

**Guía para la modernización de la protección diferencial de barras en una subestación de
500 kV. Aplicando Scrum.**

Ana Carolina Villabona Pabón.

Fabián Leonardo Sepúlveda Motezuma.

Monografía para optar el título de Maestría en Dirección y Gestión de Proyectos

Director

Juan Antonio Hernández Estrada

PhD (c) en Gerencia de Proyectos

Co Directora

Dolly Smith Flórez Moreno.

Magister en Gestión de proyectos

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

Ingeniería de Telecomunicaciones

Diplomado en gestión Ágil de TI

2024

Dedicatoria

Dedicamos este trabajo a nuestro hijo David Santiago, quien desde su llegada nos ha impulsado a mantener un proyecto de vida, a nuestras madres quienes con su sacrificio nos han dado mejores oportunidades, a todos los demás que han aportado en nuestro crecimiento personal y profesional, a ellos gracias por estar ahí.

Agradecimientos

Agradecemos a las empresas donde laboramos por el soporte brindado suministrándonos no solo la oportunidad de desarrollarnos profesionalmente y de permitirnos aportar y crecer junto con ellos, gracias por los datos importantes para la elaboración de la presente monografía.

Contenido

Introducción 9

1. Guía para la modernización de la protección diferencial de barras en una subestación de 500 kV. Aplicando Scrum..... 13

 1.1 Contextualización del Proyecto viabilizado 13

 1.2 Análisis del caso de negocio 14

 1.3 Análisis de pila de producto de alto nivel 15

 1.4 Análisis de historia de Usuario..... 21

 1.5 Planeación de Sprint Cero 27

 1.6 Gestión y control del sprint del proyecto 28

 1.7 Prototipo de entregable..... 34

2. Discusión 36

3. Conclusiones 36

Referencias..... 38

Lista de tablas

Tabla 1. *Niveles de tensión norma NTC1348 y RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas. 2024.)* 9

Tabla 2. *Planificación sprint 1 al 5.*..... 15

Tabla 3. *Planificación sprint 6 al 10.*..... 16

Tabla 4. *Actividades Sprint 1.* 16

Tabla 5 *Actividades Sprint 2.* 17

Tabla 6 *Actividades Sprint 3.* 17

Tabla 7 *Actividades Sprint4.* 17

Tabla 8 *Actividades Sprint 5.* 18

Tabla 9 *Actividades Sprint 6.*..... 18

Tabla 10 *Actividades Sprint 7.* 18

Tabla 11. *Actividades Sprint 8.* 19

Tabla 12. *Actividades Sprint 9.* 19

Tabla 13. *Actividades Sprint 10.* 20

Tabla 14. *Asignación Roles Scrum.* 20

Tabla 15. *Historias de usuario dentro del proyecto.* 21

Tabla 16. *Burndown Chart.* 29

Lista de figuras.

Figura 1. *Diagrama unifilar subestación*..... 11

Figura 2. *Burndown Chart Sprint 1.* 31

Figura 3. *Burndown Chart Sprint 2.* 31

Figura 4. *Burndown Chart Sprint 3.* 31

Figura 5. *Burndown Chart Sprint 4.* 32

Figura 6. *Burndown Chart Sprint 5.* 32

Figura 7. *Burndown Chart Sprint 6.* 33

Figura 8. *Burndown Chart Sprint 7.* 33

Figura 9. *Burndown Chart Sprint 8.* 33

Figura 10. *Burndown Chart Sprint 9.* 33

Figura 11. *Burndown Chart Sprint 10.* 34

Figura 12. *Tablero con relé 87 B 500 kV.*..... 35

Figura 13. *Relé integrado al SCADA de la Subestación.*..... 35

Figura 14. *Relé con función 87B funcional.*..... 36

Resumen

La "*Guía para la modernización de la protección diferencial de barras en una subestación de 500 kV. Aplicando Scrum*" es una monografía que presenta un proyecto de modernización del relé diferencial de barras (*ANSI 87B*) en una subestación eléctrica utilizando la *metodología ágil Scrum*. Los autores, proponen aplicar *Scrum* para mejorar la eficiencia y control del proyecto, minimizando interrupciones para garantizar estabilidad en la red del servicio eléctrico en Colombia. El contenido del documento incluye una ***introducción al sistema eléctrico de potencia y la importancia de las subestaciones, un análisis del caso de negocio, la planificación y ejecución de los Sprints y la gestión y control del proyecto mediante herramientas como el Burndown Chart***. Se detallan las actividades y roles dentro del equipo Scrum, así como las historias de usuario y los criterios técnicos de aceptación. El proyecto se estructura en 10 Sprints, cada uno con una duración de 8 días y se enfoca en la instalación y pruebas de un nuevo equipo de protección diferencial de barras. La metodología Scrum permite una ejecución *iterativa e incremental*, optimizando tiempos y costos, asegurando la estabilidad para la continuidad del servicio eléctrico dada la importancia de una subestación de este nivel de tensión para el sistema eléctrico colombiano. Las conclusiones destacan la viabilidad de aplicar este tipo de metodologías ágiles en proyectos de modernización de infraestructuras eléctricas, resaltando la flexibilidad y eficiencia que ofrece Scrum en la gestión de proyectos complejos.

Palabras clave: Relé, Scrum, diferencial Barras, ANSI 87B, modernización

Abstract

The "Guide for the modernization of bus differential protection in a 500 kV substation. Applying Scrum" is a monograph that presents a project to modernize the bus differential relay (ANSI 87B) in an electrical substation using the agile Scrum methodology. The authors propose to apply Scrum to improve the efficiency and control of the project, minimizing interruptions to guarantee stability in the electrical service network in Colombia. The content of the document includes an *introduction to the electrical power system and the importance of substations, a business case analysis, the planning and execution of Sprints, and the management and control of the project using tools such as the Burndown Chart*. The activities and roles within the Scrum team are detailed, as well as the user stories and technical acceptance criteria. The project is structured in 10 Sprints, each lasting 8 days, and focuses on the installation and testing of the new bus differential protection equipment. The Scrum methodology allows for iterative and incremental execution, optimizing times and costs, ensuring stability for the continuity of the electrical service given the importance of a substation of this voltage level for the Colombian electrical system. The conclusions highlight the viability of applying this type of agile methodologies in electrical infrastructure modernization projects, highlighting the flexibility and efficiency that Scrum offers in the management of complex projects.

Keywords: *Relay, Scrum, Differential Busbars, ANSI 87B, modernization*

Introducción

El sistema eléctrico de potencia físicamente está conformado por los elementos de generación, transmisión y distribución, para llevar la energía eléctrica a cada usuario final, los elementos anteriormente indicados se integran por medio de subestaciones y circuitos que las interconectan entre sí, su nombre se debe al lugar en el esquema donde estén ubicadas, por ejemplo: una subestación de generación, una subestación de transmisión, una subestación de distribución, el estado colombiano en su Resolución 101 045 (2024) y la NTC 1340 (2004), define los niveles de tensión de la siguiente forma.

Tabla 1. *Niveles de tensión Resolución 1348 (2019) y RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas) que se comprende por lo dispuesto en la Resolución 40117 (2024).*

1. Extra Alta Tensión (EAT):	Tensiones superiores a 230 kV.
2. Alto Voltaje (AT):	Voltajes entre 230 kV y 57,5 kV.
3. Media Tensión (MT):	Tensión nominal entre 1000 V y 57,5 kV.
4. Baja Tensión (BT):	Dispositivos con tensión nominal entre 25 V y 1000 V.
5. Muy Bajo Voltaje (MBT):	Voltajes por debajo de 25 V.

