

DESARROLLO Y EJECUCIÓN DE PLANES DE PRUEBAS, DOCUMENTACIÓN Y DISEÑO
DE PROTOCOLO DE PRUEBAS PARA EL SOFTWARE AXON TEST (AXON GROUP)

Laura María Combariza Chinome

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS - SECCIONAL TUNJA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
2022

DESARROLLO Y EJECUCIÓN DE PLANES DE PRUEBAS, DOCUMENTACIÓN Y DISEÑO
DE PROTOCOLO DE PRUEBAS PARA EL SOFTWARE AXON TEST (AXON GROUP)

Laura María Combariza Chinome

Director

Ing. Camilo Ernesto Pardo Beainy

Codirector

Ing. Cesar Mauricio Galarza Bogota

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS - SECCIONAL TUNJA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
2022

EXONERACIÓN DE RESPONSABILIDADES

Las ideas expresadas en esta tesis
Son responsabilidad exclusiva de los autores,
No es la opinión de la universidad Santo Tomás
O Facultad de Ingeniería Electrónica

NOTA DE ACEPTACIÓN

FIRMA JURADO

FIRMA JURADO

FIRMA DEL DECANO

ESTUDIANTE

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, quien me ha dado la sabiduría y la fortaleza para afrontar cada reto y dificultad que se ha presentado a lo largo de este proceso, a mis padres por su amor y apoyo incondicional. A mis perritos que han sido mi motor, mi inspiración y motivación.

AGRADECIMIENTOS

PARDO BEAINY, Camilo. Ingeniero de la Facultad de Ingeniería Electrónica. Universidad Santo Tomas Tunja- Director de pasantía. Por su sentido de compromiso e integridad hacia su profesión y su labor de docencia, expreso mi admiración y agradecimiento por su apoyo y guía durante todo este proceso académico.

GALARZA BOGOTA, Cesar. Ingeniero de la Facultad de Ingeniería Electrónica. Universidad Santo Tomas Tunja- Codirector de pasantía. Por su labor y compromiso hacia el aprendizaje y formación de sus estudiantes.

AXON GROUP LTDA Agradezco la oportunidad de pertenecer a esta empresa, las oportunidades de aprendizaje y formación en distintas áreas, por los retos que me permitieron desarrollar varias habilidades que considero indispensables para crecimiento profesional, por la calidad humana y el excelente ambiente laboral.

TABLA DE CONTENIDO

EXONERACIÓN DE RESPONSABILIDADES	1
NOTA DE ACEPTACIÓN	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTOS	4
TABLA DE CONTENIDO	5
LISTA DE FIGURAS	7
1. INTRODUCCIÓN	9
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
2.1. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	10
3. JUSTIFICACIÓN	12
4. OBJETIVOS	13
4.1. GENERAL	13
4.2. ESPECÍFICOS	13
5. FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES DEL CARGO	14
6. MARCO REFERENCIAL	15
6.1. AXON GROUP LTDA	16
6.1.1. AXON BUILDER	16
6.1.2. AXON EXCHANGE	17
6.1.3. AXON TEST	18
6.2. IMPORTANCIA DE LAS PRUEBAS DE SOFTWARE	20
6.3. EL PROCESO DE PRUEBA	21
6.4. TIPOS DE PRUEBAS	23
6.5. MODELO OSI	23
6.6. MODICON MODBUS	25
6.7. IEC 60870-5	26
6.7.1. IEC 60870-5-101	27
6.7.2. IEC 60870-5-103	30
6.7.3. IEC 60870-5-104	30
6.8. DNP3	32
6.9. OPC	33
7. DESARROLLO	35
7.1. PROCESO DE VALIDACIÓN	35
7.2. PROTOCOLO DE PRUEBAS AXÓN TEST	38

7.2.1.	TOOLS	39
7.2.1.1.	EMULADOR DE CONEXIÓN SERIAL	39
7.2.1.2.	EMULADOR DE CONEXIÓN TCP CLIENTE- SERVIDOR	40
7.2.1.3.	SCANNER IP	40
7.2.1.4.	MIMICOS	41
7.2.2.	CONFIGURACIÓN DE DISPOSITIVOS MODBUS	42
7.2.2.1.	DISPOSITIVO MODBUS MAESTRO	42
7.2.2.2.	DISPOSITIVO MODBUS ESCLAVO	43
7.2.3.	CONFIGURACIÓN DE DISPOSITIVOS IEC 60870-5-104	45
7.2.3.1.	DISPOSITIVO IEC 60870-5-104 MAESTRO	45
7.2.3.2.	DISPOSITIVO IEC 60870-5-104 ESCLAVO	46
7.2.4.	CONFIGURACIÓN DE DISPOSITIVOS IEC 60870-5-101	48
7.2.4.1.	DISPOSITIVO IEC 60870-5-101 MAESTRO ESCLAVO EN MODO DESBALANCEADO	48
7.2.4.2.	DISPOSITIVO IEC 60870-5-101 MAESTRO ESCLAVO MODO BALANCEADO	50
7.2.5.	DNP3	51
7.2.5.1.	DISPOSITIVO DNP3 MAESTRO	52
7.2.5.2.	DISPOSITIVO DNP3 ESCLAVO	52
8.	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
8.1.	REPORTE DE INCIDENCIAS	54
8.2.	GESTION Y SEGUIMIENTO DEL PROCESO DE PRUEBAS	55
8.3.	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN E INDICADORES	57
8.4.	INDICADORES PARA EL ÁREA DE TDS	57
9.	CONCLUSIONES	59
	REFERENCIAS	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Logo Axon Group Ltda.....	16
Figura 2. Ventana principal Axon Builder versión 3 Vista Modular software	17
Figura 3. Axon Exchange Ventana de Configuración.....	18
Figura 4. Área de trabajo y configuración de dispositivos Axon Test.	18
Figura 5. Proceso de prueba	22
Figura 6. Modelo OSI	24
Figura 7. Formato de un mensaje Modbus ASCII.....	25
Figura 8. Estructura de mensaje según IEC 60870-5-101.....	28
Figura 9. Grupos y números generales de códigos de identificación de tipo	28
Figura 10. Tipos de ASDU- Process information in monitor direction	29
Figura 11. Tipos de ASDU- Process information in control direction.....	29
Figura 12. Códigos de causa de transmisión (COT)	30
Figura 13. Arquitectura para 101 y 104	31
Figura 14. Formato de trama APDU	31
Figura 15. Capas del protocolo DNP3	32
Figura 16. Librería de Objetos en DNP3.....	33
Figura 17. Arquitectura OPC	34
Figura 18 Proceso de validación de productos de software en el área de TDS.....	35
Figura 19. Estructura general del protocolo de pruebas	38
Figura 20. Formulación de tareas de prueba para la sección de herramientas del Axon Test.....	39
Figura 21. Configuración del emulador de conexiones seriales.....	40
Figura 22. Configuración del emulador de conexiones TCP Cliente/Servidor	40
Figura 23. Scanner de IP	41
Figura 24. Herramienta de visualización Mimic	41
Figura 25. Formulación de tareas para la configuración de dispositivos Modbus	42
Figura 26. Comunicación Maestro Modbus	43
Figura 27. Comunicación Esclavo Modbus	44
Figura 28. Captura de Tramas Modbus TCP con el software Wireshark.....	44
Figura 29. Formulación de tareas para la configuración de dispositivos IEC 60870-5-104	45
Figura 30. Comunicación Maestro IEC 60870-5-104	46
Figura 31. Comunicación Esclavo IEC 60870-5-104	47
Figura 32. Captura de Tramas IEC 60870-5-104 TCP con el software Wireshark.....	47
Figura 33. Formulación de tareas para la configuración de dispositivos IEC 60870-5-101	48
Figura 34. Comunicación Maestro IEC 60870-5-101 modo desbalanceado.....	49
Figura 35. Comunicación Esclavo IEC 60870-5-101 modo desbalanceado	49
Figura 36. Comunicación Maestro IEC 60870-5-101 modo balanceado.	50
Figura 37. Comunicación Esclavo IEC 60870-5-101 modo balanceado	51
Figura 38. Formulación de tareas para la configuración de dispositivos DNP3	51
Figura 39. Comunicación Maestro DNP3	52
Figura 40. Comunicación Esclavo DNP3.....	53
Figura 41. Captura de Tramas DNP3 TCP con el software Wireshark.....	53
Figura 42. Incidencia reportada en el gestor de Bugs Mantis BT	55
Figura 43. Visor de incidencia reportadas en el gestor de Bugs Mantis BT	55

Figura 44. Taiga PM Épicas del protocolo de pruebas.....	56
Figura 45. Progreso y estado del desarrollo de las tareas de prueba.	56
RESUMEN	

En este documento se presentan las actividades desarrolladas durante la pasantía universitaria en el área TDS (Testeo, Documentación, Soporte) de la empresa de automatización eléctrica Axon Group, donde se pondrán en aplicación los conocimientos adquiridos y destrezas desarrolladas durante el proceso de formación académica en el programa de Ingeniería Electrónica en la Universidad Santo Tomás Tunja.

Se realiza el desarrollo del protocolo de pruebas sobre el software de simulación de dispositivos de telecontrol Axon Test, para la realización de este protocolo fue necesario definir un marco investigativo que integrará la parte conceptual de cada protocolo de comunicación y el análisis del funcionamiento dentro de un sistema de comunicaciones. Adicionalmente se realizó la ejecución de protocolos, el desarrollo de perfiles de interoperabilidad y planes de prueba para los productos de software desarrollados por Axon Group junto con tareas específicas orientadas a proyectos implementados en el área de protecciones, sistemas SCADA, monitorización de centrales y subestaciones eléctricas.

1. INTRODUCCIÓN

La alta demanda en el suministro de energía eléctrica a través de los años ha exigido a empresas de distribución generar sistemas más eficientes y predictivos; los cuales garanticen a los usuarios una alta confiabilidad y disponibilidad. El avance tecnológico de los sistemas y equipos IED's (Dispositivo Electrónico Inteligente) y RTU's (Unidad Terminal Remota) que se integran en las centrales y subestaciones eléctricas ha permitido automatizar gran parte de los procesos, para la integración con sistemas SCADA se han desarrollado protocolos de comunicación que permiten el intercambio de información entre diferentes tecnologías o fabricantes (TOSCANO PALACIOS, 2010).¹

Los sistemas SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) son desarrollados sobre diferentes plataformas como aplicaciones que integran el hardware con el software (COPA-DATA, 2021).² En este documento se presenta el desarrollo de planes de prueba sobre el software desarrollado por Axon Group el cual integra los principales estándares y protocolos de telecontrol enfocados hacia el sector eléctrico, resaltando la importancia de las pruebas en software y metodologías aplicables.

Las pruebas en software son una parte primordial dentro de la industria de la automatización, permiten integrar herramientas de hardware con entornos que entregan información de interés a los usuarios por medio de programas con entornos e interfaces de fácil uso y comprensión. Un producto de software que no funcione correctamente o que cause confusión al usuario puede causar múltiples problemas para la empresa causando sobrecostos y desprestigio de la marca. Realizar pruebas sobre el software es una forma de evaluar, asegurar la calidad y confiabilidad del producto, reduciendo el riesgo de fallos en entornos de simulación, operación o producción (ISTQB®, 2019).³

Axon Group es una empresa dedicada a la automatización del sector eléctrico, dentro de sus productos cuenta con el Axon Test, el cual es un software de simulación de protocolos de telecontrol para la automatización de pruebas con múltiples IEDs, SCADAs o software para Centros de Control basado en los protocolos DNP3, IEC 60870-5-101, IEC 60870-5-104, OPC y Modbus. Además del software Axon Test, la empresa también dispone de soluciones de software en las áreas de supervisión y control, gateways o concentradores y sistemas de monitorización de protecciones eléctricas.

¹ TOSCANO PALACIOS, M. A. (2010). Automatización de una Subestación Eléctrica utilizando el Protocolo IEC 61850 y el ICCP para el envío de Datos. Obtenido de Repositorio URP: <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/urp/66>

² COPA-DATA. (17 de Noviembre de 2021). ¿Qué es SCADA? Obtenido de <https://www.copadata.com/es/productos/zenon-software-platform/visualizacion-control/que-es-scada/>

³ ISTQB®. (2019). *International software testing qualifications board*. Obtenido de <http://www.istqb.org/>

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Axon Group es una empresa de automatización enfocada en el sector eléctrico, dentro de los servicios y productos que ofrece se encuentran soluciones de software con el fin de abarcar áreas del sector como: supervisión y control, concentradores o gateways, recolección de datos en sistemas de protección, sistemas SCADA y herramientas de simulación en los principales protocolos de telecontrol usados a nivel nacional y Latinoamérica.

El área de TDS (Testeo, Documentación y Soporte) es la encargada de verificar la calidad y funcionalidad de cada uno de los productos de software, por lo que se soporta en el Axon Test para la realización de varias pruebas, ya que este permite realizar la simulación de señales y comandos propias de cada dispositivo que opera bajo un protocolo además de contar con herramientas de diagnóstico y visualización (Axon Group, 2021).⁴

El Axon Test ser un software que cuenta con varias funcionalidades y herramientas, es necesario que la persona encargada de realizar pruebas sobre el software cuente con un marco de desarrollo o protocolo de pruebas, las cuales definan de manera concreta para el probador la importancia de parámetros como calidad, conectividad, estampa de tiempo, concordancia según el tipo de datos, entre otros.

Con el planteamiento y desarrollo del protocolo de pruebas se busca que el tester además de verificar las funcionalidades generales, desarrolle destrezas en el análisis del funcionamiento de cada protocolo de modo que pueda identificar, analizar el tráfico de datos y así reportar de manera concisa y acertada los errores o bugs que se puedan presentar dentro del programa, dando al desarrollador una ruta e indicaciones que le permitan determinar que parámetros pueden estar ocasionando el fallo para su corrección y verificación.

2.1. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

La prueba de componentes y sistemas junto con la documentación asociada ayudan a reducir los riesgos de fallos del software que se está desarrollando y probando. La detección de defectos y su corrección permite garantizar y asegurar un nivel de calidad y confiabilidad para el usuario final.

Dentro del área de pruebas es importante definir o delimitar el alcance que las pruebas tienen sobre el producto de software. Los principios de pruebas definidos por el ISTQB (International Software Testing Qualifications Board) establecen:

- El desarrollo de un proceso de pruebas puede mostrar la presencia de defectos, pero no puede garantizar la ausencia de defectos, ya que un proceso de pruebas reduce la probabilidad de defectos también denotando que las pruebas se encargan de la búsqueda de defectos, pero no la corrección de estos.

⁴ Axon Group. (10 de Junio de 2021). *Axon Test*. Axon Group. Obtenido de Simulador protocolos telecontrol: <https://axongroup.com.co/productos/axon-test/>

- Es imposible realizar una prueba exhaustiva, ya que no es posible llegar a probar todas las combinaciones de entradas y precondiciones, por esta razón es importante priorizar los aspectos más importantes dentro del producto de software.
- La ausencia de errores es una falacia. (ISTQB®, 2019)⁵

Con base en estos principios es importante resaltar que en el desarrollo del protocolo de pruebas para el Axon Test, está enfocado en crear un marco de desarrollo para la verificación y reporte de posibles errores en la ejecución y funcionamiento del software con sus herramientas, seccionando sus componentes en ítems que ayudarán al probador o tester a enfocar el proceso de pruebas en las características y funcionalidades más importantes.

El desarrollo de este protocolo de pruebas se da durante el desarrollo de la pasantía en el área de TDS en la empresa Axon Group, la fecha de inicio es el 18 de enero de 2021 y la fecha de finalización el 16 de Julio de 2021 acuerdo con el contrato y los requerimientos en la intensidad horaria que estipula la Universidad para el desarrollo de la pasantía como modalidad de trabajo de grado.

⁵ ISTQB®. (2019). *International software testing qualifications board*. Obtenido de <http://www.istqb.org/>

3. JUSTIFICACIÓN

Dentro del área de TDS es necesario simular múltiples escenarios con el fin de comprobar las funcionalidades de cada uno de los productos de software orientados a la automatización del sector eléctrico, dentro de estos se encuentra el Axon Builder (Software para la supervisión, control y adquisición de datos SCADA) , Axon Exchange (Gateway o concentrador de subestación, permitiendo la conversión entre múltiples protocolos de telecontrol) , Axon Comtrade (Sistema de recolección automática de protecciones Comtrade) , AT61 (Conjunto de herramientas de simulación para el estándar IEC 61850) y el Axon Test Simulador de dispositivos orientados al telecontrol.

Axon Test permite simular múltiples dispositivos cliente servidor por canales seriales y ethernet, por lo cual es una de las herramientas más importantes para la realización de pruebas, por esto es necesario implementar un protocolo de pruebas que optimice y de al tester un marco de desarrollo que le permita identificar los parámetros relevantes dentro de los distintos escenarios de pruebas que se puedan presentar (Axon Group, 2021).⁶

Durante el desarrollo de la pasantía se realiza la revisión y testeo de proyectos relacionados con el área de protecciones, monitorización de centrales y subestaciones eléctricas, en donde se tienen equipos y dispositivos cuyo funcionamiento y modos de comunicación están reglamentados dentro de protocolos de telecontrol; el Axon Test integra la simulación de dispositivos maestros y esclavos en los principales protocolos de telecontrol que se implementan a nivel nacional y América Latina. Dentro de los proyectos desarrollados se encuentran sistemas SCADA, implementación de Gateways que permiten manejar sistemas que trabajan sobre diferentes protocolos tales como Modicon Modbus, IEC 60870-5-101, IEC 60870-5-104, DNP3, OPC, SNMP, IEC 61850.

⁶ Axon Group. (10 de Junio de 2021). *Axon Test*. Axon Group. Obtenido de Simulador protocolos telecontrol: <https://axongroup.com.co/productos/axon-test/>

4. OBJETIVOS

4.1. GENERAL

Desarrollar un protocolo de pruebas para el Axon Test enfocado a la optimización e identificación de parámetros de configuración relevantes dentro de los escenarios de pruebas.

