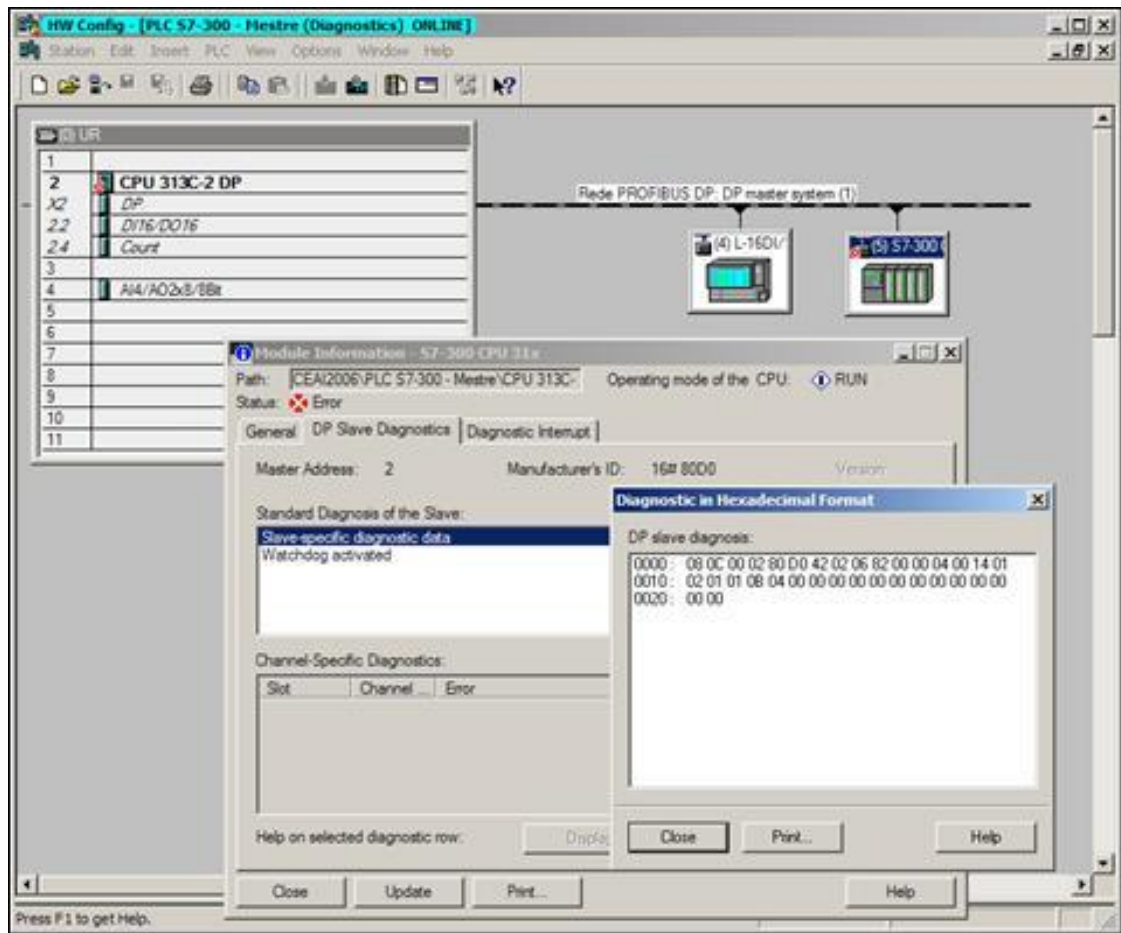


Fig. 2. 12. Visualización de configuración del sistema en Siemens STEP 7. [7]

Estas herramientas cuentan con software especializados y permiten entre otras cosas: [26]

- Monitorear el bus
- Visualización de formas de onda (osciloscopio)
- Gráfico de barras de voltajes en esclavos
- Diagrama de topología de la red
- Generar reportes
- Funcionar como maestros DP

Pruebas utilizando un repetidor de diagnóstico

Los repetidores de diagnóstico son dispositivos similares a los repetidores normales, con la particularidad que tienen la capacidad de supervisar un segmento de una subred PROFIBUS-DP durante su funcionamiento y notificar errores de la línea al maestro DP mediante telegramas de diagnóstico. Para que el repetidor pueda enviar los mensajes de error, este debe funcionar como esclavo DP. Los telegramas pueden ser interpretados y mostrados en pantallas, brindando información en línea de lo que está pasando en la red. Estos dispositivos son capaces de detectar los siguientes fallos en la red: [27]

- Corto circuito entre las líneas de datos A y B y el blindaje del cable
- Interrupción de una de las líneas de datos A o B
- Pérdida de conexión
- Reflexión excesiva, que muestra la distancia a partir del repetidor
- Número de esclavos por encima de lo permitido en un segmento
- Distancia muy grande entre las estaciones y el repetidor
- Telegramas con mensajes de diagnóstico

2.2.4. REDES NEURONALES ARTIFICIALES

El desarrollo de mecanismos inteligentes que puedan dar solución a problemas de forma autónoma es uno de los objetivos en los que se han centrado los investigadores. Es por esto por lo que un sin número de investigaciones en torno a Redes Neuronales Artificiales (RNA) se han desarrollado para: reconocimiento de imágenes, control de trenes de gran velocidad, reconocimiento facial, entre otros. Todo esto inspirado en los sistemas nerviosos biológicos, capaces de aprender en base a datos proporcionados. Las áreas en las que se pueden aplicar RNA pueden ser: ajuste de curvas, procesos de control, reconocimiento o clasificación de patrones, agrupación de datos, predicción de sistemas, optimización de sistemas, memoria asociativa y muchas aplicaciones más. [28]

La lógica de las RNAs está basada en el funcionamiento del cerebro humano, en el cual las neuronas están conectadas por medio del Axón mientras que las dendritas aceptan el estímulo del ambiente externo o de órganos sensoriales, estas entradas crean impulsos eléctricos que viajan rápidamente a través de la red neuronal (Figura 13-a). Por otro lado, las RNAs están compuestas por nodos múltiples, los cuales están enlazadas e interactúan entre sí. Los nodos pueden tomar datos de entrada con los cuales realizan operaciones simples para posteriormente transferir el resultado a otras neuronas (Figura 13-b). [29]

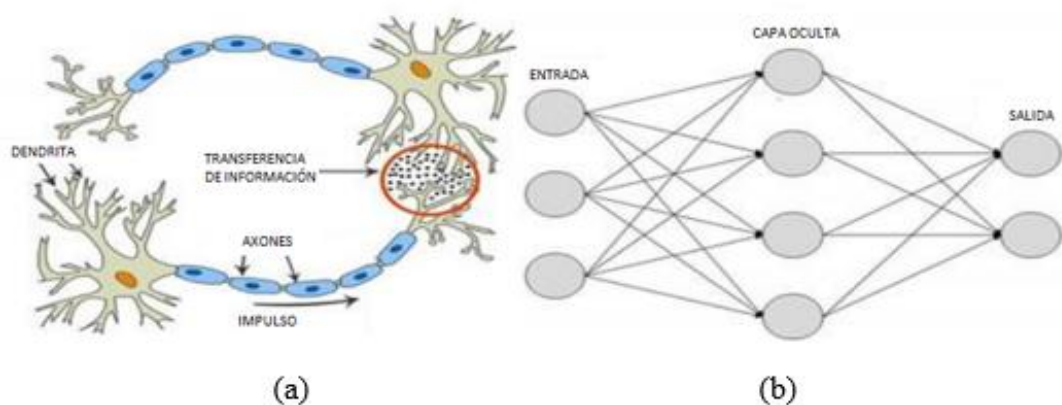


Fig. 2. 13. (a) Estructura Básica de Neuronas Biológicas (b) Estructura Básica de una RNA. [29]

Características principales de las RNAs

Las características más relevantes de aplicaciones con neuronas artificiales están expuestas en la Tabla 2.4

Áreas de aplicación potencial

Las redes neuronales artificiales pueden emplearse en varios problemas relacionados con la ingeniería y las ciencias. Las posibles áreas de aplicación se pueden dividir de la siguiente manera: [28]

- Ajuste de curva universal (aproximación de la función)
- Control de proceso
- Reconocimiento/clasificación de patrones

- Agrupamiento de datos
- Sistemas de predicción
- Optimización del sistema
- Memoria asociativa

Tabla 2. 4. Características de las aplicaciones con redes neuronales [28]

Características	Detalle
Adaptación por experiencia	Los parámetros internos de la red, sus pesos sinápticos, se ajustan con el examen de ejemplos sucesivos (patrones, muestras o mediciones) relacionados con el comportamiento del proceso,
Capacidad de aprendizaje	La red puede extraer la relación existente entre las diversas variables de la aplicación
Capacidad de generalización	La red puede generalizar el conocimiento adquirido, lo que permite la estimación de soluciones hasta ahora desconocidas.
Organización de datos	La red puede organizar esta información, por lo tanto, permite la agrupación de patrones con características comunes
Tolerancia a fallos	La red neuronal se convierte en un sistema tolerante a fallas si parte de su estructura interna está corrompida en algún grado
Almacenamiento distribuido	Se mejora la robustez de la arquitectura en caso de que se pierdan algunas neuronas
Facilitación de prototipos	La mayoría de las arquitecturas neuronales pueden ser fácilmente prototipadas en hardware o software, ya que sus resultados, después del proceso de capacitación, generalmente se obtienen con algunas operaciones matemáticas fundamentales

Modelo de una red neuronal artificial

McCulloch y Pitts (1943) propusieron el modelo de neurona más simple que incluye las características principales de una red neuronal biológica (paralelismo y alta conectividad), y aún es el modelo más utilizado en diferentes arquitecturas de redes neuronales artificiales. En ese modelo, cada neurona de una red puede implementarse como se muestra en la figura 2.14. Las múltiples señales de entrada provenientes del entorno externo (aplicación) están representadas por el conjunto $\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$, análogo a los impulsos eléctricos externos reunidos por las dendritas en la neurona biológica. [28]

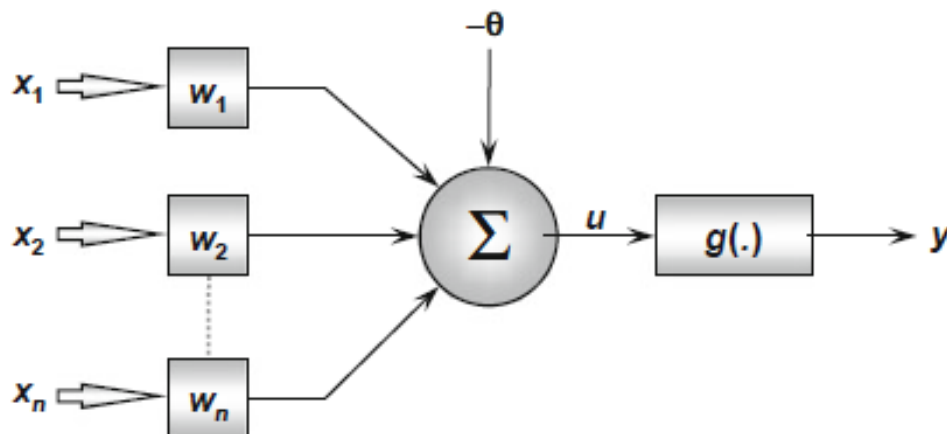


Fig. 2. 14. Neurona artificial. [28]

El pesaje realizado por las uniones sinápticas de la red se implementa en la neurona artificial como un conjunto de pesos sinápticos $\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$. De manera análoga, la relevancia de cada una de las entradas de la neurona $\{x_i\}$ se calcula multiplicándolas por su correspondiente peso sináptico $\{w_i\}$, ponderando así toda la información externa que llega a la neurona. Por lo tanto, es posible verificar que la salida del cuerpo celular artificial, denotado por u , es la suma ponderada de sus entradas.

Teniendo en cuenta la figura 2.14, es posible ver que la neurona artificial se compone de siete elementos básicos, expuestos en la Tabla 2.4.: [28]

Tabla 2. 4. Elementos básicos de una neurona artificial [28]

Elemento	Descripción
Señales de entrada (x_1, x_2, \dots, x_n)	Muestras que provienen de entorno externo, las señales de entrada se suelen normalizar para mejorar la eficiencia computacional de los algoritmos de aprendizaje
Pesos sinápticos (w_1, w_2, \dots, w_n)	Son valores utilizados para ponderar cada una de las variables de entrada, que permite cuantificar su relevancia con respecto a la funcionalidad de la neurona
Sumador lineal (Σ)	Reúne todas las señales de entrada ponderadas por los pesos sinápticos para producir un voltaje de activación
Umbral de activación o sesgo (θ)	Es una variable que se utiliza para especificar el umbral adecuado que debe tener el resultado producido por el agregador lineal para generar un valor de activación hacia la salida de la neurona.
Potencial de activación (u)	Es el resultado de la diferencia entre el agregador lineal y el umbral de activación. Si $u \geq \theta$, entonces la neurona produce un potencial excitador; de lo contrario, será inhibitorio
Función de activación (g)	Limita la salida de la neurona dentro de un rango razonable de valores, asumido por su propia imagen funcional
Señal de salida (y)	Valor final producido por la neurona dado un conjunto particular de señales de entrada, y también puede usarse como entrada para otras neuronas interconectadas secuencialmente

Las ecuaciones 1 y 2 sintetizan el resultado producido por la neurona artificial propuesta por McCulloch y Pitts: [28]

$$u = \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i - \theta \tag{1}$$

$$y = g(u) \tag{2}$$

Por lo tanto, la operación de la neurona artificial puede resumirse mediante los siguientes pasos: [28]

- I. Presente un conjunto de valores a la neurona, que representan las variables de entrada.
- II. Multiplique cada entrada de la neurona a su peso sináptico correspondiente.
- III. Obtenga el potencial de activación producido por la suma ponderada de las señales de entrada y reste el umbral de activación.
- IV. Aplicar una función de activación adecuada para limitar la salida de neuronas.
- V. Compile la salida empleando la función de activación neural en el potencial de activación.

Las funciones de activación se pueden clasificar en dos grupos fundamentales, funciones parcialmente diferenciables y funciones totalmente diferenciables, al considerar sus dominios de definición completa. [28]

Funciones de activación parcialmente diferenciables

Las funciones de activación parcialmente diferenciables son funciones con puntos cuyos derivados de primer orden no existen. Las tres funciones principales de esta categoría están representadas en la figura 2.15 : [28]

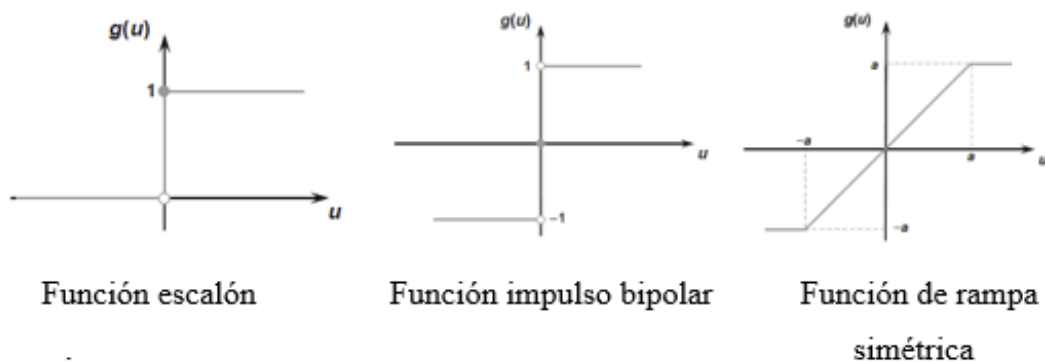


Fig. 2. 15. Funciones de activación parcialmente diferenciables. [28]

- a) Función escalón (Heaviside / Hard Limiter): El resultado producido por la función matemáticamente esta expresada en la ecuación 3:

$$g(u) = \begin{cases} 1, & \text{si } u \geq 0 \\ 0, & \text{si } u < 0 \end{cases} \quad (3)$$

b) Función impulso bipolar o función de señal (Symmetric hard limiter): Su comportamiento en notación matemática se expresa en la ecuación 4.

$$g(u) = \begin{cases} 1, & \text{si } u > 0 \\ 0, & \text{si } u = 0 \\ -1, & \text{si } u < 0 \end{cases} \quad (4)$$

c) Función de rampa simétrica: La notación matemática para este comportamiento es la de la ecuación 5.

$$g(u) = \begin{cases} a, & \text{si } u > a \\ u, & \text{si } -a \leq u \leq a \\ -a, & \text{si } u < -a \end{cases} \quad (5)$$

Funciones de activación totalmente diferenciables

Las funciones de activación completamente diferenciables son aquellas cuyos derivados de primer orden existen para todos los puntos de su dominio de definición. Las cuatro funciones principales de esta categoría, que pueden emplearse en redes neuronales artificiales, y se muestran en la figura 2.16: [28]

a) Función logística: El resultado de salida producido por la función logística está dado por la ecuación 6.

$$g(u) = \frac{1}{1+e^{-\beta \cdot u}} \quad (6)$$

b) Función tangente hiperbólica: La salida resultante están dados por la expresión matemática de la ecuación 7.

$$g(u) = \frac{11-e^{-\beta \cdot u}}{1+e^{-\beta \cdot u}} \quad (7)$$

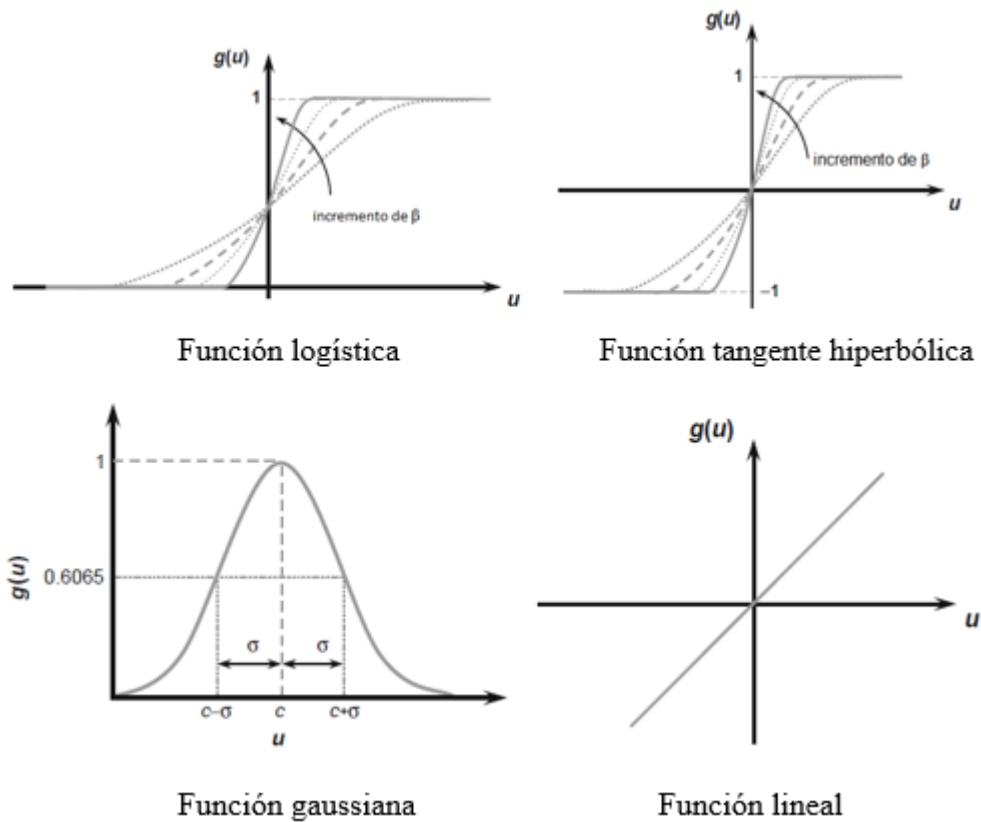


Fig. 2. 16. Funciones de activación totalmente diferenciables. [28]

Tanto en la función logística como en la función tangente hiperbólica β se asocia con la pendiente de la función tangente hiperbólica en su punto de inflexión.

- c) Función gaussiana: la salida de la neurona producirá resultados iguales para aquellos valores de potencial de activación $\{u\}$ ubicados a la misma distancia de su centro (promedio). La curva es simétrica a este centro y la función gaussiana está dada por la ecuación 8.

$$g(u) = e^{-\frac{(u-c)^2}{2\sigma^2}} \quad (8)$$

Donde c es el parámetro que define el centro de la función gaussiana y σ denota la desviación estándar asociada, es decir, cuán dispersa es la curva en relación con su centro.

- d) Función lineal o de identidad: produce resultados de salida iguales al potencial de activación $\{u\}$, expresión matemáticamente está dada por la ecuación 9.

$$g(u) = u \quad (9)$$

2.3. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

El sistema de diagnóstico de fallas PROFIBUS-DP de la máquina MP5 de Grupo Familia mediante redes neuronales artificiales, entrega un diagnóstico probable al personal de mantenimiento eléctrico encargado del monitoreo y corrección de errores.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

El presente proyecto refleja una investigación aplicada ya que el problema se trató de manera práctica y se realizó con equipos que trabajan bajo el estándar PROFIBUS-DP disponibles en Grupo Familia.

Se trabajó en la modalidad de investigación documental - bibliográfica dado que fue necesario información científica relacionada con el tema propuesto, las consultas se realizaron en bases de datos de revistas científicas, libros electrónicos, publicaciones y artículos de páginas web relacionadas directamente con el tema de interés. La consulta en fuentes fiables fue el proceso más adecuado para obtener información.

Investigación de campo, debido a que se realizó un estudio sistemático de los hechos en el lugar en que se producen los acontecimientos. Con este método se ejecutó un levantamiento de información real de la red PROFIBUS-DP existente en la máquina papelera MP5, para tener datos que permitieron resolver los objetivos del proyecto.

También se realizó una investigación experimental porque se trabajó con datos del comportamiento una red de prueba, al existir algún fallo los datos obtenidos sirvieron para el entrenamiento de la RNA, y dependiendo del grado de entrenamiento que tuvo esta red el diagnóstico emitido por el sistema se aproximó más al problema real existente en la red.

3.2. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para el presente proyecto se recopiló información de libros, Internet, revistas científicas, trabajos de investigación, guía del tutor para el desarrollo del proyecto e información brindada por personal de mantenimiento eléctrico de Grupo Familia.

Mientras que para la obtención de datos para el entrenamiento de la RNA se trabajó con una red PROFIBUS-DP de prueba, compuesta por un maestro y cuatro esclavos. En la que se podía causar fallas típicas que se presentan en la capa física de una red PROFIBUS-DP

3.3. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

La información recolectada fue inducida a un análisis crítico, para poder condensar información defectuosa o incompleta. Para ello se llevó a cabo los siguientes pasos:

- Recolección de información mediante Internet, investigaciones, librerías, artículos científicos, tesis, libros.
- Análisis y clasificación de la información recolectada para obtener conceptos de importancia referentes al tema.
- Interpretación de resultados con el apoyo de fundamentos teóricos para cada aspecto inmerso en el desarrollo del proyecto.

3.4. DESARROLLO DEL PROYECTO

Para la elaboración del presente proyecto de investigación se desarrollaron las siguientes actividades:

1. Determinación de las redes de comunicación en la máquina MP5.
2. Esquemmatización de la red PROFIBUS-DP en la máquina MP5.
3. Descripción general protocolo de comunicación PROFIBUS.
4. Análisis de métodos de diagnóstico para PROFIBUS-DP.

5. Elaboración una red de prueba PROFIBUS-DP para reproducir fallas típicas que se produce en la capa física.
6. Diseño de una Red Neurona Artificial para el diagnóstico de fallos en la red.
7. Entrenamiento de la Red Neurona Artificial con los datos sobre fallas.
8. Pruebas de funcionamiento y Corrección de posibles errores que afecten el diagnóstico de redes PROFIBUS-DP.
9. Implementación del sistema de diagnóstico en la máquina papelera MP5 y pruebas de funcionamiento.
10. Elaboración de Informe Final.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

4.1. INTRODUCCIÓN

Grupo Familia es una empresa con presencia en Suramérica y El Caribe, dedicada a la producción y comercialización de artículos de aseo personal, basados en papel. Dentro del territorio ecuatoriano es conocida como Productos Familia Sancela del Ecuador S.A. que cuenta con una planta industrial, en el sector de Lasso de la provincia de Cotopaxi, en la que entre otras cosas se procesa papel reciclado junto con pulpa de madera, para ser transformada en papel tissue. En este proceso intervienen varias maquinarias que cumplen funciones específicas, una de ellas es la denominada máquina papelera MP5, que cuenta con un sistema de control automático, para la conexión de múltiples sensores y actuadores que permiten el correcto funcionamiento de la máquina se utiliza una red PROFIBUS-DP de cable de cobre, que no está exenta de fallos.

El presente proyecto de investigación se ha desarrollado con el fin de brindar un método alternativo para la detección de fallas en la capa física de la red PROFIBUS-DP de la máquina papelera MP5, con la clasificación de formas de ondas típicas que se presentan en la red cuando un fallo aparece. Se utilizó un osciloscopio digital que captura las formas de onda y las envía como datos a una Red Neuronal Artificial (RNA) entrenada, encargada de realizar la clasificación y brindar un diagnóstico probable.

El entrenamiento de la RNA se realizó con la toma de muestras en una red PROFIBUS-DP de prueba en la que provocó de manera intencional las fallas que comúnmente suceden en la capa física. Para el entrenamiento también se utilizó librerías

especializadas en machine learning y ejecutadas dentro de un entorno de trabajo interactivo que admite varios lenguajes de programación denominado Jupyter Notebook.

Hay que indicar que la obtención de datos se trabajó con el SDK brindado por el fabricante del osciloscopio con el que se desarrolló el proyecto de investigación. El código brindado de este SDK fue desarrollado en Visual Studio, por lo que las variantes realizadas fueron también trabajadas con este software.

4.2. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

La elaboración de este proyecto de investigación tuvo una factibilidad técnica, económica y bibliográfica, que se explica a continuación.

4.2.1. Factibilidad Técnica

Los equipos y elementos electrónicos que se usaron en este proyecto están disponibles en el mercado nacional, y pueden ser adquiridos sin mayor inconveniente, además, la empresa en la que se realizó la investigación puso a disposición otros equipos necesarios, esto hace que la elaboración del sistema sea técnicamente factible.

4.2.2. Factibilidad Económica

El investigador y la empresa interesada financiaron el costo de todos los sistemas electrónicos que se usaron en el proyecto, por lo tanto, es viable económicamente.