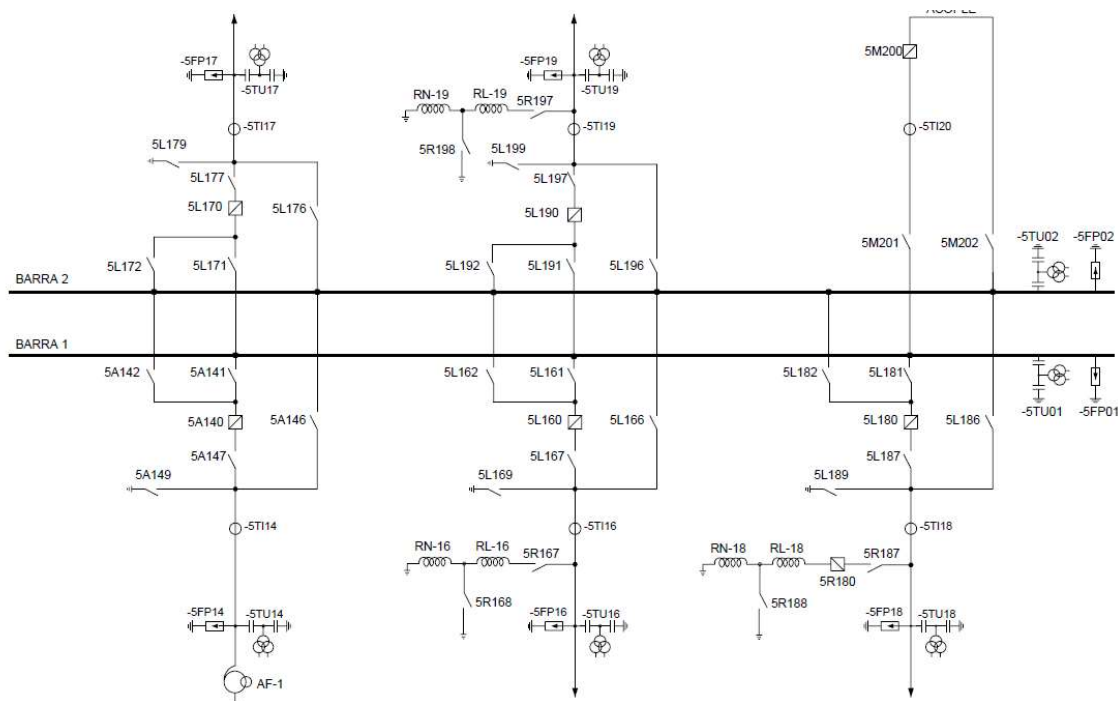
teniendo claro lo anterior las subestaciones cualquiera que sea, están ubicadas en alguno de estos niveles de tensión y a mayor nivel es mayor también su complejidad en lo que se refiere a diseño y prestaciones para la potencia eléctrica a transformar o transmitir, según sea el caso. Continuando, las subestaciones tienen equipos primarios y secundarios, es el orden que se encuentran en el nivel de tensión al que están referidos, es decir primarios solo los que manipulan la energía con alta potencia y secundarios son los que la controlan, ambos tienen la misma importancia y relevancia dentro de la operación y desarrollo de la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica (Zambrano & Bayas, 2009). Por lo enunciado anteriormente los equipos tanto primarios como secundarios tienen una vida útil y es imprescindible cambiarlos ya sea por deterioro, por daño

inmediato o por actualización de tecnología. Sobre todo, en el caso de los equipos secundarios o más comúnmente conocidos como de control y protección.

Dentro de los equipos de control y protección la norma ANSI/IEEE C37.2-2008 en el informe IEEE Standard for Electrical Power System Device Function Numbers, Acronyms, and Contact Designations (2008) los detalla y no es objeto de la presente monografía entrar en este nivel de detalle, por lo tanto, nos enfocaremos en el dispositivo de protección 87B que por su código se refiere al diferencial de barras (Quisilema, 2013). La función diferencial de barras es una función de retaguardia, que opera por lo general si ocurre una falla que las demás protecciones no vieron o que no está dentro de su zona de protección.

La subestación a la que se le modernizará su protección diferencial de barras para el nivel de 500 kV tiene dentro de su configuración la de doble barra más transferencia mostrada en la figura 1.

Figura 1. Diagrama unifilar subestación.



Dentro las protecciones con función de diferencial de barras están las centralizadas, que se componen básicamente porque los núcleos de corriente llegan directamente a este equipo, también están las distribuidas que consisten en un grupo de equipos constituidos por uno principal y sus respectivas unidades de bahía que están asociadas a cada línea o transformador que haga parte del esquema de la subestación (De Las Casas, 2009). El problema a tratar por la presente monografía radica en que la protección 87B actual la cual es de característica distribuida, por su antigüedad está presentando fallas en su sistema de alimentación en los módulos de bahía, lo cual ha ocasionado en dos eventos la indisponibilidad del activo, al tratarse de una protección tan importante para el sistema interconectado nacional es de suma importancia contar con un equipo confiable, robusto y que tenga todas las garantías de conseguirse repuestos en caso de sufrir una avería.

Teniendo en cuenta lo anterior el presente documento cubrirá la planeación del proyecto del cambio de la protección diferencial de barras de 500 kV de la subestación utilizando la metodología ágil Scrum (Karabulut & Ergun, E. 2018), aplicada a este tipo de proyecto de modernización de una protección en una subestación que se encuentra en servicio, que no es posible desenergizarla ni el corto ni el largo plazo debido a su nivel de tensión y a su importancia para la transmisión de energía hacia el centro del país, por lo tanto se aplicará un modelo que sea iterativo e incremental en el tiempo que permita la intervención de los activos optimizando de la mejor manera posible las desconexiones del servicio eléctrico.

El uso de este modelo impactará de una manera positiva la imagen de la empresa, el bajo costo de intervención y su objeto principal que es el que al final se tenga en servicio un equipo nuevo, moderno y que su implementación se hizo bajo estándares altos de calidad y de optimización en los tiempos de ejecución.

El documento está organizado en el contexto de lo que es una subestación, para luego elaborar cada uno de los elementos que conforman el marco Scrum para la ejecución de proyectos con enfoque ágil, desde las historias de usuario, pasando por los Sprints hasta llegar al prototipo o en este caso el producto final, que es el equipo de protección diferencial operativo en la subestación.

1. Guía para la modernización de la protección diferencial de barras en una subestación de 500 kV. Aplicando Scrum.

1.1 Contextualización del Proyecto viabilizado

El documento titulado: Guía para la modernización de la protección diferencial de barras en una subestación de 500 kV. Aplicando Scrum, se basa en explorar el campo de las metodologías ágiles utilizadas en el campo del desarrollo de programas de computación y aplicarlo en un campo en donde la ejecución de proyectos con un esquema tradicional es el que ha imperado con el transcurrir del tiempo, teniendo de esta forma un nuevo modelo el cual ofrece mejores prestaciones al ser más controlado y que se puede llevar de una forma iterativa, permitiendo que algunas de sus funcionalidades se puedan usar incluso si el proyecto no está terminado en su totalidad.

Este proyecto de modernización de la protección diferencial de barras en esta subestación de 500 kV tiene como objetivo demostrar que el enfoque Scrum se puede aplicar para este tipo de proyectos, permitiendo mayor rapidez y control permitiendo a los interesados obtener mejores rendimientos en cuanto costo, tiempo de ejecución y flexibilidad en la operación de la subestación al no tener que interrumpir el servicio por largos periodos de tiempo que es lo que se podría hacer con el enfoque tradicional.

Por ser del tipo ágil y con el modelo Scrum, el papel del Scrum master será relevante para llevar a buen puerto el proyecto, pues será el líder que se encargará de planificar la estrategia que permitirá al final tener el equipo de protección funcionando en el menor tiempo posible (Gómez et al., 2016).

1.2 Análisis del caso de negocio

La protección diferencial de barras ofrece no solo dentro del esquema de protección de la subestación las características de confiabilidad y seguridad sino que es un elemento de vital importancia para la continuidad en la transmisión de energía en el Sistema Interconectado Nacional (SIN), lo anterior porque ante una contingencia que se presente dentro de su zona de operación permitirá el despeje rápido y oportuno de la falla, siendo esto el ahorro de altos costos por daños ocasionados ante una mala operación o en el peor de los casos no operación ante una falla en barras (Barrantes, 2011), ya se han visto casos de incendios y en ocasiones indisponibilidades por tiempos prolongados de la subestación donde ocurre una falla y no es despejada, esto se traduce en dinero que deja de llegar producto de la no transmisión del servicio y en penalidades por no cumplir el código eléctrico colombiano que el ente regulador podrá impartir al corroborar que fue por negligencia en la atención al mantenimiento o aviso de falla del equipo.

Es por esta razón que al suministrar un equipo nuevo, moderno y confiable con mejores características que el actual, permita una mejor remuneración por parte de ente regulador según la resolución 15 de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (2018).