4.2. ESPECÍFICOS

- i. Establecer un marco metodológico para la realización de pruebas sobre el Axon Test.
- ii. Estructurar de manera ordenada los procesos que se deben desarrollar en el análisis de los elementos de un proyecto.
- iii. Desarrollar tareas relacionadas con el cargo de pasante dentro del área de TDS.
- iv. Validar los productos desde la perspectiva de los requisitos del cliente contrastados con los requerimientos iniciales del sistema.

5. FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES DEL CARGO

- ❖ Ejecutar planes y/o protocolos de prueba para los productos de software.
- ❖ Ofrecer asistencia local o remota de las aplicaciones a los clientes internos (soporte técnico interno)
- ❖ Realizar informes detallados de los hallazgos de las pruebas
- ❖ Registrar y reportar diariamente las actividades, avances y problemas en la ejecución de sus tareas
- ❖ Colaborar en tareas de mantenimiento de la infraestructura operativa de la organización
- ❖ Demás funciones asignadas por el jefe inmediato que tengan relación con el cargo

6. MARCO REFERENCIAL

Durante el desarrollo de la pasantía en la empresa de automatización Axon Group en el área de TDS (Testeo, Documentación y Soporte), se desarrollaron casos de prueba para los software:

- Axon Test
- Axon Builder versión 2 y versión 3
- Axon Exchange
- AT61

HERRAMIENTAS UTILIZADAS

- Como herramienta para el análisis de tráfico se usó el software Wireshark, este programa permite desglosar por capas cada uno de los paquetes capturados además de aplicar filtros por protocolos los cuales decodifican la información y permiten identificar las estructuras de cada protocolo (Combs, 2008).⁷
- El reporte de errores o bugs se realiza en la herramienta Mantis Bug Tracker el cual es un gestor de incidencias.
- La implementación de los protocolos de prueba se apoya en la herramienta Taiga Project Management la cual permite realizar la gestión de las tareas y el grupo de trabajo siguiendo la metodología Agile.
- La empresa Axon Group cuenta con una plataforma de formación para la capacitación interna y externa de personal en protocolos de telecontrol, ciberseguridad y automatización de subestaciones eléctricas.

Para la realización del protocolo de pruebas en software es necesario tener en cuenta los principios y normas que se han establecido por organizaciones internacionales como la IEEE y el ISTQB, donde se crea un marco de referencia con los lineamientos más relevantes para comprender el alcance y el impacto que tiene el área de pruebas en las empresas para el aseguramiento de la calidad y la reducción de la probabilidad de presencia de errores en sus productos.

⁷ Combs, G. (2008). *Wireshark*. Obtenido de Go Deep. Wireshark: <https://www.wireshark.org/>

6.1. AXON GROUP LTDA

Figura 1. Logo Axon Group Ltda



Fuente: <https://axongroup.com.co/wp-content/uploads/2020/12/Logos-Axon-Group-ancho-156.png>

Axon Group Ltda *Figura 1* es una empresa Colombiana con sucursal en Perú, dedicada a ofrecer soluciones orientadas al sector eléctrico como productos de software, servicios de ingeniería, capacitaciones en protocolos de telecontrol, ciberseguridad de automatización de subestaciones eléctricas, soporte técnico, entre otros.

Cuenta con varias áreas de enfoque como son ingeniería de proyectos, desarrollo, soporte, pruebas, innovación abarcando de manera transversal varios campos de aplicación, con el fin de ir de la mano con las nuevas tecnologías y los requerimientos del mercado (Axon Group, 2021).⁸

Los desarrollos de software enfocados en la automatización son de los productos más importantes dentro de la monitorización y control de centrales eléctricas. A continuación, se realiza una descripción de los productos de software que ofrece Axon Group y sobre los cuales se trabajó durante la pasantía.

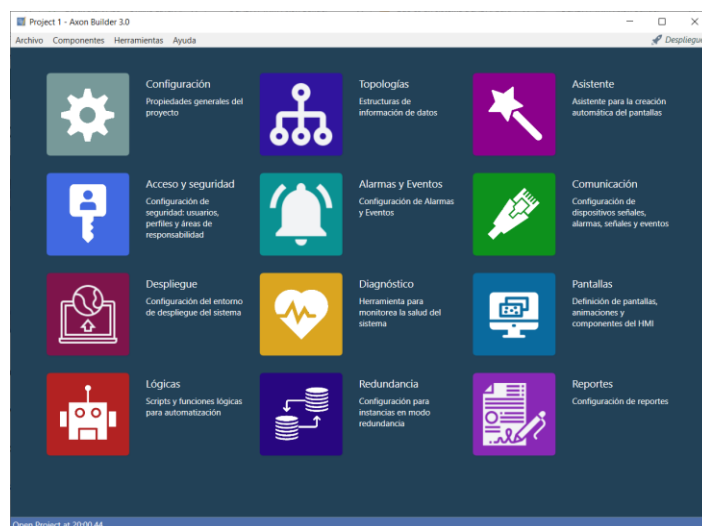
6.1.1. AXON BUILDER

Axon Builder es un software que permite la integración y configuración de sistemas SCADA/HMI los cuales se basan en el control, la supervisión, el análisis, la recopilación y el análisis de datos enfocado al sector eléctrico. Está basado en una arquitectura cliente servidor, permite la conexión de múltiples dispositivos asegurando su adaptabilidad e interoperabilidad entre diferentes sistemas de automatización eléctrica y de protecciones (Axon Group, 2021).⁹

⁸ Axon Group. (4 de Marzo de 2021). *Nuestra Empresa*. Obtenido de Nuestra Historia: <https://axongroup.com.co/nuestra-empresa/>

⁹ Axon Group. (7 de Octubre de 2021). *Axon Builder 3 SCADA / IHM*. Obtenido de <https://axongroup.com.co/productos/axon-builder-3/>

Figura 2. Ventana principal Axon Builder versión 3 Vista Modular software



Fuente: Imagen tomada de la ventana principal del software Axon Builder versión 3.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se encuentra la vista modular del software Axon Builder, cada uno de estos módulos tiene herramientas de configuración e integración de sistemas SCADA/HMI para el monitoreo y control de centrales y subestaciones eléctricas, cuenta con elementos de diseño como el Asistente de creación de bahías y el módulo de pantallas los cuales le permiten al usuario diseñar diferentes topologías y asociarlas a las señales de uno o varios dispositivos.

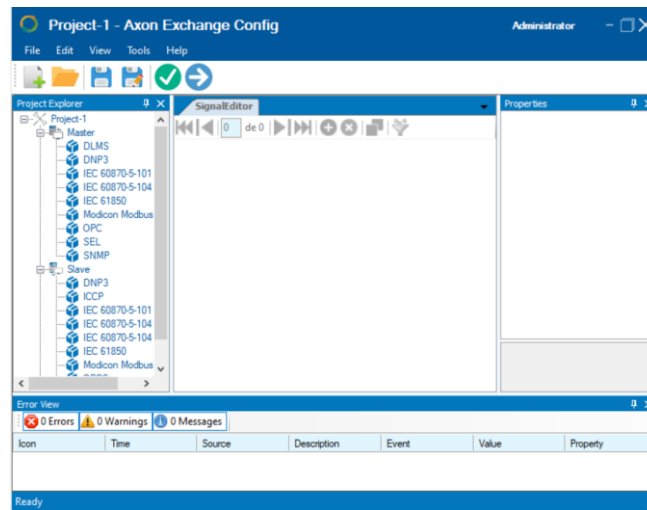
También cuenta con los módulos de Reportes, Alarmas y Lógicas. Los cuales permiten al usuario configurar escenarios de alerta e integrarlos con la HMI, de modo que se puedan tener indicadores ya sea visuales o sonoros de algún evento, del mismo modo cuenta con una herramienta que permite registrar y recolectar esta información en un Reporte.

6.1.2. AXON EXCHANGE

Axon Exchange es un software que cuya función se basa en una Gateway, permite la conversión y comunicación entre los principales estándares de telecontrol como lo son: IEC 61850, DNP3, DLMS, IEC 60870-5-101, IEC 60870-5-104, IEC 60870-5-104 ENDESA, OPC, ICCP, SNMP y Modbus (Axon Group, 2021).¹⁰

¹⁰ Axon Group. (15 de Mayo de 2021). *Gateway - Axon Exchange*. Obtenido de Axon Exchange Gateway de comunicaciones: <https://axongroup.com.co/productos/axon-exchange/>

Figura 3. Axon Exchange Ventana de Configuración

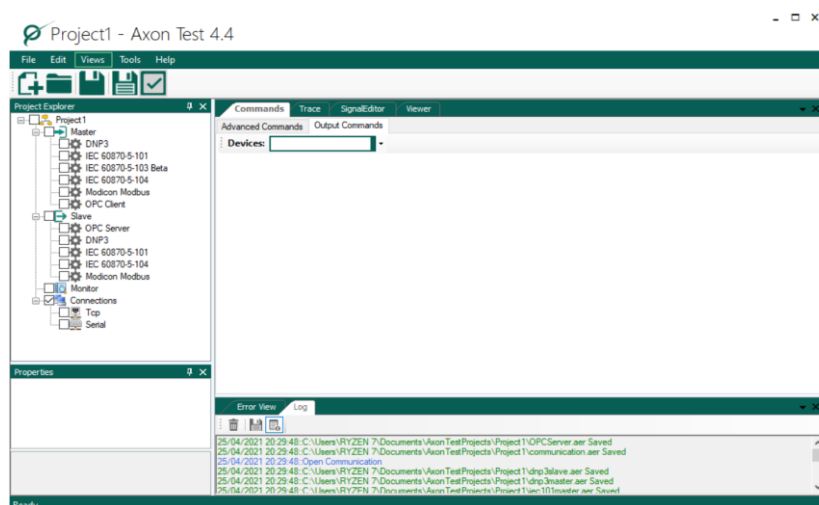


Fuente: Imagen tomada de la ventana principal del software Axon Exchange.

En la Figura 3 se observa el panel de configuración del Axon Exchange, en esta ventana se encuentra el explorador del proyecto donde es posible agregar, modificar y eliminar los dispositivos maestros y esclavos; el panel de Edición de señales y el panel de propiedades que permite realizar la configuración de los dispositivos agregados en el protocolo correspondiente.

6.1.3. AXON TEST

Figura 4. Área de trabajo y configuración de dispositivos Axon Test.



Fuente: Imagen tomada de la ventana de inicio del software Axon Test.

Es un software que permite simular múltiples estados y dispositivos que se utilizan para realizar pruebas con múltiples IEDs, SCADAS o software para Centros de Control basado en los protocolos de telecontrol DNP3, IEC 60870-5-101, IEC 60870-5-103, IEC 60870-5-104, OPC y Modbus. En la *Figura 4* se muestra la ventana de inicio del Axon Test, donde se encuentra el explorador del proyecto donde es posible agregar, modificar y eliminar los dispositivos maestros y esclavos, también se encuentra la sección de conexiones donde es posible configurar los canales TCP o Seriales según el protocolo. En la ventana principal es posible agregar las herramientas como el visor de señales, el editor de señales, el tracer, la ventana de comandos, simulador de conexiones y demás herramientas.

Este software permite realizar un análisis de la comunicación, generando informes sobre los datos recibidos por medio del trazado de tráfico y análisis de tramas. Esta herramienta optimiza procesos de pruebas y maximiza la productividad durante las pruebas FAT (Factory Acceptance Test) en proceso de automatización. Además de permitir la simulación de distintos escenarios cuenta con herramientas adicionales para el diagnóstico de conectividad. Permite al usuario la visualización de estados de las señales, así como el envío de comandos predefinidos o personalizados utilizando las características de cada protocolo (Axon Group, 2021).¹¹

6.2. ÁREA DE TDS (TESTEO, DOCUMENTACIÓN Y SOPORTE)

El área de TDS tiene como objetivo garantizar que los productos de software cumplan con los estándares de calidad y satisfacción del cliente, trabaja en conjunto con el área de desarrollo para realizar la validación de la ejecución, la estabilidad y el desempeño de los programas desarrollados; se realizan actividades que ponen en evaluación las funcionalidades y mejoras que se implementan a lo largo del ciclo de desarrollo.

El objetivo del área de pruebas es encontrar fallos en las herramientas, recopilar información que sustente la calidad y efectividad de las funcionalidades, en caso de detectar errores reportar las incidencias de manera clara y hacer un seguimiento al proceso de desarrollo hasta el momento en que el error sea corregido.

También es la encargada de la documentación, validación y entrega de manuales de usuario y requerimientos del software, llevando un registro de control de cambios y nuevas funcionalidades; además de brindar soporte tanto a clientes internos como externos (Axon Group, 2021).¹²

Las principales actividades dentro del área son:

- Plantear y desarrollar protocolos de prueba con el fin de encontrar defectos o bugs en las aplicaciones entregadas por el área de desarrollo.
- Promover el mejoramiento de los procesos de prueba con la propuesta de alternativas y herramientas que mejoren la eficiencia.

¹¹ Axon Group. (10 de Junio de 2021). Simulador Protocolos Telecontrol - Axon Test. Obtenido de Axon Test simulador de protocolos: <https://axongroup.com.co/productos/axon-test/>

¹² Axon Group. (2021). Documentación de la compañía. Bogotá, Colombia.

- Realizar la recopilación de la información referente a los productos, las herramientas, llevar un control de los Backups y toda la documentación necesaria para soportar el aseguramiento de la calidad de los productos.
- Soporte técnico a clientes.
- Licenciamiento de productos de software
- Capacitación en los estándares de telecontrol.

6.2. IMPORTANCIA DE LAS PRUEBAS DE SOFTWARE

La realización de pruebas en software permite evaluar los productos, verificar que se cumplen los requisitos especificados, asegurar el funcionamiento adecuado, genera confianza en el usuario final, previene defectos y principalmente ayuda a reducir el riesgo de fallos que puedan afectar el bienestar e integridad personal y organizacional.

El objetivo principal de la realización de pruebas sobre un producto de software es:

Proporcionar información sobre la calidad del elemento de prueba y cualquier riesgo residual en relación con su fase de desarrollo; para encontrar defectos en el producto antes de su liberación; y mitigar los riesgos para las partes interesadas previniendo la mala calidad del producto (ISTQB®, 2019).¹³

Las pruebas de software son necesarias porque:

- Una empresa enfocada al desarrollo de software requiere información y procesos que sustente la calidad de sus productos.
- Los productos de software no siempre cumplen con el comportamiento esperado, más que todo en caso de implementar nuevas funcionalidades.
- Es importante asegurar al usuario que los productos de software cumplen con un proceso de prueba y verificación.
- La evaluación de los productos de software debe realizarse a lo largo del ciclo de vida de desarrollo del software y del sistema. Antes, durante y después de la liberación del producto.
- Ya que no es posible asegurar que un software no presenta errores. Es necesario probar el software sus funcionalidades antes de que se libere a los usuarios para reducir el riesgo de que los errores en la producción de software tengan un impacto negativo cuando se utiliza el software. Es igualmente necesario asegurarse de que las pruebas se realicen correctamente.
- Se producen errores o defectos introducidos y pueden ser en gran parte inevitables.

¹³ ISTQB®, (2019). *International software testing qualifications board*. Obtenido de <http://www.istqb.org/>

- Los efectos de un error en el software pueden comprometer la reputación empresarial, la seguridad pública, la viabilidad económica empresarial, la seguridad empresarial o del usuario y / o el medio ambiente (ISTQB®, 2019).¹⁴

6.3. EL PROCESO DE PRUEBA

Las pruebas de software deben centrarse en proporcionar información sobre un producto de software y encontrar tantos defectos como sea posible, tan pronto como sea posible en el proceso de desarrollo, bajo determinadas restricciones de costo y cronograma. Actualmente no existe un proceso definido que aplique en la realización de pruebas en software a nivel general, pero la ISTQB (International Software Testing Qualifications Board) propone siete actividades que al integrarse brindan un marco para un correcto desarrollo del proyecto (ISO/IEC/IEEE 29119, 2013).¹⁵ En la *Figura 5* se muestra el proceso general para la realización de pruebas en software definido por la ISTQB.

1) Planeación

En la planeación se fijan los objetivos, se proponen las técnicas y procesos que podría aplicar el probador, se realiza la estimación de tiempo y recursos que se invertirán en el proceso de prueba.

2) Análisis

En el análisis se determina específicamente que se va a probar casos de uso, funcionalidades, escenarios posibles, en qué aspectos es necesario hacer pruebas exhaustivas, qué ponderación se va a atribuir a cada tarea.

¹⁴ ISTQB®. (2019). *International software testing qualifications board*. Obtenido de <http://www.istqb.org/>

¹⁵ ISO/IEC/IEEE 29119. (2013). ISO/IEC/IEEE 29119-2:2013. Software testing —Part 2:Test processes. doi: 10.1109/IEEESTD.2013.6588543.

Figura 5. Proceso de prueba



Fuente: Imagen basada en la información de la sección Proceso de Pruebas ISTQB.

3) Diseño

Una vez realizado el análisis de que se va a probar es necesario definir cómo se va a probar, es en la fase de diseño donde se tomarán en cuenta los casos de uso y se construirán los escenarios de prueba que son necesarios para abarcar esas funcionalidades y requerimientos necesarios para cumplir los objetivos.

4) Implementación

En la implementación se evalúa si se cuenta con todos los casos de uso priorizados y se verifica que se cumpla con las condiciones necesarias para asegurar que la prueba cumplirá con los casos de prueba necesarios.

5) Ejecución

Se ejecutan los casos de prueba definidos en las actividades anteriores, se comparan los resultados obtenidos con los resultados esperados y se realiza un informe con los fallos encontrados.