4.2.3. Factibilidad Bibliográfica

Existen fuentes de información, acerca del tema planteado, en diversos documentos de internet, artículos científicos, libros y videos, con los que se pudo trabajar de manera

óptima. Además, se contó con el apoyo de profesionales dentro y fuera de la empresa que colaboraron con sus conocimientos.

4.3. ESTADO ACTUAL DE LA RED PROFIBUS-DP EN LA MÁQUINA PAPELERA MP5

La máquina papelera MP5 cuenta con distintos dispositivos conectados a su red PROFIBUS-DP, permitiendo que la información procedente de sensores llegue hasta la estación de control, así como también controlar diversos elementos que están dentro de la red. La red consta de un único maestro y 26 esclavos conectados a un bus de cobre que trabajan a una velocidad de transmisión de 1.5 Mbps. En la figura 4.1. se muestra un esquema general de los elementos conectados en la red PROFIBUS-DP de la máquina MP5.

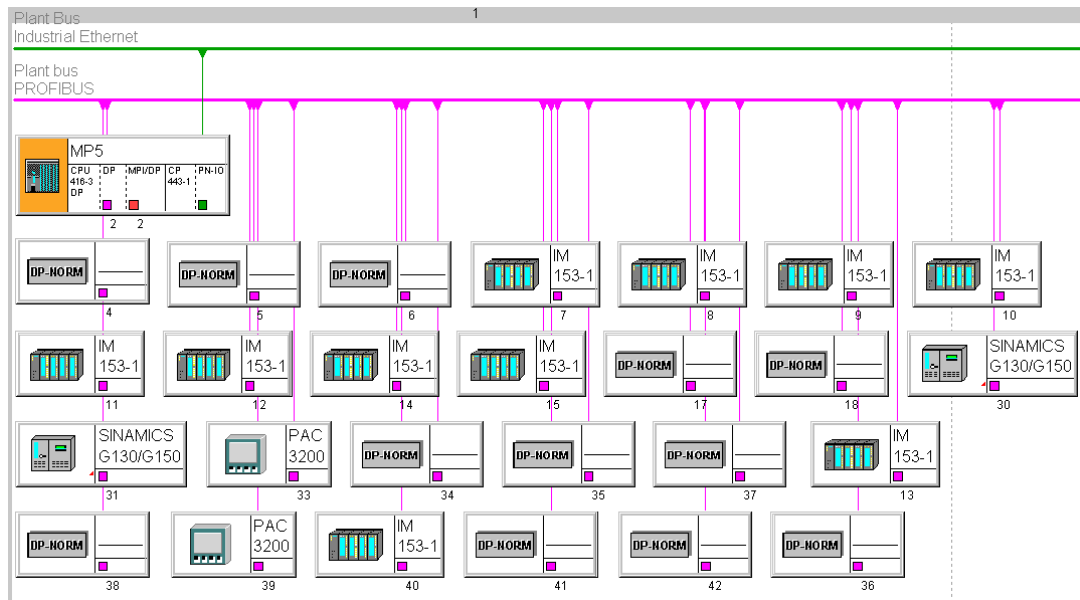


Fig. 4. 1. Esquema general de la red PROFIBUS-DP de la MP5 en NetPro.

Fuente: Investigador

En la figura 4.1. no se toman en cuenta los repetidores ni resistencias terminadoras que existen dentro de la red, sin embargo, en el ANEXO A se muestra con más detalle todos los elementos conectados a esta, con las distancias existentes entre cada dispositivo. La descripción de los elementos que conforma la red se detalla en las tablas que se exponen a continuación:

En la Tabla 4.1 se muestra el componente principal de la red PROFIBUS de la MP5, este es el dispositivo maestro. Se trata del SIMATIC S7-400. Este tipo de PLC de gama media y alta está concebido para soluciones de sistema en el ámbito de la automatización manufacturera y de procesos. Entre sus características principales se destacan: su velocidad de procesamiento de datos, utilizado para coordinar elementos esclavos, capacidad para periféricas de E/S ilimitada, permite la integración de funciones de seguridad, entre otras. [30] En la figura 4.2. se puede observar el S7-400 montado en el bastidor.

Tabla 4. 1. Maestro de la red PROFIFUS-DP de la MP5

Elemento	Tipo	Dirección DP	Descripción
PLC S7 400	Maestro	3	Contiene: fuente de alimentación PS405, CPU 416-3 DP V5.2, CP 443-1 V1.0

Fuente: Investigador



. Fig. 4. 2. Ubicación del S7-400 en el bastidor.

Fuente: Investigador

En la Tabla 4.2 se enlistan los SIPLUS ET 200M IM 153-1, que entre sus características principales se tiene: trabaja en condiciones ambientales de entre -40...+70 °C con temperatura de arranque mínimo de: -25 °C, revestimiento basado en

6ES7153-1AA03-0XB0. Posee una interfaz para ET 200M, con un número máximo de módulos que se pueden conectar de 8 módulos S7-300, posee un grado de protección IP20 [31]. Un ejemplo de este tipo de elementos se puede visualizar en la figura 4.3.

Tabla 4. 2. ET existentes en red PROFIFUS-DP de la MP5

Elemento	Tipo	Dirección DP	Descripción
IM 153-1	Esclavo	7	SIMATIC DP, módulo de interfaz IM 153-1, para ET 200M, para máx. 8 módulos S7-300
IM 153-1	Esclavo	8	SIMATIC DP, módulo de interfaz IM 153-1, para ET 200M, para máx. 8 módulos S7-300
IM 153-1	Esclavo	9	SIMATIC DP, módulo de interfaz IM 153-1, para ET 200M, para máx. 8 módulos S7-300
IM 153-1	Esclavo	10	SIMATIC DP, módulo de interfaz IM 153-1, para ET 200M, para máx. 8 módulos S7-300
IM 153-1	Esclavo	11	SIMATIC DP, módulo de interfaz IM 153-1, para ET 200M, para máx. 8 módulos S7-300
IM 153-1	Esclavo	12	SIMATIC DP, módulo de interfaz IM 153-1, para ET 200M, para máx. 8 módulos S7-300
IM 153-1	Esclavo	13	SIMATIC DP, módulo de interfaz IM 153-1, para ET 200M, para máx. 8 módulos S7-300
IM 153-1	Esclavo	14	SIMATIC DP, módulo de interfaz IM 153-1, para ET 200M, para máx. 8 módulos S7-300
IM 153-1	Esclavo	15	SIMATIC DP, módulo de interfaz IM 153-1, para ET 200M, para máx. 8 módulos S7-300
IM 153-1	Esclavo	40	SIMATIC DP, módulo de interfaz IM 153-1, para ET 200M, para máx. 8 módulos S7-300

Fuente: Investigador



Fig. 4. 3. ET 200 M con 8 módulos de E/S ubicado en un bastidor.

Fuente: Investigador

Los componentes con mayor presencia en la red son los convertidores o también llamados variadores de frecuencia, encargados de controlar motores de ventiladores, extractores y motores en general. Los convertidores constan de dos componentes principales, una Control Unit encargado de vigilar y controlar el motor conectado y un Power Module que ofrece las conexiones para la red y el motor. En la Tabla 4.3 se proporciona información de estos elementos, mientras que en la figura 4.4. se muestra uno de estos variadores con su conexión a la red PROFIBUS.



Fig. 4. 4. Variador de frecuencia.

Fuente: Investigador

Tabla 4. 3. Elementos que conforman la red PROFIFUS-DP de la MP5

Elemento	Tipo	Dirección DP	Descripción
SINAMICS G120	Esclavo	4	Convertidores de baja tensión. Modelos incorporable con Control Units CU240E-2
SINAMICS G120	Esclavo	5	Convertidores de baja tensión. Modelos incorporable con Control Units CU240E-2
SINAMICS G120	Esclavo	6	Convertidores de baja tensión. Modelos incorporable con Control Units CU240E-2
SINAMICS G120	Esclavo	17	Convertidores de baja tensión. Modelos incorporable con Control Units CU240E-2
SINAMICS G120	Esclavo	18	Convertidores de baja tensión. Modelos incorporable con Control Units CU240E-2
SINAMICS G120	Esclavo	30	Convertidores de baja tensión. Modelos incorporable con Control Units CU240E-2
SINAMICS G120	Esclavo	31	Convertidores de baja tensión. Modelos incorporable con Control Units CU240E-2
SINAMICS G120	Esclavo	34	Convertidores de baja tensión. Modelos incorporable con Control Units CU240E-2
SINAMICS G120	Esclavo	35	Convertidores de baja tensión. Modelos incorporable con Control Units CU240E-2
SINAMICS G120	Esclavo	36	Convertidores de baja tensión. Modelos incorporable con Control Units CU240E-2
SINAMICS G120	Esclavo	37	Convertidores de baja tensión. Modelos incorporable con Control Units CU240E-2
SINAMICS G120	Esclavo	38	Convertidores de baja tensión. Modelos incorporable con Control Units CU240E-2
SINAMICS G120	Esclavo	41	Convertidores de baja tensión. Modelos incorporable con Control Units CU240E-2
SINAMICS G120	Esclavo	42	Convertidores de baja tensión. Modelos incorporable con Control Units CU240E-2

Fuente: Investigador

Existen también medidores de energía como los SENTRON PAC3200, que son aparatos de medida, contiene: un módulo LCD, tensión máxima nominal de fase medible L-L: 690 V, L-N: 400 V, 5 A, 3 fases, Modbus TCP, opcional Modbus

RTU/PROFINET/PROFIBUS, energía aparente/activa/reactiva, clase 0,5 según IEC61557-12 o bien clase 0,5S según IEC62053-22, fuente de alimentación universal, AC/DC y conexión por terminal de cable de ojal [32]. En la figura 4.5. se muestra un medidor de energía conectado a la red.

Tabla 4. 4. Elementos que conforman la red PROFIFUS-DP de la MP5

Elemento	Tipo	Dirección DP	Descripción
SENTRON PAC3200	Esclavo	33	Aparato de medida, LCD, L-L: 690 V, L-N: 400 V, 5 A, 3 fases, energía aparente/activa/reactiva, fuente de alimentación universal
SENTRON PAC3200	Esclavo	39	Aparato de medida, LCD, L-L: 690 V, L-N: 400 V, 5 A, 3 fases, energía aparente/activa/reactiva, fuente de alimentación universal

Fuente: Investigador



Fig. 4. 5. Medidor de energía.

Fuente: Investigador

Otros de los elementos que están presentes en la red de la MP5 son los repetidores y las resistencias terminadoras. Los repetidores permiten que más dispositivos se conecten a la red y ayuda a que las redes se extiendan por cientos de metros al poder reconstruir la señal que se puede distorsionar mientras viaja por la línea de transmisión, también son utilizados para segmentar la red, permitiendo que la detección de fallas sea más rápida. Por otro lado, las resistencias terminadoras son dispositivos activos que cierran el circuito de la red, una de estas resistencias se puede ver en la figura 4.6.

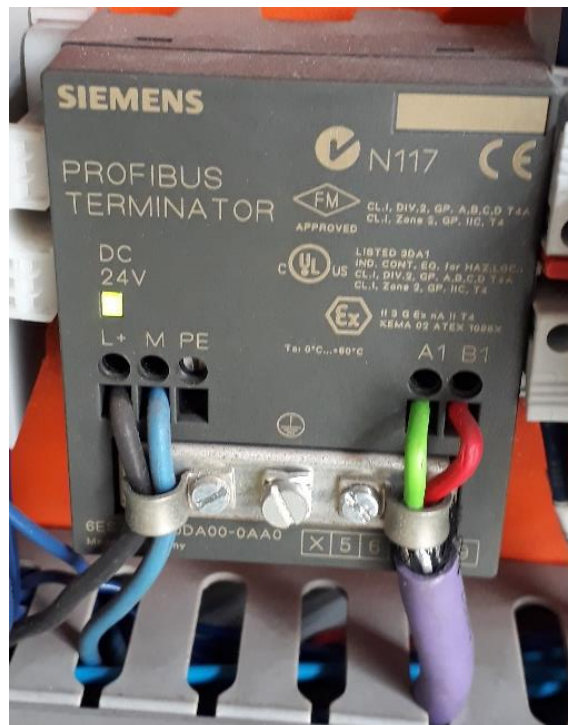


Fig. 4. 6. Resistencia terminadora.

Fuente: Investigador

Paradas registradas en la MP5 en el 2018

Cuando un fallo en la red PROFIBUS se produce, toda la MP5 se detiene, generando tiempos de paro, que afectan a la producción, sin embargo, estos fallos son ocasionales registrando un único fallo en el año 2018 el 8 de julio en el tercer turno (22h00-06h00), generando un tiempo de paro de 37 minutos, que económicamente representan una pérdida de 2186,6 dólares americanos aproximadamente dado que la producción está estimada en 74 toneladas/día con un costo de 1150 USD/tonelada.

El dispositivo que causo la caída de la red fue un Control Unit CU240E-2 DP que forma parte de un convertidor y está encargado del control y vigilancia de un determinado motor. Los problemas de comunicación se dan en este tipo de CUs hasta que la red reconozca el equipo.

La frecuencia de fallos en la red PROFIBUS es baja, pero cuando sucede puede generar pérdidas considerables, en el caso expuesto la solución fue dada en un tiempo considerado corto, sin embargo, la detección de fallas puede durar de entre una hora el caso más rápido registrado por el especialista hasta varios días, esto fue indicado por parte del personal encargado de la solución de problemas existentes no solo en la red de la MP5 sino también de otros sectores pertenecientes a la parte de Molinos, que también tiene implementadas redes PROFIBUS.

Métodos de diagnóstico utilizados dentro de la planta de producción

Cuando un problema aparece en cualquier red PROFIBUS dentro de la planta, el técnico especialista analiza las posibles causas que provocaron la caída de la red. La experiencia juega un papel importante ya que permite la localización oportuna de los fallos existentes, en primer lugar, se verifica los leds de estado del maestro para tener la certeza de que es un problema de la red PROFIBUS, si es así se prosigue con las demás pruebas.

El dispositivo utilizado para verificar el estado de la red es el denominado analizador de redes ProfiTrace, al colocar este dispositivo en el maestro lo primero que se verifica es la topología, si algún dispositivo no es representado en la topología es porque este dispositivo está causando problemas y se verifica las condiciones de este. Si todos los dispositivos se visualizan se verifica las formas de onda de la señal que llega a cada esclavo en búsqueda de alguna deformación, también se verifica que los niveles de voltaje en cada esclavo están dentro de lo normal. Si el problema persiste, se aíslan segmentos en los repetidores o cerrando la red con la resistencia que posee cada conector PROFIBUS hasta que la señal mejore.

Los técnicos especialistas manifiestan que: los dispositivos que causan el mayor número de problemas a la red son los variadores de frecuencia, que al arranca o parar algún motor introduce ruido a la red, provocando que esta falle. Por lo que han optado en ciertas redes existentes en la planta en dividir la red en segmentos, colocando en uno de ellos solo variadores y en otro segmento solo ET. La red PROFIBUS de la MP5 esta segmentada pero no de la manera mencionada.

Otro de los puntos para tener en cuenta es que dos o más redes dentro de la planta pueden fallar en un mismo periodo de tiempo, y existe un solo analizador disponible en el departamento Eléctrico para realizar el diagnóstico. Teniendo en cuenta que el diagnóstico puede durar entre varias horas hasta días, es necesario herramientas alternas para realizar el análisis de fallas , una alternativa es el utilizar la herramienta que en el presente proyecto de investigación se propone.

4.4. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

Para el desarrollo del presente proyecto de investigación se tiene en cuenta los siguientes requerimientos.

4.4.1. Hardware

Osciloscopio digital

Los osciloscopios digitales visualizan las señales a partir de un número finito de muestras, que previamente se digitalizan y se almacenan en una memoria denominada de adquisición. El contenido de esta memoria es transformado adecuadamente por un procesador digital con lo cual se independiza la velocidad de la señal de la de su presentación. De esta manera, el sistema de visualización puede trabajar de manera constante independiente de la velocidad de la señal medida. El osciloscopio digital puede actuar como un registrador de señales, lo que lo hace de gran utilidad en aplicaciones en las que sean necesarias la comparación de valores. [33] En la Tabla 4.5. se comparan características de algunos osciloscopios existentes en el mercado.

Tabla 4. 5. Características técnicas de osciloscopios digitales [34] [35] [36]

Características	Fluke 192C	Hantek 6022BL	Instrustar ISDS205C
Imagen			
Número de canales	2	2	2
Ancho de banda	60 MHz	20 MHz	20 MHz
Tasa de muestreo	500 MS/s	48 MS/s	48 MS/s
Modo de disparo (trigger)	Manual, automático	Automático	Manual, automático
Pantalla	Si	No	No
Conexión a PC	OC4USB	USB	USB
SDK	No	Si	Si
Precio	3615 USD	140 USD	190 USD

El osciloscopio Fluke 192B es una de las herramientas que posee la empresa en la que se desarrolló el proyecto de investigación, cuenta con características superiores a los otros dos mostrados en la tabla, sin embargo la comunicación entre el dispositivo y una computadora es muy lenta y no dispone de un SDK (kit de desarrollo de software) en el que se pueda trabajar de manera eficiente, por otro lado el Instrustar ISDS205C cuenta con un SDK más completo en comparación con el Hantek 6022BL, también se debe mencionar que Hantek proporciona un SDK diferente para cada uno de sus modelos, mientras que el SDK Instrustar es general para todos sus modelos, por lo que se puede escalar y utilizar un osciloscopio de mejores características de la misma marca. Por estas razones se decide usar el osciloscopio Instrustar ISDS205C. Más características técnicas del osciloscopio utilizado se encuentran en el ANEXO A.

Red de prueba PROFIBUS-DP





Maestro

Una red PROFIBUS-DP puede tener un maestro o múltiples maestros los cuales pueden enviar y solicitar datos a otras estaciones, siempre que mantengan el derecho de acceso (token) al bus. Los esclavos enviarán toda la información al maestro que lo

requiera. La función de maestro por lo general es desempeñada por un PLC, en el mercado existen distintas marcas y modelos con los que se pueden trabajar.

La red de la MP5 cuenta con un PLC Simatic S7-400 de la marca Siemens, que cumple la función de maestro, por otro lado, el departamento Eléctrico tiene a su disposición un PLC S7-400 para realizar distintas pruebas y para entrenamiento del personal, es con este maestro con el que se realizó la red de prueba, cuyas características se detallan en la Tabla 4.6.




Tabla 4. 6. Características del maestro DP. [37]

	Descripción	Imagen
Bastidor ALU UR2	Simatic S7-400, bastidor ALU UR2, central y descentral con 9 slots, 2 alimentación, Redundancia Enchufables	
Fuente alimentación	Simatic S7-400, fuente de alimentación PS407: 10A, rango amplio, UC 120/230v, DC 5v/10a	
CPU 414-3	Simatic S7-400, CPU 414-3 CPU con: memoria principal 4 MB, (2 MB código, 2 MB datos), interfaz 1: MPU/DP 12 Mbit/s, interfaz 2: PROFIBUS-DP	
CP 443-1	Procesador de comunicaciones CP 443-1; 2x 10/100 Mbits/s (IE Switch); puertos RJ45; ISO; TCP; UDP; controlador PROFINET IO; comunicación S7; comunicación abierta (SEND/ RECEIVE); S7 Routing; Configuración IP a través DHCP/ módulo; IP Access Control List	

Esclavos

Los dispositivos esclavos sólo pueden enviar datos cuando un maestro se los ha solicitado. En el mercado se dispone de una gran variedad de equipos acondicionados para trabajar como esclavos, como pueden ser: encoders, periféricas de entrada/salida (ET), variadores de frecuencia, entre otros. La MP5 cuenta con gran cantidad de ET's por lo que para las pruebas se utilizó 3 módulos de estos que se tenía disponible en el departamento Eléctrico, adicionalmente se disponía de un repetidor de diagnóstico que se podía adicionar como esclavo dentro de la red de prueba. Las características de estos dispositivos se muestran en la Tabla 4.7.

Tabla 4. 7. Características esclavos DP. [37]

Dispositivo	Descripción	Cantidad	Imagen
IM 153-1	SIMATIC DP, módulo de interfaz IM 153-1, para ET 200M, para máximo 8 módulos S7-300.	2	
IM 153-2	Módulo de interfaz ET 200M IM 153-2 Para máximo 12 módulos S7-300 apto para redundancia, sellado de tiempo apto para modo isócrono.	1	
Repetidor de diagnóstico	SIMATIC S7, Repetidor de diagnóstico para PROFIBUS DP, para diagnóstico online del cable PROFIBUS, esclavo norma DP hasta 12 Mbits/s, grado de protección IP20, sistema de conexión FastConnect	1	

Cada interfaz ET está conectada a un módulo de entradas o salidas analógicas o digitales, para que la red se pueda configurar de manera correcta.

Otros materiales

El medio de transmisión utilizado para elaborar la red de prueba fue cable de bus a 2 hilos de cobre, apantallado, aproximadamente 250 metros de este cable fueron utilizados variando su longitud dependiendo de las pruebas realizadas. Para alimentar los dispositivos se utilizó una fuente de 24 V. Mientras que para interconectar cada dispositivo de la red se utilizó conectores PROFIBUS RS-485. En la figura 4.7. se observa algunos de estos conectores.

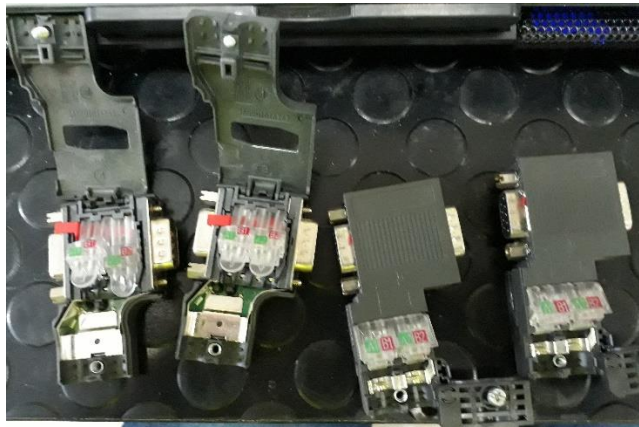


Fig. 4. 7. Conectores PROFIBUS RS-485.

Fuente: Investigador

4.4.2. Software

Red de prueba PROFIBUS-DP

Grupo Familia posee licencias de software especializados para el control de procesos, para la red de prueba se utilizó los mismos sistemas con los que funciona la MP5, la cual utiliza el sistema de control de procesos SINAMIC PCS 7. Su licencia permite utilizar aplicaciones y herramientas de ingeniería como, por ejemplo: [38]

- SIMATIC MANAGER: Creación de proyectos, creación de librerías, gestión de proyectos, diagnósticos, etc.

- Multiproyecto: por medio de Simatic Manager se pueden crear proyectos individuales o multiproyectos. El multiproyecto puede contener diferentes proyectos y librerías maestras de datos.
- Librería Maestra de Datos: está asociada a un multiproyecto, se encuentra dentro de un multiproyecto y registra todos los tipos de funciones, que se utilizan en el multiproyecto.
- Vista de componentes: Se utiliza para edición y sistematización de nuevas estaciones tales como ES (Sistema de Ingeniería), AS (sistema de Automatización) y OS (Sistema de Operación).
- Vista tecnológica: se utiliza para el diseño de la jerarquía tecnológica de las plantas.
- HW Config: Configuración de hardware. Entorno de la configuración del hardware para una AS. Se utiliza para la configuración de CPUs, procesadores, de comunicación, periféricos, buses de campo, etc.
- NetPro: entorno de configuración de las comunicaciones entre las AS, así como entre AS y OS.
- Consola de configuración: con la consola de configuración es posible cambiar los ajustes de los adaptadores de la red de PCs.
- CFC: esquema de función continua. Utilización para el diseño de librerías lógicas de automatización, bloques, algoritmos, controles, etc.
- SFC: lenguaje de función secuencial. Utilización para el diseño de controles secuenciales, lógico y bloques, etc.
- SLC: Lenguaje de control estructurado. Utilizado para la programación de algoritmos, generación de bloques funcionales, etc.
- WinCC: centro de control de Windors. Interfaz de operador PCS 7 y visualización.
- Diseñador Gráfico: Diseño de imágenes, imágenes de planta y animaciones.

Red Neuronal Artificial

Toma de datos

Existe un sin número de IDE (entorno de desarrollo integrado) que son aplicaciones de software que integran una gran cantidad de herramientas y servicios en un solo

programa, además de permitir la creación, modificación, compilación, implementación y depuración de software. Las características más relevantes de un IDE son las siguientes: [39]

- Son multiplataforma.
- Capaces de soportar diversos lenguajes de programación.
- Permite la integración con sistemas de control de versiones.
- Identificación del modelo de sintaxis en la cual se trabaja.
- Cuenta con extensiones y componentes para el IDE.
- Permite la integración con framework reconocidos.
- Depurador.
- Permite importar y exportar proyectos.
- Trabaja en diferentes idiomas.
- Contiene manual de usuarios y ayuda.

Algunos ejemplos de IDEs son:

- Eclipse
- NetBeans
- IntelliJ IDEA
- JBuilder de Borland
- JDeveloper de Oracle
- KDevelop
- Anjuta
- Clarion
- MS Visual Studio
- Visual C++

El osciloscopio utilizado para la toma de datos necesarios para el entrenamiento y el desarrollo de pruebas de la Red Neuronal Artificial, cuenta con un SDK que fue desarrollado bajo Visual Studio, por lo que se optó por este IDE para realizar cambios en el código según los requerimientos.

Entrenamiento y pruebas de la Red Neuronal Artificial

Un framework es un conjunto de bibliotecas, herramientas y norma a seguir que facilitan el trabajo a un desarrollados de aplicaciones. Los frameworks están compuestos por varios componentes que interactúan unos con otros, permitiendo que las aplicaciones puedan ser escritas de manera eficaz. [40] En los últimos años muchas empresas se han dedicado al desarrollado frameworks o también conocidas como librerías orientados a machine learning. En la Tabla 4.8. se observa algunos de estos frameworks con sus características más relevantes.

Para la creación y entrenamiento de la RNA optó por utilizar el paquete de Keras, que es considerado como una interfaz fácil de operar para simplificar la construcción de redes neuronales con un enfoque rápido. Está escrito en Python y puede funcionar sobre TensorFlow y Theano. Keras se creó para proporcionar una interfaz simplista con el fin de crear prototipos rápidamente mediante la construcción efectiva de Redes neuronales.

En pocas palabras se pueden describir las características que tiene Keras como: Ligeró, fácil de usar y realmente sencillo cuando se trata de construir un modelo de aprendizaje profundo mediante el apilamiento de varias capas. El uso principal de Keras es en clasificación, generación y resumen de texto, etiquetado y traducción, junto con reconocimiento de voz y más.