Razones expuestas cómo la seguridad a la operación, oportunidad a la remuneración al esperar un retorno mayor por la instalación de este elemento permiten que el aplicar una metodología dentro del marco Scrum para la ejecución de este proyecto una mejor rentabilidad para las finanzas de la compañía al tener que invertir menor tiempo en la desconexión de los activos para su implementación.

1.3 Análisis de pila de producto de alto nivel

Para la elaboración del análisis de pila de alto nivel se analizaron las características y se les dio una jerarquía o importancia para la fase del proyecto, de tal forma que converjan con lo que requiere al finalizar el mismo, es decir que la diferencial de barra se encuentre operativa con la menor cantidad de interrupciones posibles a la subestación (Jacho & Barrera, 2018).

Por lo anterior se plantean identificar las áreas de la empresa que tengan interés en el producto final (operación y mantenimiento) para la aprobación del producto final y para tener un control del proyecto y a un contratista quien ejecutará las labores en campo previa aprobación del trabajo a ejecutar por parte del Scrum Máster.

Se plantean Sprints de 8 días calendario para la planeación, pruebas, montaje y puesta en servicio del producto final.

Tabla 2. *Planificación sprint 1 al 5.*

Sprint 1	Sprint 2	Sprint 3	Sprint 4	Sprint 5
<ul style="list-style-type: none"> • Levantar información de la actual 87B. • Requerimientos de la nueva 87B. • Inicio de construcción de tablero principal • Solicitud de compra de diferencial de barra con 6 módulos distribuidos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Visita a terreno con contratista para levantamiento detallado de información e inicio de planeación en la ejecución de trabajos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Entrega de observaciones y hallazgos para la implementación y desarrollo del proyecto. • Preparación de consignación para intervención instalación del tablero principal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Entrega de ingeniería detallada para tablero de unidad principal. • Revisión de resultados pruebas PreFAT 	<ul style="list-style-type: none"> • Comentarios y correcciones a ingeniería detallada. • Inicio de trabajos en sitio, tendido de fibra óptica de acuerdo con la ingeniería.
8 días	8 días	8 días	8 días	8 días

Tabla 3. *Planificación sprint 6 al 10.*

Sprint 6	Sprint 7	Sprint 8	Sprint 9	Sprint 10
<ul style="list-style-type: none"> • Pruebas FAT (Factory Acceptance Test) Prueba en fábrica. • Tendido de fibras, conexiones provisionales 	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación de tablero unidad principal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación y pruebas unidad distribuida bahía 1 y bahía 2 	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación y pruebas unidad distribuida bahía 3 y bahía 4. • Revisión y programación de señales de nivel 2 y 3. 	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación y pruebas unidad distribuida bahía 5 y bahía 6. • Pruebas de señales de nivel 2 y 3. • Pruebas generales y puesta en servicio
8 días	8 días	8 días	8 días	8 días

De las tablas 2 y 3, se infiere que la duración total de la ejecución es de 2 meses y una semana aproximadamente, esto es sin que se materialice algún riesgo.

La priorización es la siguiente:

Tabla 4. *Actividades Sprint 1.*

Actividades Sprint 1	
1.1	Determinar los roles y las tareas al equipo Asignar tareas al equipo Scrum
1.2	Dar prioridad y estimar tiempos de tarea Identificar las prioridades y posibles puntos de falla
1.3	Revisar características técnicas de equipo 87B Analizar la mejor opción para adquirir el equipo con la función 87B
1.4	Iniciar proceso de solicitud de compra Iniciar proceso interno para adquisición de equipo
1.5	Levantar información 87B actual Recopilar la información, planos y puntos de disparo de la función 87B actual
1.6	Revisión del sprint Revisar avances y tareas pendientes para siguiente Sprint.
1.7	Resultado del Sprint Inicio documento con detalle para la renovación protección 87B.

Tabla 5. Actividades Sprint 2.

Actividades Sprint 2		
2.1	Determinar los roles y las tareas al equipo	Asignar tareas al equipo Scrum
2.2	Atender los pendientes del Sprint anterior	Identificar soluciones de pendientes del sprint anterior.
2.3	Revisión de planos en sitio.	Revisión de ingeniería actual contrastándola con los equipos actuales
2.4	Toma de distancias	Verificar distancias para el tendido de fibra óptica y posible cableado
2.5	Verificar posibles sitios de instalación	Determinar el mejor sitio para la instalación del tablero principal
2.6	Validación de puntos de red de FO	Verificación de los suiches para los anillos de fibra óptica
2.7	Verificar posibles caminos para tendido de FO	Validar cárcamos y posible instalación de ductería.
2.8	Revisión Sprint 2	Revisar avances y tareas pendientes para siguiente Sprint.
2.9	Resultado del Sprint	Continuación documento con detalle para la renovación protección 87B.

Tabla 6. Actividades Sprint 3.

Actividades Sprint 3		
3.1	Determinar los roles y las tareas al equipo	Asignar tareas al equipo Scrum
3.2	Atender los pendientes del Sprint anterior	Identificar soluciones de pendientes del sprint anterior.
3.3	Entrega de observaciones y hallazgos	De acuerdo con el manual de ingeniería de la empresa establecer la mejor opción de lógicas y cableado
3.4	Preparación de consignaciones	Preparar las intervenciones futuras a las bahías
3.5	Revisión sprint 3	Revisar avances y tareas pendientes para siguiente Sprint.
3.6	Resultado del Sprint	Continuación documento con detalle para la renovación protección 87B.

Tabla 7. Actividades Sprint 4.

Actividades Sprint 4		
4.1	Determinar los roles y las tareas al equipo	Asignar tareas al equipo Scrum
4.2	Atender los pendientes del Sprint anterior	Identificar soluciones de pendientes del sprint anterior.

4.3	Entrega de ingeniería detallada	De acuerdo con el manual de ingeniería de la empresa validar el correcto diseño.
4.4	Revisión resultados pruebas Pre-FAT	Revisión de la correcta operación del relé 87B a fallas simuladas antes de montaje en fabrica.
4.5	Revisión Sprint 4	Revisar avances y tareas pendientes para siguiente Sprint.
4.6	Resultados del Sprint	Continuación documento con detalle para la renovación protección 87B.

Tabla 8. *Actividades Sprint 5.*

Actividades Sprint 5		
5.1	Determinar los roles y las tareas al equipo	Asignar tareas al equipo Scrum
5.2	Atender los pendientes del Sprint anterior	Identificar soluciones de pendientes del sprint anterior.
5.3	Correcciones y comentarios ing. Detalle	De acuerdo con el manual de ingeniería de la empresa validar el correcto diseño.
5.4	Inicio de trabajos en sitio	Inicio de trabajos en la subestación.
5.5	Tendido FO	Tendido de fibra óptica de acuerdo con ingeniería.
5.5	Revisión Sprint 4	Revisar avances y tareas pendientes para siguiente Sprint.
5.5	Resultados del Sprint	Continuación documento con detalle para la renovación protección 87B.

Tabla 9. *Actividades Sprint 6.*

Actividades Sprint 6		
6.1	Determinar los roles y las tareas al equipo	Asignar tareas al equipo Scrum
6.2	Atender los pendientes del Sprint anterior	Identificar soluciones de pendientes del sprint anterior.
6.3	Pruebas FAT	De acuerdo con el manual de ingeniería de la empresa validar en fabrica la correcta operación
6.4	Continuación de trabajos en sitio	Trabajos en la subestación, conexiones provisionales
6.5	Revisión Sprint anteriores	Revisar avances y tareas pendientes para siguiente Sprint.
6.7	Resultados del Sprint	Continuación documento con detalle para la renovación protección 87B.

Tabla 10. *Actividades Sprint 7.*

Actividades Sprint 7		
7.1	Determinar los roles y las tareas al equipo	Asignar tareas al equipo Scrum

7.2	Atender los pendientes del Sprint anterior	Identificar soluciones de pendientes del sprint anterior.
7.3	Instalación tablero principal	Instalación de tablero principal de acuerdo con ingeniería
7.4	Continuación de trabajos en sitio	Trabajos en la subestación, conexiones de acuerdo con ing. Detalle
7.5	Revisión Sprint anteriores	Revisar avances y tareas pendientes para siguiente Sprint.
7.6	Resultados del Sprint	Continuación documento con detalle para la renovación protección 87B, tablero instalado.