6) Finalización

Se recopilan los datos y se consolida la información más relevante obtenida durante el proceso de pruebas, con base en la cual se propondrán actividades y mejoras o se dará liberación al producto de software.

7) Monitorización y Control

En esta actividad se realiza una evaluación de cada actividad en el que se tienen en cuenta los criterios de entrada y de salida, con el fin de determinar si es necesario modificar alguna

acción que no permita o que retrase el cumplimiento de los objetivos definidos para el proceso de prueba (ISTQB®, 2019).¹⁶

6.4. TIPOS DE PRUEBAS

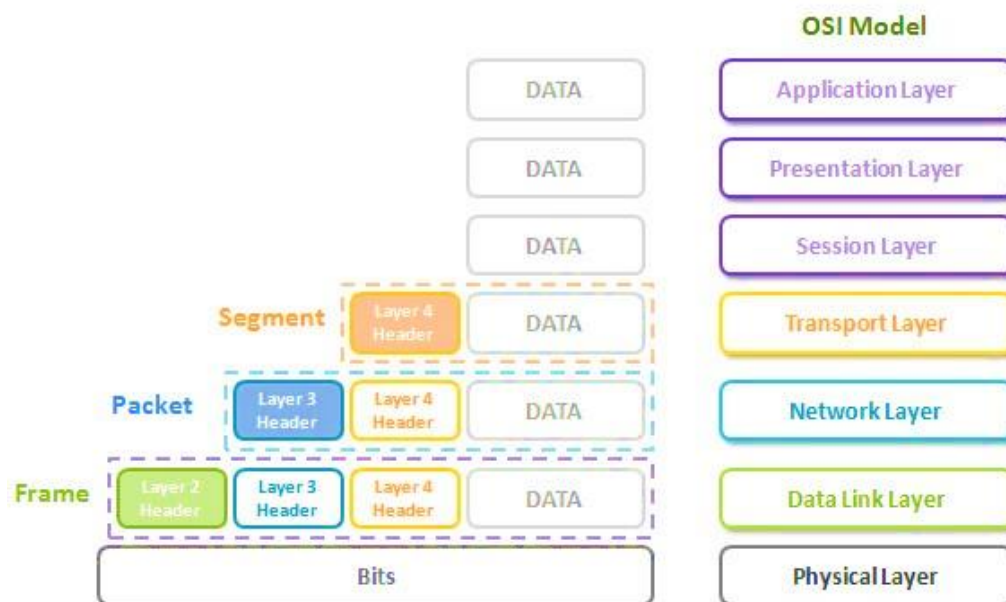
- Pruebas unitarias o de componentes: Estas pruebas se centran en unidades o módulos individuales, normalmente son ejecutadas por el desarrollador.
- Pruebas de integración: Estas pruebas se desarrollan validando la funcionalidad de módulos y componentes en conjunto.
- Pruebas de sistema: Se centran en el comportamiento del sistema en general, teniendo en cuenta Hardware y Software, se realizan prueba funcionales y no funcionales.
- Pruebas de aceptación: Estas pruebas se centran en el comportamiento de todo el sistema normalmente las llevan a cabo los usuarios finales.
- Pruebas funcionales: Evalúa todos los niveles de prueba (Eficiencia, desempeño, seguridad).
- Pruebas caja blanca: Se basan en validar la estructura del sistema (Flujos de datos, estructuras)
- Pruebas no funcionales: Evalúan las características de desempeño del producto (ISTQB®, 2019).

6.5. MODELO OSI

Durante la evaluación y desarrollo de pruebas sobre cada protocolo es necesario reconocer a qué nivel de referencia corresponde el parámetro dentro del modelo OSI, haciendo más fácil para el probador y para el desarrollador identificar en qué capa se puede estar desarrollando un Bug. Por esta razón a continuación se definen las capas del modelo OSI.

¹⁶ ISTQB®. (2019). *International software testing qualifications board*. Obtenido de <http://www.istqb.org/>

Figura 6. Modelo OSI



Fuente: Imagen tomada de <https://ipcisco.com/wp-content/uploads/osi-model-headers.jpg>

El modelo OSI (modelo de interconexión de sistemas abiertos) Figura 6 es un marco conceptual que se utiliza para describir las funciones de un sistema de redes. El modelo OSI caracteriza las funciones informáticas en un conjunto universal de reglas y requisitos para respaldar la interoperabilidad entre diferentes productos y software. En el modelo de referencia OSI, las comunicaciones entre un sistema informático se dividen en siete capas de abstracción diferentes: física, enlace de datos, red, transporte, sesión, presentación y aplicación (Robert J. Shimonski, 2005).¹⁷

CAPA FÍSICA: La capa más baja del modelo OSI se ocupa de la transmisión eléctrica u óptica de bits de datos no estructurados sin procesar a través de la red desde la capa física del dispositivo de envío a la capa física del dispositivo de recepción.

CAPA DE ENLACE DE DATOS: En la capa de enlace, los nodos conectados directamente se utilizan para realizar transferencias de datos de nodo a nodo donde los datos se empaquetan en tramas. La capa de enlace de datos también corrige errores que pueden haber ocurrido en la capa física (Forcepoint, 2021).¹⁸

CAPA DE RED: Es responsable de recibir las tramas de la capa de enlace de datos y entregarlas a sus destinos previstos según las direcciones contenidas dentro de la trama.

CAPA DE TRANSPORTE: Gestiona la entrega y la verificación de errores de los paquetes de datos. Regula el tamaño, la secuencia y, en última instancia, la transferencia de datos entre sistemas y hosts.

¹⁷ Robert J. Shimonski, M. C. (2005). *Chapter 5 - OSI Model*. Syngress ISBN 9781931836425.

¹⁸ Forcepoint. (11 de Marzo de 2021). *What is the OSI Model?* Obtenido de <https://www.forcepoint.com/es/cyber-edu/osi-model>

CAPA DE SESIÓN: Controla las conversaciones entre diferentes computadoras. Una sesión o conexión entre máquinas se configura, administra y finaliza en la capa.

CAPA DE PRESENTACIÓN: Da formato o traduce datos para la capa de aplicación según la sintaxis o semántica que acepta la aplicación.

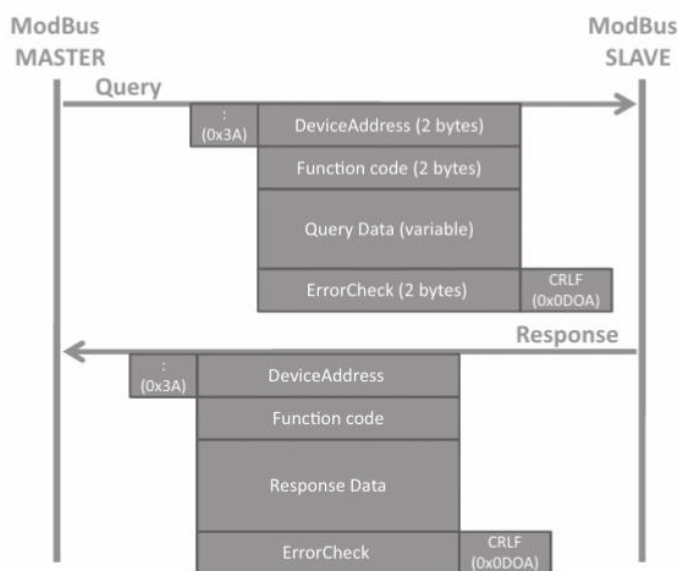
CAPA DE APLICACIÓN: En esta capa, tanto el usuario final como la capa de aplicación interactúan directamente con la aplicación de software (Y. Li, 2011).¹⁹

6.6. MODICON MODBUS

Modbus es un protocolo de comunicaciones publicado originalmente por Modicon (ahora Schneider Electric) en 1979 para su uso con sus controladores lógicos programables (PLC) (Drury , 2009).²⁰

Modbus es de los principales protocolos que se implementan en entornos industriales ya que es de uso abierto. Es un protocolo de mensajería de la capa de aplicación que se basa en una estructura Cliente/Servidor. Fue desarrollado principalmente para aplicaciones industriales por su sencillez y fácil implementación, no presenta mayores restricciones, además de la simplicidad de los paquetes o tramas de información (Hersent, Boswarthick, & Elloumi, 2012).²¹

Figura 7. Formato de un mensaje Modbus ASCII



Fuente: Hersent, Olivier, et al. *The Internet of Things : Key Applications and Protocols*, John Wiley & Sons, Incorporated, 2012. ProQuest Ebook Central, <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliotecausta-ebooks/detail.action?docID=832300>

¹⁹ Y. Li, D. L. (2011). "Research based on OSI model". IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks doi: 10.1109/ICCSN.2011.6014631.

²⁰ Drury , B. (2009). Control Techniques Drives and Controls Handbook (PDF) (2nd ed.). Institution of Engineering and Technology.

²¹ Hersent, O., Boswarthick, D., & Elloumi, O. (2012). ModBus in The Internet of Things. En Key Applications and Protocols. Wiley doi: 10.1002/9781119958352.ch5.

Los dispositivos Modbus se comunican mediante el modelo maestro-esclavo: Un dispositivo maestro el cual realiza consultas, hacia uno o varios esclavos. Los esclavos son dispositivos que responden a las consultas realizadas por el maestro como se muestra en la *Figura 7*.

En Modbus el modo de transmisión define el formato y la codificación de la información durante la comunicación.

- ASCII, es una representación legible del protocolo (caracteres ASCII) 1 byte por cada carácter
- RTU, es una representación binaria compacta de datos. 1 byte

FORMATO DE TRAMAS ADU (UNIDAD DE DATOS A NIVEL DE APLICACIÓN)

- Device Address: Dirección de equipo al cual se envía la información
- Function Code: Indica que acción se va a realizar (lectura, control, escritura)
- Response Data: Datos, información que se va a transmitir
- Error Check: CRC verificación que la información no se ha perdido en el proceso de transmisión (Hersent, Boswarthick, & Elloumi, 2012).²²

6.7. IEC 60870-5

IEC 60870-5 es una colección de estándares publicados por la IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) para la transmisión de información y control de telemetría SCADA. Este estándar fue diseñado para ser aplicado en industrias eléctricas en países europeos. El IEC 60870 hace referencia a todos los procedimientos para hacer monitoreo y control dentro de una subestación, la primera parte fue publicada en 1990 (Skoko, Atlagic, & Isakov, 2014).²³

Este protocolo está dividido en varias partes, las primeras siete partes hacen referencia a las capas:

-5-1 Formato de trama de transmisión

-5-2 Procedimientos de la capa de enlace

-5-3 Estructura general de los datos de aplicación (ASDUs)

-5-4 Definición y codificación de elementos de información de la aplicación (Data objects)

-5-5 Funciones de aplicación básicas (Servicios)

²² Hersent, O., Boswarthick, D., & Elloumi, O. (2012). ModBus in The Internet of Things. En *Key Applications and Protocols*. Wiley doi: 10.1002/9781119958352.ch5

²³ Skoko, V., Atlagic, B., & Isakov, N. (2014). Comparative realization of IEC 60870-5 industrial protocol standards. Telecommunications Forum Telfor (TELFOR) doi: 10.1109/TELFOR.2014.7034572.

- 5-7 Extensiones de seguridad
- 5-101 Tareas básicas de telecontrol (Procesos generales)
- 5-102 Transmisión de Integrate Totals (medidas)
- 5-103 Funciones de protección de subestaciones
- 5-104 Utiliza perfiles de transporte estándar (Procesos generales TCP/IP)
- 5-106 ICCP Realizar comunicaciones entre diferentes subestaciones (IEEE , 2007).²⁴

6.7.1. IEC 60870-5-101

Está basado en el modelo EPA (Arquitectura de Rendimiento Mejorado), es el mismo modelo OSI pero reducido ya que lo usan protocolos de monitoreo y control. Se reduce a una capa física una capa de enlace y la capa de aplicación.

- CAPA DE APLICACIÓN: Ocupa de todos los Data Objects, encuestas, eventos, envío de comandos, estampas de tiempo y sincronización.
- CAPA DE ENLACE: Maneja el control de enlace, verificación de tramas, direccionamiento, confirmaciones de enlace.
- CAPA FÍSICA: Canal de comunicación serial.

MODOS DE FUNCIONAMIENTO DE LA CAPA DE ENLACE

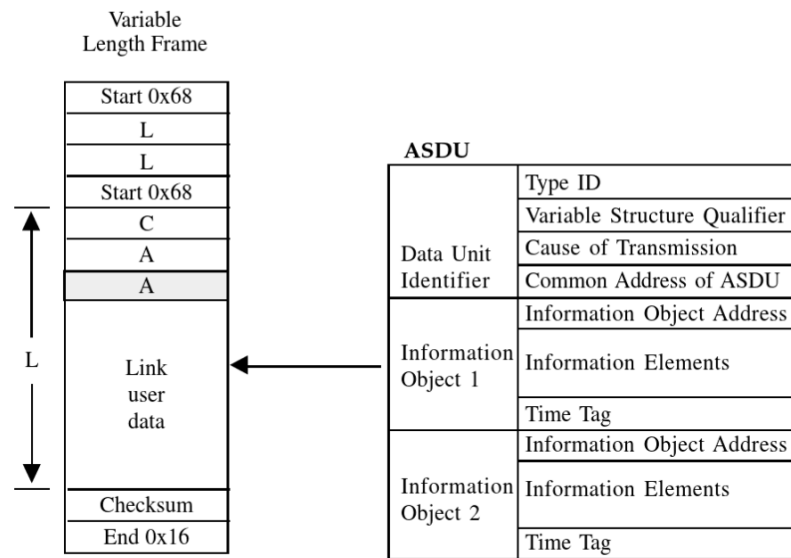
- MODO BALANCEADO: Aplica en enlaces Punto a Punto o con una comunicación dúplex. Estación Primaria y estación secundaria.
- MODO DESBALANCEADO: Aplica en enlaces Multipunto, control de tráfico por encuestas. Maestro lleva el control del canal

ASDU (UNIDAD DE DATOS DEL SERVICIO DE APLICACIÓN)

En la *Figura 8* se muestra la estructura de un mensaje en IEC 60870-5-101 donde el ASDU esta compuesto por los siguientes elementos.

²⁴ IEEE . (2007). IEEE Recommended Practice for Network Communication in Electric Power Substations. En I. S. 1615-2007. doi: 10.1109/IEEESTD.2007.4288669.

Figura 8. Estructura de mensaje según IEC 60870-5-101



Fuente: Clarke, Gordon, and Deon Reynders. *Practical Modern SCADA Protocols : DNP3, 60870. 5 and Related Systems*, Elsevier Science & Technology, 2004. ProQuest Ebook Central, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliotecausta-ebooks/detail.action?docID=226682>.

- **TIPO DE IDENTIFICACIÓN:** Define la estructura, el tipo y formato de los objetos de información contenidos en la trama. En la *Figura 9* se encuentra la definición general de los tipos de identificación según el tipo de dato, en la *Figura 10* se presentan los tipos de identificación para datos de monitoreo como señales, en la *Figura 11* se presentan los tipos de identificación para datos de control como comandos; junto con la referencia correspondiente al tipo de dato. Esta referencia es la que se obtiene al realizar un análisis del tráfico durante la comunicación.

Figura 9. Grupos y números generales de códigos de identificación de tipo

Defined Type codes	Group
<1..40>	Process information in monitor direction
<45..51>	Process information in control direction
<70>	System information in monitor direction
<100..106>	System information in control direction
<110..113>	Parameter in control direction
<120..126>	File transfer

Fuente: Clarke, Gordon, and Deon Reynders. *Practical Modern SCADA Protocols : DNP3, 60870. 5 and Related Systems*, Elsevier Science & Technology, 2004. ProQuest Ebook Central, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliotecausta-ebooks/detail.action?docID=226682>.

Figura 10. Tipos de ASDU- Process information in monitor direction

Type No.	Description	Reference
<0>	not defined	
<1>	single-point information	M_SP_NA_1
<2>	single-point information with time tag	M_SP_TA_1
<3>	double-point information	M_DP_NA_1
<4>	double-point information with time tag	M_DP_TA_1
<5>	step position information	M_ST_NA_1
<6>	step position information with time tag	M_ST_TA_1

Fuente: Clarke, Gordon, and Deon Reynders. *Practical Modern SCADA Protocols : DNP3, 60870. 5 and Related Systems*, Elsevier Science & Technology, 2004. ProQuest Ebook Central, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliotecausta-ebooks/detail.action?docID=226682>.

Figura 11. Tipos de ASDU- Process information in control direction

Type No.	Description	Reference
<45>	single command	C_SC_NA_1
<46>	double command	C_DC_NA_1
<47>	regulating step command	C_RC_NA_1
<48>	set point command, normalized value	C_SE_NA_1
<49>	set point command, scaled value	C_SE_NB_1
<50>	set point command, short floating point number	C_SE_NC_1
<51>	bitstring of 32 bits	C_BO_NA_1

Fuente: Clarke, Gordon, and Deon Reynders. *Practical Modern SCADA Protocols : DNP3, 60870. 5 and Related Systems*, Elsevier Science & Technology, 2004. ProQuest Ebook Central, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliotecausta-ebooks/detail.action?docID=226682>.

- CALIFICADOR DE ESTRUCTURA VARIABLE

Es un octeto que especifica el número de objetos de información, indica si la información está organizada.

- CAUSA DE TRANSMISIÓN

En la Figura 12 se encuentran definidos los códigos de causa de transición, los cuales indican la razón por la que está llegando la información.

Figura 12. Códigos de causa de transmisión (COT)

COT code	Cause of Transmission
0	Not used
1	Periodic, cyclic
2	Background scan
3	Spontaneous
4	Initialized
5	Request or requested
6	Activation
7	Activation confirmation
8	Deactivation

Fuente: Clarke, Gordon, and Deon Reynders. *Practical Modern SCADA Protocols : DNP3, 60870. 5 and Related Systems*, Elsevier Science & Technology, 2004. ProQuest Ebook Central, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliotecausta-ebooks/detail.action?docID=226682>).