Además del paquete de Keras, fue necesario utilizar librerías y software que ayudaron a la trata de datos con los que se entrenó la red neuronal. Estos se detallan a continuación:

- Anaconda. - Es un administrador de paquetes, un administrador de entornos, una distribución de ciencia de datos de Python/R y una colección de más de 1,500 paquetes de código abierto. Anaconda es gratuita y fácil de instalar, y ofrece soporte comunitario gratuito. [42]

Tabla 4. 8. Características de algunos Frameworks para Deep Learning [41]

Framework	Creador	Escrito en	Interfaz	Desarrollo
TensorFlow	Google Brain, 2015	C++, Python, CUDA	Python (Keras), C/C++, Java, Go, JavaScript, R, Julia, Swift	Optimizado para modelos grandes, puede consumir mucha memoria, mucho más rápido que otros
Theano	Université de Montréal, 2009	Python	Python (Keras)	Tiempo de ejecución y memoria competitiva, mucho tiempo en la compilación, soporta Multi-GPU, pero no máquinas múltiples
Keras	François Chollet, 2015	Python	Python, R	Características de Caffe, Theano y TensorFlow
Torch	Facebook AI Research, Twitter, Google DeepMind, 2002	C, Lua	Lua, LuaJIT, C, utility library for C++/OpenCL	Todo depende de cuDNN. Ventaja: no hay compilación de modelos, lo que ahorra mucho tiempo durante la depuración. Memoria: algunas capas no son muy eficientes debido a los búferes internos
Caffe	Berkeley Vision and Learning Center, 2013	C++	Python, MATLAB, C++	Bastante rápido, compilación rápida, soporte multi-GPU, pero no con capas de Python, sin entrenamiento distribuido

- Jupyter Notebook. - Es una aplicación de código abierto que brinda un entorno de trabajo interactivo que permite desarrollar código de manera dinámica, a la vez que integrar en un mismo documento tanto bloques de código como texto, gráficas o imágenes. Es utilizado ampliamente en limpieza y transformación de datos, simulaciones numéricas, modelado estadístico, visualización de datos, aprendizaje automático entre otros campos de la informática y las matemáticas. [43]
- NumPy. - Es el paquete fundamental para computación científica con Python. Contiene entre otras cosas: un poderoso objeto para matrices N-dimensionales; funciones sofisticadas; herramientas para la integración de código C/C++ y Fortran; álgebra lineal útil, transformada de Fourier y capacidades de números aleatorios. Además de sus obvios usos científicos, NumPy también se puede usar como un eficiente contenedor multidimensional de datos genéricos. Se pueden definir tipos de datos arbitrarios. Esto permite que NumPy se integre a la perfección con una amplia variedad de bases de datos. [44]
- Pandas. - Es una librería de código abierto que proporciona estructuras de datos de alto rendimiento y fáciles de usar también herramientas de análisis de datos para el lenguaje de programación Python. [45]
- Matplotlib. - Es una librería de trazado 2D de Python que produce figuras de calidad en una variedad de formatos. Se puede usar en los scripts de Python, en IPython, en Jupyter Notebook. Matplotlib trata de hacer que las cosas fáciles sean fáciles y las cosas difíciles posibles. Puede generar gráficos, histogramas, espectros de potencia, gráficos de barras, gráficos de error, gráficos de dispersión, etc., con solo unas pocas líneas de código. [46]
- Scikit-learn. - Es un módulo de Python que integra una amplia gama de algoritmos de aprendizaje automático de última generación para problemas supervisados y no supervisados de mediana escala. Este paquete se enfoca en llevar el aprendizaje automático a los no especialistas que utilizan un lenguaje de alto nivel de propósito general. Se enfatiza la facilidad de uso, el rendimiento, la documentación y la consistencia de la API. Tiene dependencias mínimas y se distribuye bajo la licencia BSD (Berkeley Software Distribution) simplificada, fomentando su uso tanto en entornos académicos como comerciales. [47]

4.5. RED PROFIBUS-DP DE PRUEBA

La red de prueba sirvió para observar el comportamiento de las formas de onda que llevan la información cuando está funcionando de forma correcta y ante un eventual fallo en la capa física. Los pasos que se exponen en la figura 4.8. son los que se llevaron a cabo con la red de prueba.

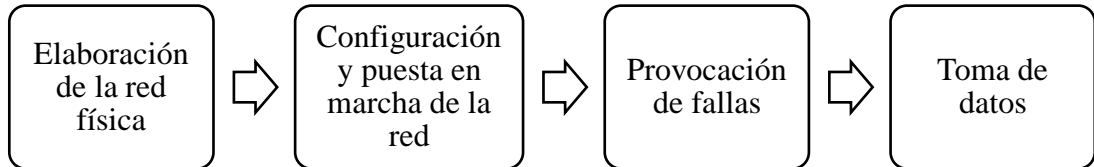


Fig. 4. 8. Acciones tomadas con la red de prueba.

Fuente: Investigador

Topología

Una red PROFIBUS-DP maneja una topología lógica de bus, dado que su se trata de una comunicación maestro-esclavo basada en el paso de testigo (token), aunque físicamente puede estar configurada como bus, árbol, estrella, anillo o anillo redundante. Para la red de prueba se optó por utilizar una topología física tipo bus, dado al número limitado de dispositivos con los que se contaba. En la figura 4.9. se puede ver el diagrama de la distribución de los equipos utilizados.

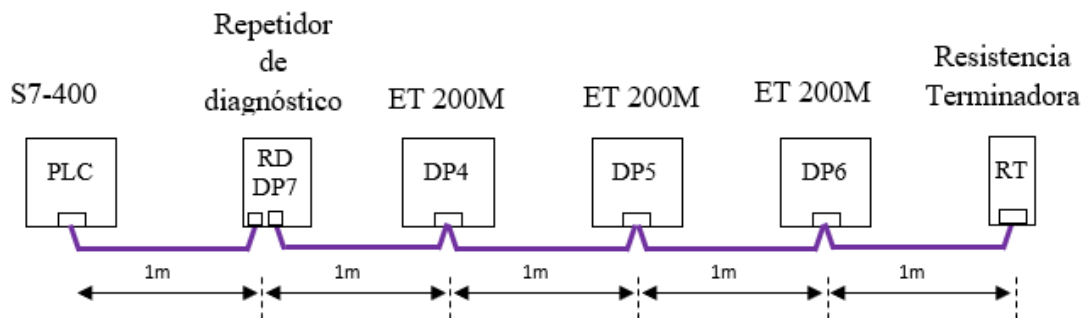


Fig. 4. 9. Topología red PROFIBUS-DP de prueba.

Fuente: Investigador

La estructura de la figura 4.9. fue utilizada en mayor medida con variantes en la longitud del cable para adquirir distintas señales. El montaje de todos los equipos se realizó en un tablero, junto a una fuente de alimentación para los dispositivos esclavos. Esto se puede observar en la figura 4.10. A cada esclavo se le proporciona una dirección específica con los dip-switches existentes en cada uno de ellos.

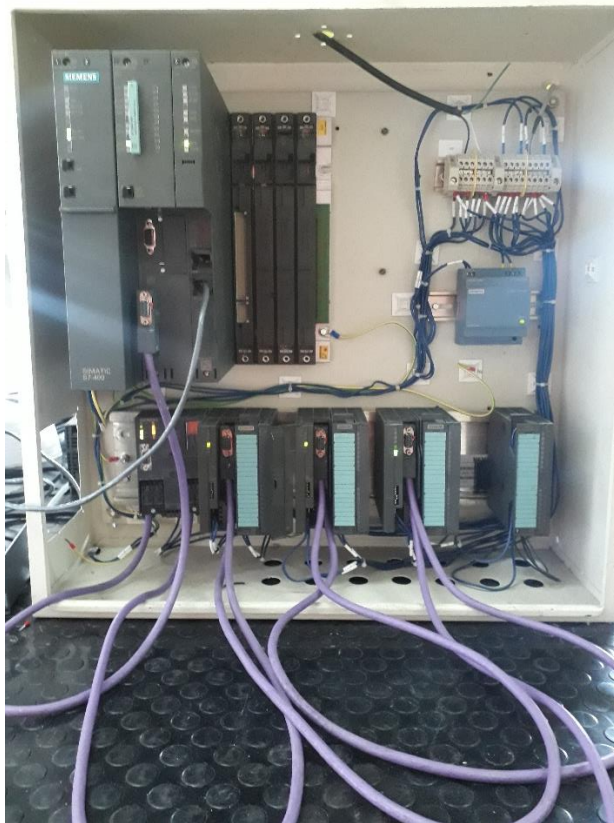


Fig. 4. 10. Tablero de prueba.

Fuente: Investigador

Configuración de la red

Ya con los equipos colocados en el tablero de pruebas es turno de la configuración de red con las herramientas especializadas brindadas por Siemens. La misma se lo realizó de la siguiente manera:

1. Crear un proyecto, para lo cual fue necesario abrir el administrados SIMATIC, esto se logra desde el botón de inicio, se abrirá una ventana en la cual se creará el proyecto, como se observa en la figura 4.11.



Fig. 4. 11. Abrir el Administrados SIMATIC.

Fuente: Investigador

2. En la parte superior izquierda del Administrador SIMATIC se elige la opción de file para posteriormente elegir “new Project” Wizard, como en la figura 4.12. el cual ayuda a crear un nuevo proyecto de forma automática.

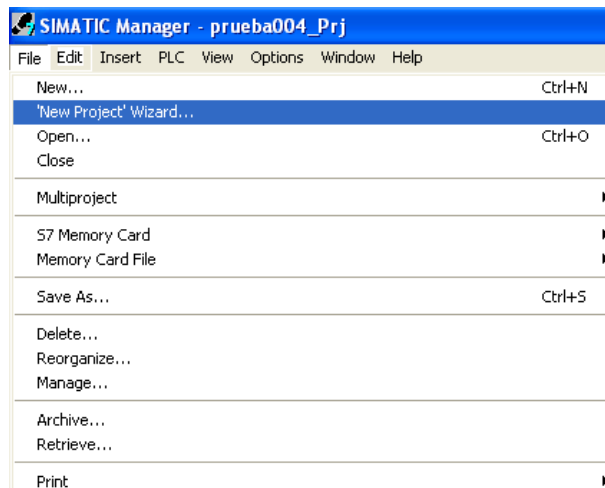


Fig. 4. 12. Inicio de la creación de un proyecto con el Administrador SIMATIC

Fuente: Investigador

- Una nueva ventana aparecerá tal como se muestra en la figura 4.13 iniciando la creación del proyecto al elegir la opción “Next”.

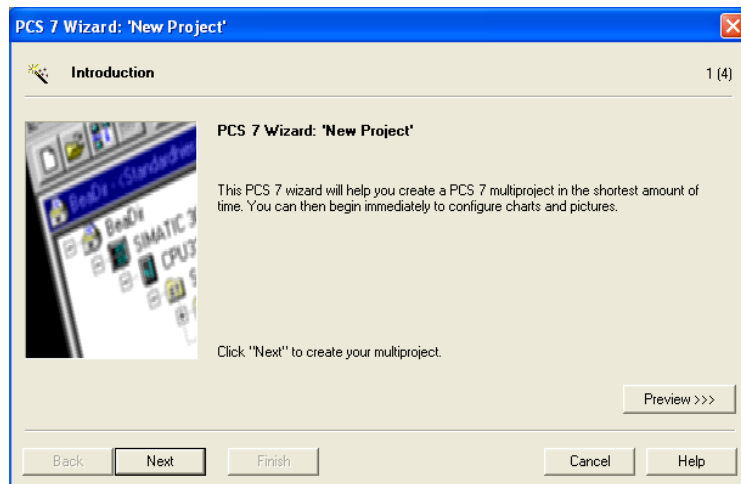


Fig. 4. 13. Introducción previa a la creación de un proyecto

Fuente: Investigador

- Una serie de ventanas irán apareciendo en las cuales se debe elegir las características del PLC con el que se trabajará, se elige la CPU que maneja el maestro en este caso fue el AS412-3 como se muestra en la figura 4.14.

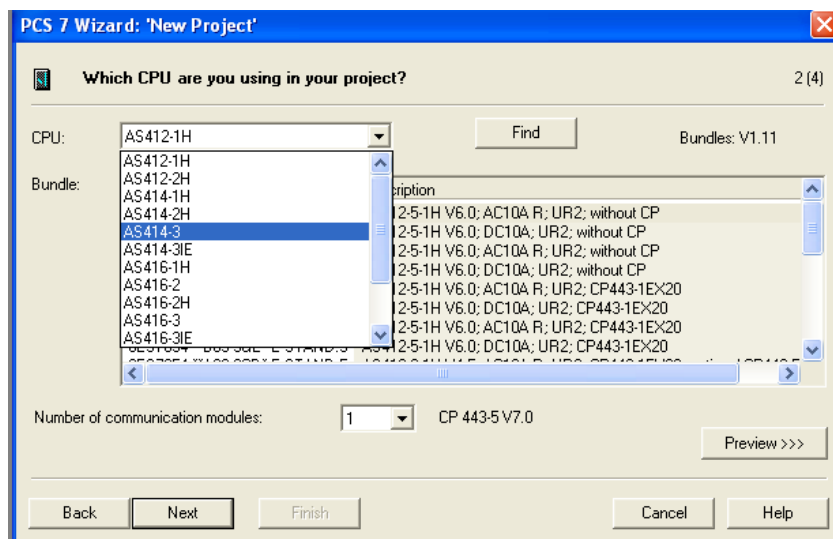


Fig. 4. 14. Elección de la CPU para el proyecto

Fuente: Investigador

- Se selecciona las demás las características que tiene la CPU como se pueden observar en la figura 4.15. de forma detallada la fuente de alimentación con la que trabaja el equipo y que tipo de CP maneja.

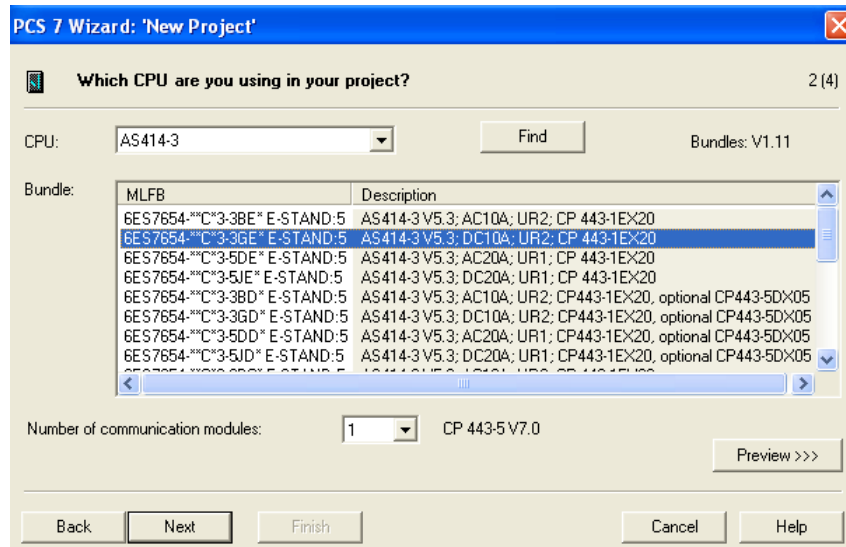


Fig. 4. 15. Definición de características de la CPU

Fuente: Investigador

6. Se confirma que tipos de objetos va a manejar y demás características con las que se va a crear el proyecto como en la figura 4.16.

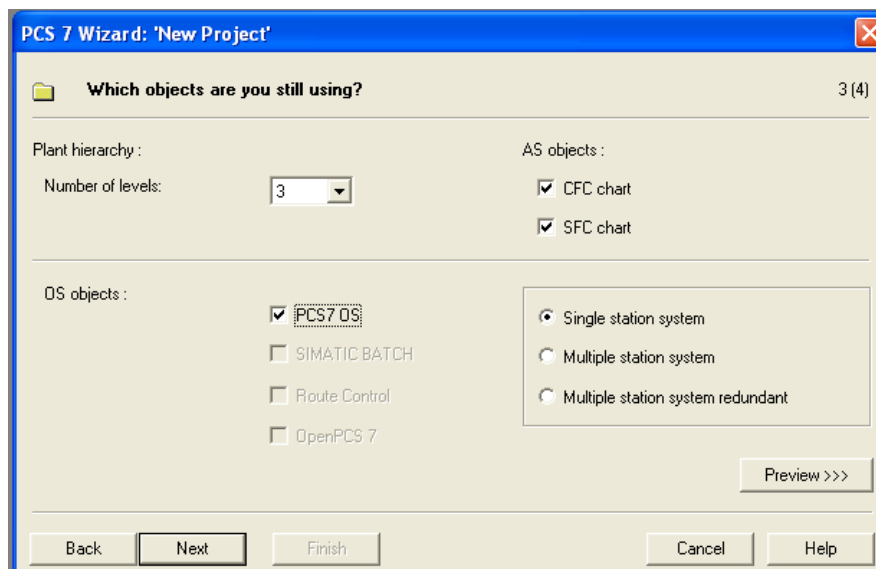


Fig. 4. 16. características del proyecto

Fuente: Investigador

7. Se le asigna una dirección en la que se creará el proyecto así como también el nombre que lo identificará en un futuro, así como la figura 4.17.

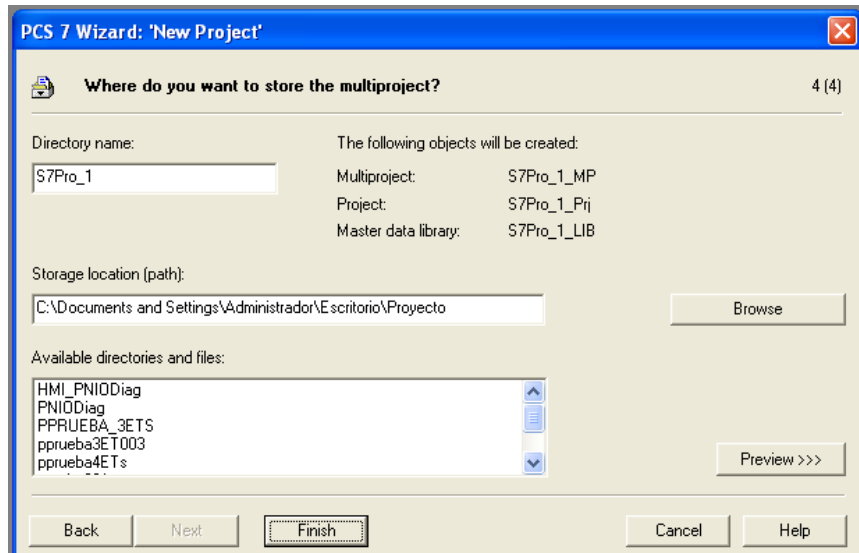


Fig. 4. 17. Nombre y ubicación del proyecto

Fuente: Investigador

8. El proceso de creación del proyecto durara unos minutos, mientras lo hace una pantalla como la de la figura 4.18. aparecerá.

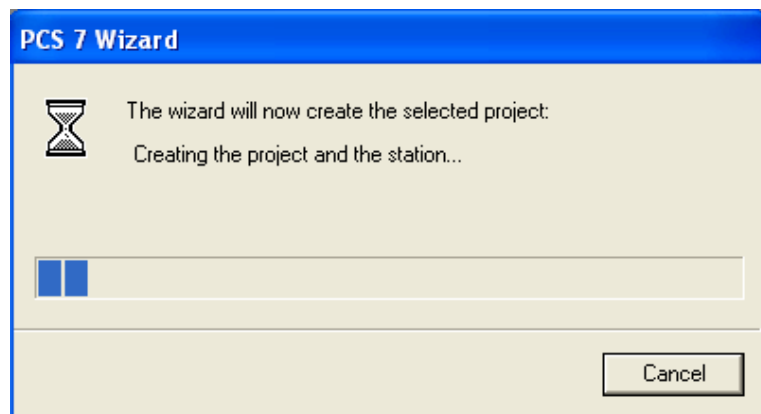


Fig. 4. 18. Progreso de creación

Fuente: Investigador

9. Finalmente, el proyecto se desplegará en una ventana con todas las características electas tal como se muestra en la figura 4.19.
10. Ya con el proyecto creado, el turno es de la configuración del Hardware. En la parte izquierda del administrador se observa una serie de ficheros, y también se encuentra representada la estación de trabajo como en la figura 4.20. en esta se configura el hardware.

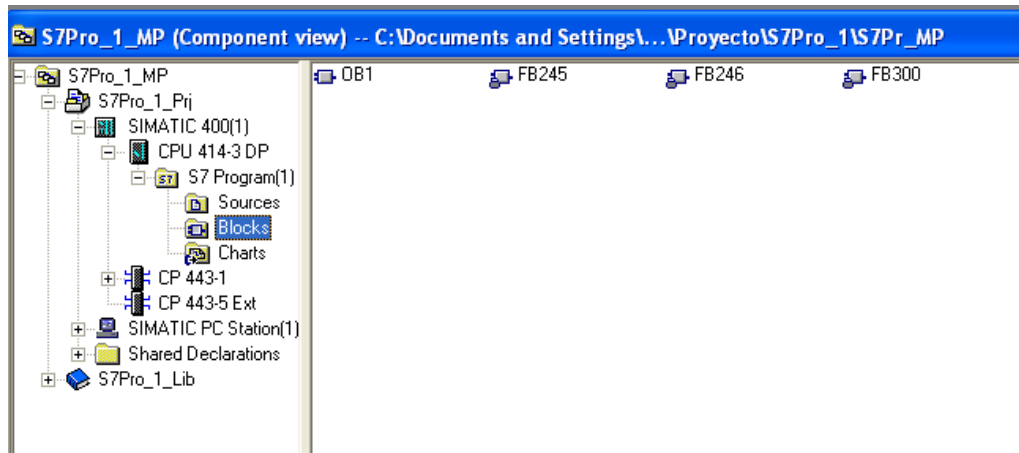


Fig. 4. 19. Proyecto SIMATIC creado

Fuente: Investigador

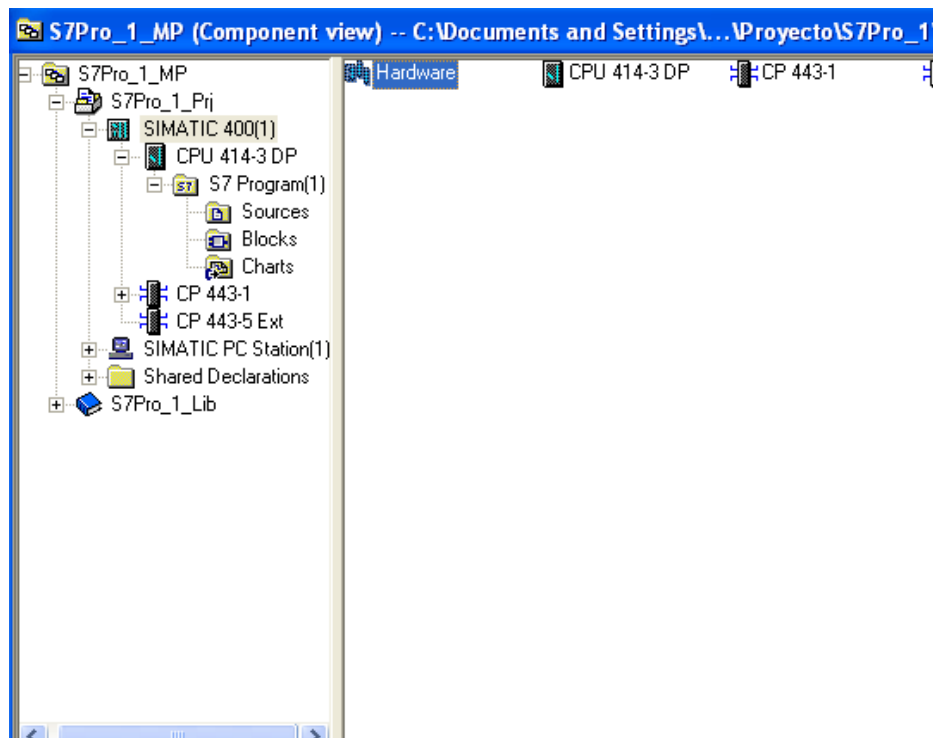


Fig. 4. 20. Archivos del proyecto creado

Fuente: Investigador

11. Al dar doble clic en el ícono que aparece como “hardware” otra ventana aparecerá esta se visualiza en la figura 4.21., en ella se encuentra representada un bastidor con las características e interfaces colocadas para el PLC.

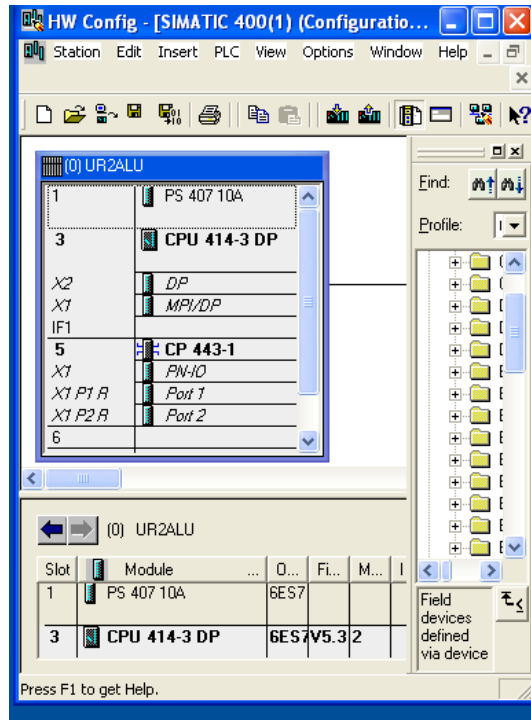


Fig. 4. 21. Bastidor del PLC

Fuente: Investigador

12. Dentro del bastidor se puede configura varias propiedades con la que va a trabajar el PLC como la interfaz PROFIBUS-DP, en la pestaña “General” se determina el nombre que identificará la red tal como se muestra en la figura 4.22.

