

Implementación de la Mantenibilidad desde el diseño para ENLAZA

López Óscar, Peña José, Guerra Gerardo

Carrera 9 No. 73 – 44

E.mail: olopezr@enlaza.red – jpena@enlaza.red – gguerra@enlaza.red

Bogotá, D.C. – Colombia

Resumen

ENLAZA, durante la implementación de mejores prácticas para la gestión de sus activos, decidió incorporar la mantenibilidad desde el diseño como la metodología que, de manera cualitativa, establece los requisitos para evaluar la facilidad de operar y mantener los activos a construir. Este trabajo comparte la experiencia de alinear áreas, procesos y disciplinas en la adaptación de una buena práctica basada en la norma IEC 60706-2:2006 y muestra los beneficios obtenidos.

Introducción

Maximizar el valor que podemos obtener de los activos, manteniendo un balance entre costo, riesgo y desempeño durante todo su ciclo de vida, requiere un conjunto de metodologías y actividades coordinadas. Entre estas, se incluyen técnicas de mantenibilidad que, aunque se ejecutan en la fase de operación, deben ser establecidas desde el mismo diseño, como lo propone la norma IEC 60706 en su parte 2: Requisitos de mantenimiento y estudios durante la fase de diseño y desarrollo.

Mientras que las técnicas de confiabilidad buscan tareas que reduzcan las tasas de falla, las técnicas de mantenibilidad buscan que las tareas de mantenimiento tengan el menor impacto en la disponibilidad de los activos.

Por tanto, los análisis de mantenibilidad permiten definir, desde el diseño, los requisitos a cumplir en el contexto operativo de los activos para aumentar la probabilidad de éxito en su conservación o reparación, reduciendo tiempos en la detección de fallas, gestión logística y administrativa, consecución de partes, reemplazos y demás costos, cuantificados en tiempo y monto, que implican los

mantenimientos preventivos o correctivos de un ítem mantenible.

De esta manera, la mantenibilidad puede ser considerada como la capacidad de un ítem para conservarse o repararse, como la probabilidad de que una acción de mantenimiento sea exitosa o que de su análisis se definan los requisitos para realizar las actividades de mantenimiento.

Alcance

Implementar la metodología para evaluar la mantenibilidad desde el diseño de los activos presentó varios retos que han sido superados por un equipo consciente de la gestión del ciclo de vida de sus activos y de la importancia de incrementar el valor de estos desde etapas tempranas.

La evaluación de mantenibilidad se presenta para establecer los requerimientos cualitativos de mantenimiento haciendo uso de la norma IEC 60706-2:2006, catalogar niveles de mantenibilidad y establecer una metodología para desarrollar una lista de chequeo cuyo producto hace parte del diseño de nuevos activos.

Requerimientos para mantener y operar

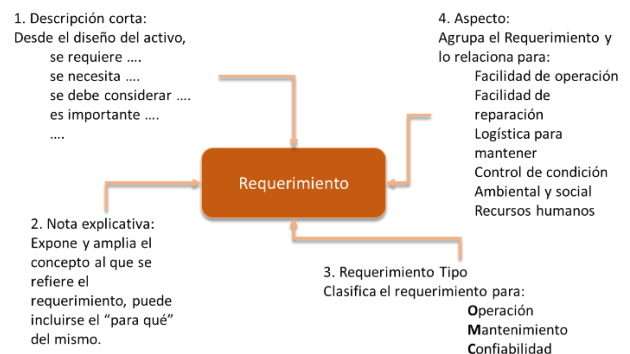


Fig 1 Definición de requerimientos

Una tarea esencial consiste en establecer la manera de crear requerimientos o elementos de verificación que sean fáciles de identificar, pero que mantengan la objetividad del evaluador mediante descripciones claras. La figura 1 presenta cuatro componentes establecidos para tal fin: 1. Descripción corta; 2. Nota explicativa; 3. Tipo de requerimiento; 4. Aspecto. Por tanto, cada elemento de verificación define un requerimiento para operar o mantener el activo y, a su vez, conforman la lista para dar cumplimiento desde el diseño de los activos.