- DIRECCIÓN COMÚN DE ASDU

La dirección se denomina dirección común porque es común a todos los datos contenidos en la ASDU. Esto normalmente se interpreta como una dirección de estación, sin embargo, se puede estructurar para formar una dirección de estación/sector donde las estaciones individuales se dividen en múltiples unidades lógicas (Clarke, Gordon, & Reynders).²⁵

6.7.2. IEC 60870-5-103

Es un estándar para el control del sistema de energía y las comunicaciones asociadas. Define un estándar complementario que permite la interoperabilidad entre los equipos de protección y los dispositivos de un sistema de control en una subestación (Brodersen A/S, 2020).²⁶

6.7.3. IEC 60870-5-104

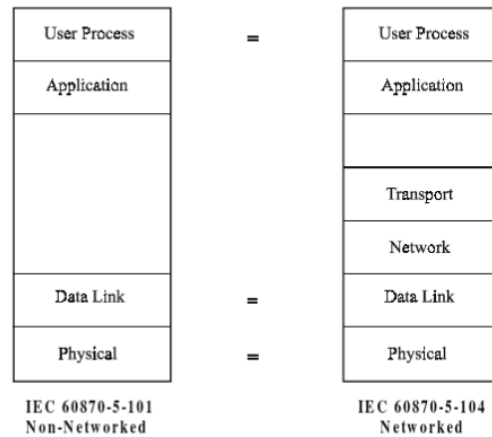
IEC 60870-5-101 es una extensión del protocolo IEC 60870-5-101 con los cambios en los servicios de transporte, red, enlace y capa física para adaptarse al modelo TCP/IP como se observa en la Figura 13 (Skoko, Atlagic, & Isakov, 2014).²⁷

²⁵ Clarke, Gordon, & Reynders, D. (s.f.). *Practical Modern SCADA Protocols : DNP3, 60870. 5 and Related Systems*, Elsevier Science & Technology, 2004. Obtenido de ProQuest Ebook Central: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliotecausta-ebooks/detail.action?docID=226682>

²⁶ Brodersen A/S. (28 de Septiembre de 2020). IEC60870-5-101/103/104 Protocol. Obtenido de <https://brodersen.com/es/iec60870-101-3/>

²⁷ Skoko, V., Atlagic, B., & Isakov, N. (2014). Comparative realization of IEC 60870-5 industrial protocol standards. Telecommunications Forum Telfor (TELFOR) doi: 10.1109/TELFOR.2014.7034572.

Figura 13. Arquitectura para 101 y 104



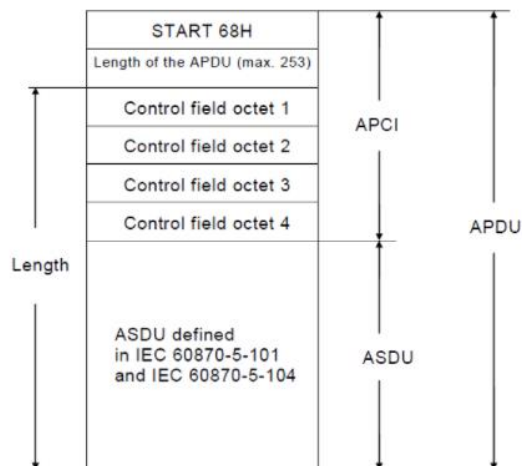
Fuente: Clarke, G., & Reynders, D. (2004). *Practical modern scada protocols : Dnp3, 60870. 5 and related systems*. Elsevier Science & Technology.

IEC 60870-5-104 es un estándar balanceado, lo que significa que las dos estaciones establecen una comunicación Full-Duplex.

DEFINICION DE LA TRAMA DE DATOS

IEC 104 se desarrolla de acuerdo a los estándares de comunicación TCP/IP. El APDU (Application Protocol Data Unit) es la unidad de datos del protocolo de aplicación *Figura 14*, consiste en dos partes APCI (Application Protocol Control Information) y el ASDU (Application Service Data Unit)

Figura 14. Formato de trama APDU



Fuente: Imagen tomada de <https://www.ensotest.com/es/iec-60870-5-104/introduccion-a-la-norma-iec-60870-5-104/>

Los primeros dos Bytes del APCI determinan el mensaje APDU, el estándar 60870-5-104 soporta tres tipos de mensajes APDU:

- U Frame: son tramas de control.
- I Frame: son tramas que transportan información de la capa de aplicación (ASDUs).
- S Frame: son tramas de supervisión (Skoko, Atlagic, & Isakov, 2014)²⁸ .

6.8.DNP3

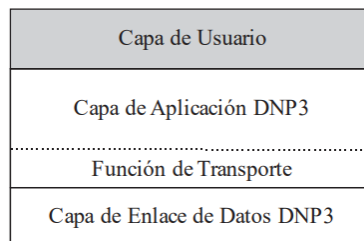
Westronic Incorporated desarrolló DNP3 entre 1992 y 1994, como un protocolo abierto y útil en la industria de servicios públicos (IEEE Standard for Electric Power Systems Communications, 2010).²⁹ Este estándar permite obtener estampas de tiempo en varios tipos de datos lo cual permite recopilar datos históricos más allá del registro binario estándar de secuencia de eventos ya que los protocolos anteriores a DNP3 no tenían forma de registrar retrasos en la transmisión y la sincronización.

El método utilizado en DNP3 es una combinación de soluciones de varios protocolos diferentes. Incorpora Banderas de calidad las cuales permiten determinar si los datos que llegan a la estación principal (Maestro) son válidos y bajo qué estado se encuentran (IEEE, 2010).³⁰

ARQUITECTURA DEL PROTOCOLO DNP3

El protocolo DNP3 define tres capas: Enlace, Aplicación y Transporte *Figura 15* lo cual facilita su implementación para comunicaciones Seriales y TCP/IP (Perez Ortiz, 2011).³¹

Figura 15. Capas del protocolo DNP3



Fuente: Imagen tomada del documento Perez Ortiz, D. (2011). Especificación del Protocolo DNP3 utilizando un lenguaje de descripción formal. Huajuapán de León: Universidad Tecnológica de la Mixteca.

²⁸ Skoko, V., Atlagic, B., & Isakov, N. (2014). Comparative realization of IEC 60870-5 industrial protocol standards. Telecommunications Forum Telfor (TELFOR) doi: 10.1109/TELFOR.2014.7034572.

²⁹ IEEE Standard for Electric Power Systems Communications. (1 de Julio de 2010). Distributed Network Protocol (DNP3). doi: 10.1109/IEEESTD.2010.5518537., pp.1-775. Obtenido de IEEE Std 1815-2010.

³⁰ IEEE. (Febrero de 2010). Draft Standard for Electric Power Systems Communications. IEEE Unapproved Draft Std P1815/D1.0. Obtenido de Distributed Network Protocol (DNP3); IEEE Unapproved Draft Std P1815/D1.0

³¹ Perez Ortiz, D. (2011). Especificación del Protocolo DNP3 utilizando un lenguaje de descripción formal. Huajuapán de León: Universidad Tecnológica de la Mixteca.

DNP3 utiliza el termino punto para las señales digitales o análogas de entrada y salida, para identificar un punto se utilizan un índice (identifica los puntos que son del mismo tipo) y un grupo (identifica los tipos de datos que se reporta) junto con la variación (define el tipo de dato) *Figura 16* (Pedrico , 2016).³²

Figura 16. Librería de Objetos en DNP3

Object		Description	Version
Group	Var		
23	5	Frozen Counter Event—32-bit with flag and time	0.02
23	6	Frozen Counter Event—16-bit with flag and time	0.02
23	7	Frozen Counter Event—32-bit with flag and time, delta	0.02
23	8	Frozen Counter Event—16-bit with flag and time, delta	0.02
30	1	Analog Input—32-bit with flag	0.02
30	2	Analog Input—16-bit with flag	0.02
30	3	Analog Input—32-bit without flag	0.02
30	4	Analog Input—16-bit without flag	0.02
30	5	Analog Input—Single-prec flt-pt with flag	0.02
30	6	Analog Input—Double-prec flt-pt with flag	0.02
31	1	Frozen Analog Input—32-bit with flag	0.02
31	2	Frozen Analog Input—16-bit with flag	0.02
31	3	Frozen Analog Input—32-bit with time-of-freeze	0.02

Fuente: Imagen tomada de IEEE Standard for Electric Power Systems Communications. (1 de Julio de 2010). Distributed Network Protocol (DNP3). doi: 10.1109/IEEESTD.2010.5518537., pp.1-775. Obtenido de IEEE Std 1815-2010.

6.9. OPC

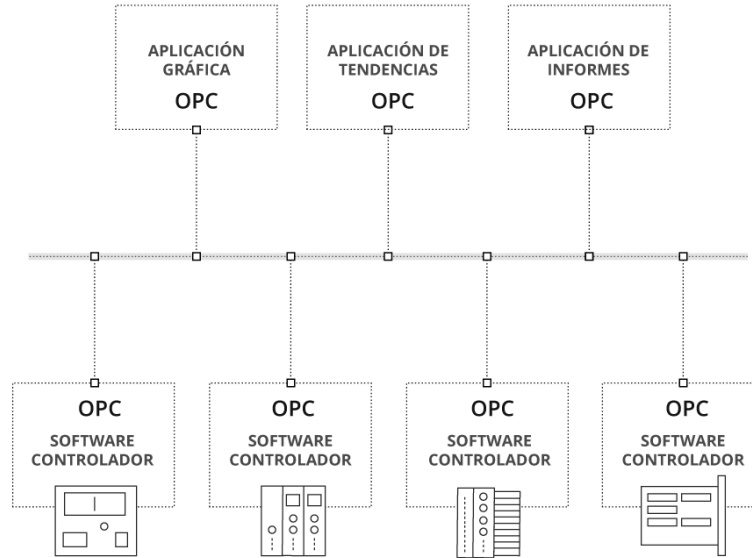
Open Platform Communications (OPC) es un estándar de interoperabilidad para el intercambio seguro de datos de automatización industrial. Está diseñado para depender de la plataforma, de modo que los dispositivos de diferentes proveedores puedan intercambiar información (Mahnke, Leitner, & Damm, 2009).³³ Cuando más sistemas de automatización industrial pueden comunicarse, es factible recopilar y analizar información de cada parte del proceso de fabricación, romper los silos de datos, mejorar la eficiencia y la capacidad de respuesta y tomar mejores decisiones comerciales. Los estándares de interoperabilidad como OPC son cruciales en la fabricación digital y esfuerzos similares para ampliar la automatización (Essex, 2018).³⁴

³² Pedrico , O. (2016). Implementación del protocolo DNP3 en una red. Zaragoza: Repositorio Universidad de Zaragoza.

³³ Mahnke, W., Leitner, S., & Damm, M. (2009). OPC unified architecture. Springer Science & Business Media. Verlag Berlin: Springer.

³⁴ Essex, D. (22 de Enero de 2018). Open Platform Communications (OPC). Obtenido de <https://searcherp.techtarget.com/definition/Open-Platform-Communications-OPC>

Figura 17. Arquitectura OPC



Fuente: Imagen tomada de Estandarización y seguridad en el protocolo OPC UA. (2021, 13 abril). INCIBE-CERT.
<https://www.incibe-cert.es/blog/estandarizacion-y-seguridad-el-protocolo-opc-ua>

En la *Figura 17* se observa la arquitectura OPC la cual se basa en la interconexión de múltiples dispositivos (Controladores, PLC's, SCADAS, etc) los cuales pueden comunicarse medio del Servicio OPC de manera abierta independientemente del fabricante, el tipo de dispositivo, el tipo de lenguaje de configuración.

7. DESARROLLO

El desarrollo de la pasantía consistió en el desarrollo de pruebas en varios de los productos de software de la empresa Axon Group Ltda.

Como proyecto se planteó el diseño y ejecución del protocolo de pruebas para el software Axon Test, se abarcan sus herramientas, funcionalidades, configuración de dispositivos en los principales estándares de telecontrol, perfiles de interoperabilidad, y funcionamiento.

Adicionalmente se realizaron capacitaciones en protocolos SNMP, DLMS de la capa de aplicación que se están implementando en las futuras liberaciones en los productos de software Axon Builder y Axon Exchange, con base en las capacitaciones se realizó el protocolo de pruebas de estos estándares como actividad complementaria.

A continuación, se realiza la descripción general de un proceso de pruebas en software, seguido de esto se realiza la explicación del proceso de pruebas definido para el área de TDS.

Para la elaboración de los protocolos de prueba se aplicó una metodología, que se centró en la evaluación de las funcionalidades del software. Anteriormente las pruebas de software dentro de la compañía se trabajaban en fases de operación, pero parámetros de configuración e interfaz de cliente no se evaluaban a detalle lo que podría incurrir en aumentar el requerimiento de soportes y solicitud de mejoras por parte de clientes lo cual se considera una actividad crítica.

7.1. PROCESO DE VALIDACIÓN

En la *Figura 18* se presenta el Proceso de Validación de los productos de software por parte del área de pruebas como un proceso que se integra con el ciclo de desarrollo.

Figura 18 Proceso de validación de productos de software en el área de TDS



1) INICIO

Este proceso parte de una liberación de versión por parte del área de desarrollo donde se entrega el instalador del producto, se requiere de tres documentos principales los cuales son:

- Matriz de requerimientos: Documento donde se definen los requisitos, funcionalidades y características que debe cumplir el producto terminado
- Estimación de los requerimientos: Es una predicción del tiempo, los recursos y que costo tendrá la ejecución del proyecto hasta llegar a un producto final.
- Solicitud de verificación y confirmación: Formato en el que se solicita la verificación y puesta a prueba de las funcionalidades de la herramienta o el producto de software.

En caso de ser un requerimiento nuevo es necesario diseñar un protocolo de pruebas, en caso de ser un anexo o modificación sería un proceso de verificación.

Con esta información se podrá determinar el alcance que tendrá el proceso de pruebas.

2) APROBACIÓN

Se realiza un análisis de los documentos entregados y se decide si el proyecto es viable o no, lo cual depende si se cuenta con los recursos necesarios para llevar a cabo el proceso de pruebas, como lo son: disponibilidad de personal, de equipos, en caso de que la documentación no sea clara. En caso de ser aprobado se procederá al diseño del protocolo de pruebas.

3) DISEÑO PROTOCOLO DE PRUEBAS

El protocolo de pruebas se basa en funciones, donde el usuario tiene un marco definido para probar una funcionalidad específica

4) PLANEACIÓN DE LA EJECUCIÓN DE PRUEBAS

Al contar con un protocolo de pruebas actualizado con base en los requerimientos, se procede a la planeación de la ejecución de las pruebas, determinando los recursos necesarios (personal que desarrollara las pruebas, equipos o dispositivos, estimación de tiempo)

5) EJECUCIÓN DE PRUEBAS

Durante la ejecución de las pruebas se realiza el diligenciamiento de los protocolos de pruebas con el fin de documentar qué tareas y actividades se van realizando. Si es necesario se realiza la actualización de los documentos asociados al producto (Manuales)

En caso de encontrar incidencias con una prioridad alta la cual no permita continuar con el proceso se detendría el proceso de pruebas y se reportaría como no viable.

En caso de encontrar incidencias, pero no de nivel crítico se reporta y se espera por una nueva liberación por parte del desarrollo. Se vuelve a la etapa de planeación de ejecución, luego se verifica si las incidencias reportadas fueron solucionadas validan el resto de las pruebas que quedaron en espera.

6) CIERRE PROCESO DE PRUEBAS

En caso de no encontrar incidencias o fallos se da por terminado el proceso de pruebas. Actualiza toda la documentación pendiente con respecto a las nuevas funcionalidades.

7) LIBERACIÓN DEL PRODUCTO

Reportan las novedades y mejoras de los productos al área comercial, disponibilidad al cliente.

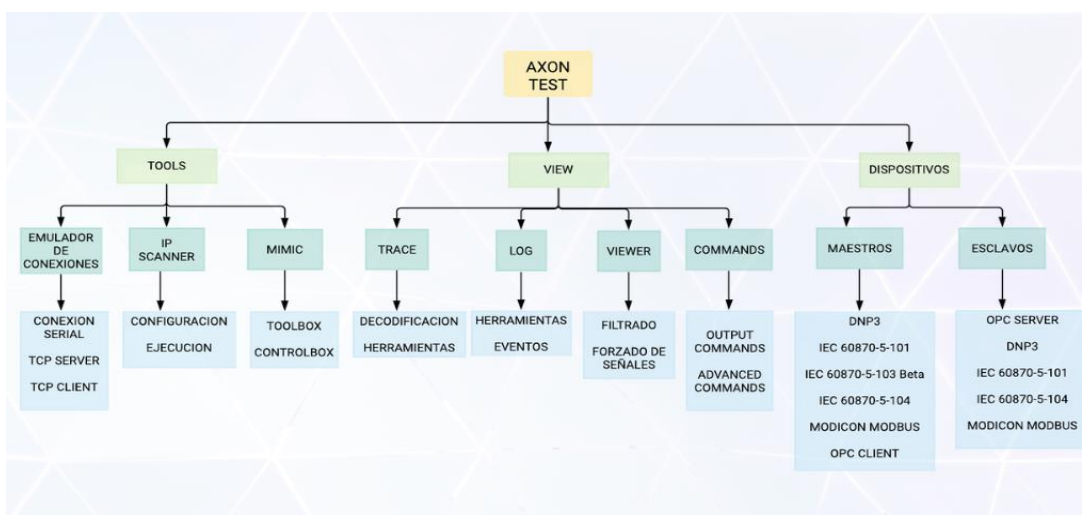
7.2. PROTOCOLO DE PRUEBAS AXÓN TEST

El protocolo de pruebas para el Axon Test es desarrollado con el fin de ser implementado bajo la metodología Agile Scrum, la gestión ágil de proyectos es un enfoque basado en la entrega de requisitos de forma iterativa e incremental a lo largo del ciclo de vida del proyecto (Schwaber & Sutherland, 2017).³⁵

El software de simulación Axon Test integra herramientas de diagnóstico de conexiones, trazado de paquetes, menús de configuración y herramientas de visualización. Permite al usuario configurar dispositivos maestros y esclavos en diferentes protocolos de telecontrol (Axon Group, 2021).³⁶

En el siguiente gráfico *Figura 19* se muestra la estructura general del protocolo de pruebas, donde se analizan las diferentes funcionalidades del programa en secciones y subsecciones, lo cual facilitará al tester hacer un seguimiento en el proceso de pruebas de ítems específicos si se requiere.