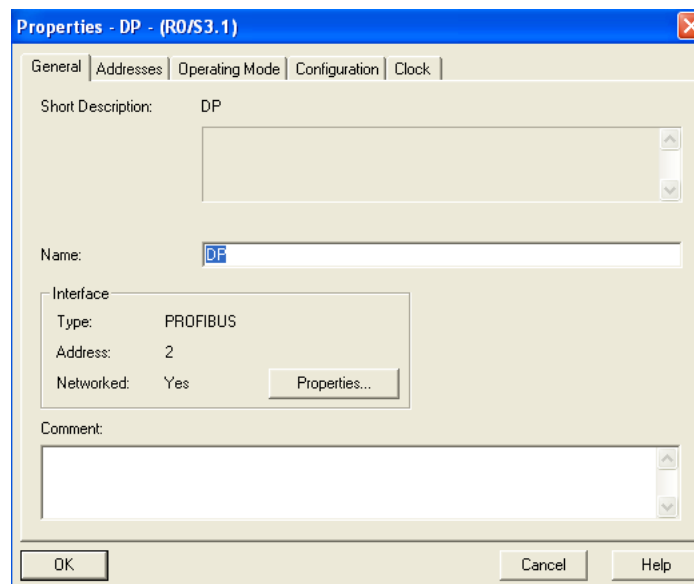


Fig. 4. 22. Establecimiento de nombre de la red

Fuente: Investigador

13. El botón de “Properties” desplegará una nueva ventana como se muestra en la figura 4.23. en esta se observa la dirección que por defecto tiene el maestro.

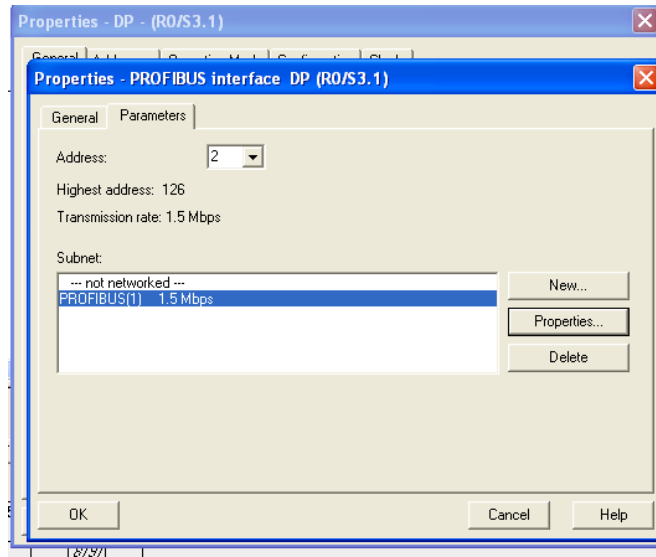


Fig. 4. 23. determinación de velocidad de trabajo

Fuente: Investigador

14. Para variar los parámetros de la subred hay que picarle al botón de “Properties” desplegando una ventana como se muestra en la figura 4.24. en la que se puede modificar la velocidad de transmisión y el perfil con el que se trabajará, en este caso DP.

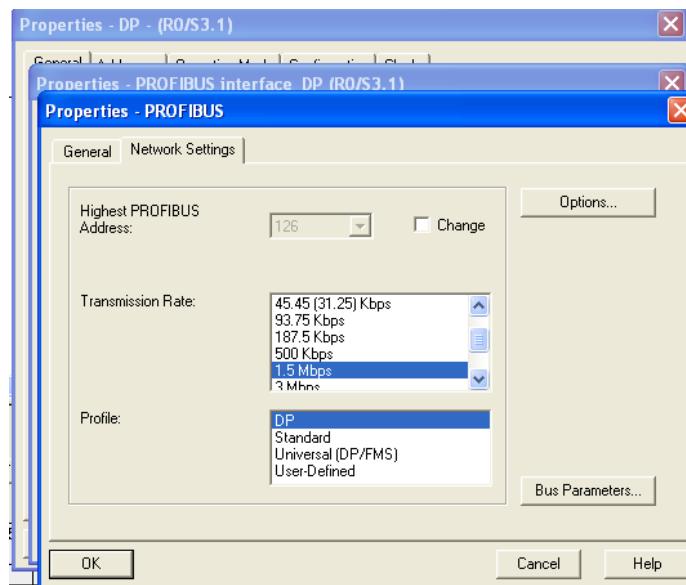
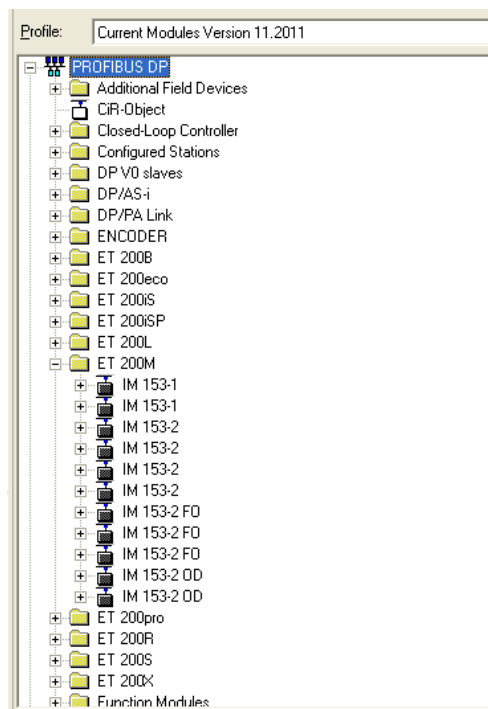


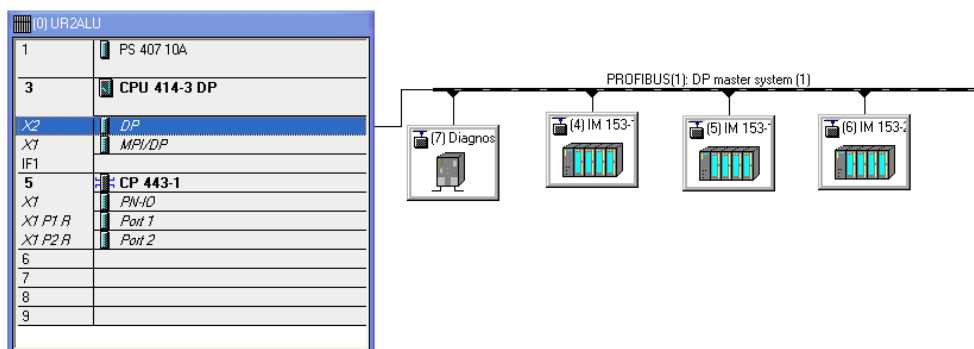
Fig. 4. 24. Ventana de ajustes de la red PROFIBUS

Fuente: Investigador

15. En la parte derecha de la ventana de configuración de hardware se encuentran todos los elementos que se pueden adicionar a la red como esclavos PROFIBUS tal como se aprecia en la figura 4.25. (a), si algún elemento no aparece en la lista, este puede ser adicionado con su respectivo archivo GSD. Los elementos se arrastran hasta la línea que representa el bus, se coloca en la posición deseada asignando la dirección de esclavo previamente colocada en el equipo real. En la figura 4.25. (b) se muestra como quedan los equipos conectados en la red.



(a)



(b)

Fig. 4. 25. Configuración de la red. (a) lista de elementos disponibles para la red (b) esclavos conectados a la red PROFIBUS-DP

Fuente: Investigador

16. Se verifica que las conexiones realizadas estén correctas en se configura la red ethernet para que se reconozca la computadora y poder descargar toda la configuración realizada a la CPU del PLC. En la figura 4.26. se observa la red armada en NetPro con todos los equipos utilizados.

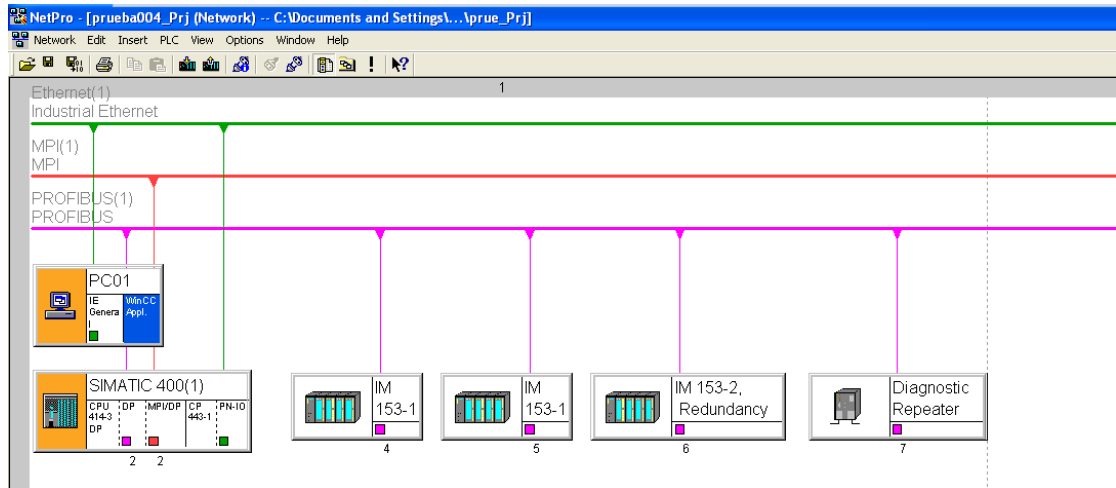


Fig. 4. 26. Red completa en NetPro.

Fuente: Investigador

Casos analizados

Los fallos más comunes son los siguientes:

- Onda sin fallas: en la figura 4.27. se observa la forma de una señal aceptable, es considerado como una señal aceptable cuando es una onda cuadrada con una amplitud de 5 V. como mínimo, también el voltaje en vacío debe tener el menor ruido posible, con una amplitud de 1 V. Por último, la reflexión que puede observarse en los pequeños picos de la parte inferior de la onda no debe ser exagerada. [26]
- Falta de terminación: cuando una resistencia terminadora no es conectada o el cable está roto, se produce una reflexión en el cable, con un efecto de “sube y baja” esta reflexión causa picos de voltaje en la señal, los sistemas expertos pueden interpretar la anchura de la distorsión e indica la distancia a la que se encuentra el daño. En la figura 4.28. se muestra este tipo de fallo. [26]

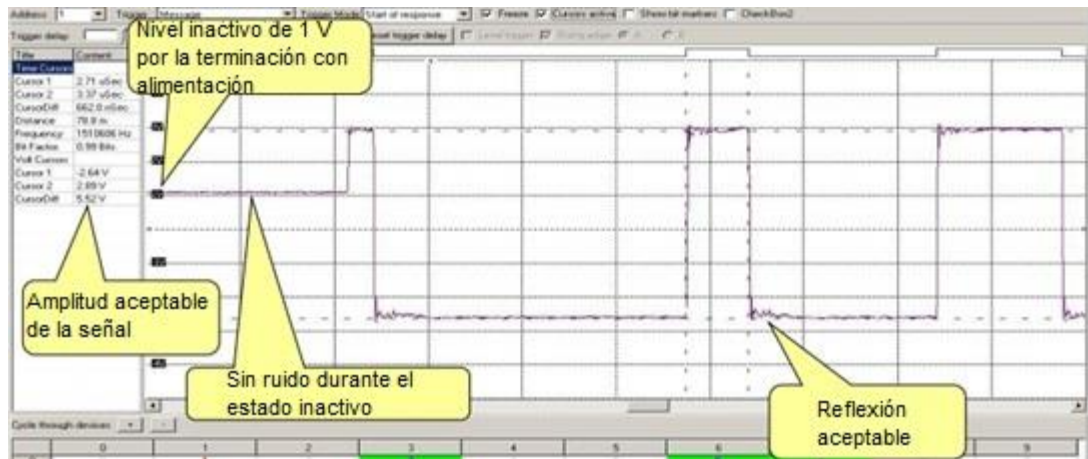


Fig. 4. 27. Señal aceptable en una red. [26]

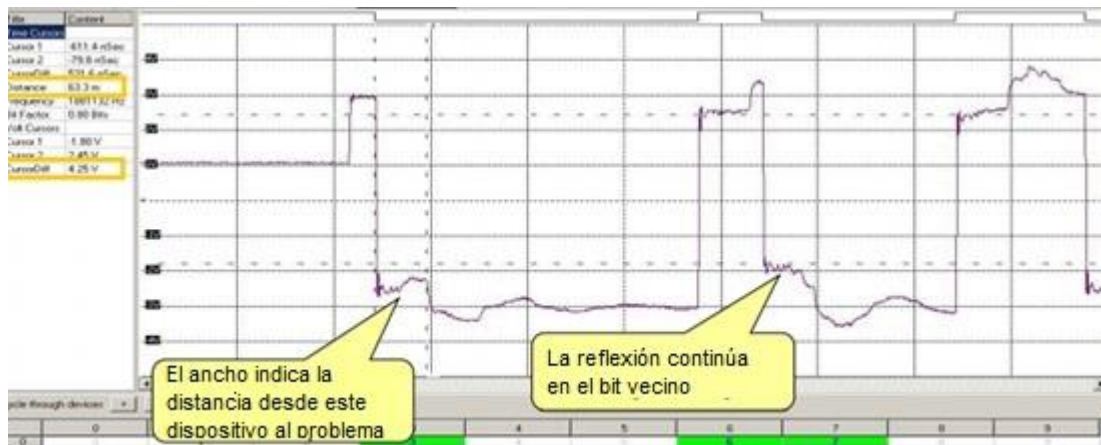


Fig. 4. 28. Señal sin resistencia terminadora. [26]

- c) Corto circuito entre A y B: cuando un corto circuito ocurre entre las dos líneas de transmisión, la reflexión que produce irá reduciendo la amplitud de la señal, mientras que el voltaje en vacío será prácticamente cero. La deformación en este caso puede indicar la distancia a la que se produjo el daño. En la figura 4.29. se observa un ejemplo de este tipo de fallas. [26]
- d) Corto circuito entre B y blindaje: cuando un corto circuito ocurre entre la línea B y el blindaje, así como entre el canal A y el blindaje, existe una pequeña desviación que es difícil de diagnosticar, por lo que se procede a analizar las formas de onda de cada canal por separado, en la figura 4.30. se muestra este fallo. [26]

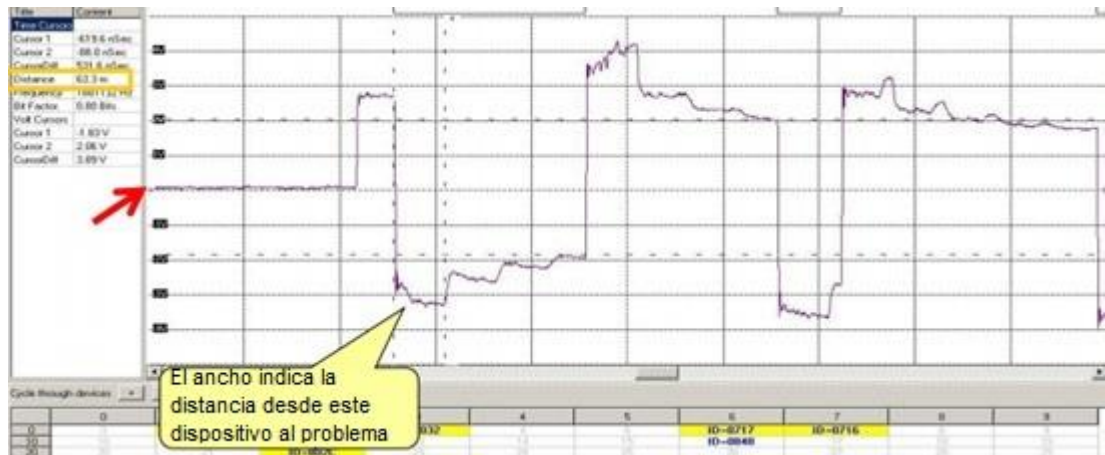


Fig. 4. 29. Señal con corto entre A y B. [26]



Fig. 4. 30. Corto circuito entre B y blindaje. [26]

- e) Cable excesivo: cuando existe un cable demasiado largo, este actúa como un condensador, lo que cambia la forma de la señal, El resultado es que, para una señal de onda cuadrada, el borde ascendente se redondea. Este efecto es más pronunciado cuanto más largo es el cable PROFIBUS. Si la señal cambia demasiado drásticamente, el receptor no podrá reconocerla correctamente. Puesto que la señal debería haber alcanzado el nivel de voltaje completo después del 50% del período de bits, a más tardar. Esto asegura una buena inmunidad al ruido incluso en presencia de otras interferencias. El comportamiento de la onda se puede observar en la figura 4.31. [25]

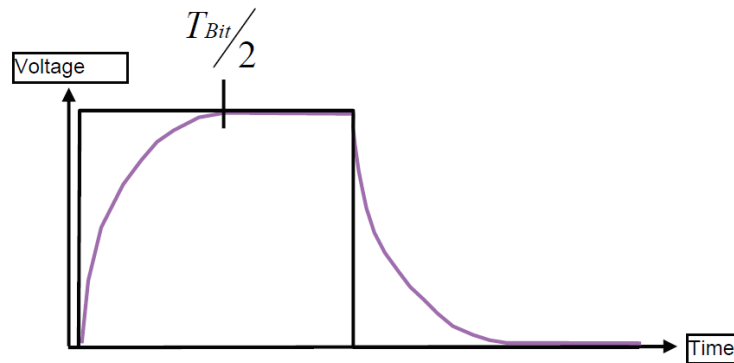


Fig. 4. 31. Cable demasiado largo. [25]

Utilizando un osciloscopio se observó distintas formas de onda al provocar fallas comunes en la red de prueba, las cuales se pueden observar en la figura 4.32 las ondas se asemejan mucho a las expuestas anteriormente con variaciones propias de la red utilizada. Las fallas expuestas son las que se entrenó la RNA para que pueda identificarlas.

4.6. ADQUISICIÓN DE DATOS

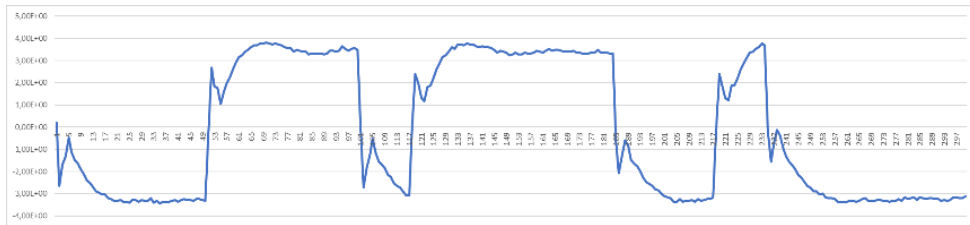
Para un buen entrenamiento de una red neuronal es necesario un amplio set de datos que representen cada uno de los fallos provocados. Para esta recolección de datos se utilizó el osciloscopio INSTRUSTAR ISDS25C y el SDK proporcionado por la empresa fabricante de este instrumento. El SDK consta de varios archivos como se muestra en la figura 4.33. el proyecto está definido con el nombre de DLLTEST.vcxproj.user.

Se trabajó con estos archivos, editando el código de tal manera que se ajusten a los requeridos para la recolección de datos que sirvieron para el entrenamiento de la RNA. Para la edición del código se utilizó Microsoft Visual Studio, al ejecutar el proyecto se tiene una ventana como la que se muestra en la figura 4.34.

En la aplicación se observó algunos parámetros que se pueden variar, uno de ellos fue el botón “Capture” que al presionarlo la señal que existe en cada uno de los canales del osciloscopio se visualice en la pantalla negra existente en la aplicación.



a)



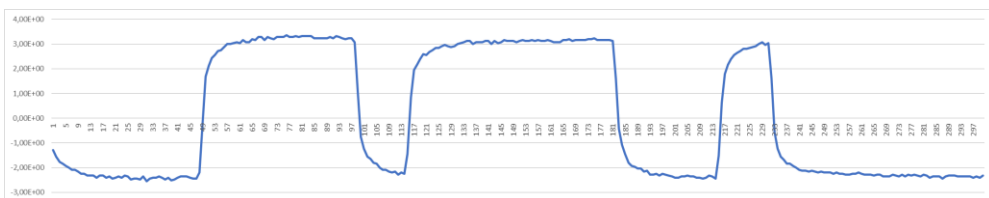
b)



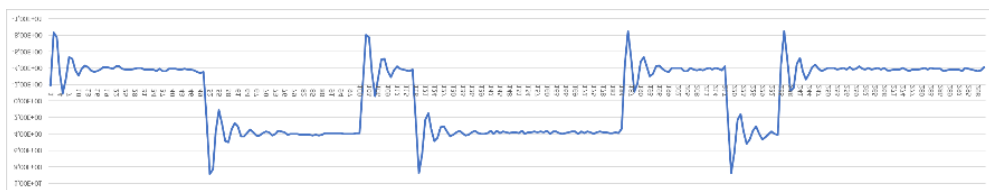
c)



d)



e)



f)

Fig. 4. 32. Formas físicas de las fallas analizadas con la RNA a) onda aceptable, b) corto A-Blindaje, c) corto B-Blindaje, d) corto A-B, e) cable largo, f) sin resistencia terminadora

Fuente: Investigador

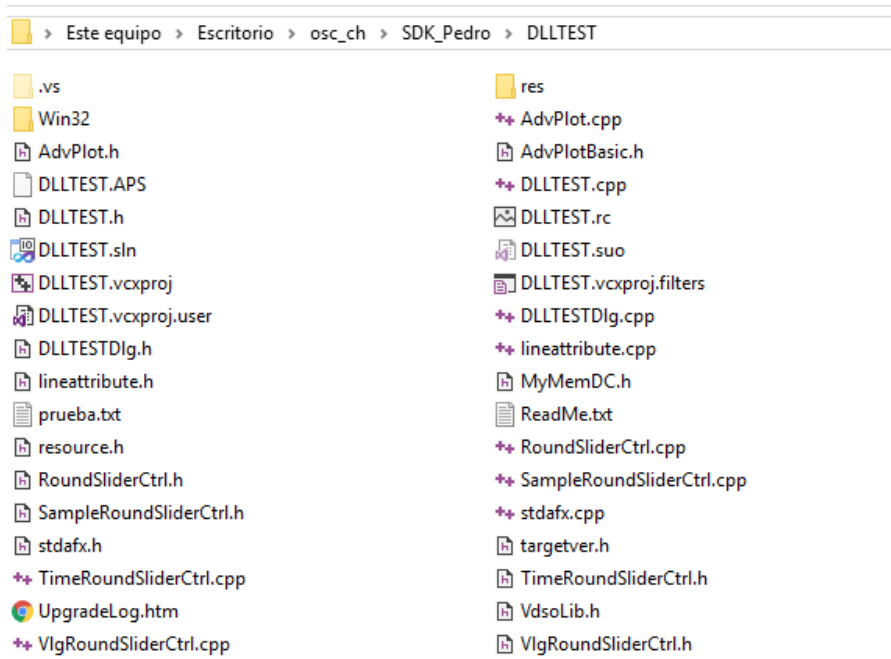


Fig. 4. 33. Archivos proporcionados por el SDK.

Fuente: Investigador

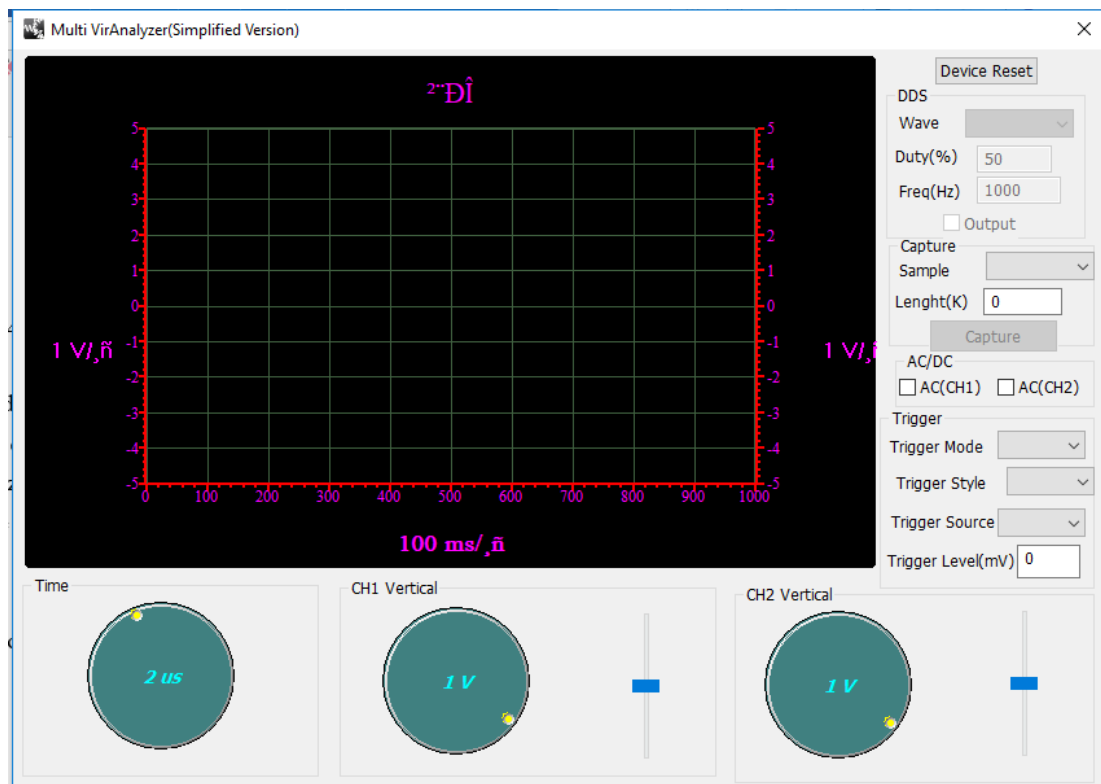


Fig. 4. 34. Ejecución del SDK de INSTRUSTAR

Fuente: Investigador

Las formas de onda solo se visualizan al presionar este botón y no es una visualización constante. Algunos de los parámetros se cargan automáticamente al conectar el osciloscopio al computador, la aplicación reconoce automáticamente y habilita las opciones disponibles para cada osciloscopio.