Tabla 11. *Actividades Sprint 8.*

Actividades Sprint 8		
8.1	Determinar los roles y las tareas al equipo	Asignar tareas al equipo Scrum
8.2	Atender los pendientes del Sprint anterior	Identificar soluciones de pendientes del sprint anterior.
8.3	Instalación y pruebas UM 1	Instalación unidad distribuida 1 y pruebas de sitio
8.4	Instalación y pruebas UM 2	Instalación unidad distribuida 2 y pruebas de sitio
8.5	Revisión Sprint Anteriores	Revisar avances y tareas pendientes para siguiente Sprint.
8.5	Resultados del Sprint	Instalación y pruebas UM1 y UM2, continuación documento con detalle para la renovación protección 87B.

Tabla 12. *Actividades Sprint 9.*

Actividades Sprint 9		
9.1	Determinar los roles y las tareas al equipo	Asignar tareas al equipo Scrum
9.2	Atender los pendientes del Sprint anterior	Identificar soluciones de pendientes del sprint anterior.
9.3	Instalación y pruebas UM 3	Instalación unidad distribuida 3 y pruebas de sitio
9.4	Instalación y pruebas UM 4	Instalación unidad distribuida 4 y pruebas de sitio
9.5	Revisión señalización nivel 2 y 3	Recopilar señales actuales de las bases de datos de SCADA y SICAM PAS.
9.6	Configuración SICAM PAS	Configuración de SICAM PAS para manejo de señales de SCADA
9.7	Revisión Sprint Anteriores	Revisar avances y tareas pendientes para siguiente Sprint.

9.8 Resultados del Sprint	Instalación y pruebas UM3 y UM4, configuración SICAM PAS, continuación documento con detalle para la renovación protección 87B.
---------------------------	---

Tabla 13. *Actividades Sprint 10.*

Actividades Sprint 10		
10.1	Determinar los roles y las tareas al equipo	Asignar tareas al equipo Scrum
10.2	Atender los pendientes del Sprint anterior	Identificar soluciones de pendientes del sprint anterior.
10.3	Instalación y pruebas UM 5	Instalación unidad distribuida 3 y pruebas de sitio
10.4	Instalación y pruebas UM 6	Instalación unidad distribuida 4 y pruebas de sitio
10.5	Pruebas señalización nivel 2 y 3	Pruebas de señalización niveles 2 y 3.
10.6	Pruebas generales	Pruebas generales de acuerdo con protocolo de puesta en servicio debidamente aprobado
10.7	Puesta en servicio relé 87B	Puesta en servicio del relé con todas sus funcionalidades para toda la subestación
10.8	Revisión Sprint	Revisar y tomar lecciones aprendidas para futuros trabajos.
10.9	Resultado del Sprint	Equipo instalado y funcional, documento con detalle para renovación 87B terminado.

Dentro de los roles tenemos los siguientes perfiles de acuerdo con la normativa de la empresa, la tabla No 14 nos da un detalle de cada rol asignado.

Tabla 14. *Asignación Roles Scrum.*

Asignación roles Scrum para el proyecto		
Rol de Scrum	Cargo	Funciones
Product Owner	Coordinador Protecciones CTE	Conoce los requerimientos técnicos de la compañía para poder retransmitir esa información al proyecto de tal forma que las necesidades que puedan surgir durante el desarrollo en las pueda gestionar y suplirlas para conseguir los objetivos.

Scrum Máster	Analista de mantenimiento	Es el líder del equipo, conoce los criterios técnicos y se encarga de que el equipo Scrum los cumpla, retransmite cualquier necesidad al Product Owner e inicia y finaliza las consignaciones.
Scrum Team	Ingeniero Protecciones Contratista (1) Profesional HSEQ (1) Técnicos contratista (4)	El equipo de trabajo es el encargado de cumplir con los Sprints y por ende las tareas diarias asignadas dentro de las historias de usuario, todo dentro de la calidad y seguridad para las personas, los equipos y el medio ambiente durante la etapa del proyecto
Stakeholders de alto nivel	Ingeniero subestación 500 kV. Centro de control Sistema de Transmisión Nacional GEM SPAT (Mantenimiento)	Son los que al final del proyecto estarán el tanto de la operación y el mantenimiento, así como de una correcta operación del equipo en caso de una falla en el sistema de barras de 500 kV en la SE.

1.4 Análisis de historia de Usuario

Los criterios técnicos de la empresa son la guía para la aceptación de un trabajo o de un proyecto manteniendo los estándares de calidad de la compañía, el método Scrum permite conocer el alcance diario de los trabajos y semanal a través de los Sprints conociendo de primera mano los pendientes y tratarlos en las siguientes iteraciones hasta obtener el producto deseado dentro de los tiempos establecidos (Sandoval, 2016). En ese sentido, definir el proyecto en las etapas previamente descritas permiten que se tenga un mayor control sobre el mismo y que, aunque el cronograma avance es posible intervenir en el proyecto para dar trato a cualquier novedad solicitada. Dentro de la tabla 15 se encontrarán las historias de usuario con su criterio técnico de aceptación.

Tabla 15. *Historias de usuario dentro del proyecto.*

Historias de usuario Scrum para el proyecto			
Identificación historia	Rol dentro de Scrum	Característica/ funcionalidad	Resultado
87B500-1	Analista mantenimiento	Funcionalidad del relé de protección	<p>Que el equipo diferencial de barras reúna los criterios técnicos de aceptación</p>
			<p>Circuito de corriente</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Corriente asignada A 1 b) Capacidad de sobrecarga como factor de In durante 1seg c) Carga a tensión nominal VA <p>Frecuencia asignada (seleccionable) Hz 50 y 60</p> <p>Automonitoreo continuo Sí</p> <p>Tecnología Distribuida</p> <p>Comunicaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Comunicación al SAS Sí · Protocolo IEC 61850 Edición 2 · Interfaz Fibra óptica multimodo · Tipo conector · Número de puertos ≥ 2 <p>b) Comunicación al Sistema de gestión de protecciones Si</p> <ul style="list-style-type: none"> · Protocolo TCP/IP · Interfaz · Tipo conector <p>c) Comunicación al sistema de sincronización de tiempo Sí</p> <ul style="list-style-type: none"> · Protocolo a través de puerto IRIG-B · Protocolo a través de red PTP <p>d) Interfaz de comunicación frontal Si</p> <p>Pantalla y control frontal</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Unidad central Si b) Unidad de bahía Si <p>Entradas y salidas digitales Unidad Central</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Número mínimo de entradas digitales

<p>independientes (sin punto común) ≥ 12</p> <ul style="list-style-type: none"> · Tensión asignada entradas digitales" Vcc 110-250 <p>b) Número mínimo de salidas digitales independientes (sin punto común) ≥ 16</p> <ul style="list-style-type: none"> · Capacidad de maniobra de corrientes inductivas" A 5 · Soportabilidad de tensión de los contactos" Vcc ≥ 220 <p>Entradas y salidas digitales Unidad Distribuida</p> <p>a) Número mínimo de entradas digitales independientes (sin punto común) ≥ 20</p> <ul style="list-style-type: none"> · Tensión asignada entradas digitales" Vcc 110-250 <p>b) Número mínimo de salidas digitales independientes (sin punto común) ≥ 12</p> <ul style="list-style-type: none"> · Capacidad de maniobra de corrientes inductivas" A 5 · Soportabilidad de tensión de los contactos" Vcc ≥ 220 	<p>Prueba de la curva de disparo</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1-curva falla monofásica interna disparo sobre la curva • 2-curva falla bifásica interna disparo sobre la curva • 3-curva falla trifásica interna disparo sobre la curva <p>Prueba de estabilidad</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1-falla monofásica externa no disparo • 2-falla bifásica externa no disparo • 3-falla trifásica externa no disparo <p>Prueba de supervisión y bloqueos</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1-2-bloqueos algoritmos propios (plausibilidad de
<p>87B500-2</p>	<p>Analista mantenimiento</p> <p>Protocolo de pruebas FAT.</p> <p>Que el equipo diferencial de barras reúna los criterios técnicos de aceptación durante las pruebas FAT</p>