Figura 19. Estructura general del protocolo de pruebas



Fuente: Autor

Cada parámetro dentro del protocolo de pruebas es evaluado por el tester desde los enfoques: configuración, ejecución. Este fraccionamiento permite dar una ponderación o seccionamiento al bug, facilitando al desarrollador identificar la capa o raíz del defecto que puede dar origen al error.

También es importante resaltar que se cuenta con un perfil de interoperabilidad definido por el estándar (Modbus, IEC 60870-5, DNP3) a partir del cual se determina qué elementos deben ser soportados para que el software cumpla con los requerimientos tanto del cliente como de las normas internacionales.

³⁵ Schwaber, K., & Sutherland, J. (2017). *The Scrum guide: the definitive rules*. Obtenido de Scrum.Org and ScrumInc: <https://doi.org/10.1053/j.jm.2009.08.012>

³⁶ Axon Group. (10 de Junio de 2021). Axon Test. Axon Group. Obtenido de Simulador protocolos telecontrol: <https://axongroup.com.co/productos/axon-test/>

7.2.1. TOOLS

Esta sección contiene herramientas de diagnóstico y simulación las cuales le permiten al usuario probar el estado de la conexión, emular conexiones Seriales o TCP, validar el formato de las tramas, realizar un barrido e identificar los equipos conectados la red.

En la *Figura 20* se presenta la formulación de tareas se realiza evaluando la interacción con la interfaz que puede tener el usuario, y el correcto desempeño de cada una de las funcionalidades que ofrece el menú de herramientas. Las tareas se plantean orientando al tester a resolver una pregunta que valide la historia de usuario planeada.

Figura 20. Formulación de tareas de prueba para la sección de herramientas del Axon Test

MENÚ HERRAMIENTAS - TOOLS				
HISTORIA DE USUARIO	TAREAS DE PRUEBAS	SUBTAREA (ACTIVIDAD)	CUMPLE	DESCRIPCIÓN
EMULADOR DE CONEXIONES	EMULADOR DE CONEXIONES "SERIAL"	¿Se detecta algún COM disponible?		
		¿Es posible conectar algún dispositivo al COM una vez abierto?		
		¿Qué dispositivos se pueden conectar?		
		¿Es posible realizar tanto el envío como la recepción de tramas de datos?		
	EMULADOR DE CONEXIONES "TCP SERVER"	¿Se puede configurar cualquier puerto TCP dentro de los parámetros establecidos por el protocolo?		
		¿Se puede establecer la comunicación con un cliente TCP?		
		¿Al conectar con un cliente se muestra en el panel?		
		¿Es posible realizar tanto la transmisión como la recepción de información?		
	EMULADOR DE CONEXIONES "TCP CLIENT"	¿Se puede configurar cualquier puerto TCP dentro de los parámetros establecidos por el protocolo?		
		¿Es necesario que haya un servidor conectado para conectar el cliente?		
		¿Qué pasa si se detiene el servidor?		
		¿Se puede establecer la comunicación con el servidor TCP?		
		¿Al conectar con el servidor se muestra en el panel?		

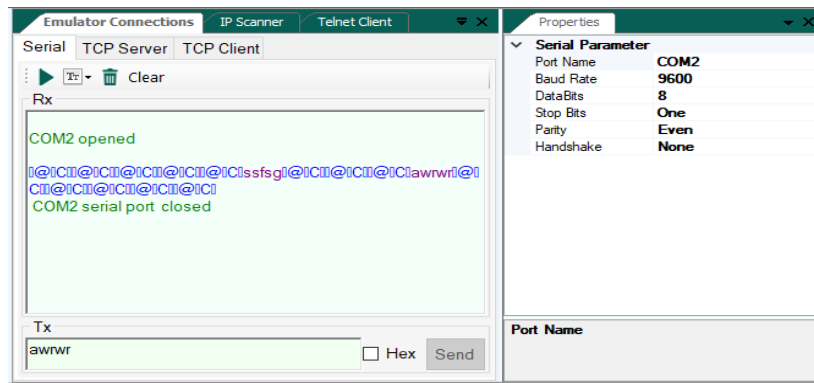
Fuente: Autor

7.2.1.1. EMULADOR DE CONEXIÓN SERIAL

El emulador de conexiones seriales permite al usuario conectarse a un puerto serial COM que se encuentre abierto y validar si hay tramas de respuesta. Es una herramienta de diagnostico simple que permite validar la disponibilidad de terminales.

En la *Figura 21* se observa la Ventana del Emulador de Conexiones Seriales donde se muestran las tramas que se reciben en el puerto COM configurado, también se presenta el panel de propiedades en donde el usuario realiza la configuración del puerto de escucha para la comunicación serial.

Figura 21. Configuración del emulador de conexiones seriales.



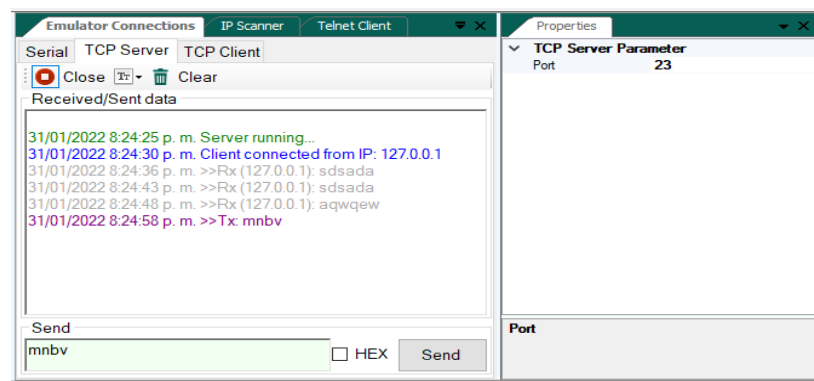
Fuente: Imagen tomada del software Axon Test menú Tools – Emulador de conexión Serial.

7.2.1.2. EMULADOR DE CONEXIÓN TCP CLIENTE- SERVIDOR

El emulador de conexiones TCP permite al usuario simular un Cliente o un Servidor abriendo un puerto de conexión. Es una herramienta de diagnóstico permite validar la disponibilidad de terminales y verificar si hay peticiones de gestión de puertos.

En la *Figura 22* se observa la Ventana del Emulador de Conexiones TCP donde es posible configurar tanto Cliente como Servidor, permitiendo validar las peticiones y respuestas que llegan al puerto configurado.

Figura 22. Configuración del emulador de conexiones TCP Cliente/Servidor

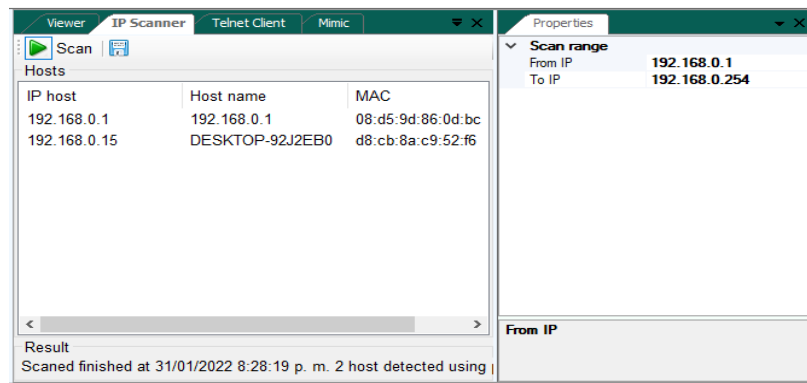


Fuente: Imagen tomada del software Axon Test menú Tools – Emulador de conexión TCP.

7.2.1.3. SCANNER IP

En la *Figura 23* se presenta el escáner IP el cual permite realizar un barrido de direcciones IP con las cuales se tiene conexión de modo que el usuario pueda validar sin necesidad de una herramienta externa la dirección IP de cualquier dispositivo dentro de la red local de conexión.

Figura 23. Scanner de IP

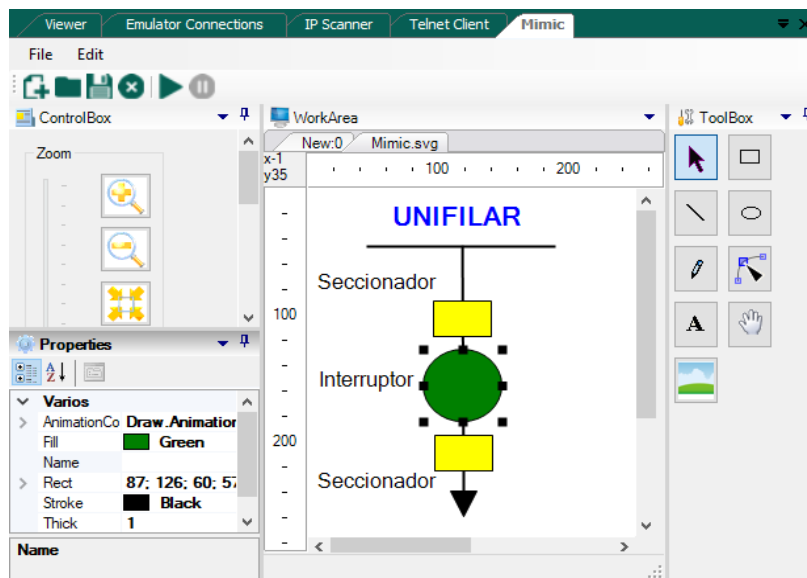


Fuente: Imagen tomada del software Axon Test menú Tools – Emulador de conexión TCP.

7.2.1.4. MIMICOS

En la sección de mímicos *Figura 24* es posible agregar figuras para simular habías simples con interruptores o seccionadores, permite asociar señales a los elementos y animar una simulación.

Figura 24. Herramienta de visualización Mimic



Fuente: Imagen tomada del software Axon Test menú Tools – Emulador de conexión TCP.

7.2.2. CONFIGURACIÓN DE DISPOSITIVOS MODBUS

Modbus es un protocolo que permite comunicar una estación maestra con uno o varios esclavos, el modo de comunicación es a través de encuestas periódicas por lo cual es necesario configurar un Polling o encuesta, el AT permite seleccionar el tipo de comunicación entre las opciones serial TCP y Over TCP.

POLLING: En la configuración del Polling se definen los rangos de direccionamiento según el tipo de dato análogo o digital.

Los dispositivos Modbus tienen la opción de configurar señales tanto analógicas como digitales de entrada y salida (Comandos).

En la *Figura 25* se presenta la formulación de tareas para dispositivos Modbus donde se evalúa la configuración de los parámetros de comunicación, el desempeño, la ejecución del dispositivo, la configuración y variación tanto de señales como de comandos.

Figura 25. Formulación de tareas para la configuración de dispositivos Modbus

Modicon Modbus Maestro				
HISTORIA DE USUARIO	TAREAS DE PRUEBAS	SUBTAREA (ACTIVIDAD)	CUMPLE	DESCRIPCIÓN
CONFIGURACIÓN DEL DISPOSITIVO	PROPIEDADES	¿Al dar clic sobre el dispositivo es posible visualizar las propiedades?		
		¿Se pueden modificar las propiedades del dispositivo?		
		¿Se puede seleccionar el tipo de comunicación (Serial/Over TCP)?		
		¿Se permite renombrar el dispositivo? ¿Se modifica el nombre y el prefijo?		
	CLONACIÓN	¿Es posible la clonación del dispositivo?		
		¿Los dispositivos clonados se crearon bajo el nombre o prefijo definido? ¿No deben existir nombres duplicados?		
		¿Las señales y parámetros del dispositivo concuerdan con el original?		
	ELIMINACIÓN	¿Es posible la eliminación de un dispositivo creado?		
		¿Es posible la eliminación de un dispositivo clonado?		
		¿Al eliminar un dispositivo y guardar el proyecto, se conservan los cambios?		
	ENTRADAS DIGITALES	¿Al asignar el mismo Nombre o número de ítem el sistema no lo debe permitir? ¿Se pueden configurar los siguientes tipos de datos: InputStatus, CoilStatus, InputRegister, HoldingRegister?		
	ENTRADAS ANALÓGICAS	¿Al asignar el mismo Nombre o número de ítem el sistema no lo debe permitir?		

Fuente: Autor

7.2.2.1. DISPOSITIVO MODBUS MAESTRO

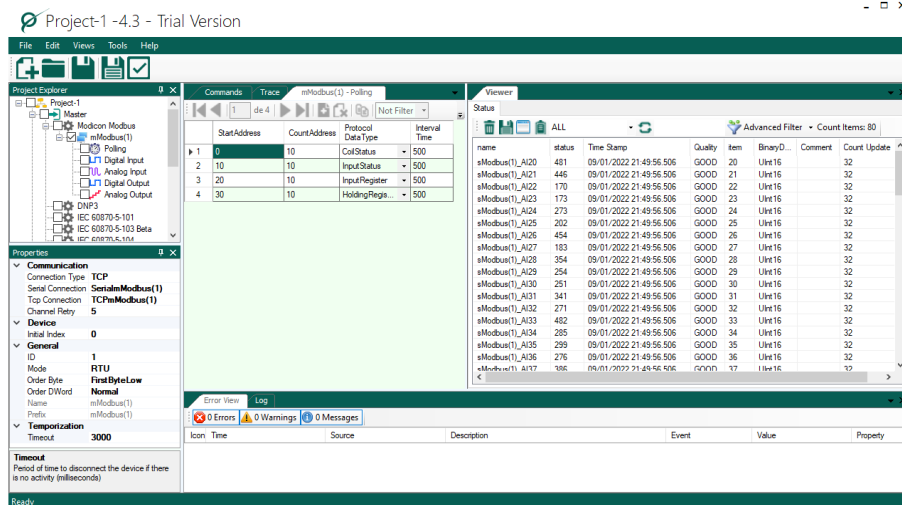
En la *Figura 26* se presentan los parámetros que es posible configurar en dispositivos Modbus Maestro, se presentan las secciones de comunicación, dispositivo, general y temporización.

También se presenta la ventana de configuración del Polling o Encuesta donde se debe indicar el rango de direcciones según el tipo de dato y el intervalo de tiempo de la encuesta.

En la ventana del Visor se observan los estados de las señales del dispositivo, los parámetros mostrados son: Nombre asignado a la señal, el estado o valor de la señal tomado en la última encuesta, la estampa de tiempo de la última actualización, el identificador o ítem, el

cometario asignado a la señal, el numero de actualizaciones de estado desde que se estableció la comunicación con el dispositivo esclavo. Los dispositivos maestros pueden enviar comandos que modifiquen el estado de las señales de la estación esclava.

Figura 26. Comunicación Maestro Modbus



Fuente: Imagen tomada del software Axon Test dispositivo Modbus (Configuración del Polling, Visualización del estado de las señales)

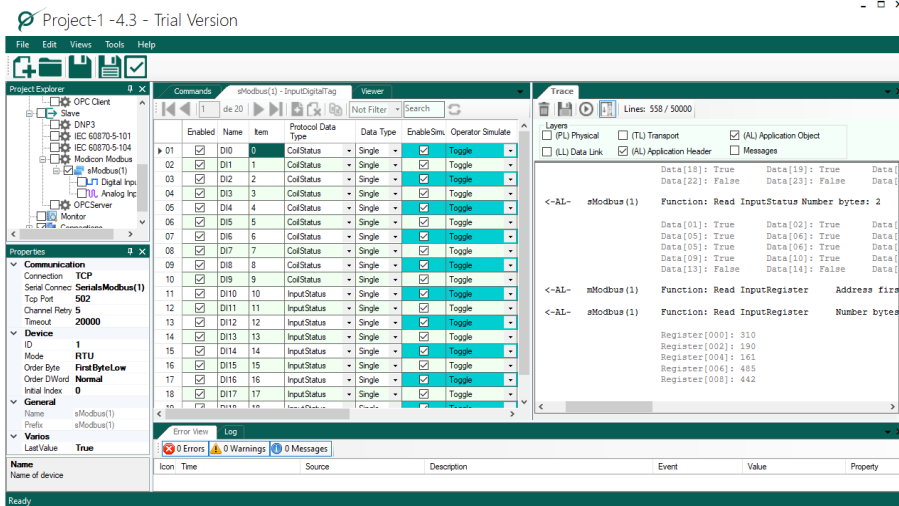
7.2.2.2. DISPOSITIVO MODBUS ESCLAVO

En la Figura 267 se presentan los parámetros que es posible configurar en dispositivos Modbus Esclavo, se presentan las secciones de comunicación, dispositivo, general y temporización.

También se presenta la ventana de configuración de señales de entrada, es posible configurar parámetros de las señales como Nombre, Item, Tipo de dato de protocolo (Lectura y escritura, solo lectura) y tipo de dato (Simple o Doble). Desde la ventana de configuración de señales también es posible realizar la parametrización de la auto simulación de señales, esta funcionalidad es muy útil para el proceso de pruebas ya que permite establecer un rango de simulación tanto en tiempo como en magnitud lo cual sirve para la validación de valores limites, banda muerta y perfiles de interoperabilidad.

En la ventana del Trace es posible observar el tráfico de la comunicación establecida entre el dispositivo Modbus Maestro y Esclavo, es posible observar las peticiones y respuestas, esta herramienta también permite realizar el filtrado de tráfico según las capas que se desee analizar.