Se requerían los puntos que aparecían en la pantalla de la aplicación que se visualizaban al momento de capturar las entradas del osciloscopio, para esto: dentro del código principal contenido en el archivo CDLLTESTDlg.cpp se buscó un arreglo en el que los datos se guardaban, dicho arreglo se encontró dentro de la función que aparece en la figura 4.35.

```

LRESULT CDLLTESTDlg::OnDataUpdateMsg(WPARAM wParam, LPARAM lParam)
{
    double* buffer = new double[m_real_length];
    for (int channel = 0; channel < 2; channel++)
    {
        unsigned int length = ReadVoltageDatas(channel, buffer, m_real_length);
        int outrange = IsVoltageDatasOutOfRange(channel);
        TRACE("%d is outrange %d\n", channel, outrange);
        bool addline = false;
        if (!m_plot.HaveLine(CH_NAME[channel]))
            addline = true;
        else if (m_plot.GetBufferLength(CH_NAME[channel]) != length)
        {
            m_plot.DestroyLine(CH_NAME[channel]);
            addline = true;
        }
        if (addline)
        {
            lineattribute line;
            line.pctName = CH_NAME[channel];
            line.clr = channel == 0 ? RGB(255, 0, 0) : RGB(255, 255, 0);
            line.lr_lengend = channel == 0 ? -1 : 1;
            line.buf = NULL;
            line.length = m_real_length;
            m_plot.CreateLine(&line);
        }
        double timelength = length * 1000000000.0 / m_sample;
        //r-----h-----ns
        //m_plot.ChangeDatas(CH_NAME[buffer->channel-1], (signed char*)(buffer-
        >buffer+buffer->trigger_pos), buffer->length-buffer->trigger_pos);
        m_plot.ChangeDatas(CH_NAME[channel], buffer, length, 0, timelength);
    }
    delete[] buffer;
    m_plot.Redraw();
    UpdateData(FALSE);
    return 0;
}

```

Fig. 4. 35. Función para graficar las formas de onda.

Fuente: Investigador

Las variables de interés del código de la figura 4.35. son: buffer y channel, el primero hacer referencia a los valores de amplitud que se guardan en esta variable de tipo

arreglo, mientras que el segundo está relacionado con los canales de entrada del osciloscopio. Los datos necesarios para el entrenamiento de la RNA debían ser guardados en un archivo por lo que se incluyó código siguiendo la estructura de la figura 4.36.

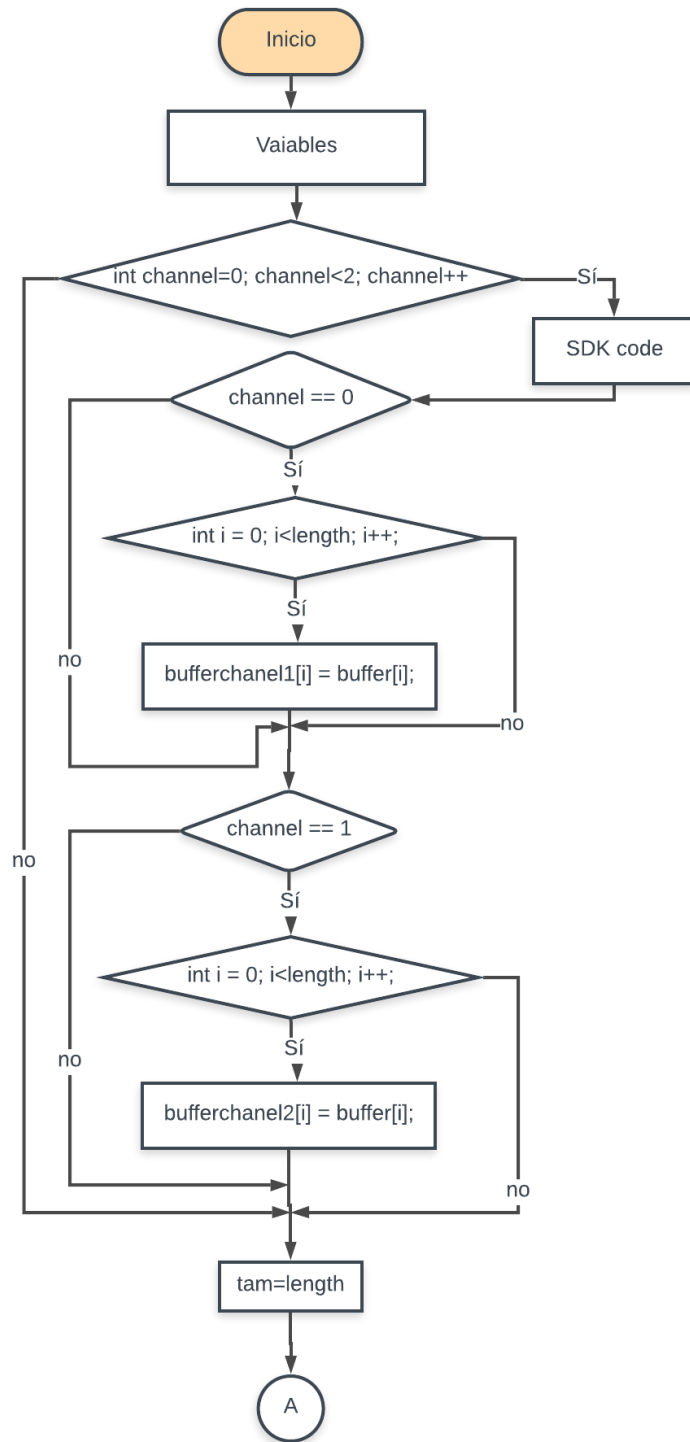


Fig. 4. 36. Estructura para guardar datos de los dos canales.

Fuente: Investigador

El diagrama de flujo de la figura 4.36, representa la parte que se adicionó dentro del bucle for principal que también está representado, no se tomó en cuenta los demás procesos existentes sin embargo está incorporado como una casilla denominada “SDK code” dentro del diagrama. Tanto en las variables `bufferchanel1` como en `bufferchanel2` se encuentran las muestras de amplitud de la señal capturada. Lo siguiente fue guardar estos datos en un archivo con un determinado formato lo cual se realizó en base al diagrama de flujo de la figura 4.37.

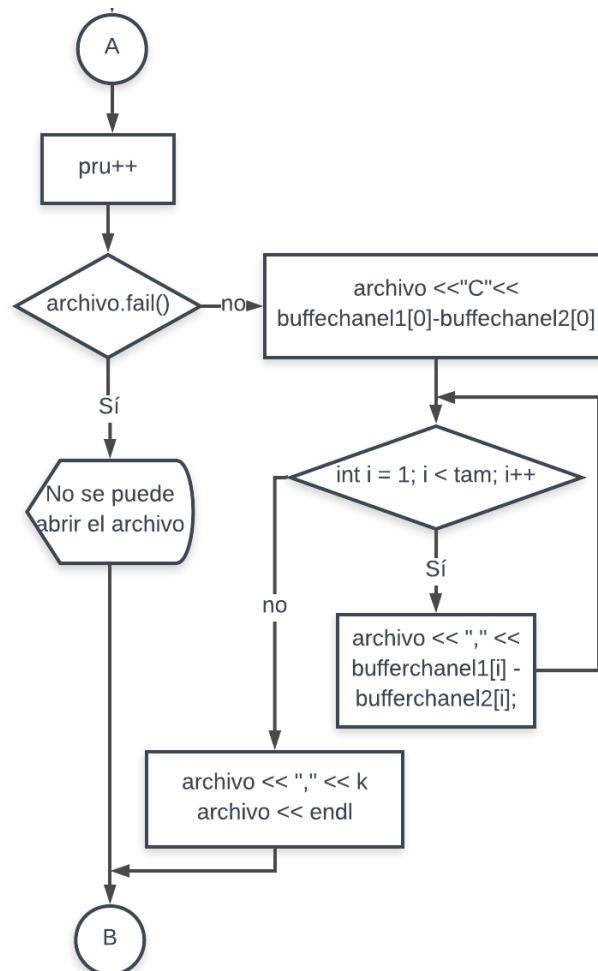


Fig. 4. 37. Guardar datos en un archivo.

Fuente: Investigador

La variable “`pru`” sirve para validar la existencia del archivo en el que se va a guardar todos los datos se realiza una validación y si el archivo existe se continúa con la generación del archivo. La señal necesaria para el entrenamiento es el resultado de restar los valores de amplitud del canal uno con el canal dos. Los datos son guardados en una fila cada valor separado por una coma, al final del bucle se adiciona una etiqueta

“k” que representa el tipo de fallo registrado y un salto de línea para cuando la siguiente captura llegue. En el anexo C se encuentra el código de la figura 4.37. con el código adicionado.

Al presionar el botón de “capture” una medición se registraba en el archivo, sin embargo, para un buen entrenamiento de una RNA se necesita de muchas muestras, y presionar el botón a cada momento resultaba tedioso, para simplificar esto se introdujo en un ciclo dentro de la función de botón para que se pudiera adquirir un numero razonable de muestras con cada pulso de botón. La función y su variación se muestran en la figura 4.38.

<pre>void CDLLTESTDlg::OnBnClickedBtnCapture() { UpdateData(TRUE); m_real_length = Capture(m_capture_length,0); m_real_length*=1024; }</pre>	<pre>void CDLLTESTDlg::OnBnClickedBtnCapture() { for (int j = 0;j < m;j++) { UpdateData(TRUE); m_real_length = Capture(m_capture_length,0); m_real_length*=1024; } }</pre>
--	---

(a) (b)

Fig. 4. 38. Función de captura de datos a) antes, b) después.

Fuente: Investigador

El parámetro m dentro del bucle for indica el número de mediciones que se realizó al presionar el botón “capture”. Se especifico valores de entre 100 hasta un número máximo de 5 mil mediciones por cada caso de estudio, para poder armar el set de datos para el entrenamiento de la RNA.

4.7. RED NEURONAL ARTIFICIAL

Para la elaboración de la red neuronal se utilizó los programas y paquetes indicados en el apartado 4.4.2., trabajándose bajo el entorno de Jupyter Notebook, el tipo de entrenamiento fue supervisado, dado que se conocía las entradas y las salidas de la RNA. La estructura del proyecto creado está basada en la figura 4.39.

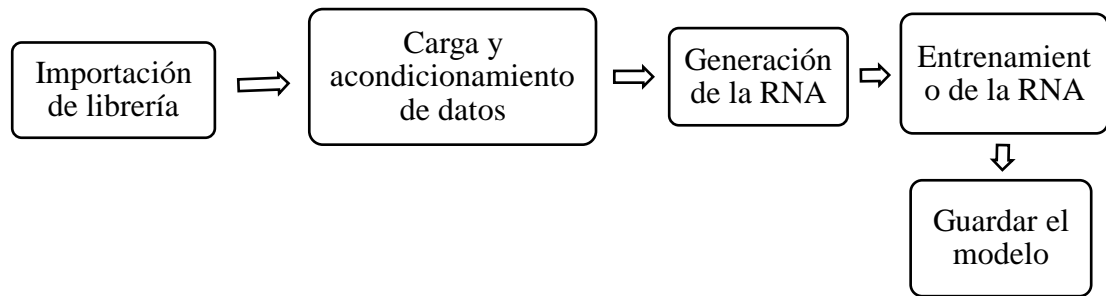


Fig. 4. 39. Etapas para la creación de la RNA.

Fuente: Investigador

Importación de librerías

Para iniciar con la creación de la red es necesario importar todas las librerías con las que se trabajara tanto la red como los datos. La figura 4.40. muestra las librerías utilizadas y la manera de importarlas.

```

In [1]: import keras
        from keras.models import Sequential
        from keras.layers.core import Dense, Activation, Dropout
        from sklearn.model_selection import train_test_split
        from sklearn.metrics import confusion_matrix
        from sklearn import preprocessing
        import pandas as pd
        import numpy as np
        import matplotlib.pyplot as plt
        import itertools
        from sklearn.metrics import accuracy_score
        from sklearn.metrics import precision_score
        from sklearn.metrics import recall_score
        from sklearn.metrics import f1_score
        from sklearn.metrics import average_precision_score
        from sklearn.model_selection import KFold
        #matplotlib inline
  
```

Fig. 4. 40. Importación de paquetes.

Fuente: Investigador

Las librerías de Keras servirán para la creación de las capas con sus parámetros para un posterior entrenamiento. Los paquetes de sklearn fueron utilizados para evaluar la efectividad del modelo generado, también para poder separar el set de datos. Para importar el set de datos se utilizó la librería de pandas. Las librerías adicionales sirvieron para evaluar el modelo entrenado.

Carga y preparación de datos

El set de datos se encuentra en un archivo tipo csv, en su primera columna posee el nombre del caso que se provocó en la red PROFIBUS de prueba, la segunda columna está representada por un parámetro que no es relevante para el entrenamiento, la última columna contiene las etiquetas de cada evento generado. En la Tabla 4.9. se muestra la estructura del set de datos. Las muestras generadas por cada captura son 1020 y estas son las que se enviaron para el entrenamiento de la RNA.

Tabla 4. 9. Estructura del set de datos

Estado-red	Ch1+Ch2	1	2	...	1019	1020	Etiqueta
Bien	C	xxx	xxx	...	xxx	xxx	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
CortoA-B	C	xxx	xxx	...	xxx	xxx	2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
CortoA-Blindaje	C	xxx	xxx	...	xxx	xxx	3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
CortoB-Blindaje	C	xxx	xxx	...	xxx	xxx	4
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Sin_Resistencia	C	xxx	xxx	...	xxx	xxx	5
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Cable_Largo	C	xxx	xxx	...	xxx	xxx	6
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Fuente: Investigador

En la figura 4.41. se muestra como cargar el set de datos a una variable, las etiquetas se colocan en la variable `y_train` mientras que `data_names` contiene en una matriz los nombres de los eventos provocados en la red PROFIBUS estos están guardados de la siguiente manera: ['Bien', 'CortoA-B', 'CortoA-Blindaje', 'CortoB-Blindaje', 'Sin_Resistencia', 'Cable_Largo']. Finalmente se guarda los datos para el entrenamiento en la nueva variable `data_train` exceptuando las dos primeras columnas y la última.

```
In [2]: data_train=pd.read_csv("bien5000datosC5.csv")
y_train=data_train[data_train.columns[-1]]
data_names=[]
for i in data_train[data_train.columns[0]]:
    if i not in data_names:
        data_names.append(i)
data_train=data_train[data_train.columns[2:-1]]
```

Fig. 4. 41. Carga de datos en variables.

Fuente: Investigador

Se preparó los datos de tal manera que se dividió en dos partes, en datos de entrenamiento y en datos de prueba, los primeros servirán para generar el modelo, mientras que los segundos será para comprobar que tan bien fue entrenado el modelo. En la figura 4.42 se muestra la línea de comando para realizar esta división, el parámetro `test_size` se utiliza para indicar el porcentaje de datos que se toma para test, por último, se debe ajustar las etiquetas al formato que maneja keras, esto se logra con las cuatro líneas de código del final.

```
x_train,x_test, y_train, y_test0 =train_test_split(data_train.as_matrix(),y_train.as_matrix(),test_size=0.3)
print(np.count_nonzero(y_test0==1))
print(np.count_nonzero(y_test0==2))
print(np.count_nonzero(y_test0==3))
print(np.count_nonzero(y_test0==4))
print(np.count_nonzero(y_test0==5))
print(np.count_nonzero(y_test0==6))
#Cambiar matrices a Formato para entrenamiento con ANN
y_t=(np.asarray([[i] for i in y_train],dtype=np.int)-1) #convertir etiquetas a formato Keras
y_ent=keras.utils.to_categorical(y_t, num_classes=6) #convertir etiquetas a formato Keras
y_te=np.asarray([[i] for i in y_test0],dtype=np.int)-1 #convertir etiquetas a formato Keras
y_test=keras.utils.to_categorical(y_te, num_classes=6) #convertir etiquetas a formato Keras
```

Fig. 4. 42. Carga de datos en variables.

Fuente: Investigador

Generación de la RNA

El funcionamiento de las redes neuronales artificiales se asemeja mucho al del ser humano, con conexiones entre neuronas que llevan información o la guardan según su importancia. Las RNA están compuestas por tres capas; la capa que recibe los datos a analizar es denominada capa de entrada, los resultados esperados están ubicados hasta el final de la red y se la conoce como capa de salida, entre estas dos capas pueden estas muchas capas más, pero por lo general a este grupo se la conoce como capa oculta. Cada capa posee en su interior múltiples neuronas interconectadas entre capa y capa,

las neuronas poseen un valor numérico denominado peso, este va cambiando conforme el entrenamiento avanza, la suma de las entradas multiplicadas por sus pesos asociados determina la activación de la neurona. Los nuevos valores obtenidos salen de las neuronas y continúan su camino por la red.

Lo que se buscó es la construcción de una red multicapa como la que se muestra en la figura 4.43. para lo cual se utilizó las herramientas que brinda keras.

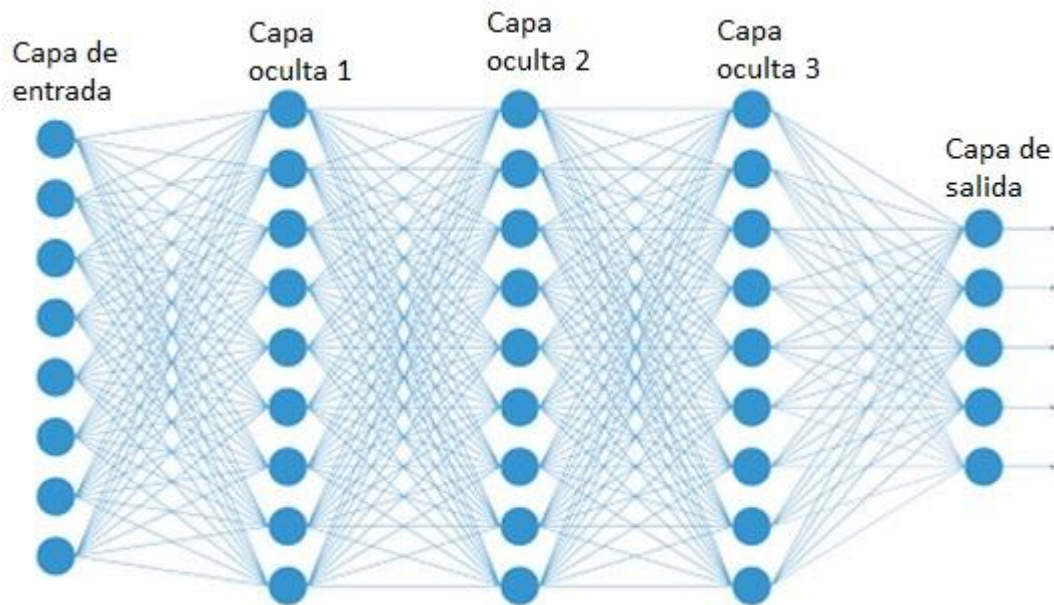


Fig. 4. 43. Estructura de una red neuronal multicapa. [41]

En la figura 4.44. se muestra el código necesario para la creación de una red neuronal. El modelo que se utilizó para crear la red neuronal fue Sequential por su fácil manejo, después de esto se puede adicionar las capas que se requiera especificando el tipo de activación deseada. En la primera capa se especifica el número de entradas que va a tener la red, con el parámetro `input_dim` el cual toma el valor de 1020 que es el número de muestras de cada medida del osciloscopio. En la última capa se especifica el número de salidas que tiene la red.

En cada capa se adiciona el tipo de activación que van a tener las neuronas, estas son: 'relu' Rectified Linear Unit este tipo de activación garantiza que la salida sea un valor positivo; 'softmax' este tipo de activación se utiliza en la capa de salida para garantizar

que todas las salidas de la red estén entre cero y uno, y que se sumen a una en cada paso del tiempo. Esto significa que pueden interpretarse como las probabilidades que cada una de las neuronas reciba un porcentaje de acierto.

```

model = Sequential() #envoltura para el modelo
model.add(Dense(1000, activation='relu', input_dim=x_train.shape[1]))
model.add(Dropout(0.2))
model.add(Dense(100, activation='relu'))
model.add(Dropout(0.2))
model.add(Dense(25, activation='relu'))
model.add(Dense(6, activation='softmax'))
model.compile(loss=keras.losses.categorical_crossentropy,
              optimizer=keras.optimizers.Adadelta(lr=1, rho=0.98, epsilon=1e-8, decay=0.001), metrics=['accuracy'])
history=model.fit(x_train,y_ent,epochs=20,batch_size=32)

```

Fig. 4. 44. Estructura en código de una red neuronal.

Fuente: Investigador

El parámetro Dropout elimina aleatoriamente neuronas y sus conexiones dentro de la red como se muestra en la figura 4.45. Lo que provoca principalmente esto es que el entrenamiento sea más rápido, reduciendo horas o incluso días en la generación de un modelo. Además, este método de desactivación ayuda a que no exista un sobreajuste, al estar conectada completamente una capa, esta crea codependencia entre sus neuronas en el entrenamiento.

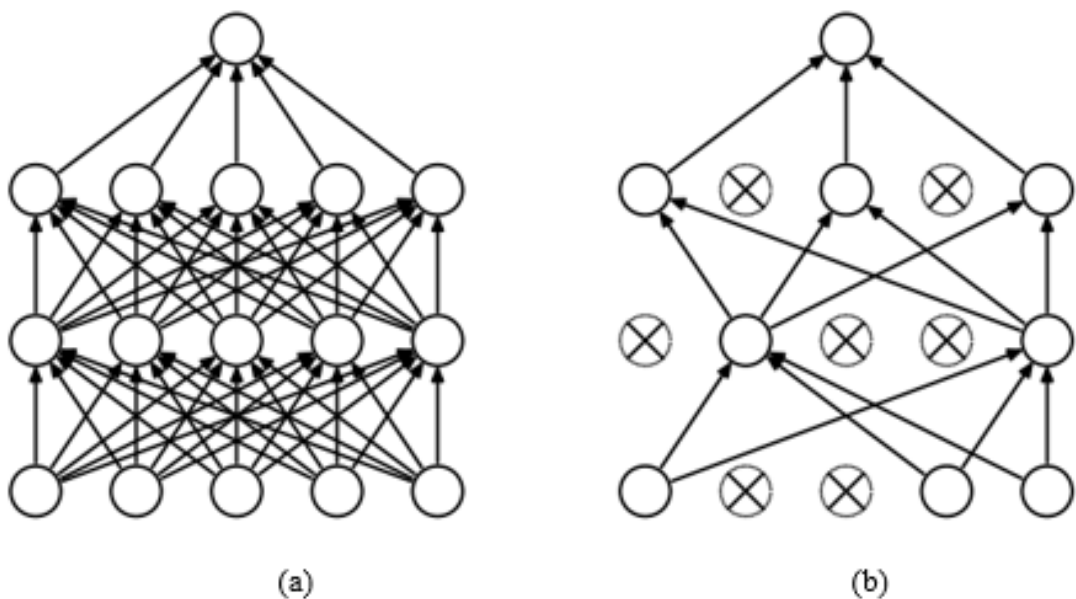


Fig. 4. 45. (a) Red neuronal estándar (b) Red después de aplicar dropout. [48]

Para compilar es necesario agregar algunos argumentos como son los optimizadores. Se utilizó el optimizador adadelta para gradiente desecinte. El método se adapta dinámicamente con el tiempo utilizando solo información de primer orden y tiene una sobrecarga computacional mínima más allá del descenso del gradiente estocástico de vainilla. La métrica utilizada para evaluar el aprendizaje de la red fue accuracy que sirvió para los análisis finales.

Los parámetros mencionados anteriormente son los más importantes para la creación de la red neuronal, luego de haber sido especificados estos, se procedió al entrenamiento del modelo, colocando el número de épocas y el tamaño de muestras que pasaran para no saturar el procesador.

Guardar el modelo entrenado

El tiempo de entrenamiento osciló entre 30 minutos a 15 horas, dependiendo de los parámetros que se variaron dentro de la red, por lo que fue necesario guardar cada modelo entrenado, esto se logra con el comando “model.save('model.h5’)” el cual genera un archivo para futuras predicciones. La estructura del modelo guardado se puede observar con el comando “model.summary()” el cual devuelve un resultado como el de la figura 4.46.

```
model.summary()
```

Layer (type)	Output Shape	Param #
dense_274 (Dense)	(None, 4000)	4084000
dropout_140 (Dropout)	(None, 4000)	0
dense_275 (Dense)	(None, 1000)	4001000
dropout_141 (Dropout)	(None, 1000)	0
dense_276 (Dense)	(None, 75)	75075
dense_277 (Dense)	(None, 6)	456
Total params: 8,160,531		
Trainable params: 8,160,531		
Non-trainable params: 0		

Fig. 4. 46. Estructura de un modelo entrenado.

Fuente: Investigador

4.8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Red neuronal

Las primeras pruebas de entrenamiento se realizaron con sets de datos relativamente pequeños (400 mediciones por caso), sin embargo, los resultados no fueron tan alentadores, como se puede observar en la figura 4.47. (a) la curva de aprendizaje no converge en un valor aceptable. Por lo que se optó por aumentar el número de mediciones a 1000, 2000 (figura 4.47 (b) y (c)) y finalmente 5000 mediciones por caso, con este se obtuvo mejores resultados reflejados en la figura 4.47. (d). En total el set de datos utilizado consta de 30000 mediciones realizadas en la red PROFIBUS-DP de prueba.