<p>corrientes) bloqueo función diferencial</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2-bloqueos algoritmos propios (pérdida de comunicación bu) bloqueo función diferencial 	<p>Versión y fecha de emisión del Software. 9,7</p> <p>El software de gestión y configuración se puede instalar en un PC configurado en idioma español y con Sistema Operativo Windows. Sí</p> <p>Mínimo número de licencias por subestación 3</p> <p>El software de gestión y configuración debe incluir las herramientas necesarias para realizar las siguientes acciones sobre los IEDs (Intelligent Electronic Device)</p> <p>a) Supervisión del funcionamiento de los IEDs y de sus variables análogas</p> <p>b) Descarga, almacenamiento y gestión de los eventos de los IEDs</p> <p>c) Descarga, almacenamiento y gestión de los registros oscilográfico de los IEDs</p> <p>d) Modificación de ajustes Sí</p> <p>e) Configuración de comunicaciones Sí</p> <p>f) Configuraciones de IHM Sí</p> <p>g) Configuración de entradas, salidas, variables internas Sí</p> <p>h) Programación de lógicas, etc. Sí</p> <p>i) Todas las funcionalidades de IEC61850 (incluyendo funciones de interoperabilidad entre diferentes fabricantes). Sí</p>
<p>87B500-3</p> <p>Analista mantenimiento</p> <p>software de gestión y mantenimiento</p>	<p>Que el software de gestión funcione de manera adecuada y en proceso de pruebas cumpla con los criterios técnicos de aceptación.</p>

<p>87B500-4</p> <p>Analista mantenimiento</p> <p>Tablero de protección principal</p> <p>Que el tablero donde se encuentra la diferencial de barras reúna los criterios técnicos de aceptación.</p>	<p>Placa del fabricante</p> <p>País fabricación</p> <p>Referencia del tablero.</p> <p>Normas "IEC 60439 IEC 60297"</p> <p>Tipo de instalación Interior sobre piso</p> <p>Dimensiones (Alto x Ancho x Profundo) 2200x800x800</p> <p>Grado de protección de acuerdo con IEC 60529 IP 43</p> <p>Color RAL 7032</p> <p>Circuito de calefacción</p> <p>Controlador por higróstico</p> <p>Circuito de alumbrado</p> <p>Toma de energía disponible</p> <p>Accesorios de instalación de equipos: Riel DIN Bandejas metálicas Borneras Canaletas plásticas (cableado interno) Entrada/salida de cables Barra, cables y accesorios de puesta a tierra</p>
<p>87B500-5</p> <p>Analista mantenimiento</p> <p>fibra óptica multimodo</p> <p>La fibra óptica utilizada que comunica los módulos de la diferencial de barras reúna los criterios técnicos de aceptación.</p>	<p>Número de fibras ≥ 6</p> <p>Retardante al fuego</p> <p>Chaqueta contra humedad</p> <p>Armadura de protección mecánica</p> <ul style="list-style-type: none"> • De acero • Dieléctrica <p>Libre de halógenos</p> <p>Apto para instalación en cárcamos o tuberías</p> <p>Peso del cable kg/m $\geq 0,068$</p> <p>Diámetro exterior del cable mm 6</p> <p>Radio de curvatura mínimo mm 6,5</p> <p>Holgura de las fibras con respecto a la longitud del</p>

<p>cable 20% Fuerza de tracción máxima durante instalación Fuerza de tracción permanente máxima en servicio Resistencia a la compresión N/cm 850 Vida útil (instalado) años 25</p>	<p>Planeación de los trabajos con semana N-3 Condenar los equipos de corte Desconexión del equipo a reemplazar Configurar la 87B actual para que no tenga la bahía en cambio dentro de su registro. identificación del elemento a intervenir. identificación de riesgos y peligros en la matriz.</p>
<p>87B500-6</p>	<p>Team SCRUM</p>
<p>Planes de trabajo</p>	<p>Que las consignaciones a los equipos a intervenir contemplen los riesgos y los neutralicen</p>

1.5 Planeación de Sprint Cero

La planeación del Sprint 0 para la guía para la modernización de la protección 87B en una subestación de 500 kV, es elaborada siguiendo los criterios técnicos establecidos por la empresa, definidos en las historias de usuario, en el Backlog y en el criterio técnico del Scrum Máster las responsabilidades están asignadas y de acuerdo con la planeación de los trabajos se debe cumplir con las actividades de los planes de trabajo consignados. Los Sprints 1 al 5 permitirán en forma fácil la corrección, eliminación o adición de requerimientos, pasando a los Sprint 6 al 10 en los cuales también se podrán hacer, pero de una forma un poco más controlada. Al final se tendrá el relé 87B completamente funcional bajo los estándares de la empresa y se podrá hacer entrega del elemento al equipo de mantenimiento para que continúe con su respectiva gestión.

La revisión del Sprint o (Sprint review) se hará entre el analista de mantenimiento y el ingeniero de protecciones o jefe de trabajos y el equipo en sitio dependiendo del sprint en el que estén involucrados, la reunión tendrá una duración de una hora y se revisarán las actividades, se harán las observaciones y se continuará con el siguiente Sprint (Schwaber, & Sutherland, 2013).

La reunión diaria o (Daily meeting) o tendrá una duración de 30 minutos y en él se enfocarán el alcance de los trabajos para ese día, se tocarán los temas pendientes del día anterior se hablarán de los riesgos y su control (Cediel et al., 2014).

La reunión al finalizar el sprint o llamada (Sprint retrospective) tendrá una duración de 1 hora se informará los trabajos pendientes del Sprint actual y se modificarán dependiendo del

pendiente las actividades a realizar en el siguiente Sprint. Tendrá especial relevancia a partir del Sprint 6 hasta el 10 donde ya se interviene con el equipo instalado y el equipo a reponer (Gonzaga et al., 2019).

1.6 Gestión y control del sprint del proyecto

La herramienta Burndown Chart nos permite controlar de forma gráfica el avance de los Sprints y por ende la del proyecto, indicándonos el avance, el trabajo pendiente y el tiempo distribuido para cada Sprint (Ramírez et al., 2019).

El proyecto está estructurado en 10 Sprints cada uno de una semana hábil colombiana con un colchón de sábados y domingos en caso de que sea necesario utilizarlos, sobre todo en las labores de campo, para los dos últimos Sprints se tienen contemplados pues la experiencia indica que se requiere de más tiempo para atender las actividades que pueden quedar con un pendiente y de tal forma dar más tiempo para ser solucionados, adicional que también los dos últimos Sprints corresponden con actividades de señalización en el SCADA y con pruebas de puesta en servicio definitiva.

En la tabla 16 se encontrará la información por Sprint y general del Burndown Chart asignado para el proyecto.

Tabla 16. *Burndown Chart.*

	Fecha	Puntos historia por Sprint	Puntos de historia diarios	Puntos pendientes por día	Trabajo Planeado por Sprint	Trabajo Real por Sprint	Trabajo Pendiente Real por Sprint
Sprint 1	lunes, 3 de febrero de 2025	25	5	20	5	4	21
	martes, 4 de febrero de 2025	20	5	15	4	4	16
	miércoles, 5 de febrero de 2025	15	5	10	4	4	11
	jueves, 6 de febrero de 2025	10	5	5	4	4	6
	viernes, 7 de febrero de 2025	5	5	0	5	5	0
Sprint 2	lunes, 10 de febrero de 2025	25	5	20	5	4	21
	martes, 11 de febrero de 2025	20	5	15	5	5	15
	miércoles, 12 de febrero de 2025	15	5	10	6	6	9
	jueves, 13 de febrero de 2025	10	5	5	4	4	6
	viernes, 14 de febrero de 2025	5	5	0	5	5	0
Sprint 3	lunes, 17 de febrero de 2025	25	5	20	8	3	22
	martes, 18 de febrero de 2025	20	5	15	8	7	13
	miércoles, 19 de febrero de 2025	15	5	10	8	7	8
	jueves, 20 de febrero de 2025	10	5	5	8	7	3
	viernes, 21 de febrero de 2025	5	5	0	8	2	3
Sprint 4	lunes, 24 de febrero de 2025	25	5	20	8	3	22
	martes, 25 de febrero de 2025	20	5	15	8	7	13
	miércoles, 26 de febrero de 2025	15	5	10	8	6	9
	jueves, 27 de febrero de 2025	10	5	5	8	4	6
	viernes, 28 de febrero de 2025	5	5	0	8	5	0
Sprint 5	lunes, 3 de marzo de 2025	25	5	20	8	5	20
	martes, 4 de marzo de 2025	20	5	15	8	4	16
	miércoles, 5 de marzo de 2025	15	5	10	8	4	11
	jueves, 6 de marzo de 2025	10	5	5	8	6	4
	viernes, 7 de marzo de 2025	5	5	0	8	5	0