Figura 27. Comunicación Esclavo Modbus

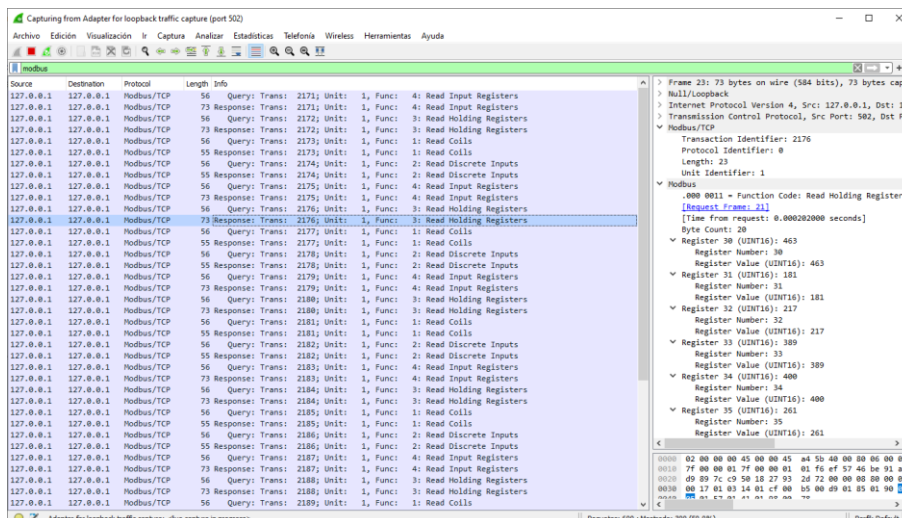


Fuente: Imagen tomada del software Axon Test dispositivo Modbus (Configuración de señales de Esclavo, Herramienta de trazado de paquetes)

En la Figura 28 se presenta la captura de tráfico de la comunicación Modbus Maestro-Esclavo, para observar la captura de tráfico como se ve en la imagen es necesario realizar el filtrado indicando el puerto que se va a analizar, el tipo de conexión y el protocolo de comunicación.

En la captura de tráfico podemos observar como al capturar una de las respuestas, se desglosa la información de cada capa, al analizar la capa de aplicación que es donde opera el protocolo Modbus podemos observar la respuesta a la encuesta o Polling configurada en el dispositivo maestro, en la respuesta podemos observar el numero de señales encuestadas de acuerdo al tipo de dato, el identificador de cada señal y el valor capturado.

Figura 28. Captura de Tramas Modbus TCP con el software Wireshark



Fuente: Captura realizada por el Autor de una comunicación establecida entre maestro/esclavo Modbus

7.2.3. CONFIGURACIÓN DE DISPOSITIVOS IEC 60870-5-104

IEC 60870-5-104 es un estándar que permite establecer comunicaciones TCP/IP entre un maestro y un esclavo, su modo de funcionamiento consiste en la realización de una interrogación inicial donde se capturan los valores iniciales de las señales, cuando se presenta un evento (cambio de una señal en el esclavo o ejecución de un mando en el maestro) se envía un mensaje espontaneo para actualizar el valor de la señal en el maestro o estación primaria.

En la *Figura 29* se presenta la formulación de tareas para dispositivos IEC 61850-5-104 donde se evalúa la configuración de los parámetros de comunicación, el desempeño y la ejecución del dispositivo, la configuración y variación de señales y comandos.

Figura 29. Formulación de tareas para la configuración de dispositivos IEC 60870-5-104

IEC 60870-104 Maestro				
HISTORIA DE USUARIO	TAREAS DE PRUEBAS	SUBTAREA (ACTIVIDAD)	CUMPLE	DESCRIPCIÓN
CONFIGURACIÓN DEL DISPOSITIVO	PROPIEDADES	¿Al dar clic sobre el dispositivo es posible visualizar las propiedades? ¿Se pueden modificar las propiedades del dispositivo?		
		¿Al configurar los parámetros APCI se cumplen los requerimientos ($T_2 < T_1$, $W < 2/3K$)?		
		¿Permite configurar los parámetros de aplicación? ¿Qué parámetros son configurables?		
		¿Para el caso de la conexión TCP donde se debe realizar la configuración de los parámetros de comunicación?		
		¿Permite realizar la interrogación general?		
		¿Qué parámetros son configurables?		
		¿Permite hacer la sincronización de tiempo?		
		¿Qué parámetros son configurables?		
	CLONACIÓN	¿Es posible la clonación del dispositivo?		
		¿Los dispositivos clonados se crearon bajo el nombre o prefijo definido? ¿No deben existir nombres duplicados?		
		¿Las señales y parámetros del dispositivo concuerdan con el original?		
	ELIMINACIÓN	¿Es posible la eliminación de un dispositivo creado?		
		¿Es posible la eliminación de un dispositivo clonado?		

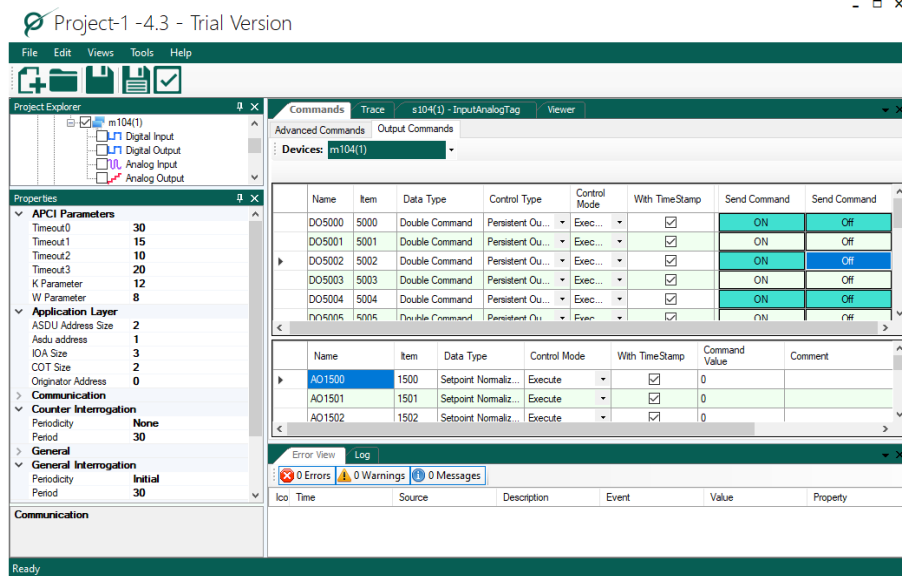
Fuente: Autor

7.2.3.1. DISPOSITIVO IEC 60870-5-104 MAESTRO

En la *Figura 30* se presentan los parámetros que es posible configurar en dispositivos IEC 60870-5-104 Maestro, se presentan las secciones: Parámetros APCI donde se configuran los tiempos de espera para establecer la comunicación, Capa de aplicación donde se configura el direccionamiento, Comunicación donde se selecciona el tipo de comunicación, Interrogación de Contadores donde se establece la periodicidad y el tiempo de encuesta de contadores, General, Interrogación General donde se establece la periodicidad y el tiempo de la encuesta general.

También se presenta la ventana de comandos donde aparecerán los comandos Digitales y Analógicos con su respectiva configuración Nombre, Tipo de dato, Item, Tipo de control y Modo de control, también es posible seleccionar si la ejecución de mando se realizara activando la estampa de tiempo. Al ejecutar el mando desde el maestro se realiza una validación del tipo de control que se va a ejecutar en el esclavo y si coincide con las propiedades se ejecuta modificando el estado de la señal, por ejemplo, enviar el mando de cierre o apertura de un interruptor.

Figura 30. Comunicación Maestro IEC 60870-5-104



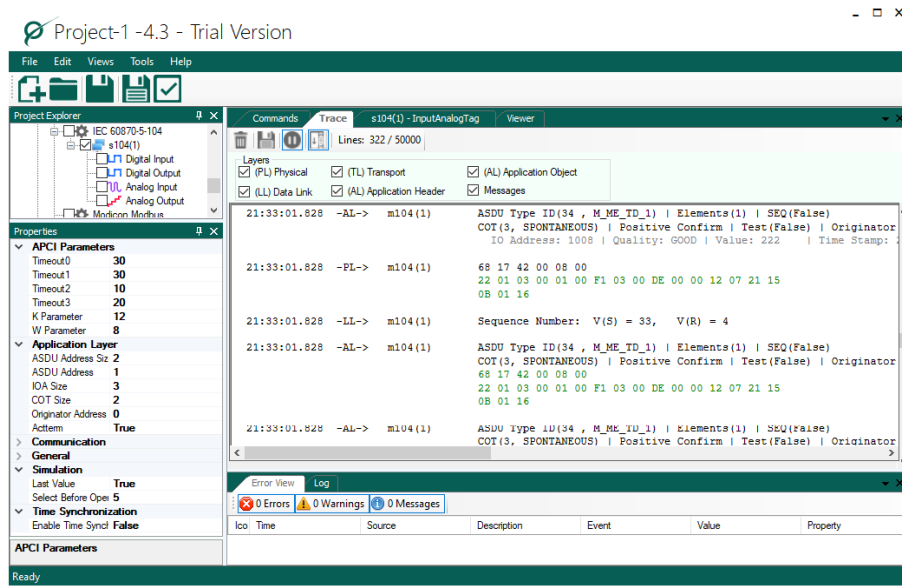
Fuente: Imagen tomada del software Axon Test dispositivo IEC 60870-5-104 (Ventana de Comandos)

7.2.3.2. DISPOSITIVO IEC 60870-5-104 ESCLAVO

En la *Figura 31* se presentan los parámetros que es posible configurar en dispositivos IEC 60870-5-104 Esclavo, se presentan las secciones: Parámetros APCI donde se configuran los tiempos de espera para establecer la comunicación, Capa de aplicación donde se configura el direccionamiento, Comunicación donde se selecciona el tipo de comunicación, Interrogación de Contadores donde se establece la periodicidad y el tiempo de encuesta de contadores, General, Interrogación General donde se establece la periodicidad y el tiempo de la encuesta general.

En la ventana del Trace es posible observar el tráfico de la comunicación establecida entre el dispositivo IEC 60870-5-104 Maestro y Esclavo, es posible observar las peticiones y respuestas, también como se generan los eventos o cambios en las señales espontáneos, la calidad, el valor, la estampa de tiempo, el tipo de dato. También se identifican las tramas que se capturan en la capa de enlace y en la capa física las cuales no están decodificadas y se muestran en formato hexadecimal.

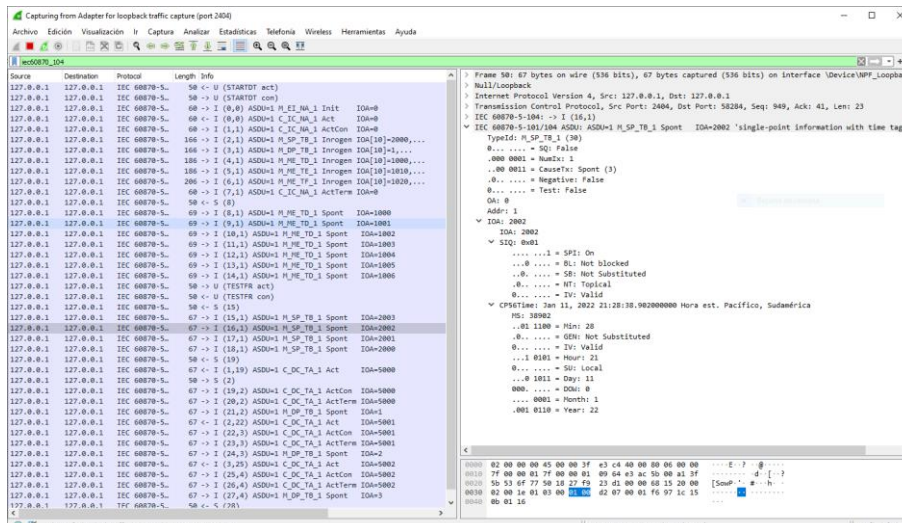
Figura 31. Comunicación Esclavo IEC 60870-5-104



Fuente: Imagen tomada del software Axon Test dispositivo IEC 60870-5-104 (Captura de Tramas)

En la Figura 32 se presenta la captura de tramas para la comunicación IEC 60870-5-104, donde se puede observar el formato de las tramas, la decodificación de la información según el filtro aplicado, los tipos de datos que se están intercambiando entre las estaciones Maestro/esclavo y el estado de las señales. Este protocolo incorpora información de los eventos como estampa de tiempo, calidad, causa de transmisión; parámetros que permiten identificar y diagnosticar de manera precisa fallas o eventos que sucedan durante la operación.

Figura 32. Captura de Tramas IEC 60870-5-104 TCP con el software Wireshark



Fuente: Captura realizada por el Autor de una comunicación establecida entre maestro/esclavo IEC 60870-5-104

7.2.4. CONFIGURACIÓN DE DISPOSITIVOS IEC 60870-5-101

IEC 60870-5-101 es un estándar que permite establecer comunicaciones Seriales y TCP/IP entre un maestro y un esclavo, tiene dos modos de funcionamiento Balanceado y Desbalanceado.

El modo balanceado consiste en la realización de una interrogación inicial donde se capturan los valores iniciales de las señales, cuando se presenta un evento (cambio de una señal en el esclavo o ejecución de un mando en el maestro) se envía un mensaje espontaneo para actualizar el valor de la señal en el maestro o estación primaria.

El modo desbalanceado consiste en el envío de una interrogación periódica donde se actualizan los valores de las señales que han cambiado desde el ultimo estado registrado.

En la Figura 33 se presenta la formulación de tareas para dispositivos IEC 61850-5-101 donde se evalúa la configuración de los parámetros de comunicación, el desempeño y la ejecución del dispositivo, la configuración y variación de señales y comandos.

Figura 33. Formulación de tareas para la configuración de dispositivos IEC 60870-5-101

IEC 60870-101 Maestro				
HISTORIA DE USUARIO	TAREAS DE PRUEBAS	SUBTAREA (ACTIVIDAD)	CUMPLE	DESCRIPCIÓN
CONFIGURACIÓN DEL DISPOSITIVO	PROPIEDADES	¿Al dar clic sobre el dispositivo es posible visualizar las propiedades? ¿Se pueden modificar las propiedades del dispositivo?		
		¿Se puede seleccionar el tipo de comunicación (Serial/ OverTCP)? ¿Dónde se deben configurar los parámetros de conexión?		
		¿Permite configurar los parámetros de aplicación? ¿Qué parámetros son configurables?		
		¿Permite hacer la interrogación de contadores? ¿Qué opciones se pueden configurar?		
		¿Permite hacer la interrogación general? ¿Qué opciones se pueden configurar?		
		¿Permite configurar los parámetros de enlace? ¿Qué parámetros son configurables?		
		¿Se permite renombrar el dispositivo? ¿Se modifica el nombre y el prefijo?		
		¿Se puede seleccionar el modo de enlace entre balanceado y desbalanceado?		
	CLONACIÓN	¿Es posible la clonación del dispositivo?		
		¿Los dispositivos clonados se crearon bajo el nombre o prefijo definidos? ¿No deben existir nombres duplicados?		
		¿Las señales y parámetros del dispositivo concuerdan con el original?		
		¿Es posible la eliminación de un dispositivo creado?		

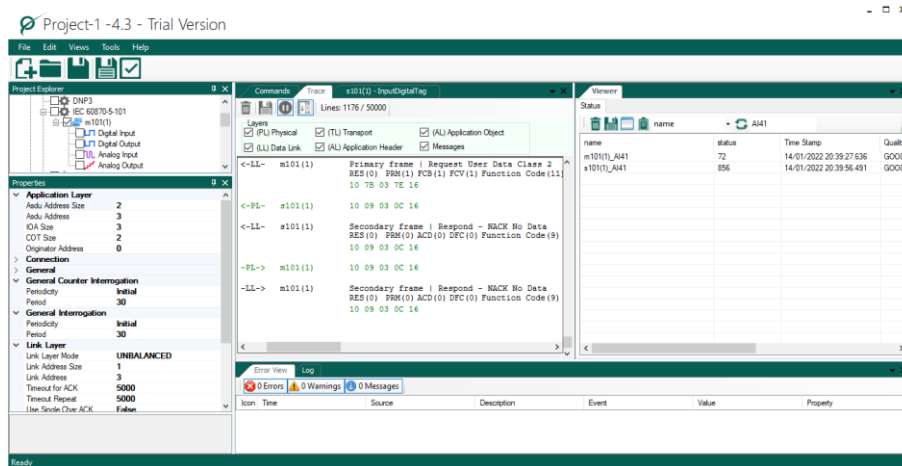
Fuente: Autor

7.2.4.1. DISPOSITIVO IEC 60870-5-101 MAESTRO ESCLAVO EN MODO DESBALANCEADO

En la Figura 34Figura 26 se presentan los parámetros que es posible configurar en dispositivos IEC 60870-5-101 Maestro, se presentan las secciones: Capa de aplicación donde se configura el direccionamiento, Comunicación donde se selecciona el tipo de comunicación, Interrogación de Contadores donde se establece la periodicidad y el tiempo de encuesta de contadores, General, Interrogación General donde se establecer la periodicidad y el tiempo de la encuesta general y la configuración de la capa de enlace donde se selecciona el modo desbalanceado.

En la ventana de Trace se presenta la captura de tramas para la comunicación establecida entre maestro y esclavo.