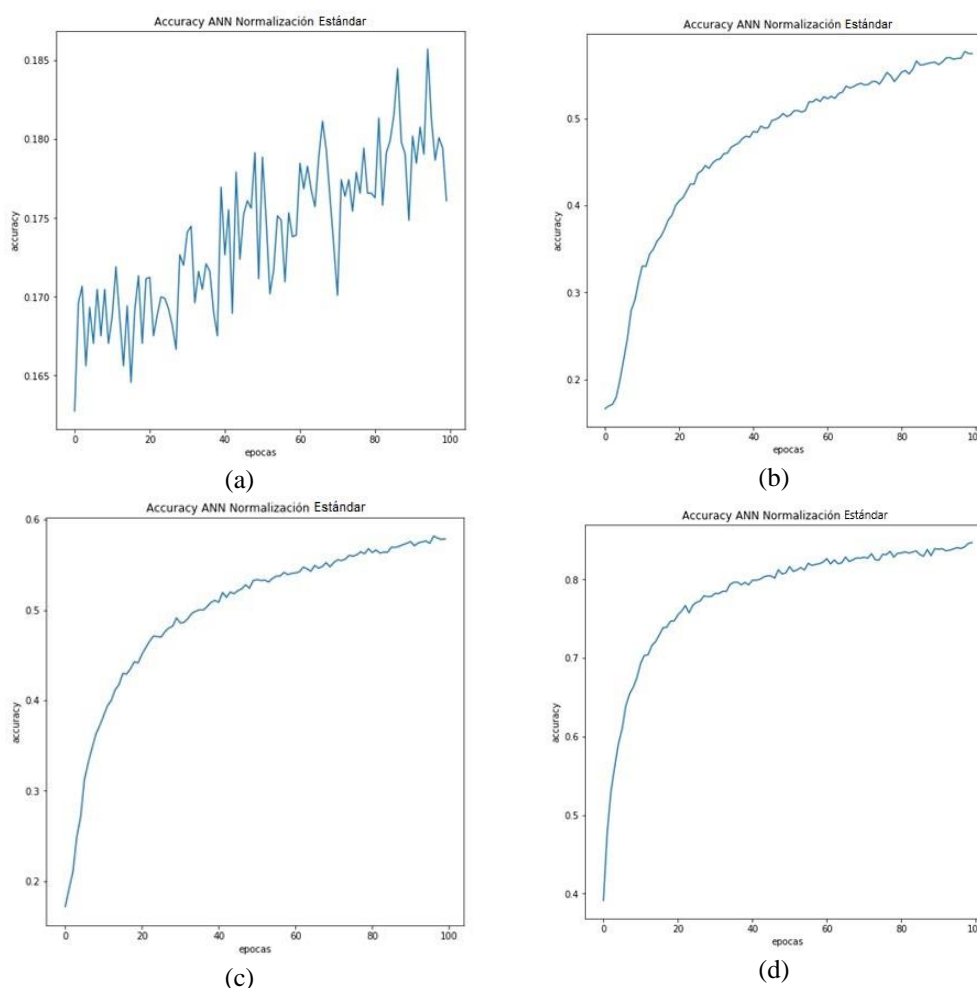


Fig. 4.47. Curva de aprendizaje (a) 400 mediciones por caso (b) 1000 mediciones por caso (c) 2000 mediciones por caso (d) 5000 mediciones por caso

Fuente: Investigador

Se realizó algunos entrenamientos modificando el código que se observa en la figura 4.48. con variantes en el número de capas, número de neuronas en cada capa, épocas y otros parámetros, arrojando distintos resultados en relación con la precisión que tenía el modelo.

```

model = Sequential() #envoltura para el modelo
model.add(Dense(4000, activation='relu', input_dim=x_train.shape[1]))
model.add(Dropout(0.2))
#model.add(Dense(50, activation='relu'))
#model.add(Dropout(0.2))
model.add(Dense(75, activation='relu'))
#uints dimensi Número de neuronas en la capa
model.add(Dense(6, activation='softmax'))
model.compile(loss=keras.losses.categorical_crossentropy,
              optimizer=keras.optimizers.Adadelta(lr=1, rho=0.98, epsilon=1e-8, decay=0.001),
              metrics=['accuracy'])

```

Fig. 4.48. Código para variación de parámetros de la red

Fuente: Investigador

Para evaluar el modelo se tomó en cuenta el “accuracy”. El accuracy (precisión) se lo puede considerar como el porcentaje de aciertos dentro de una red neuronal, el accuracy es la medida de rendimiento más intuitiva y es simplemente una relación entre la observación predicha correctamente y el total de observaciones, se calcula con la ecuación 10, y se lo realiza con los datos que quedaron para prueba.

$$accuracy = \frac{TP+TN}{TP+FP+FN+TN} \tag{10}$$

En donde los valores de True Positive (TP), True Negative (TN), False Positive (FP) y False Negative (FN) están representados en la matriz de confusión que se muestra en la figura 4.49.

En la Tabla 4.10 se muestra las variaciones en la estructura de la red neuronal con el accuracy medido con el set de prueba en cada caso. Mediante esta tabla se pudo establecer la mejor estructura de la red neuronal.

De la Tabla 4.10 se puede analizar que el valor de accuracy no depende únicamente de una variación en el diseño de la red neuronal, se varió las capas ocultas entre dos y tres, observando que con dos capas ocultas se puede acercar a un accuracy muy

parecido al que se logra con tres capas ocultas, dependiendo en este caso del número de neuronas que se utilice en cada capa.

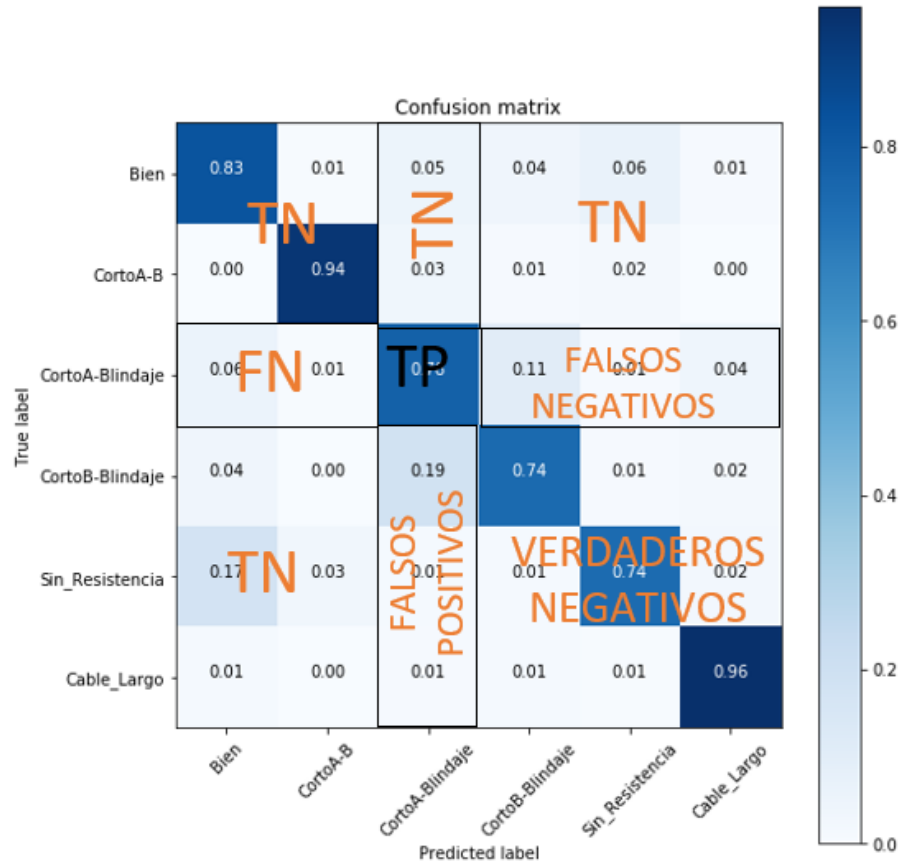


Fig. 4.49. Valores de TP, TN, FP y FN sobre una matriz de confusión

Fuente: Investigador

Mientras mayor número de neuronas se adiciona a cada capa el tiempo de entrenamiento aumenta, esto está relacionado en mayor medida con la primera capa oculta, esto se puede comparar en el escenario 3 y 4. El escenario 4 a pesar de tener una capa oculta más el tiempo en el que se ejecuta una época es menor.

Las épocas identifican el número de iteraciones que va a ejecutar la red en su aprendizaje, de acuerdo con los escenarios 6 y 7 de la tabla 4.10. el aumentar épocas no significa que el aprendizaje sea mejor, más bien puede significar un aumento en el tiempo de entrenamiento. El número de épocas que se utilizó con mayor frecuencia fue 50.

Tabla 4.10. Entrenamientos realizados

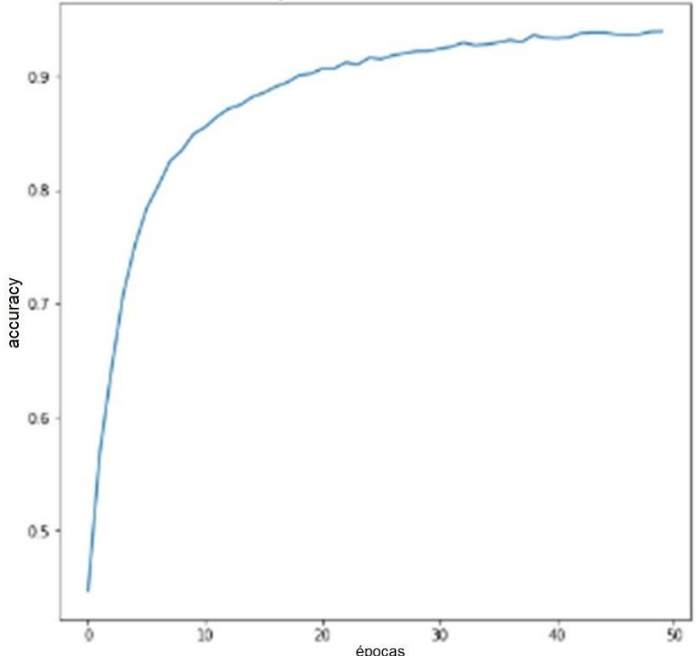
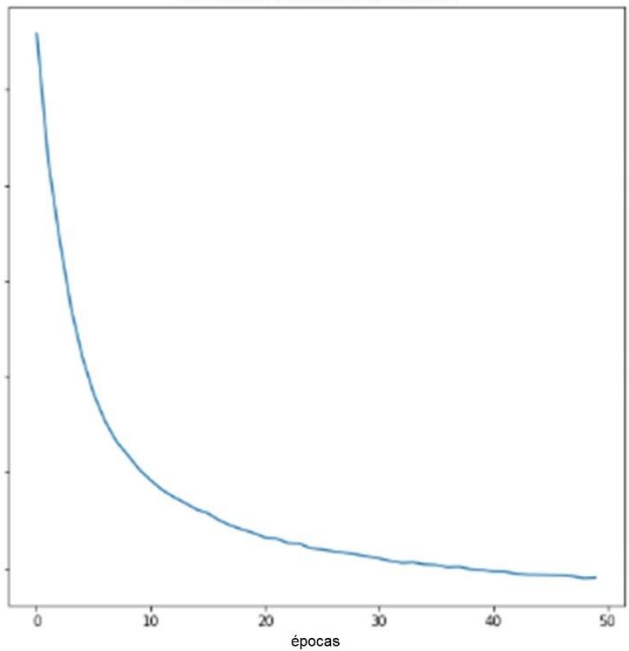
Escenario	Capa de entrada	1ª capa oculta	2ª capa oculta	3ª capa oculta	Capa de salida	dropout	Épocas	Tiempo por época	Accuracy set prueba
1	1020	100	50		6	0,2	50	5s	0,768
2	1020	100	50		6	0,2	100	4s	0,747
3	1020	1000	75		6	0,2	50	26s	0,855
4	1020	100	1000	50	6	0,2-0,2	50	7s	0,78
5	1020	2000	1000	50	6	0,1-0,1	50	48s	0,8294
6	1020	2000	500	75	6	0,3-0,25	100	38s	0,8296
7	1020	2000	500	75	6	0,3-0,25	50	40s	0,821
8	1020	2000	500	75	6	0,5-0,25	50	38s	0,805
9	1020	4000	500	75	6	0,2-0,2	50	108s	0,872
10	1020	2000	1000	50	6	0,2-0,2	50	48s	0,822
11	1020	4000	1000	75	6	0,2-0,2	60	165s	0,864

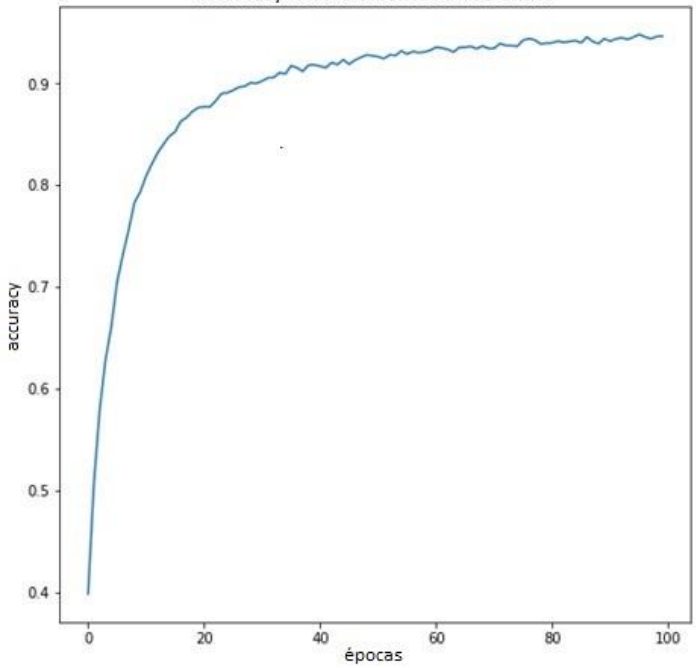
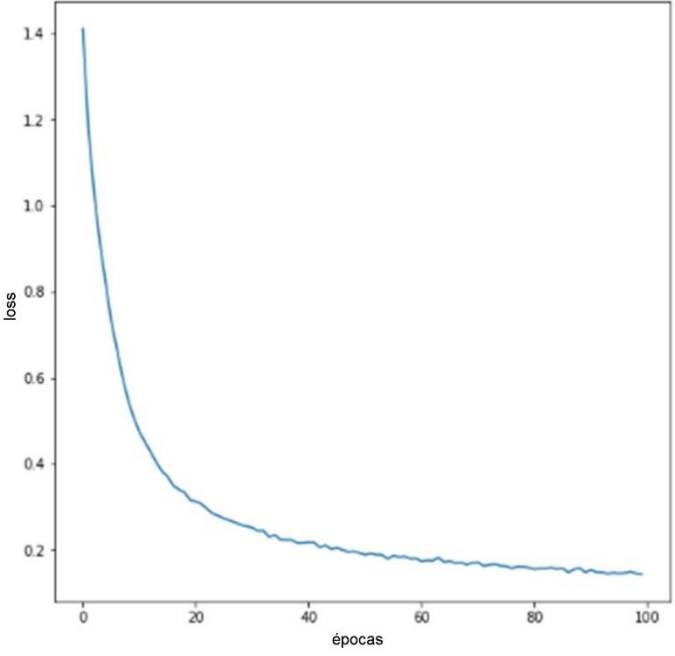
Fuente: Investigador

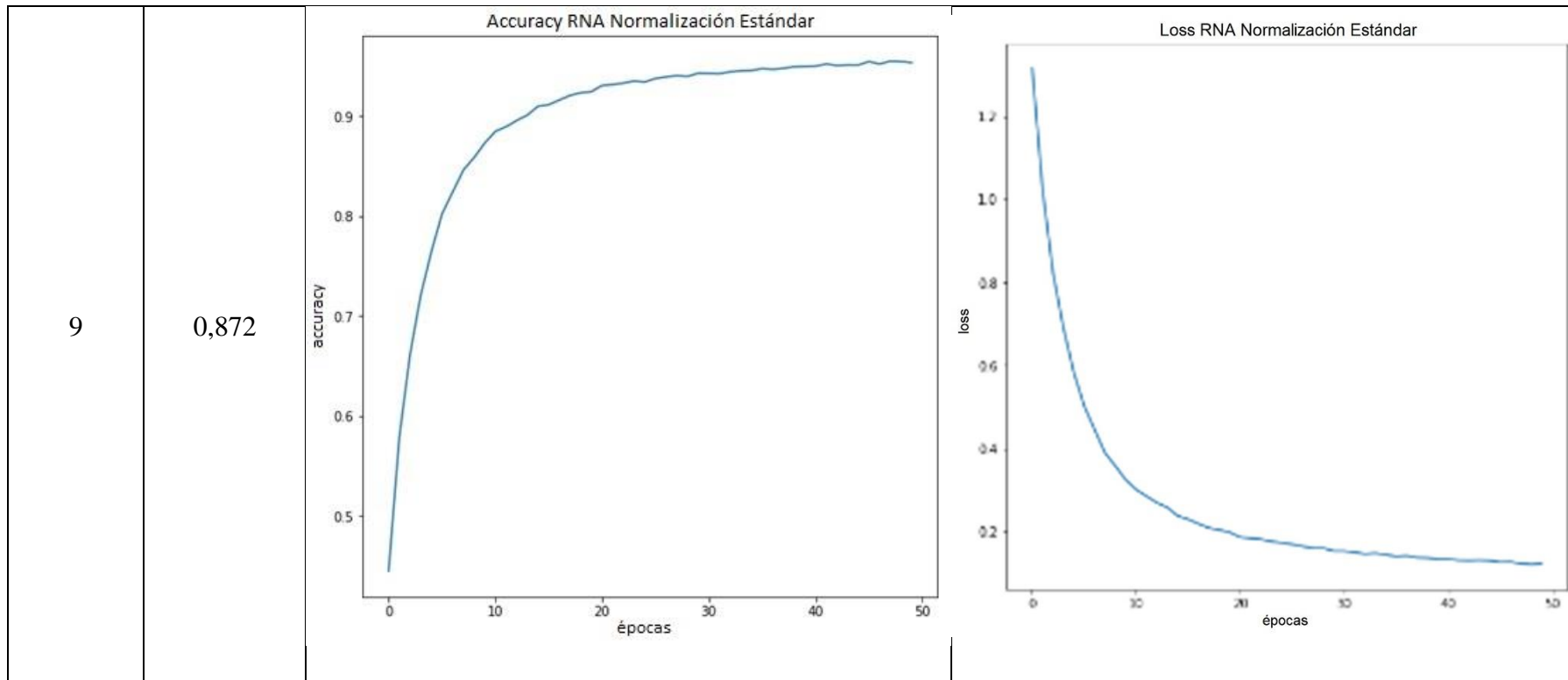
El parámetro dropout disminuye el tiempo de entrenamiento del modelo, esto se observa ligeramente en los escenarios 7 y 8, pero si el porcentaje de neuronas y conexiones evitadas en cada época es alto el valor de accuracy disminuirá. Por lo que se trabajó con valores de entre 20 % a 30 %. Si no se coloca este parámetro la ejecución del entrenamiento puede tardar mucho más y también se corre el riesgo de que existe un sobreajuste.

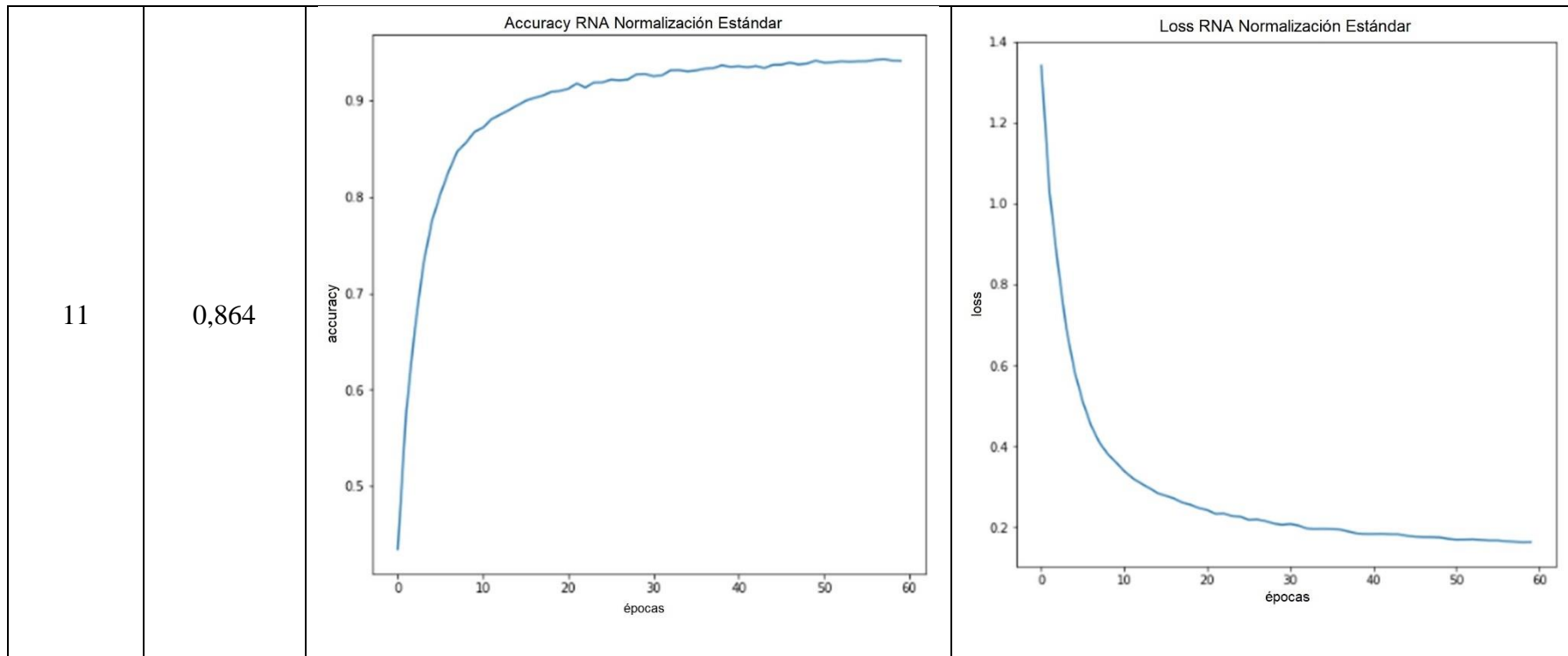
De la Tabla 4.10. se tomó los 4 escenarios con mejor accuracy para analizar sus curvas de aprendizaje y de pérdidas, estas curvas se pueden visualizar en la Tabla 4.11. las curvas de aprendizaje están en función del accuracy del set de datos de entrenamiento, se debe procurar que este valor no llegue a 1 puesto que se produciría un sobreajuste. Por otro lado, las curvas de pérdida deben tender a cero conforme las épocas transcurran. La curva debe contener el menor rizado posible, estos denotan que el aprendizaje no se dio de la mejor manera, esto se observa en el escenario 6.

Tabla 4.11. Curvas de aprendizaje y de pérdida

Escenario	Accuracy set prueba	Curva de aprendizaje	Curva de pérdida
3	0,855	<p data-bbox="763 501 1104 523">Accuracy RNA Normalización Estándar</p>  <p data-bbox="562 799 584 874">accuracy</p> <p data-bbox="913 1166 965 1182">épocas</p>	<p data-bbox="1525 507 1809 529">Loss RNA Normalización Estándar</p>  <p data-bbox="1294 826 1317 849">loss</p> <p data-bbox="1630 1166 1682 1182">épocas</p>

6	0,8296	<p>Accuracy RNA Normalización Estándar</p>  <p>accuracy</p> <p>épocas</p> <table border="1"><caption>Approximate Accuracy Data</caption><thead><tr><th>épocas</th><th>accuracy</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>0.40</td></tr><tr><td>5</td><td>0.60</td></tr><tr><td>10</td><td>0.75</td></tr><tr><td>20</td><td>0.88</td></tr><tr><td>40</td><td>0.92</td></tr><tr><td>60</td><td>0.94</td></tr><tr><td>80</td><td>0.95</td></tr><tr><td>100</td><td>0.95</td></tr></tbody></table>	épocas	accuracy	0	0.40	5	0.60	10	0.75	20	0.88	40	0.92	60	0.94	80	0.95	100	0.95	<p>Loss RNA Normalización Estándar</p>  <p>loss</p> <p>épocas</p> <table border="1"><caption>Approximate Loss Data</caption><thead><tr><th>épocas</th><th>loss</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>1.40</td></tr><tr><td>5</td><td>0.80</td></tr><tr><td>10</td><td>0.50</td></tr><tr><td>20</td><td>0.35</td></tr><tr><td>40</td><td>0.25</td></tr><tr><td>60</td><td>0.20</td></tr><tr><td>80</td><td>0.18</td></tr><tr><td>100</td><td>0.15</td></tr></tbody></table>	épocas	loss	0	1.40	5	0.80	10	0.50	20	0.35	40	0.25	60	0.20	80	0.18	100	0.15
épocas	accuracy																																						
0	0.40																																						
5	0.60																																						
10	0.75																																						
20	0.88																																						
40	0.92																																						
60	0.94																																						
80	0.95																																						
100	0.95																																						
épocas	loss																																						
0	1.40																																						
5	0.80																																						
10	0.50																																						
20	0.35																																						
40	0.25																																						
60	0.20																																						
80	0.18																																						
100	0.15																																						





Fuente: Investigador

De la Tabla 4.11. en los escenarios 3, 9 y 11 se observa que sus curvas de aprendizaje no poseen un rizado tan pronunciado a partir de la décima época, lo que sí se pudo observar es que el aprendizaje en el escenario 3 es lento dado que alcanza el 90% de aprendizaje aproximadamente en la época 20, mientras que en el escenario 9 y 11 este ocurre mucho antes. En las curvas de pérdida que es el cálculo entre la salida deseada y la salida predicha, se observa un comportamiento similar en los cuatro casos conforme las épocas avanzan, por lo que no fue un factor decisivo para la toma de una decisión. En el escenario 6 se puede apreciar que a pesar de tener más épocas el accuracy es menor que los otros casos, el aprendizaje es lento y presenta un mayor rizado.

Se descartó el escenario 6 por las razones antes mencionadas y con los tres escenarios restantes se armó la Tabla 4.12. en la que se puede observar las matrices de confusión tanto de forma numérica como de forma porcentual. Se determinó que la mayor confusión que se produce es entre los casos de corto A-blindaje y corto B-blindaje, esto se debe a la similitud en las ondas que se tiene cuando se producen estos dos tipos de fallos.

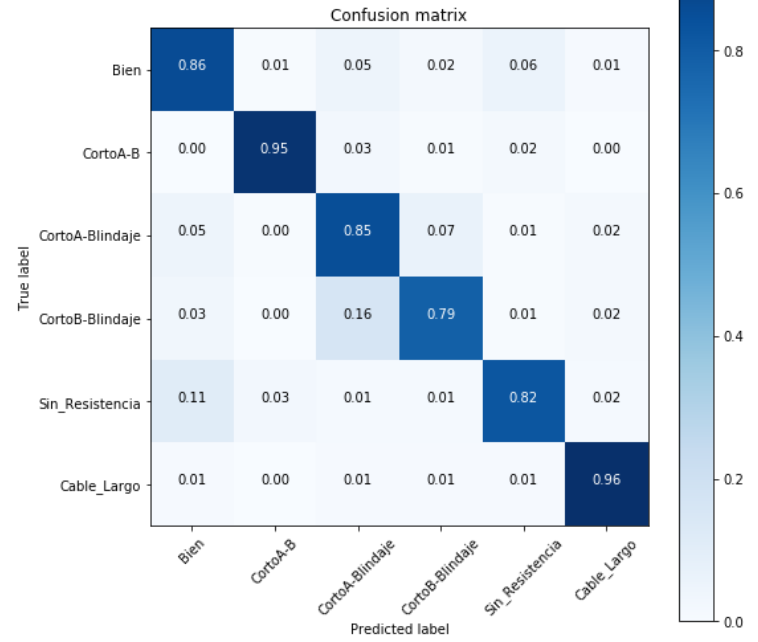
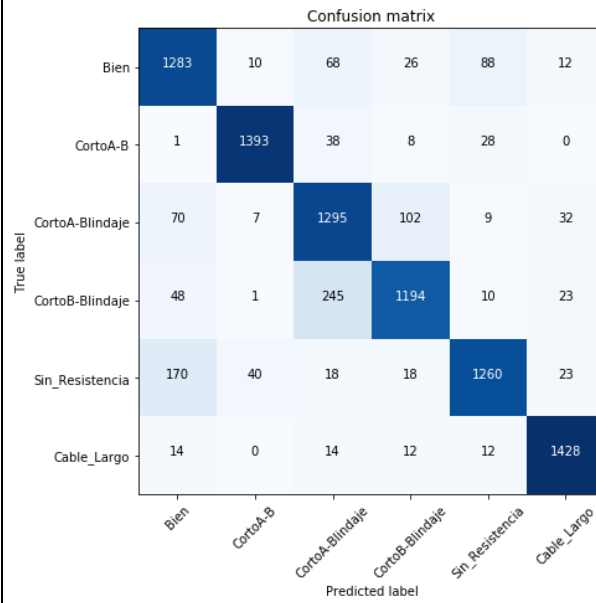
En los tres escenarios de la Tabla 4.12. se observa que existe mayor número de aciertos (entre 96% y 97%) en el caso de existir demasiado cable en la red, seguido por la detección de un cortocircuito entre A y B (entre 94% y 96%), la peor predicción se encuentra cuando se produce un corto circuito entre B y el blindaje (entre 76% y 79%). De los tres escenarios el primero que se descartó fue el 3, se observó existe menor porcentaje de aciertos en comparación a los dos restantes. En los casos de una red en correcto funcionamiento (Bien), corto circuito entre A y B (CortoA-B) y cable demasiado largo en la red (Cable_Largo) la matriz de confusión reflejó mayor porcentaje de aciertos en el escenario 11, sin embargo se buscaba era una predicción que tome en cuenta todos los casos de falla, por lo que el modelo que presentó un mejor desenvolvimiento el modelo 9.