Sprint 6	lunes, 10 de marzo de 2025	25	5	20	8	5	20
	martes, 11 de marzo de 2025	20	5	15	8	4	16
	miércoles, 12 de marzo de 2025	15	5	10	8	4	11
	jueves, 13 de marzo de 2025	10	5	5	8	2	8
	viernes, 14 de marzo de 2025	5	5	0	8	3	2
Sprint 7	lunes, 17 de marzo de 2025	25	4	21	8	2	23
	martes, 18 de marzo de 2025	21	4	17	8	4	17
	miércoles, 19 de marzo de 2025	17	6	11	8	3	14
	jueves, 20 de marzo de 2025	11	3	8	8	3	8
	viernes, 21 de marzo de 2025	8	7	1	8	3	5
Sprint 8	lunes, 24 de marzo de 2025	25	5	20	8	4	21
	miércoles, 26 de marzo de 2025	20	5	15	8	5	15
	jueves, 27 de marzo de 2025	15	5	10	8	6	9
	viernes, 28 de marzo de 2025	10	5	5	8	7	3
	sábado, 29 de marzo de 2025	5	5	0	8	5	0
Sprint 9	lunes, 31 de marzo de 2025	30	4	26	8	6	24
	martes, 1 de abril de 2025	26	4	22	8	5	21
	miércoles, 2 de abril de 2025	22	4	18	8	4	18
	jueves, 3 de abril de 2025	18	4	14	8	4	14
	viernes, 4 de abril de 2025	14	5	9	8	3	11
Sprint 10	sábado, 5 de abril de 2025	9	6	3	8	9	0
	domingo, 6 de abril de 2025	3	3	0	8	3	0
	lunes, 7 de abril de 2025	30	4	26	8	3	27
	martes, 8 de abril de 2025	26	4	22	8	3	23
	miércoles, 9 de abril de 2025	22	4	18	8	4	18
Sprint 10	jueves, 10 de abril de 2025	18	4	14	8	4	14
	viernes, 11 de abril de 2025	14	5	9	8	3	11
	sábado, 12 de abril de 2025	9	6	3	8	6	3
	domingo, 13 de abril de 2025	3	3	0	8	3	0

Figura 2. *Burndown Chart Sprint 1.*

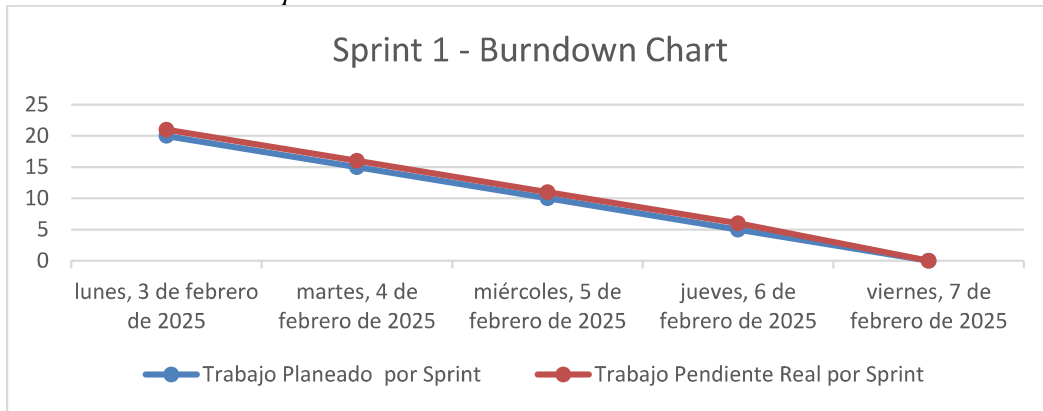


Figura 3. *Burndown Chart Sprint 2.*

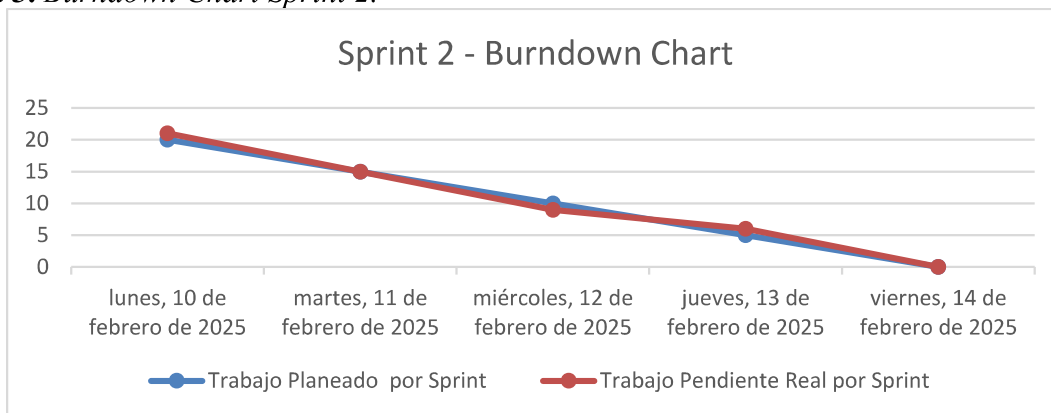


Figura 4. *Burndown Chart Sprint 3.*

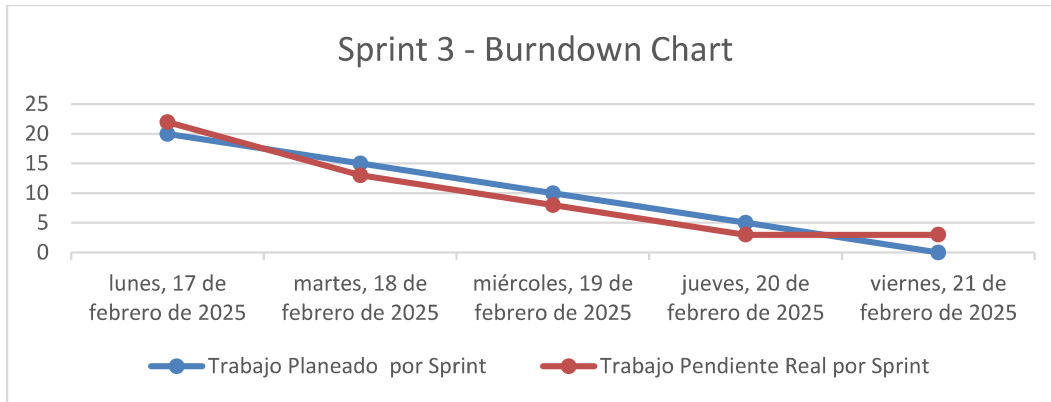


Figura 5. Burndown Chart Sprint 4.

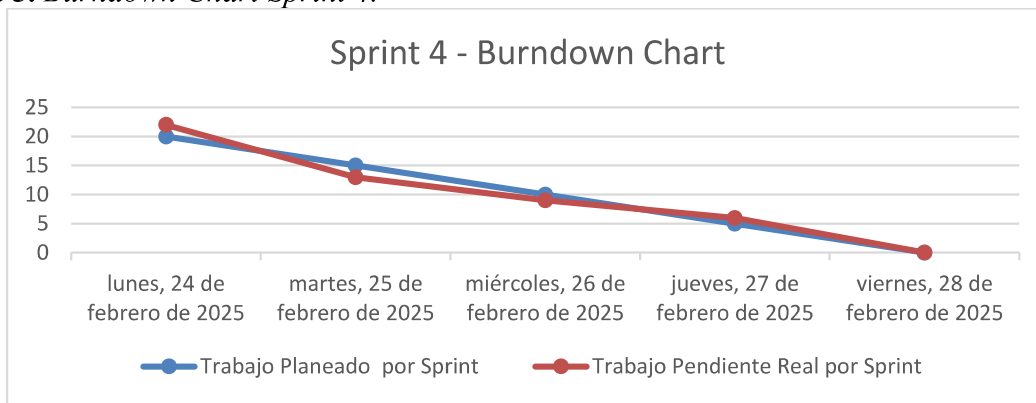


Figura 6. Burndown Chart Sprint 5.