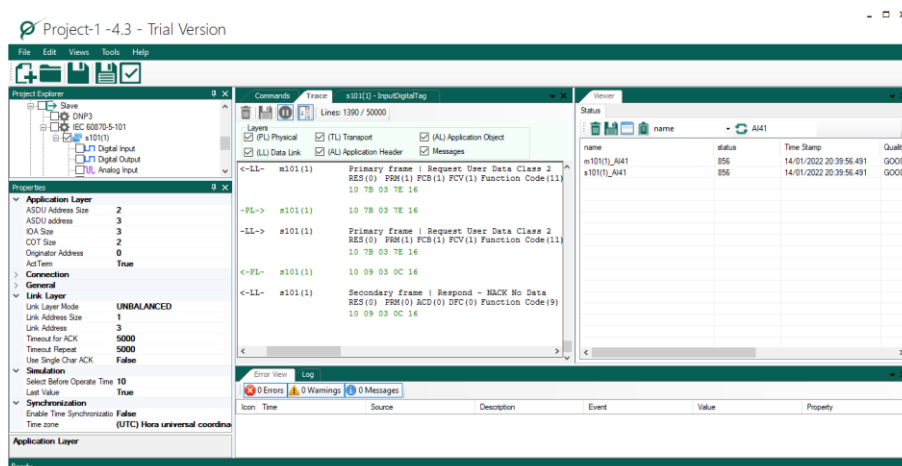
Figura 34. Comunicación Maestro IEC 60870-5-101 modo desbalanceado.



Fuente: Imagen tomada del software Axon Test dispositivo IEC 60870-5-101 (Ventana de captura de tramas, Herramienta de visualización)

En la Figura 35 se presentan los parámetros que es posible configurar en dispositivos IEC 60870-5-101 Esclavo, se presentan las secciones: Capa de aplicación donde se configura el direccionamiento, Comunicación donde se selecciona el tipo de comunicación, Interrogación de Contadores donde se establece la periodicidad y el tiempo de encuesta de contadores, General, Interrogación General donde se establecer la periodicidad y el tiempo de la encuesta general y la configuración de la capa de enlace donde se selecciona el modo desbalanceado.

Figura 35. Comunicación Esclavo IEC 60870-5-101 modo desbalanceado



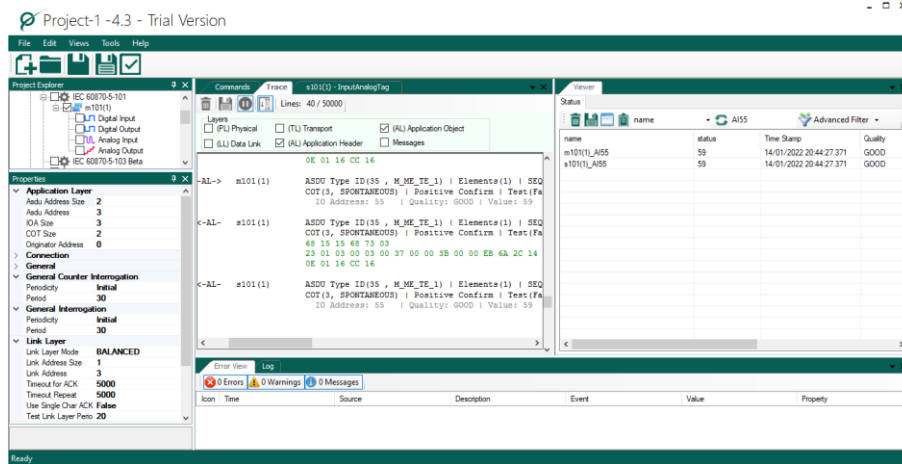
Fuente: Imagen tomada del software Axon Test dispositivo IEC 60870-5-101 (Ventana de captura de tramas, Herramienta de visualización)

7.2.4.2. DISPOSITIVO IEC 60870-5-101 MAESTRO ESCLAVO MODO BALANCEADO

En la Figura 36 se presentan los parámetros que es posible configurar en dispositivos IEC 60870-5-101 Maestro, se presentan las secciones: Capa de aplicación donde se configura el direccionamiento, Comunicación donde se selecciona el tipo de comunicación, Interrogación de Contadores donde se establece la periodicidad y el tiempo de encuesta de contadores, General, Interrogación General donde se establecer la periodicidad y el tiempo de la encuesta general y la configuración de la capa de enlace donde se selecciona el modo balanceado.

En la ventana de Trace se presenta la captura de tramas para la comunicación establecida entre maestro y esclavo.

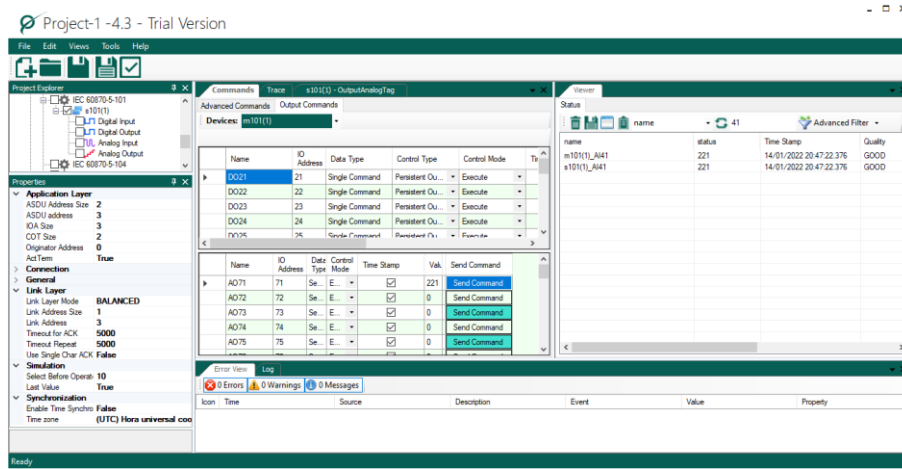
Figura 36. Comunicación Maestro IEC 60870-5-101 modo balanceado.



Fuente: Imagen tomada del software Axon Test dispositivo IEC 60870-5-101 (Ventana de captura de tramas, Herramienta de visualización)

En la Figura 37 se presentan los parámetros que es posible configurar en dispositivos IEC 60870-5-101 Esclavo, se presentan las secciones: Capa de aplicación donde se configura el direccionamiento, Comunicación donde se selecciona el tipo de comunicación, Interrogación de Contadores donde se establece la periodicidad y el tiempo de encuesta de contadores, General, Interrogación General donde se establecer la periodicidad y el tiempo de la encuesta general y la configuración de la capa de enlace donde se selecciona el modo balanceado.

Figura 37. Comunicación Esclavo IEC 60870-5-101 modo balanceado



Fuente: Imagen tomada del software Axon Test dispositivo IEC 60870-5-101 (Ventana de comandos, Herramienta de visualización)

7.2.5. DNP3

DNP3 es un protocolo muy similar a IEC 101-104, integra las funciones de calidad y estampa de tiempo. Una de las principales características de DNP3 es que las señales son agrupadas en grupos y variación, lo que permite optimizar consumo de ancho de banda. La comunicación se puede establecer en por canal TCP o serial.

En la Figura 38 se presenta la formulación de tareas para dispositivos DNP3 donde se evalúa la configuración de los parámetros de comunicación, el desempeño y la ejecución del dispositivo, la configuración y variación de señales y comandos.

Figura 38. Formulación de tareas para la configuración de dispositivos DNP3

DNP3 MAESTRO				
HISTORIA DE USUARIO	TAREAS DE PRUEBAS	SUBTAREA (ACTIVIDAD)	CUMPLE	DESCRIPCIÓN
CONFIGURACIÓN DEL DISPOSITIVO	PROPIEDADES	¿Al dar clic sobre el dispositivo es posible visualizar las propiedades? ¿Se pueden modificar las propiedades del dispositivo?		
		¿Se puede seleccionar el tipo de comunicación (Serial/TCP)? ¿Dónde se deben configurar los parámetros de conexión?		
		¿Permite configurar los parámetros de aplicación? ¿Qué parámetros son configurables?		
		¿Qué parámetros determinan cada cuánto tiempo el dispositivo estará intentando establecer la conexión serial o TCP?		
		¿En las indicaciones internas que solicitudes de eventos se pueden realizar?		
		¿Permite configurar los parámetros de enlace? ¿Qué parámetros son configurables? ¿Hay alguna restricción dentro de la configuración?		
		¿Qué parámetros son configurables para la sincronización de tiempo con el dispositivo esclavo?		
		¿Permite configurar los periodos de interrogación por eventos (Class123)?		
		¿Permite configurar los periodos de interrogación general (Class0123)?		
		¿Permite al usuario habilitar las clases que refieren a los eventos no solicitados?		
		¿Se permite renombrar el dispositivo? ¿Se modifica el nombre y el prefijo?		

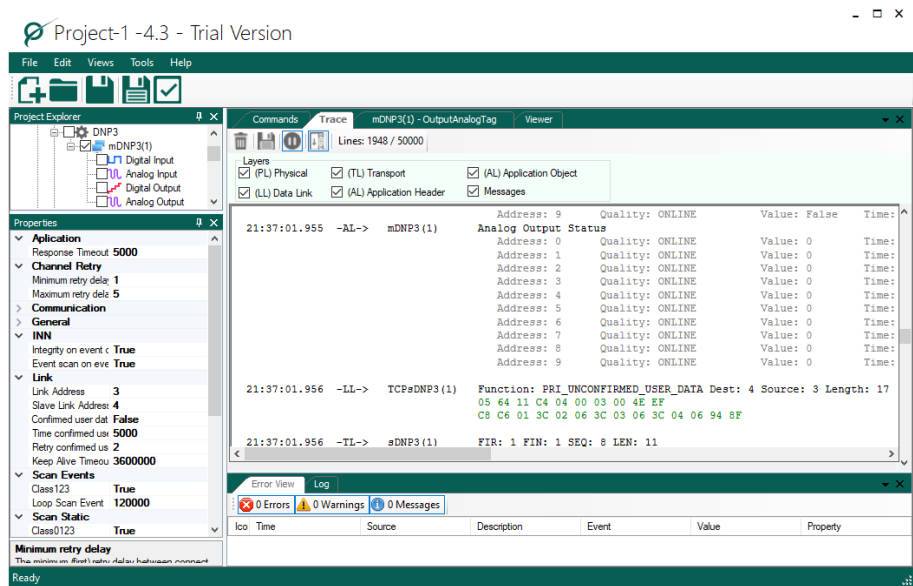
Fuente: Autor

7.2.5.1. DISPOSITIVO DNP3 MAESTRO

En la *Figura 39* se presentan los parámetros que es posible configurar en dispositivos DNP3 Maestro, se presentan las secciones: Aplicación donde se configura el tiempo de confirmación de la capa de aplicación, Intentos por canal donde se establecen los tiempos de gestión del canal, comunicación donde se configura el tipo de comunicación, INN que hace referencia a las indicaciones internas, Link que es la configuración de la capa de enlace, Scan Events donde se configura el escaneo de eventos por clase y el Scan Static donde se configura el escaneo de eventos estáticos.

En la ventana del Trace es posible observar el tráfico de la comunicación establecida entre el dispositivo DNP3 Maestro y Esclavo, es posible observar las peticiones y respuestas, también como se generan los eventos o cambios en las señales espontáneos, la calidad, el valor, la estampa de tiempo, el tipo de dato.

Figura 39. Comunicación Maestro DNP3



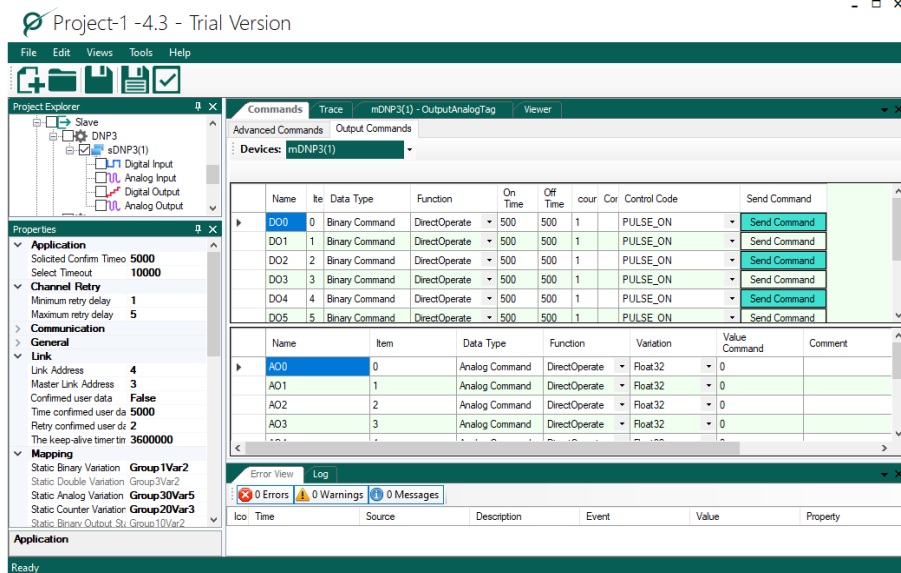
Fuente: Imagen tomada del software Axon Test dispositivo DNP3 (Ventana de captura de tramas)

7.2.5.2. DISPOSITIVO DNP3 ESCLAVO

En la *Figura 40* se presentan los parámetros que es posible configurar en dispositivos DNP3 Maestro, se presentan las secciones: Aplicación donde se configura el tiempo de confirmación de la capa de aplicación, Intentos por canal donde se establecen los tiempos de gestión del canal, comunicación donde se configura el tipo de comunicación, General, Link que es la configuración de la capa de enlace, Mapping donde se selecciona el tipo de mapeo según las señales configuradas en el dispositivo.

También se presenta la ventana de comandos donde aparecerán los comandos Digitales y Analógicos con su respectiva configuración Nombre, Tipo de dato, Item, Tipo de control y Modo de control.

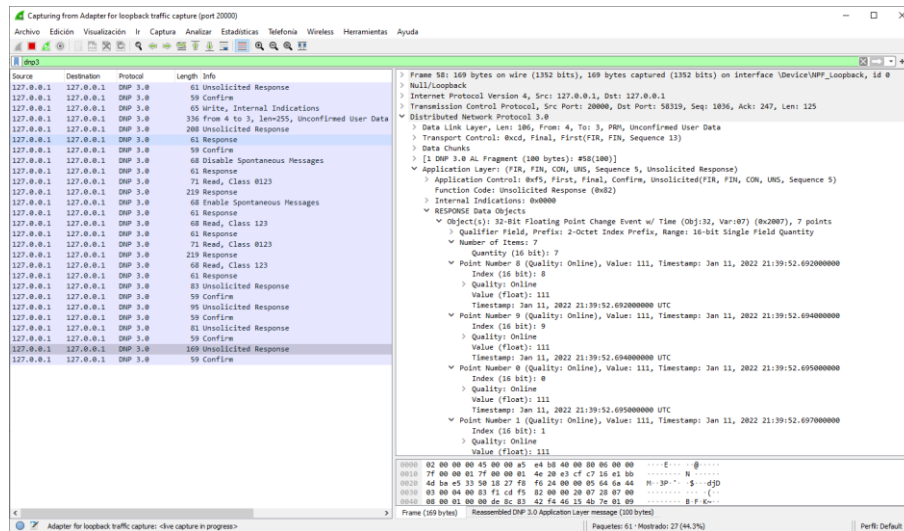
Figura 40. Comunicación Esclavo DNP3



Fuente: Imagen tomada del software Axon Test dispositivo DNP3 (Ventana de comandos)

En la Figura 41 se presenta la captura de tramas para la comunicación DNP3, donde se puede observar el formato de las tramas, la decodificación de la información según el filtro aplicado, los tipos de datos que se están intercambiando entre las estaciones Maestro/esclavo y el estado de las señales.

Figura 41. Captura de Tramas DNP3 TCP con el software Wireshark



Fuente: Captura realizada por el Autor de una comunicación establecida entre maestro/esclavo DNP3

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El objetivo del planteamiento y el desarrollo del protocolo de pruebas es encontrar tantos bugs como sea posible y depurar los registros pendientes para el software Axon Test. Es por esto por lo que a continuación se van a definir las características que debe tener el reporte de un Bug junto con los estados que tendrá durante el proceso de desarrollo.

8.1. REPORTE DE INCIDENCIAS

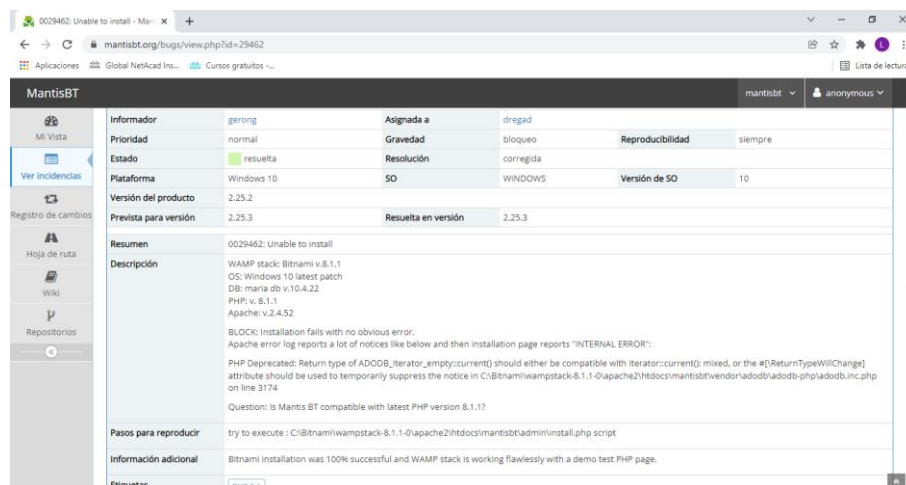
El reporte de bugs se realiza en el gestor de incidencias Mantis Bug Tracking, en la *Figura 42* se presenta estructura de una incidencia reportada y en la *Figura 43* se presenta la lista general de las incidencias reportadas. Para realizar un reporte es necesario completar los siguientes campos:

- Categoría: Se selecciona la categoría de la incidencia (Funcional, visual, Core)
- Gravedad: Se establece una ponderación de la gravedad de la incidencia (Ajuste, Menor, Mayor, Fallo, Bloqueo)
- Prioridad: Se establece el nivel de urgencia para la solución de la incidencia (ninguna, baja, normal, alta, urgente, inmediata)
- Reproductividad: Se indica en que ocasiones ocurre (Siempre, a veces, nunca)
- Asignada a: Se selecciona el desarrollador a cargo del proyecto sobre el cual se va a realizar el reporte.
- Resumen: Se realiza una breve descripción de la incidencia.
- Descripción: Se realiza una descripción detallada de la incidencia.
- Pasos para reproducir: Se realiza una descripción de la ruta para reproducir el error.
- Adjuntar Soportes: Se adjunta las evidencias del escenario en que se presenta el error.
- Versión: Se indica en que versión del producto se presentó la incidencia.