Tabla 4.12. Matriz de confusión numérica y porcentual

Escenario	Accuracy set prueba	Matriz de confusión numérica	Matriz de confusión porcentual																																																																																																		
3	0,855	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <caption>Confusion matrix (Numerical)</caption> <thead> <tr> <th>True label \ Predicted label</th> <th>Bien</th> <th>CortoA-B</th> <th>CortoA-Blindaje</th> <th>CortoB-Blindaje</th> <th>Sin_Resistencia</th> <th>Cable_Largo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>Bien</th> <td>1294</td> <td>18</td> <td>74</td> <td>51</td> <td>41</td> <td>9</td> </tr> <tr> <th>CortoA-B</th> <td>3</td> <td>1384</td> <td>57</td> <td>6</td> <td>18</td> <td>0</td> </tr> <tr> <th>CortoA-Blindaje</th> <td>72</td> <td>16</td> <td>1234</td> <td>143</td> <td>8</td> <td>42</td> </tr> <tr> <th>CortoB-Blindaje</th> <td>47</td> <td>0</td> <td>280</td> <td>1159</td> <td>6</td> <td>29</td> </tr> <tr> <th>Sin_Resistencia</th> <td>185</td> <td>46</td> <td>23</td> <td>28</td> <td>1208</td> <td>39</td> </tr> <tr> <th>Cable_Largo</th> <td>13</td> <td>0</td> <td>11</td> <td>20</td> <td>14</td> <td>1422</td> </tr> </tbody> </table>	True label \ Predicted label	Bien	CortoA-B	CortoA-Blindaje	CortoB-Blindaje	Sin_Resistencia	Cable_Largo	Bien	1294	18	74	51	41	9	CortoA-B	3	1384	57	6	18	0	CortoA-Blindaje	72	16	1234	143	8	42	CortoB-Blindaje	47	0	280	1159	6	29	Sin_Resistencia	185	46	23	28	1208	39	Cable_Largo	13	0	11	20	14	1422	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <caption>Confusion matrix (Percentage)</caption> <thead> <tr> <th>True label \ Predicted label</th> <th>Bien</th> <th>CortoA-B</th> <th>CortoA-Blindaje</th> <th>CortoB-Blindaje</th> <th>Sin_Resistencia</th> <th>Cable_Largo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>Bien</th> <td>0.87</td> <td>0.01</td> <td>0.05</td> <td>0.03</td> <td>0.03</td> <td>0.01</td> </tr> <tr> <th>CortoA-B</th> <td>0.00</td> <td>0.94</td> <td>0.04</td> <td>0.00</td> <td>0.01</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <th>CortoA-Blindaje</th> <td>0.05</td> <td>0.01</td> <td>0.81</td> <td>0.09</td> <td>0.01</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <th>CortoB-Blindaje</th> <td>0.03</td> <td>0.00</td> <td>0.18</td> <td>0.76</td> <td>0.00</td> <td>0.02</td> </tr> <tr> <th>Sin_Resistencia</th> <td>0.12</td> <td>0.03</td> <td>0.02</td> <td>0.02</td> <td>0.79</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <th>Cable_Largo</th> <td>0.01</td> <td>0.00</td> <td>0.01</td> <td>0.01</td> <td>0.01</td> <td>0.96</td> </tr> </tbody> </table>	True label \ Predicted label	Bien	CortoA-B	CortoA-Blindaje	CortoB-Blindaje	Sin_Resistencia	Cable_Largo	Bien	0.87	0.01	0.05	0.03	0.03	0.01	CortoA-B	0.00	0.94	0.04	0.00	0.01	0.00	CortoA-Blindaje	0.05	0.01	0.81	0.09	0.01	0.03	CortoB-Blindaje	0.03	0.00	0.18	0.76	0.00	0.02	Sin_Resistencia	0.12	0.03	0.02	0.02	0.79	0.03	Cable_Largo	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.96
True label \ Predicted label	Bien	CortoA-B	CortoA-Blindaje	CortoB-Blindaje	Sin_Resistencia	Cable_Largo																																																																																															
Bien	1294	18	74	51	41	9																																																																																															
CortoA-B	3	1384	57	6	18	0																																																																																															
CortoA-Blindaje	72	16	1234	143	8	42																																																																																															
CortoB-Blindaje	47	0	280	1159	6	29																																																																																															
Sin_Resistencia	185	46	23	28	1208	39																																																																																															
Cable_Largo	13	0	11	20	14	1422																																																																																															
True label \ Predicted label	Bien	CortoA-B	CortoA-Blindaje	CortoB-Blindaje	Sin_Resistencia	Cable_Largo																																																																																															
Bien	0.87	0.01	0.05	0.03	0.03	0.01																																																																																															
CortoA-B	0.00	0.94	0.04	0.00	0.01	0.00																																																																																															
CortoA-Blindaje	0.05	0.01	0.81	0.09	0.01	0.03																																																																																															
CortoB-Blindaje	0.03	0.00	0.18	0.76	0.00	0.02																																																																																															
Sin_Resistencia	0.12	0.03	0.02	0.02	0.79	0.03																																																																																															
Cable_Largo	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.96																																																																																															

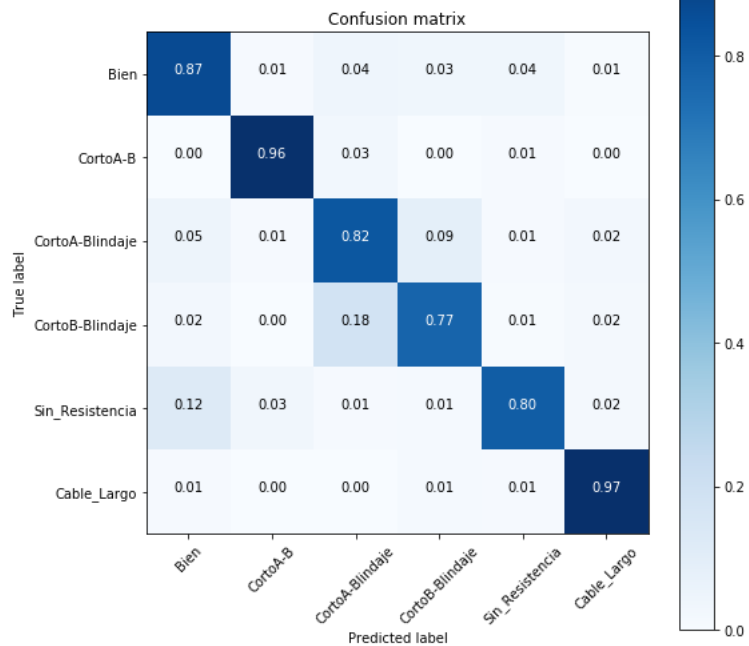
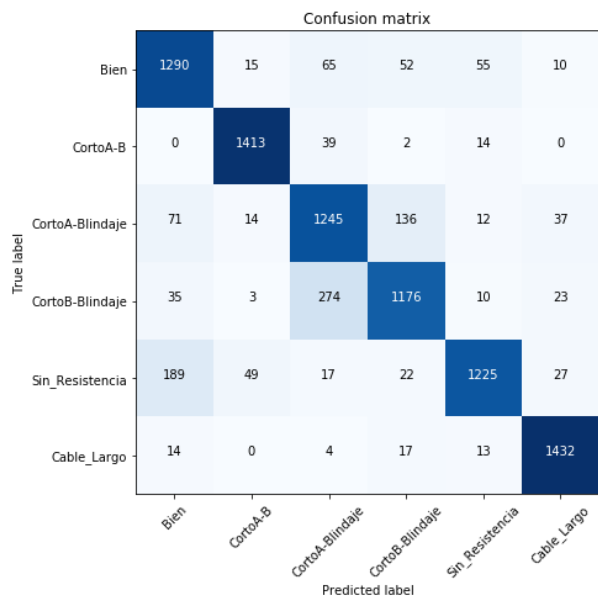
9

0,872



11

0,864



Fuente: Investigador

Pruebas de funcionamiento del modelo

Una vez guardado el modelo se puso a prueba con otro set de datos tomado de la red de prueba PROFIBUS, con variantes en la longitud del cable y sin el repetidor de diagnóstico en la red. El set consta de 400 mediciones por caso generado, en la figura 4.50. se muestra la topología de la nueva red de prueba.

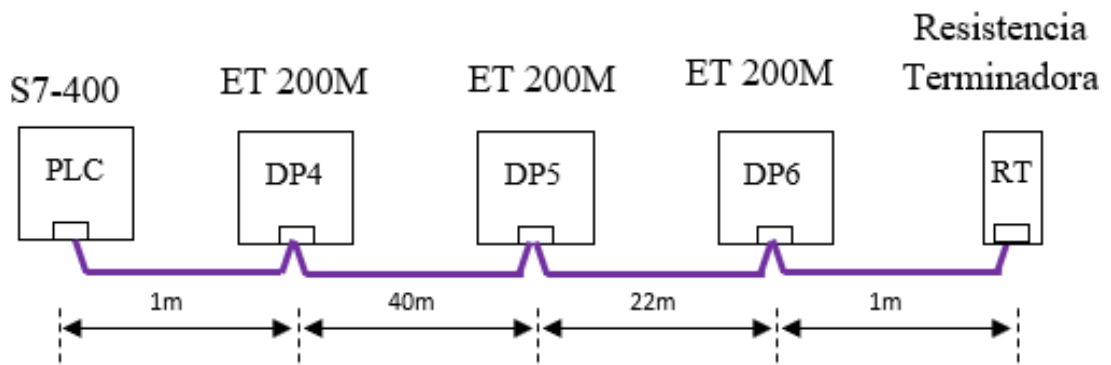


Fig. 4.50. Variación de la red PROFIBUS de prueba

Fuente: Investigador

Con la variación en la red de prueba se consiguió un accuracy 0,7225 este valor es considerado como aceptable dado que está por encima de 0,5. En la matriz de confusión en forma numérica de la figura 4.51. y en forma porcentual en la figura 4.52. se observa con mayor detalle los casos en los que el modelo interpreto un resultado diferente al esperado.

La mayor confusión que existe es cuando el cable es excesivo dado que se realizó las medidas con un cable que alcanzaba aproximadamente 300 metros. El cable causó demasiada distorsión que el modelo lo comparo con otros más cercanos, sin embargo, trató de adaptarse lo mejor que pudo a las fallas provocadas.

Por otra parte, se observa un mayor número de aciertos en el escenario en el que no existe una resistencia terminadora dentro de la red, alcanzando un 96%.

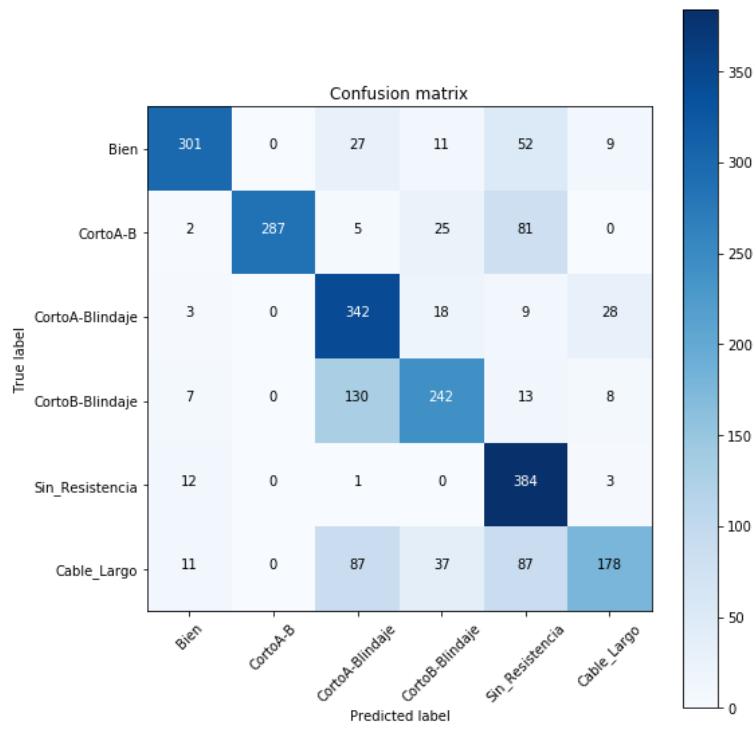


Fig. 4.51. Matriz de confusión numérica en la red PROFIBUS de prueba variada

Fuente: Investigador

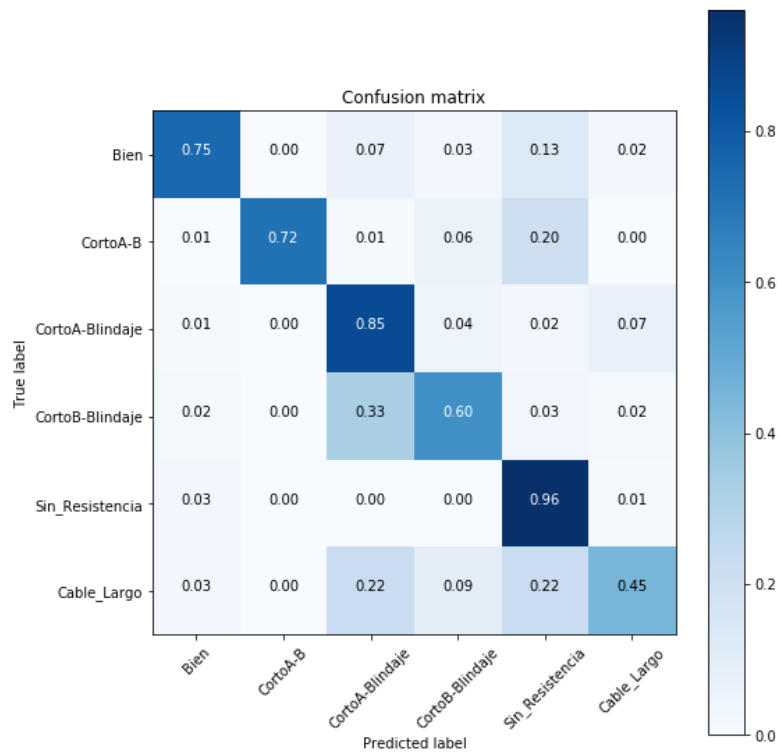


Fig. 4.52. Matriz de confusión porcentual en la red PROFIBUS de prueba variada

Fuente: Investigador

Implementación del sistema de diagnóstico en la MP5

Con el modelo ya probado se procedió a la implementación en la MP5, los pasos a seguir están ilustrados en la figura 4.53 y se explican a continuación:

- El osciloscopio debe estar conectado a la computadora y la ventana de toma de datos debe estar ejecutándose.
- Se conecta las puntas del osciloscopio al conector PROFIBUS el canal 1 va conectado al cable rojo (B) mientras que el canal 2 va conectado al cable verde (A). también se puede conectar las puntas directamente a los puestos 3, 8 y 5 que representan las líneas B, A y tierra respectivamente. Este proceso se repite en todas las estaciones que se desee tomar mediciones
- Se realiza las capturas deseadas con la aplicación que controla el osciloscopio.
- Luego de capturar las medidas deseadas de cada estación se cierra la aplicación generando el archivo con el set de datos el archivo está dentro de la capeta de la aplicación con el nombre de prueba.txt, la extensión de este archivo se debe cambiar a .csv, y si se desea se puede cambiar su nombre.
- El archivo se carga para ser valorado con el modelo de red neuronal ya entrenado y generar el diagnóstico de fallas.

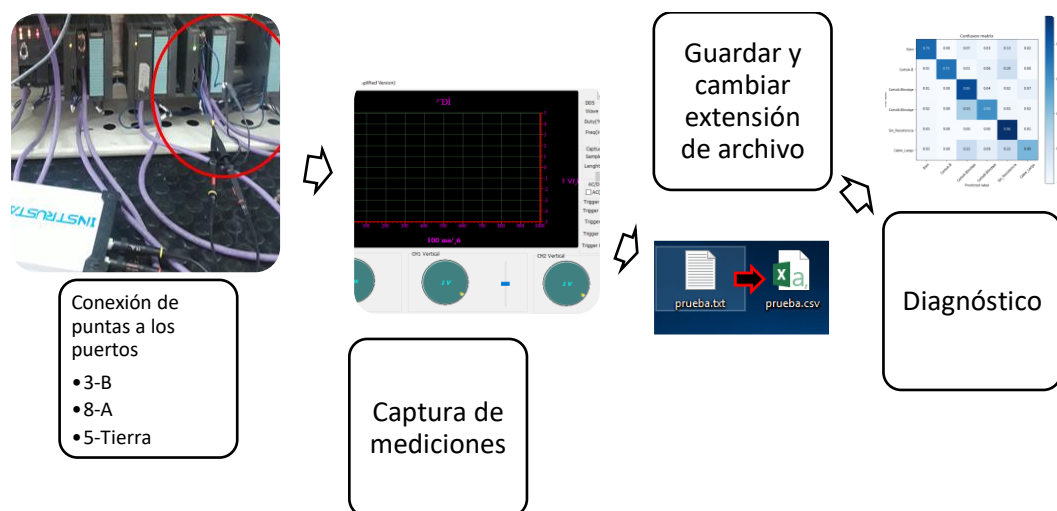


Fig. 4.53. Pasos para ejecutar el sistema de diagnóstico

Fuente: Investigador

Tras varias mediciones en la red de la MP5, el sistema arrojó los resultados que se muestran en la Tabla 4.13.

Tabla 4.13. Porcentaje de aciertos

Estado de red	Interpretación
Bien	72%
CortoA-B	2%
CortoA-Blindaje	1%
CortoB-Blindaje	1%
Sin_Resistencia	5%
Cable_Largo	19%

Fuente: Investigador

A pesar de que la red funcionaba correctamente en todo momento en el que se realizó las mediciones un 28% de mediciones arrojaron un resultado diferente. Esto se debe a que el entrenamiento se lo realizó en un ambiente de laboratorio, sin tomar en cuenta ruidos externos que se producen con los motores o las líneas de alta tensión existentes en la planta.

Para el entrenamiento no se tomó en cuenta fallas que se producen cuando existe interferencia electromagnética o demasiados equipos en un segmento de la red, esto debido a que las interferencias electromagnéticas son muy variantes y no siguen un patrón definido. Mientras que en la planta de producción Lasso de Grupo Familia no se cuenta con suficientes dispositivos que cumplan la función de esclavos para recrear la condición de demasiados equipos conectados a un segmento.

Tanto el entrenamiento como las pruebas fueron realizadas con una red que trabajaba a una velocidad de transmisión de 1,5 Mbps, por lo que no se tiene registro del desempeño del modelo a diferente velocidad de transmisión.

4.9. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO

El costo de los ítems utilizados en la elaboración sistema de diagnóstico de fallas PROFIBUS-DP de la máquina MP5 de Grupo Familia mediante redes neuronales artificiales, se detalla en la Tabla 4.14.

Tabla 4. 10. Costo de los componentes del proyecto.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Instrustar ISDS205C	c/u	1	\$190	\$190
2	Conector DB9	c/u	1	\$1	\$1
				TOTAL	\$191

Fuente: Investigador

Para el análisis económico del proyecto, es importante señalar que, el costo de los elementos utilizados para la red PROFIBUS-DP de prueba que sirvieron para el entrenamiento de la red neuronal artificial no incluye, debido a que se utilizó estos recursos en la empresa interesada y pertenecían a la misma, sin embargo, en el mercado se los puede conseguir entre los 5000 a 10000 dólares americanos.

Adicionalmente al costo de los ítems utilizados para la elaboración de este proyecto, la Tabla 4.15 detalla el costo intelectual por la elaboración de este proyecto de investigación, para esto se ha determinado el valor en dinero de la hora de trabajo de un Ingeniero Electrónico, de acuerdo con la tabla de salarios mínimos sectoriales del Ecuador en el 2020, que presenta el Ministerio de Trabajo en su página web. En la cual se establece un salario mínimo para un profesional con título de tercer nivel de 424,31 dólares americanos [49]

El cálculo del costo por hora se lo realizó tomando en cuenta 21 días laborables al mes con 8 horas de trabajo cada día, lo que dio como resultado de un costo de 2,53 dólares americanos.

Tabla 4. 11. Costo intelectual por horas de trabajo

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Costo de diseño	Horas	70	\$2,53	\$177,10

Fuente: Investigador

Finalmente, el costo total del sistema de diagnóstico de fallas PROFIBUS-DP de la máquina MP5 de Grupo Familia mediante redes neuronales artificiales, es la suma del costo de los ítems utilizados para la elaboración, más el costo intelectual por horas dedicadas al desarrollo del proyecto de investigación. El valor total se muestra en la Tabla 4.16.

Tabla 4. 12. Costo total del proyecto de investigación.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Costo de componentes	c/u	1	\$191	\$191
2	Costo de diseño	Horas	70	\$2,53	\$177,10
				TOTAL	\$368,10

Fuente: Investigador

Por otro lado, este sistema estaría al servicio de todas las personas, de diferente nivel económico, debido a que se hace uso del software libre que no tiene costo, y del hardware libre que es muy económico.

4.10. ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO

El análisis costo – beneficio es una herramienta financiera que sirve para medir la relación entre los costos y beneficios de un proyecto de inversión para evaluar su rentabilidad.

La relación costo – beneficio (B/C) ecuación 11, que se la conoce también como índice neto de rentabilidad, es un cociente resultante de la división del Valor Actual de los ingresos totales netos (VAI), entre el Valor Actual de los costos de inversión (VAC) de un proyecto.

$$B/C = VAI/VAC \quad (11)$$

Según el análisis costo – beneficio, un proyecto o emprendimiento será rentable, cuando el resultado de la relación sea mayor que la unidad. $B/C > 1$, entonces el proyecto o emprendimiento será rentable.

Para obtener la relación costo – beneficio de este proyecto de investigación se supondrá que el proyecto se comercializará durante 2 años.

Para el cálculo del costo – beneficio se supone que se comercializará un sistema electrónico cada mes por dos años a \$600, resultando una proyección de ingresos de \$14400 por dos años. Se tiene una inversión por cada sistema electrónico de \$368,10 \$321.05, obteniendo una inversión total de \$8834,40 en el mismo periodo de 2 años.

La tasa de rentabilidad para ingresos esperados se estable en 12% anual, teniendo como referencia la tasa ofrecida por otras inversiones similares. De la misma manera se considera una tasa de interés del 11.30% anual, teniendo como referencia la tasa de interés bancario en el Ecuador para las PYMES.

$$\frac{B}{C} = VAI/VAC$$

$$\frac{B}{C} = (14400/(1 + 0,12)^2)/(8834,40/(1 + 0,113)^2)$$

$$\frac{B}{C} = 1.6$$

Se concluye que, al ser la relación costo – beneficio mayor a 1, el proyecto de investigación será rentable por los próximos dos años.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Al momento de la investigación, la red PROFIBUS-DP de la máquina papelera MP5 de Grupo Familia cuenta con 26 dispositivos esclavos comandados por un maestro S7 400, la red trabaja a una velocidad de transmisión de 1,5 Mbps, la longitud del cable que conecta los equipos es de aproximadamente 415 metros, la red está dividida en 4 segmentos.
- Aunque una técnica efectiva de análisis es con un osciloscopio no es tan utilizada por la complejidad al interpretar sus formas de onda y las fallas que estas representan. Este trabajo rescató este método de diagnóstico implementando un osciloscopio digital capaz de capturar con sus dos canales la forma de onda presente en una red PROFIBUS-DP y reflejarlos en un archivo csv con valores numéricos que son interpretados por el modelo entrenado con la RNA.
- El sistema fue diseñado en base a un modelo generado por una red neuronal artificial clasificadora, entrenada con 30 mil mediciones y constituida por 5 capas; 3 capas ocultas una capa de entrada y una capa de salida con 6 nodos, la evaluación del modelo reflejo como resultado un accuracy de 0,872 en el set de prueba y de 0,7225 e la red de prueba con variación, este valor determina la capacidad de acierto que tiene el modelo entrenado, considerado como bueno con estos valores.
- Se realizó un total de 11 entrenamientos con el set de datos de 5000 mediciones por caso de estudio, con un tiempo máximo de entrenamiento de 13 hora y 30 minutos aproximadamente y un mínimo de 40 minutos, mientras que el modelo final tardó un total de 7 horas con 30 minutos, por lo que el tiempo de entrenamiento no determina la precisión del modelo.

- El tipo de activación relu fue utilizada garantizando un valor positivo para la activación de las siguientes neuronas de una capa oculta, mientras que la activación softmax permite distribuir el 100% de certidumbre entre los casos deseados en la salida.
- La métrica utilizada para evaluar la precisión del modelo entrenado “accuracy” fue utilizado dado que los valores de falsos positivos como de falsos negativos fueron simétricos en todos los entrenamientos desarrollados.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se debe procurar que el set de datos con el que se va a entrenar la red neuronal contenga el mayor número de muestras posibles, para garantizar un buen aprendizaje por parte del modelo entrenado.
- Es recomendable recrear una red PROFIBUS de prueba con características similares a la de la red en donde se va a ocupar el sistema de diagnóstico, y generar el mayor número fallas en distintos puntos de la red, para que el entrenamiento de la red neuronal se asemeje a las condiciones en las que va a ser utilizado el modelo generado.
- El número de capas, neuronas y demás parámetros depende de cada aplicación, por lo que si se va a trabajar con una red de aprendizaje supervisado los únicos datos que se tiene es el número de neuronas en la capa de entrada y en la capa se salida. Por lo que es recomendable ir variando cada parámetro experimentalmente.