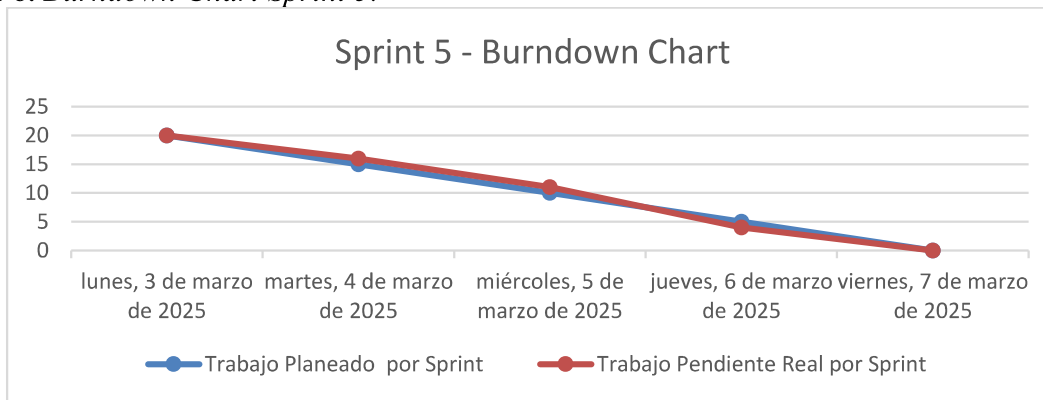


Figura 7. *Burndown Chart Sprint 6.*

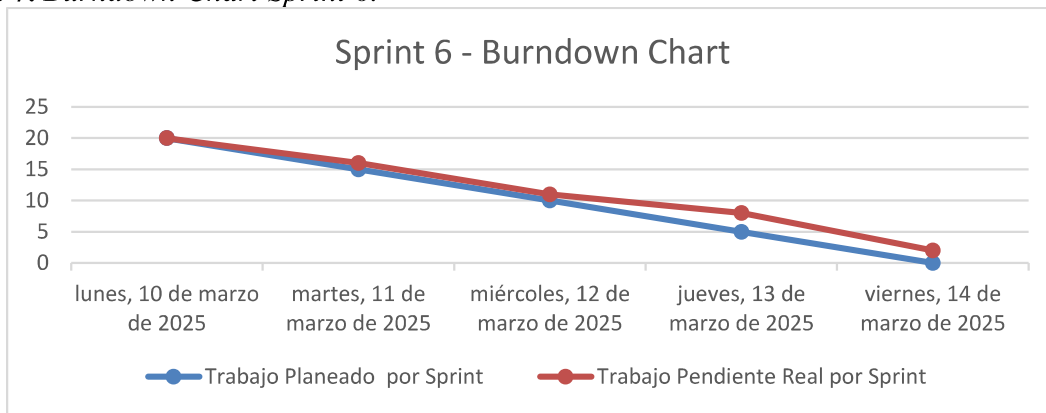


Figura 8. *Burndown Chart Sprint 7.*

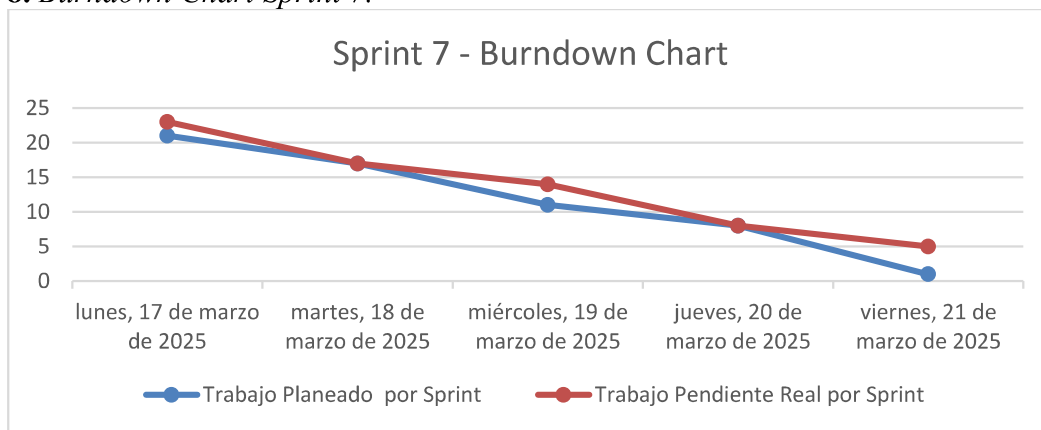


Figura 9. *Burndown Chart Sprint 8.*

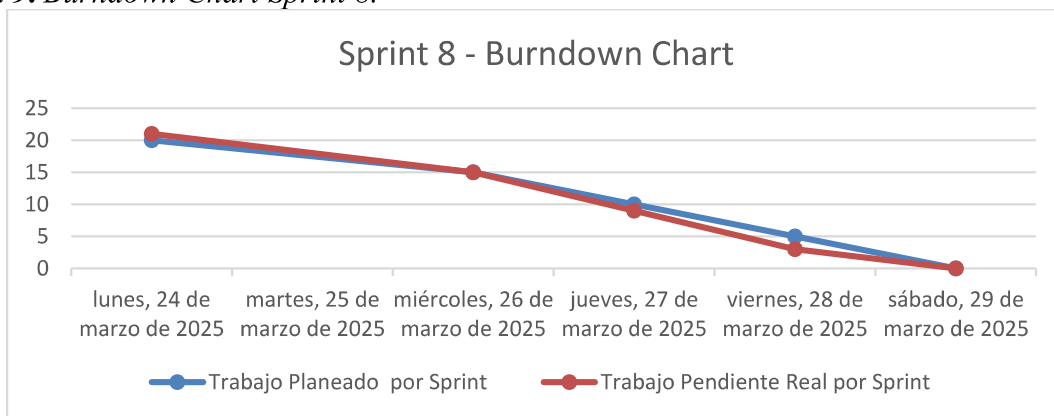


Figura 10. *Burndown Chart Sprint 9.*

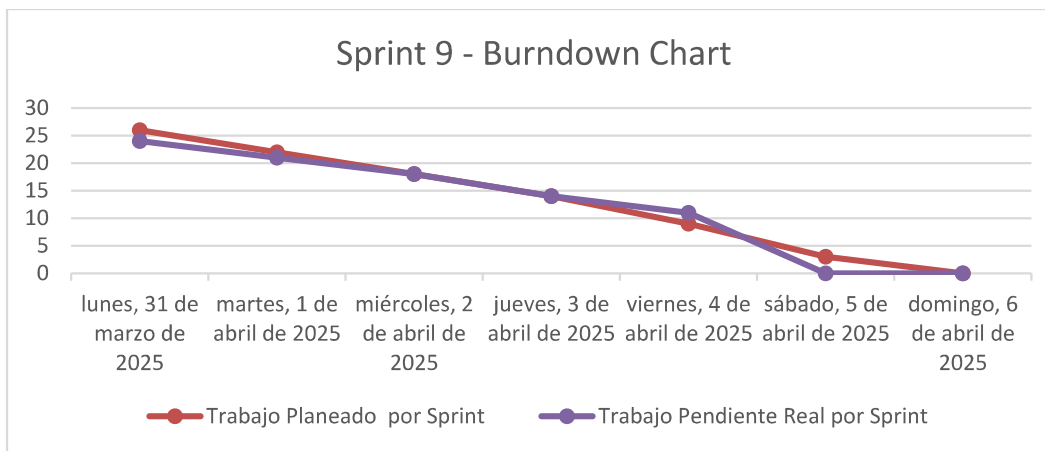
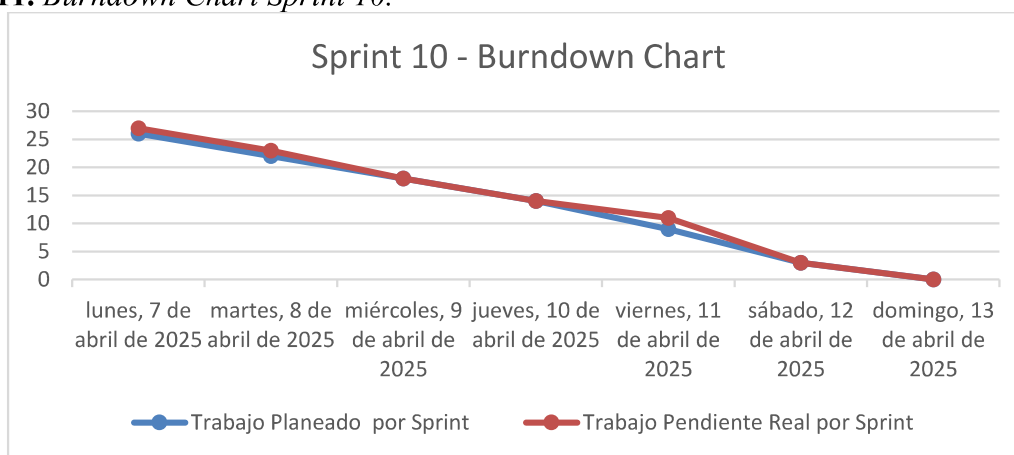