Las incidencias pueden tener los siguientes estados:

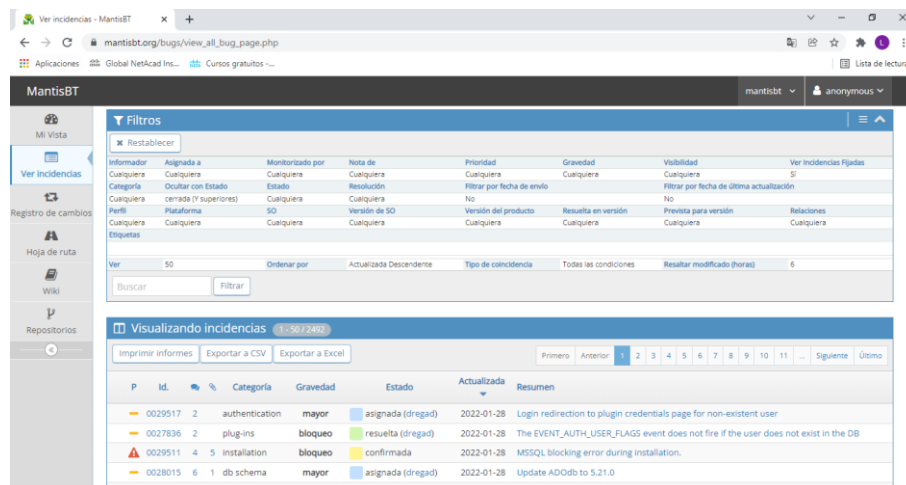
- Nueva: Es una incidencia que se reporto recientemente
- FeedBack: El desarrollador no comprende el reporte y pide mas datos al tester para poder reproducir el bug y encontrar la raíz del problema.
- Asignada: Incidencia asignada a un desarrollador.
- Cerrada: Cuando se da solución a una incidencia.
- Reabierto: Cuando se da solución por parte del desarrollador, pero para el tester no cumple con el comportamiento esperado.

Figura 42. Incidencia reportada en el gestor de Bugs Mantis BT



Fuente: Imagen tomada de 0016234: Server field in AddTaskRepository should help to select SOAP interface - MantisBT. (2021). Detalles de Incidencia. <https://www.mantisbt.org/bugs/view.php?id=16234>

Figura 43. Visor de incidencia reportadas en el gestor de Bugs Mantis BT



Fuente: Imagen tomada de View Issues - MantisBT. (2021). Visor de Incidencias. https://www.mantisbt.org/bugs/view_all_bug_page.php

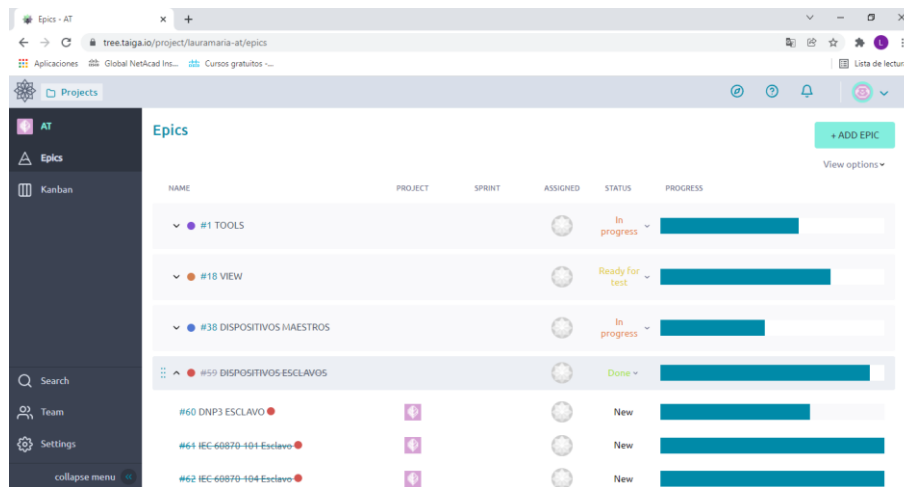
8.2. GESTION Y SEGUIMIENTO DEL PROCESO DE PRUEBAS

La herramienta Taiga PM es un gestor de proyectos que permite configurar los perfiles de los usuarios de acuerdo con el rol asignado durante el ciclo de desarrollo, permite llevar un registro del estado de las pruebas en base al cumplimiento de las tareas planteadas.

En la *Figura 44* se presenta el estado de avance del proceso de pruebas con base en las tareas desarrolladas dentro de las Épicas o Historias de usuario generales planteadas desde el requerimiento.

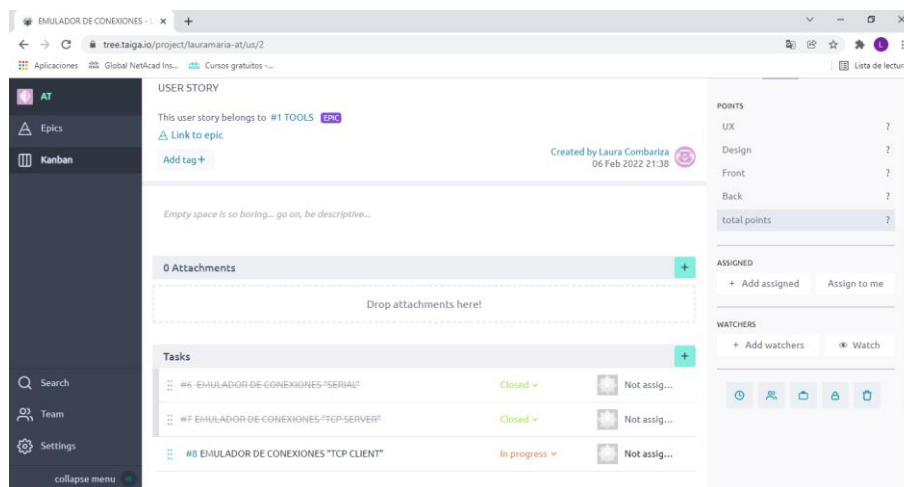
En la *Figura 45* se muestra como el usuario marca el estado de las tareas desarrolladas indicando si fue posible ejecutarlas, si fueron interrumpidas, si están en proceso o fueron fallidas. En caso de que durante el desarrollo de la tarea de prueba se encuentre un fallo o bug es posible realizar una descripción detallada del escenario que ocasiono el error y notificarlo mediante una alerta al desarrollador encargado de la aplicación.

Figura 44. Taiga PM Épicas del protocolo de pruebas.



Fuente: Imagen tomada de Taiga. (2021). Épicas. <https://tree.taiga.io/project/lauramaria-at/epics>

Figura 45. Progreso y estado del desarrollo de las tareas de prueba.



Fuente: Imagen tomada de Taiga. (2021). Épicas. <https://tree.taiga.io/project/lauramaria-at/epics>

8.3. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN E INDICADORES

En el área de TDS se realiza la gestión de proyectos utilizando la metodología Ágil, para cada implementación y liberación de un producto se establecen unos objetivos y unos criterios mínimos que debe cumplir el producto para hacer factible realizar un proceso de pruebas. Con base en los criterios mínimos se evalúa la calidad del producto entregado por desarrollo. El área de pruebas cuenta con unos Indicadores de gestión los cuales permiten evaluar la calidad de las pruebas y la gestión que realiza el tester sobre el proceso de desarrollo.

8.4. INDICADORES PARA EL ÁREA DE TDS

En la Tabla 1. Se presentan los indicadores que permiten evaluar la efectividad y el desempeño del tester durante la ejecución de un plan de pruebas o durante la implementación de un proyecto en un tiempo definido.

Con base en los resultados obtenidos se puede evidenciar que el protocolo de pruebas permitió optimizar y depurar un gran numero de fallos que se venían presentando en la herramienta, mejorando la experiencia de usuario y asegurando la calidad en las funcionalidades de cada protocolo.

Indicador	Calculo	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
Ejecución de pruebas	$\frac{\# \text{ Tareas ejecutadas} * 100\%}{\# \text{ Tareas planteadas}}$	$\geq 95\%$	93%
Bugs reportados por cliente	$\# \text{ Reportes por cliente}$	≤ 4	2
Liberaciones con documentación	$\frac{\# \text{ Liberaciones doc} * 100\%}{\# \text{ Liberaciones total}}$	$\geq 90\%$	100%
Gestión de incidencias	$\frac{\# \text{ Incidencias Reportadas} * 100\%}{\# \text{ Total Incidencias}}$	≥ 25	30
FeedBacks	$\# \text{ Reportes en Feedback}$	≤ 5	0

Tabla 1. Indicadores para el área de TDS

Con el diseño y el desarrollo del protocolo de pruebas fue posible establecer no solo tareas de prueba sino una guía que permite a un tester sin conocimiento en la herramienta, comprender las funcionalidades y tipos de configuración que permite realizar el programa.

El indicador de ejecución de pruebas no completo el 95% debido a que la funcionalidad de Mimicos se decidió retirar de las versiones mas recientes ya que presentaba conflictos con las demás herramientas, por lo cual las tareas planteadas para esta sección no se completaron en su totalidad lo que afecto el porcentaje de cumplimiento.

Anterior a la realización del protocolo de pruebas basado en tareas de desarrollo, se llevaba el proceso de pruebas en un documento Excel donde solo se realizaba la validación de parámetros de señales como estampa de tiempo y calidad. Con la implementación de este protocolo se abarcan validaciones tanto de carácter funcional como de configuración fomentando la atención en la experiencia de usuario, la usabilidad y adaptación a la interfaz del programa.

La realización del protocolo de pruebas permitió al área de TDS depurar los reportes registrados en el gestor de incidencias cerrando feedbacks y casos abiertos desde versiones muy antiguas que en muchas ocasiones ya habían tenido solución.

9. CONCLUSIONES

Con el diseño y la implementación del protocolo de pruebas se logro crear un marco de desarrollo el cual le permite al tester identificar y comprender los parámetros de configuración, los tipos de comunicación, analizar correctamente las tramas para poder desglosar la información haciendo más fácil detectar el origen de cualquier Bug ya sea ocasionado por un error de configuración o un error insertado en el código en el proceso de desarrollo.

Una de las funciones mas importantes del tester es la documentación de los bugs, este proceso puede considerarse critico dentro del proceso de desarrollo ya que una definición clara puede asegurar una resolución rápida, exacta y una repercusión mucho menor del fallo encontrado, mientras que un reporte mal descrito puede generar confusión, retrasar el proceso de liberación y generar disgusto entre el área de testeo y desarrollo.

El reconocer los distintos modos de comunicación que se aplican en la Automatización de redes eléctricas y la evolución que han tenido a lo largo de los años facilita la interpretación de protocolos como SNMP y DLMS los cuales se implementan en la actualidad para gestión, administración y captura de información tanto de redes eléctricas como de redes industriales.

Wireshark es una herramienta muy importante dentro del proceso de pruebas, permite capturar el trafico de red hacia un puerto, analizarlo y filtrarlo para identificar los elementos dentro de la trama de datos y así realizar un diagnóstico de la conexión desde el análisis de las capas según lo establezca el estándar.

Durante la pasantía junto con el desarrollo de las pruebas, la documentación y los procesos de soporte a cliente, se desarrollaron actividades de configuración de equipos Siemens como Switch's Capa 2 y Capa 3 (RX1501, RSG2100) y el equipo de medición SL7000 para soportar las pruebas tanto en equipos físicos como en simuladores para los protocolos SNMP y DLMS. El aprendizaje, la implementación de estos protocolos, la formulación del protocolo de pruebas y la documentación en Manuales y Guías de aprendizaje para el área de TDS fue desarrollada de mi parte.

El pertenecer al área de TDS exige desarrollar un nivel de destreza y conocimiento en protocolos de telecontrol como Modbus, DNP3, IEC60870-5-101/104, SNMP, DLMS, IEC 61850, OPC. El manejo de herramientas de diagnostico es de vital importancia. El desarrollo de la pasantía me permitió desarrollar habilidades en análisis de conexiones, resolución de problemas, gestión de ambientes de prueba, comprensión de manuales guías y estándares lo cual fue muy enriquecedor para mi labor profesional.

El marco de trabajo que se aplica para el proceso de desarrollo y pruebas es Scrum, el cual nos permite realizar una entrega de valor de manera iterativa a lo largo del ciclo de vida del proyecto. El área de QA se encarga de realizar validaciones con en cada entrega o iteración, haciendo pruebas funcionales y de integración sobre el software liberado.

REFERENCIAS

- Axon Group. (7 de Octubre de 2021). *Axon Builder 3 SCADA / IHM*. Obtenido de <https://axongroup.com.co/productos/axon-builder-3/>
- Axon Group. (10 de Junio de 2021). *Axon Test*. Axon Group. Obtenido de Simulador protocolos telecontrol: <https://axongroup.com.co/productos/axon-test/>
- Axon Group. (2021). Documentación de la compañía. Bogota, Colombia.
- Axon Group. (15 de Mayo de 2021). *Gateway - Axon Exchange*. Obtenido de Axon Exchange Gateway de comunicaciones: <https://axongroup.com.co/productos/axon-exchange/>
- Axon Group. (4 de Marzo de 2021). *Nuestra Empresa*. Obtenido de Nuestra Historia: <https://axongroup.com.co/nuestra-empresa/>
- Axon Group. (10 de Junio de 2021). *Simulador Protocolos Telecontrol - Axon Test*. Obtenido de Axon Test simulador de protocolos: <https://axongroup.com.co/productos/axon-test/>
- Brodersen A/S. (28 de Septiembre de 2020). *IEC60870-5-101/103/104 Protocol*. Obtenido de <https://brodersen.com/es/iec60870-101-3/>
- Clarke, Gordon, & Reynders, D. (s.f.). *Practical Modern SCADA Protocols : DNP3, 60870. 5 and Related Systems, Elsevier Science & Technology, 2004*. Obtenido de ProQuest Ebook Central: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliotecausta-ebooks/detail.action?docID=226682>
- Combs, G. (2008). *Wireshark* . Obtenido de Go Deep. Wireshark: <https://www.wireshark.org/>
- COPA-DATA. (17 de Noviembre de 2021). *¿Qué es SCADA?* Obtenido de <https://www.copadata.com/es/productos/zenon-software-platform/visualizacion-control/que-es-scada/>
- Drury , B. (2009). *Control Techniques Drives and Controls Handbook (PDF) (2nd ed.)*. Institution of Engineering and Technology.
- Essex, D. (22 de Enero de 2018). *Open Platform Communications (OPC)*. Obtenido de <https://searcherp.techtarget.com/definition/Open-Platform-Communications-OPC>
- Forcepoint. (11 de Marzo de 2021). *What is the OSI Model?* Obtenido de <https://www.forcepoint.com/es/cyber-edu/osi-model>
- Hersent, O., Boswarthick, D., & Elloumi, O. (2012). ModBus in The Internet of Things. En *Key Applications and Protocols*. Wiley doi: 10.1002/9781119958352.ch5.
- IEEE . (2007). IEEE Recommended Practice for Network Communication in Electric Power Substations. En I. S. 1615-2007. doi: 10.1109/IEEESTD.2007.4288669.
- IEEE. (Febrero de 2010). Draft Standard for Electric Power Systems Communications. *IEEE Unapproved Draft Std P1815/D1.0*. Obtenido de Distributed Network Protocol (DNP3): IEEE Unapproved Draft Std P1815/D1.0

- IEEE Standard for Electric Power Systems Communications. (1 de Julio de 2010). Distributed Network Protocol (DNP3). doi: 10.1109/IEEESTD.2010.5518537., pp.1-775. Obtenido de IEEE Std 1815-2010.
- ISO/IEC/IEEE 29119. (2013). ISO/IEC/IEEE 29119-2:2013. *Software testing —Part 2:Test processes*. doi: 10.1109/IEEESTD.2013.6588543.
- ISTQB®. (2019). *International software testing qualifications board*. Obtenido de <http://www.istqb.org/>
- Mahnke, W., Leitner, S., & Damm, M. (2009). *OPC unified architecture*. Springer Science & Business Media. Verlag Berlin: Springer.
- Pedrico , O. (2016). *Implementación del protocolo DNP3 en una red*. Zaragoza: Repositorio Universidad de Zaragoza.
- Perez Ortiz, D. (2011). *Especificación del Protocolo DNP3 utilizando un lenguaje de descripción formal*. Huajuapán de León: Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- Robert J. Shimonski, M. C. (2005). *Chapter 5 - OSI Model*. Syngress ISBN 9781931836425.
- Schwaber, K., & Sutherland, J. (2017). *The Scrum guide: the definitive rules*. Obtenido de Scrum.Org and ScrumInc: <https://doi.org/10.1053/j.jrn.2009.08.012>
- Skoko, V., Atlagic, B., & Isakov, N. (2014). Comparative realization of IEC 60870-5 industrial protocol standards. Telecommunications Forum Telfor (TELFOR) doi: 10.1109/TELFOR.2014.7034572.
- TOSCANO PALACIOS, M. A. (2010). *Automatización de una Subestación Eléctrica utilizando el Protocolo IEC 61850 y el ICCP para el envío de Datos*. Obtenido de Repositorio URP: <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/urp/66>
- Y. Li, D. L. (2011). "Research based on OSI model". IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks doi: 10.1109/ICCSN.2011.6014631.