5.3 BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Rojas, «LA EVOLUCIÓN DEL CONTROL DE PROCESOS Y LA TELEMETRÍA,» 2010. [En línea]. Available: http://fgsalazar.net/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin02/URL_02_QUI01.pdf. [Último acceso: 10 Septiembre 2018].

- [2] P. N. e.V., «PROFIBUS and PROFINET International (PI),» 2017. [En línea]. Available: <https://www.profibus.com/technology/profibus/>. [Último acceso: 13 Agosto 2018].
- [3] J. Reinoso y G. Salazar, «Sistema de Medición Inteligente de Energía Eléctrica en la Empresa The Tesalia Springs Company S.A.: Implementación y Análisis de Resultados,» *Revista Politécnica*, vol. 39, n° 2, pp. 33-40, 2017.
- [4] R. Defas y A. Guzmán, «Diseño e implementación de un módulo didáctico para integración de redes de campo industrial: Modbus, Profibus, para actuadores eléctricos,» 21 Junio 2016. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16250>. [Último acceso: 10 Septiembre 2018].
- [5] W. Olarte, M. Botero y B. Cañon, «Importancia del mantenimiento industrial dentro de los procesos de producción,» *Scientia et Technica*, vol. 1, n° 44, pp. 354-356, 2010.
- [6] C. Catalán, F. Serna, Blesa y Alfonso, «Industria 4.0 en el Grado de Ingeniería Electrónica y Automática.,» de *Actas de las XXI Jornadas de la Enseñanza*, Andorra La Vella, 2015.
- [7] W. Silva y C. Mota, «PI PROFIBUS- PROFINET BRASIL,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.profibus.org.br/metodos+para+diagnosticos+rede+profibus.html>. [Último acceso: 16 Agosto 2018].
- [8] E. Mossin, «Diagnóstico automático de redes Profibus,» 15 Octubre 2012. [En línea]. Available: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18153/tde-10102012-162642/en.php>. [Último acceso: 28 Agosto 2018].
- [9] E. Mossin, D. Brandão, G. Sestito y R. Torres, «Automatic Diagnosis for profibus Networks,» *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, vol. XXVII, pp. 658-669, 2016.
- [10] G. Sestito, P. Toledo de Oliveira e Souza, E. Mossin, D. Brandão y A. Dias, «Artificial neural networks and signal clipping for Profibus DP diagnostics,» *2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, pp. 242-247, 2014.
- [11] M. S. Rocha, «Desenvolvimento de um analisador de rede Profibus de baixo custo,» 31 Enero 2016. [En línea]. Available: <http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180500/tce-31012017-112403/?&lang=br>. [Último acceso: 28 Agosto 2018].

- [12] J. Fornari, G. González y L. Herrera, «Reconocimiento de Patrones de Procesos Industriales mediante el uso de redes neuronales artificiales,» *Revista Eletrônica Argentina-Brasil de Tecnologias da Informação e da Comunicação*, vol. I, nº 2, pp. 1-10, 2015.
- [13] S. Vicario, O. Oubram, A. .. Bassam, J. G. Velázquez y E. Ordóñez, «Sistema de reconocimiento inteligente de señales mioeléctricas del movimiento de mano humana,» *Ingeniería*, vol. XXI, nº 2, pp. 41-53, 2017.
- [14] J. Turrado, A. Saucedo, S. Pérez, G. Iñiguez, F. López, J. Villar y P. Mutje, «TECNOLOGÍA EN LA FABRICACIÓN DE PAPEL,» de *Panorama de la industria de celulosa y papel en Iberoamérica 2008*, Red Iberoamericana de Docencia e Investigación en Celulose y Papel, 2008, pp. 151-202.
- [15] A.D.A.M., «MedlinePlus,» 7 Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000433.htm>.
- [16] R. H. Clapperton, *The Paper-making Machine: Its Invention, Evolution, and Development*, Londres: Pergamon Press Ltd, 1967.
- [17] E. Knapp y J. Lagill, «Industrial Network Protocols,» de *Industrial Network Security*, Segunda ed., K. Eric y J. Langill, Edits., 2015, pp. 121-169.
- [18] R. Mehta y Y. Reddy, «Chapter 20 - Training system,» de *Industrial Process Automation Systems*, Butterworth-Heinemann, 2015, pp. 559-568.
- [19] «Wireless sensor networks for the monitoring and control of nuclear power plants,» de *Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials*, 2016, pp. 125-154.
- [20] S. AG, «Industry Online Support,» Abril 2009. [En línea]. Available: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/591/35222591/att_105793/v1/mn_pbnets_76.pdf. [Último acceso: 23 Julio 2018].
- [21] N. PROFIBUS, «PROFIBUS Design Guideline,» Mayo 2015. [En línea]. Available: <https://www.profibus.com/download/profibus-installation-guidelines/>. [Último acceso: 20 Agosto 2018].
- [22] F. Corporation, «FLUKE,» 2018. [En línea]. Available: [http://www.fluke.com/fluke/eses/termografia/fluke-ti32-\(europe\).htm?pid=56185](http://www.fluke.com/fluke/eses/termografia/fluke-ti32-(europe).htm?pid=56185).

- [23] CB/PG3, «PROFIBUS Assembling Guideline,» Mayo 2015. [En línea]. Available: <https://www.profibus.com/download/profibus-installation-guidelines/>. [Último acceso: 29 Agosto 2018].
- [24] E. Mandado, J. Marcos, C. Fernández y I. Armesto, Autómatas programables y sistemas de automatización, Barcelona: MARCOMBO S.A., 2009.
- [25] Installation-Guide, PROFIBUS Commissioning Guideline, Karlsruhe: PROFIBUS Nutzerorganisation e.V., 2015.
- [26] PROCENTEC, «ProfiTrace 2.9 User Manual,» Enero 2018. [En línea]. Available: <https://procentec.com/media/3331/profitrace-v29-manual-en-v503-sec.pdf>. [Último acceso: 22 Octubre 2018].
- [27] Siemens, Repetidor de diagnóstico para PROFIBUS-DP, Nürnberg, 2002.
- [28] I. da Silva, D. Hernane, F. Andrade y L. Liboni, «Introduction,» de *Artificial Neural Network*, Springer, Cham, 2016, pp. 3-19.
- [29] U. Kumari y G. Aggarwal, «Artificial Neural Networks,» *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. IV, nº 5, pp. 64-68, 2017.
- [30] Siemens-AG, Sistema de automatización S7-400 Datos de las CPU, Nuernberg, 2002.
- [31] SIEMENS, «Industry Mall,» [En línea]. Available: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6AG1153-1AA03-2XB0>. [Último acceso: 5 Enero 2019].
- [32] SIEMENS, «Industry Mall,» [En línea]. Available: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/7KM2112-0BA00-2AA0>. [Último acceso: 5 Enero 2019].
- [33] E. Mandado, P. Mariño y A. Lago, Instrumentación electrónica, Marcombo, 1995.
- [34] FLUKE, «Fluke. Keeping your world up and running,» [En línea]. Available: <https://www.fluke.com/en-us/support/manuals>. [Último acceso: 5 Enero 2019].
- [35] HANTEK, «Hantek,» [En línea]. Available: http://www.hantek.com/en/ProductDetail_153.html. [Último acceso: 5 Enero 2019].

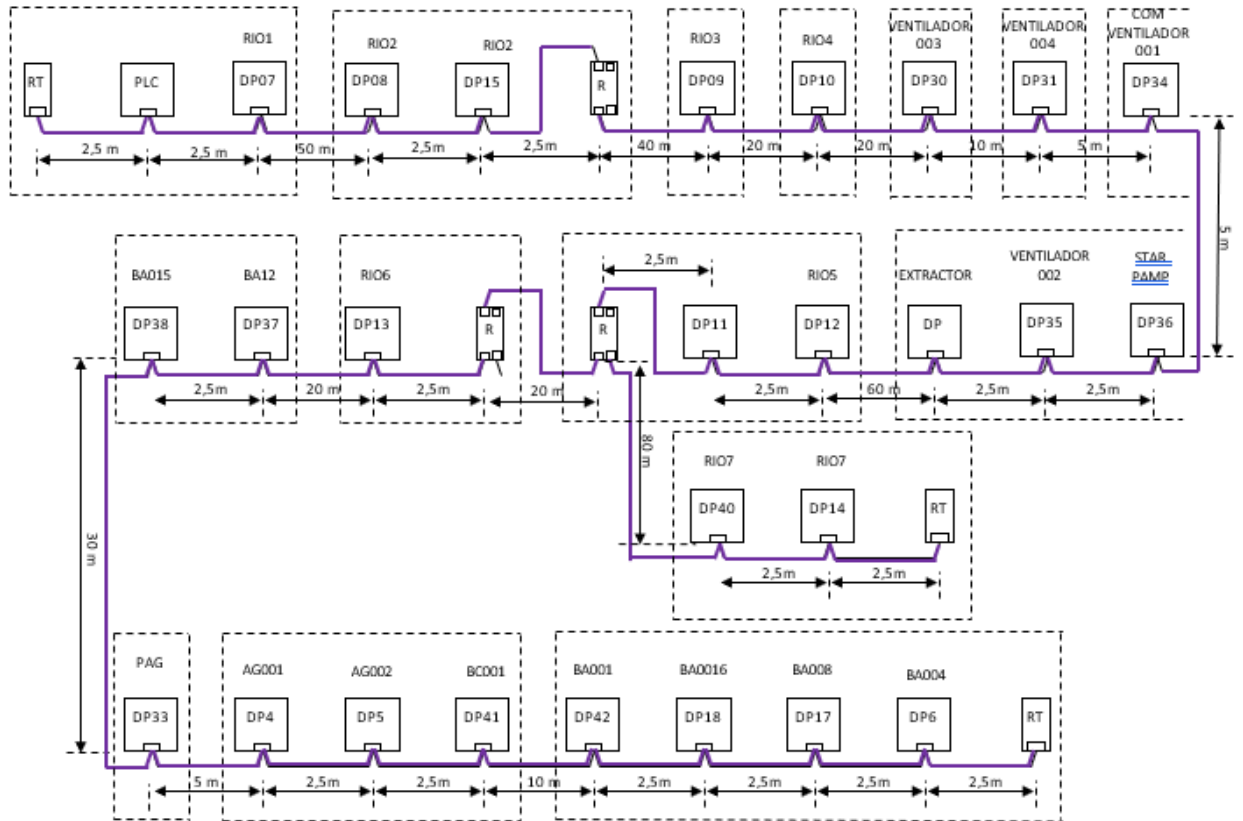
- [36] Harbin Instrustar Electronic Technology Co., Ltd., «Instrustar,» [En línea]. Available: http://english.instrustar.com/product_detail.asp?nid=1556. [Último acceso: 5 Enero 2019].
- [37] Siemens, «Industry Mall,» [En línea]. Available: <https://mall.industry.siemens.com/goos/WelcomePage.aspx?language=es®ionUrl=/>. [Último acceso: 29 Agosto 2018].
- [38] Siemens, The SIMATIC PCS 7 Process Control System, Brochure, 2016.
- [39] I. Ramos y M. Lozano, Ingeniería del software y bases de datos: tendencias actuales, Cuenca: UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA, 2000.
- [40] J. Lafosse, Struts 2: El framework de desarrollo de aplicaciones Java EE, Barcelona: Ediciones ENI, 2010.
- [41] D. Quintero, B. He, B. C. Faria, A. Jara, C. Parsons, S. Tsukamoto, R. Wale y I. Redbooks, IBM PowerAI: Deep Learning Unleashed on IBM Power Systems Servers, IBM Redbooks, 2018.
- [42] Anaconda, «Anaconda Documentation,» [En línea]. Available: <https://docs.anaconda.com/anaconda/>. [Último acceso: 3 Enero 2019].
- [43] Project-Jupyter, «Jupyter,» 2019. [En línea]. Available: <https://jupyter.org/>. [Último acceso: 3 Enero 2019].
- [44] NumPy-developers, «NumPy,» [En línea]. Available: <http://www.numpy.org/>. [Último acceso: 5 Enero 2019].
- [45] Pandas, «pandas,» [En línea]. Available: <https://pandas.pydata.org/>. [Último acceso: 5 Enero 2019].
- [46] J. Hunter, D. Dale, E. Firing, M. Droettboom y Matplotlib-development-team, «matplotlib,» [En línea]. Available: <https://matplotlib.org/#>. [Último acceso: 7 Enero 2019].
- [47] F. Pedregosa, G. Varoquaux, A. Gramfort, V. Michel, B. Thirion, O. Grisel, M. Blondel, P. Prettenhofer, R. Weiss, V. Dubourg, J. Vanderplas, A. Passos, D. Cournapeau y M. Brucher, «Scikit-learn: Machine Learning in Python,» *Journal of Machine Learning Research*, vol. 12, p. 2825–2830, 2011.
- [48] N. Srivastava, G. Hinton, A. Krizhevsky, I. Sutskever y R. Salakhutdinov, «Dropout: A Simple Way to Prevent Neural Networks from Overfitting,» *Journal of Machine Learning Research*, vol. 15, pp. 1929-1958, 2014.

- [49] M. d. Trabajo, «Ministerio del Trabajo,» 2019. [En línea]. Available: <http://www.trabajo.gob.ec/biblioteca/>. [Último acceso: Enero 2019].
- [50] PROCENTEC, ProfiTrace 2.9.2 user Manual, Países Bajos: PROCENTEC, 2015.

ANEXOS

ANEXO A

Topología de la red PROFIBUS-DP de la máquina MP5



ANEXO B

Características técnicas del osciloscopio Instrutar ISDS205C obtenidas del manual de usuario

Digital Oscilloscope	
Channels	2
Impedance	1MΩ 25pF
Coupling	AC/DC
Vertical Resolution	8Bit
Gain Range	-6V ~ 6V (probe X1) -60V ~ 60V (probe X10)
Vertical Accuracy	±3%
Time Base Range	10ns/div-100ms/div
Input Protection	Diode, 50Vpk
Auto Set	Yes(10Hz to 20MHz)
Trigger Mode	Auto, Normal and Signal
Trigger Type	No, Rising edge, Falling edge, Rising edge or Falling edge
Trigger Level	Yes
Trigger Source	CH1, CH2
Buffer Size	1MB/CH
Bandwidth	20MHz
Max Sample	48MS/s

Vertical Mode	CH1, CH2, ADD, SUB, MUL
Display Mode	X, Y-T 和 X-Y
Measurements	Yes
Wave Save	Osc(Private), Excel and Bmp

Spectrum Analyzers	
Channels	2
Bandwidth	20MHz
Algorithm	FFT(18 windows)、correlation
FFT Points	8-1048576/CHN
FFT Measure	Harmonic(1-7)、SNR、SINAD、ENOB、THD、SFDR
Filter Process	<p>FIR filter supports arbitrary range of frequency sampling method , and Rectangle, bartlett, triangular, cosine, hanning, bartlett_hanning, hamming, blackman, blackman_Harris, tukey, Nuttall, FlatTop, Bohman, Parzen, Lanczos, kaiser, gaussand dolph_chebyshev, window method design.</p> <p>IIR filter support "Butterworth", "Chebyshev I", "Chebyshev II", "Elliptic" type of filter design</p>

Data Recorder	
Channel	2
Impedance	1M Ω 25pF
Coupling	AC/DC
Vertical Resolution	8Bit
Gain Range	-6V ~ 6V (probe X1) -60V ~ 60V (probe X10)
Sample	1 channel : 1K~24M Hz 2 channel : 1K~16M Hz
Save File	The maximum 4G, recording time associated with the sampling rate

ANEXO C

Código para guardar archivo con datos de medidas.

```
LRESULT CDLLTESTDlg::OnDataUpdateMsg(WPARAM wParam, LPARAM lParam)
{
    double* buffer = new double[m_real_length];

    double* bufferchanel1 = new double[m_real_length];
    double* bufferchanel2 = new double[m_real_length];
    unsigned int tam;

    for(int channel=0; channel<2; channel++)
    {
        unsigned int length = ReadVoltageDatas(channel, buffer,
m_real_length);
        int outrange = IsVoltageDatasOutOfRange(channel);
        TRACE("%d is outrange %d\n", channel, outrange);

        bool addline=false;
        if(!m_plot.HaveLine(CH_NAME[channel]))
            addline=true;
        else if(m_plot.GetBufferLength(CH_NAME[channel])!=length)
        {
            m_plot.DestroyLine(CH_NAME[channel]);
            addline=true;
        }

        if(addline)
        {
            lineattribute line;
            line.pctName=CH_NAME[channel];
            line.clr=channel==0? RGB(255,0,0):RGB(255,255,0);
            line.lr_lengend=channel==0? -1:1;
            line.buf=NULL;
            line.length=m_real_length;
            m_plot.CreateLine(&line);
        }

        double timelength=length*1000000000.0/m_sample;
        m_plot.ChangeDatas(CH_NAME[channel], buffer, length, 0,
timelength);

        if (channel == 0)
        {
            for (int i = 0; i<length; i++)
                bufferchanel1[i] = buffer[i];//guardar los datos del
canal 1

```

```

    }

    if (channel == 1)
    {
        for (int i = 0; i<length; i++)
            bufferchanel2[i] = buffer[i]; //guardar los datos del
canal 2

    }

    tam = length; //tamaño del arreglo
}

pru++;
if (archivo.fail()) {
    cout << "no se puede abrir" << pru;
}
else
{
    int k = 5;

    archivo << "C," << bufferchanel1[0]- bufferchanel2[0];
    for (int i = 1; i < tam; i++)
        archivo << "," << bufferchanel1[i] - bufferchanel2[i];
    archivo << "," << k;
    archivo << endl;

}

delete [] buffer;
delete[] bufferchanel1;
delete[] bufferchanel2;

m_plot.Redraw();

UpdateData(FALSE);
return 0;
}

```

ANEXO D

Código de entrenamiento de la red neuronal.

```
In [2]: from keras.models import Sequential
from keras.layers.core import Dense, Activation, Dropout
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.metrics import confusion_matrix
from sklearn import preprocessing
#from sklearn.preprocessing import StandardScaler
import pandas as pd
import keras
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import itertools
##porcentajes
from sklearn.metrics import accuracy_score
from sklearn.metrics import precision_score
from sklearn.metrics import recall_score|
from sklearn.metrics import f1_score
from sklearn.metrics import average_precision_score
##
from sklearn.model_selection import KFold
%matplotlib inline
```

```
In [4]: data_train=pd.read_csv("bien5000datosC.csv")
##data_train["Estado-red"].value_counts()
```

```
In [5]: y_train=data_train[data_train.columns[-1]]
data_names=[]
for i in data_train[data_train.columns[0]]:
    if i not in data_names:
        data_names.append(i)
data_train=data_train[data_train.columns[2:-1]]
```

```
In [6]: data_names
```

```
In [8]: min_max_scaler = preprocessing.MinMaxScaler()
np_scaled = min_max_scaler.fit_transform(data_train)
#datos_x = pd.DataFrame(np_scaled)
```

```
In [9]: datos_x = data_train
```

```
In [10]: x_train,x_test, y_train, y_test0 =train_test_split(datos_x.as_matrix(),y_train.as_matrix(),test_size=0.3)
print(np.count_nonzero(y_test0==1))
print(np.count_nonzero(y_test0==2))
print(np.count_nonzero(y_test0==3))
print(np.count_nonzero(y_test0==4))
print(np.count_nonzero(y_test0==5))
print(np.count_nonzero(y_test0==6))
#print(np.count_nonzero(y_test0==7))
#Cambiar matrices a Formato para entrenamiento con ANN
y_t=(np.asarray([[i] for i in y_train],dtype=np.int)-1) #convertir etiquetas a formato Keras
y_ent=keras.utils.to_categorical(y_t, num_classes=6) #convertir etiquetas a formato Keras

y_te=np.asarray([[i] for i in y_test0],dtype=np.int)-1 #convertir etiquetas a formato Keras
y_test=keras.utils.to_categorical(y_te, num_classes=6) #convertir etiquetas a formato Keras
```

```
In [12]: k_fold = KFold(5) #Validacion Cruzada con 5 iteraciones
X=x_train
y=y_train
```



```

In [13]: for k, (train, test) in enumerate(k_fold.split(X, y)):
model = Sequential() #envoltura para el modelo
model.add(Dense(4000, activation='relu', input_dim=x_train.shape[1]))
model.add(Dropout(0.2))
#model.add(Dense(50, activation='relu'))
#model.add(Dropout(0.2))
model.add(Dense(75, activation='relu'))
#uints dimension espacio de salida, https://keras.io/layers/core/
model.add(Dense(6, activation='softmax'))
model.compile(loss=keras.losses.categorical_crossentropy,
              optimiser=keras.optimizers.Adadelta(lr=1, rho=0.98, epsilon=1e-8, decay=0.001),
              metrics=['accuracy'])

y_t=(np.asarray([[i] for i in y],dtype=np.int)-1)

y_ent=keras.utils.to_categorical(y_t[train], num_classes=6)

history=model.fit(X[train],y_ent,epochs=50,batch_size=32)
pred=model.predict_on_batch(X[test]) #predicciones para calcular accuracy por validacion cruzada
prediccion=[]
for i in pred:
    prediccion.append(np.argmax(i))
real=y[test]-1

c_matrix=confusion_matrix(real,prediccion)#reales vs prediccion
FP = c_matrix.sum(axis=0) - np.diag(c_matrix)
FN = c_matrix.sum(axis=1) - np.diag(c_matrix)
TP = np.diag(c_matrix)
TN = c_matrix.sum() - (FP + FN + TP)
Acc = (TP+TN)/(TP+FP+FN+TN)
Pre = (TP)/(TP+FP)
Re = (TP)/(TP+FN)
F1 = 2*(Pre*Re)/(Pre+Re)
#print('Accuracy: '+ str(Acc.sum()/7))
#print('Precision: '+ str(Pre.sum()/7))#real vs predicho
#print('Recall: '+ str(Re.sum()/7))
#print('F1 score: '+ str(F1.sum()/7))

print('Accuracy: '+ str(accuracy_score(prediccion,real)))
print('Precision: '+ str(precision_score(prediccion, real, average = 'macro' )))#real vs predicho
print('Recall: '+ str(recall_score(prediccion,real, average = 'macro' )))
print('F1 score: '+str(f1_score(prediccion, real, average = 'macro' )))
if k<4:
    del model

```

```

In [14]: # list all data in history
plt.figure(figsize=(8,8))
print(history.history.keys())
# summarize history for accuracy
plt.plot(history.history['acc'])
plt.title('Accuracy ANN Normalización Estandar')
plt.ylabel('accuracy')
plt.xlabel('epocas')
plt.show()

plt.figure(figsize=(8,8))
# summarize history for loss
plt.plot(history.history['loss'])
plt.title('Loss ANN Normalización Estandar')
plt.ylabel('loss')
plt.xlabel('epocas')
plt.show()

```

```

In [13]: a=model.predict_on_batch(x_test)
model.save('model.h5')

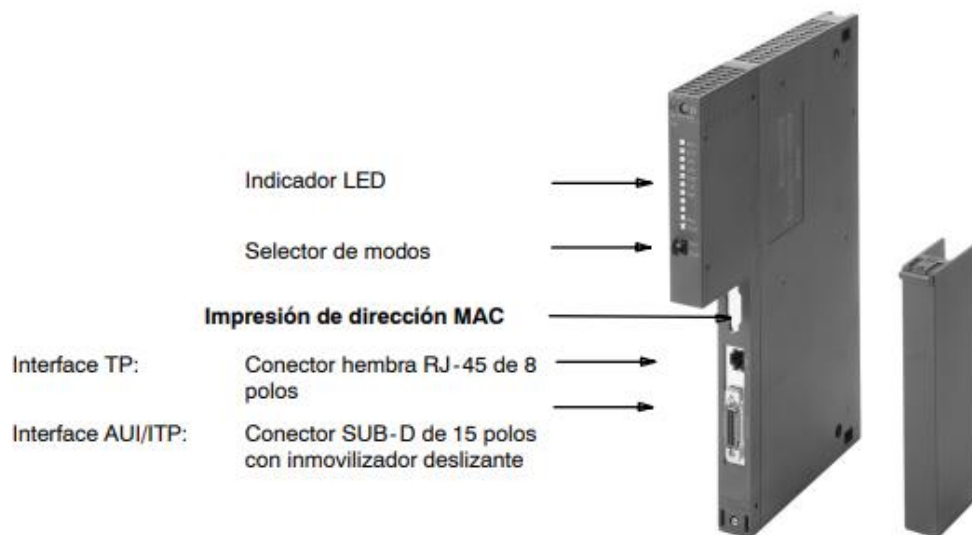
```

ANEXO E
Datos técnicos de la CPU 414-3.

CP 443-1

6GK7 443-1EX11-0XE0 a partir de la edición 3 (versión de firmware V2.2)

para SIMATIC S7-400



Velocidad de transmisión	10 Mbit/s y 100 Mbit/s
Interfaces	
Conexión a Industrial Ethernet (10/100 Mbit/s)	Conector de 15 polos Sub-D (conmutación automática entre AUI e Industrial Twisted Pair)
Conexión a Twisted Pair	Conector hembra RJ-45
Consumo de corriente a través del bus de panel posterior S7 - de 24 V: - de 5 V:	dependiendo de la conexión Ethernet utilizada resulta el siguiente valor para el consumo máximo de corriente: AUI: 0,35 A como máximo ITP: 0,1 A como máximo TP: 0,06 A como máximo 1,5 A como máximo
Pérdidas	8,6 W
Condiciones ambientales admisibles	
• Temperatura de funcionamiento	0 °C a +60 °C
• Temperatura de transporte y almacenaje	-40 °C a +70 °C
• Humedad relativa máx.	95% para +25 °C
• Altura de operación	hasta 1500 m sobre el nivel del mar
Estructura	
Dimensiones, módulo cerrado altura x ancho x profundidad (mm)	290x25x210
Peso	aprox. 750 g

Por lo demás, para el CP 443-1 rigen todos los datos indicados en /1/, capítulo "Datos técnicos generales", respecto a

- Compatibilidad electromagnética
- Condiciones de transporte y almacenamiento
- Condiciones ambientales mecánicas y climáticas
- Datos sobre ensayos de aislamiento, clase y grado de protección