Figura 11. Burndown Chart Sprint 10.



Por las gráficas anteriormente descritas se puede llevar un mejor control del desarrollo del proyecto para cada Sprint, teniendo especial cuidado en los sprint 9 y 10 donde se puede notar una leve desviación y ya finalizando el proyecto.

1.7 Prototipo de entregable

Los entregables de los Sprints 1 al 7 son los documentos que avalan el trabajo hecho durante cada uno y para los Sprints 8 al 10 es el montaje de los equipos teniendo al final del proyecto el equipo totalmente funcional en la subestación.

Al final se debe entregar un dispositivo funcional cómo el que se muestra en las imágenes a continuación:

Figura 12. Tablero con relé 87 B 500 kV.



Figura 13. Relé integrado al SCADA de la Subestación.

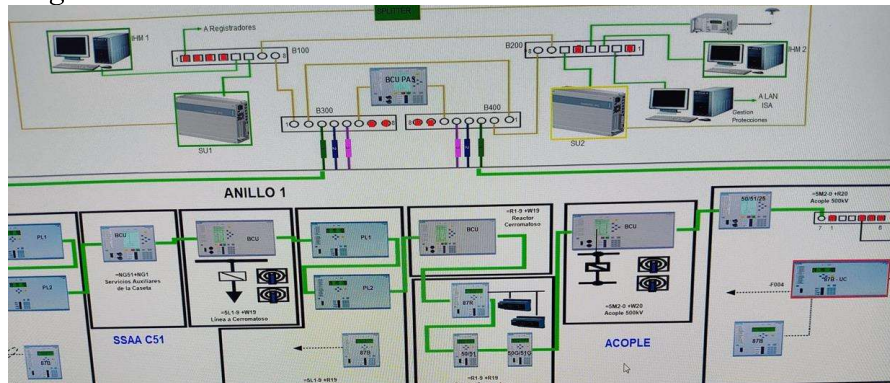


Figura 14. Relé con función 87B funcional.

2. Discusión.

Teniendo en cuenta lo visto en clase, las investigaciones hechas y el desarrollo del presente documento, resulta propicio indicar que si se puede implementar un modelo ágil para el desarrollo de este tipo de proyectos, (no solo software) pero teniendo especial cuidado en que dependiendo la etapa del Sprint es que se puede hablar o no hablar de una iteración que implique cambiar algo fundamental dentro del proyecto, es decir en este caso el equipo ya suministrado, el tablero ya hecho, es decir que implique algo físico que ya esté aprobado dentro del desarrollo del proyecto.

3. Conclusiones

Indicado en el punto anterior, es factible la implementación de esta metodología ágil para este tipo de proyectos, toda vez que se debe estructurar sobre todo en los tiempos de los Sprints, porque dependiendo de esto se puede llevar un buen control, en este caso al tener los tiempos

iguales escogimos la de 8 días (semana) pero porque la última etapa que es la de implementación se exige por norma que no sea tanto tiempo las consignaciones sobre los activos.

Al minimizar las interrupciones, se asegura la continuidad en la transmisión de energía, lo que es crucial para mantener la operatividad del Sistema Interconectado Nacional (SIN). Además, la capacidad de realizar entregas incrementales y funcionales durante el proceso ha contribuido a una mejor gestión del riesgo y a un uso más eficiente de los recursos disponibles, optimizando así los costos asociados a las paradas necesarias para la modernización.

El ejercicio fue enriquecedor porque permite abordar una metodología novedosa sobre un modelo tradicional y poder extraer lo mejor de cada uno para la optimización de los recursos.

Este enfoque permite adaptaciones rápidas a los cambios y requerimientos emergentes, asegurando que el proyecto se mantenga alineado con las expectativas de los interesados. La flexibilidad inherente a Scrum es especialmente valiosa en un entorno donde las condiciones pueden variar, permitiendo al equipo responder eficazmente a desafíos inesperados y manteniendo siempre un enfoque en la calidad del producto final.

Estamos seguros de que esta metodología es la que va a estar presente en la mayoría de proyectos que se aborden, pues permite flexibilidad y escalabilidad. También garantiza un enfoque más ágil y adaptativo que puede responder eficazmente a las demandas del entorno operativo actual.

Referencias bibliográficas

- Barrantes, L. (2011). Diseño del sistema de protección y control de subestaciones eléctricas (tesis de pregrado, Universidad Carlos III de Madrid, España).
- Cediel, O., Camelo, C., & Higuera, J. (2014). Scrum: A través de una aplicación móvil. *Tecnología Investigación y Academia*, 2(2), 182-192.
- De las Casas, M. (2009). Influencia de la generación distribuida en los niveles de cortocircuito y en las protecciones eléctricas en subestaciones de 110/34, 5 kV. *Ingeniería Energética*, 30(1), 3-20.
- Gómez, E., Rodríguez, J., & Gallego, F. (2016). El conflicto en el desarrollo ágil: una perspectiva desde el SCRUM. *Revista Gestión y Región*, (21), 121-149.
- Gonzaga, M., Pazos, W., Meneses, L., & Esteban, J. (2019). Metodología híbrida de desarrollo de software combinando XP y Scrum. *Mikarimin. Revista Científica Multidisciplinaria*, 5(2), 109-116.
- IEEE. (2008). IEEE Standard for Electrical Power System Device Function Numbers, Acronyms, and Contact Designations. IEEE, 1-56.
- Jacho, A., Barrera, H. (2018). Estudios de estabilidad permanente y transitoria de conexión entre las subestaciones pasaje (machala) y posorja mediante conexión hvdc (tesis de pregrado, escuela superior politécnica del litoral, Ecuador).
- Karabulut, A., & Ergun, E. (2018). A new way of management: A scrum management. *International Journal of Commerce and Finance*, 4(2), 108-117.

Quisilema, E. (2013). Efecto de la Inducción Electromagnética de Circuitos Paralelos en la Operación de las Protecciones Eléctricas. Aplicación a la barra de Machala 138 kV de la S/E Machala (Tesis de Pregrado, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador).

Ramírez, M., Soto, M., Moreno, H., Rojas, E., Millán, N., & Cisneros, R. (2019). Metodología SCRUM y desarrollo de Repositorio Digital. *Revista Ibérica De Sistemas e Tecnologías De Informação*, (E17), 1062-1072.

Resolución 1348 de 2009. Por la cual se adopta el Reglamento de Salud Ocupacional en los Procesos de Generación, Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica en las empresas del sector eléctrico. 30 de abril de 2009. D.O. No. 47327.

Resolución 15 de 2018. Por la cual se establece la metodología para la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional. 29 de enero de 2018. D.O. No. 50.496.

Resolución 40117 de 2024. Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). 02 de abril de 2024. D.O. No. 52716.

Schwaber, K., & Sutherland, J. (2013). La guía de Scrum. *Scrumguides. Org*, 1, 21.

Zambrano, R., & Bayas, A. (2009). Sistemas de protecciones eléctricas a nivel de 500 kV aplicación subestación Pifo. Escuela politécnica Nacional.