Establecer aspectos a evaluar: La experiencia adquirida al mantener y operar los activos permite identificar aquellos factores que principalmente restringen estas actividades, tales como las necesidades operativas, las condiciones ambientales, los medios para la detección de fallos, la regulación, entre otros. En la Figura 2 se señalan los aspectos seleccionados que aportan al contexto y definición de cada requerimiento.



Fig 2 Definición de aspectos

Agrupar los requerimientos según los aspectos que impactan las actividades de O&M requiere de la participación de los expertos de cada área o proceso, necesarios para la conceptualización de éstos.

Metodología seleccionada para la definición de los requerimientos: Mediante juicios de expertos y trabajando en cada aspecto, se desarrolla un listado de requisitos, caracterizándose cada uno de estos por ser un objetivo declarado, claro y ejecutable bajo el contexto actual de la compañía. Los requisitos se definen de acuerdo con las

necesidades de rendimiento de las actividades de mantenimiento sobre los activos, para lo cual se seleccionó un nivel en la taxonomía donde se sincroniza la información financiera y no financiera, denominado unidad funcional (UF), que opera como la menor unidad sujeta a control individual del portafolio de activos.

Características cualitativas: Un requisito establece una característica con la que debe contar el activo, estas pueden ser cualitativas y hacer referencia a:

- sistemas de monitoreo y alarma;
- personal con competencia técnica específica;
- modularidad, estandarización de equipos;
- facilidades para manejo mecánico de cargas;
- sistemas de evacuación y emergencia;
- garantizar el acceso;
- indicadores de fuga.

El requisito también puede definirse para una etapa específica del activo, por ejemplo, en el inicio de su explotación comercial contar con repuestos para el arranque.

El diseño del activo debe cubrir las características de mantenibilidad definidas y mantenerse en un ciclo de mejora continua, tomando lecciones aprendidas y el know-how de la compañía para actualizar los requerimientos de mantenibilidad y asegurar que estos se traduzcan en directrices y listas de verificación para garantizar su implementación en nuevos diseños, como se muestra en la figura 3

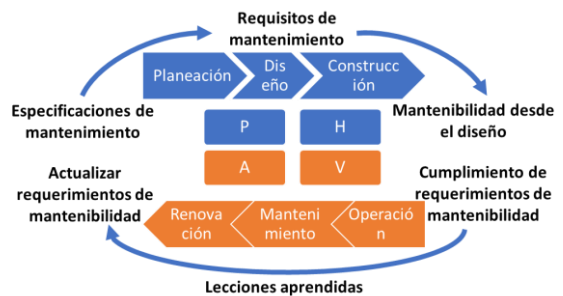


Fig 3 Actualización de requisitos

Definir los requerimientos: Cada requerimiento tiene una descripción corta para ser identificado

con facilidad, una nota que amplía la descripción y conceptualiza lo que se requiere, es importante o se necesita para operación, mantenimiento o confiabilidad, asignándolo a un grupo de aspectos. De esta manera queda claro el concepto de cada requerimiento y su cumplimiento desde la etapa de diseño tiene objetivos como:

- reducción del riesgo de las actividades;
- menores tiempos en preparación logística;
- menores tiempos en reparación y reemplazos;
- facilidad para identificar un ítem defectuoso;
- facilidad para la realización de pruebas;
- incrementar el éxito de los mantenimientos preventivos y correctivos;
- reducir costes de mantenimiento;
- aportar a la toma de decisiones en etapas tempranas con visión del TOTEX del activo.

En conjunto los requerimientos componen una lista de verificación pensada para los diferentes tipos de unidades funcionales que se tienen dentro del portafolio de activos. La figura 4 muestra los pasos en la creación de un requerimiento.

Valoración cualitativa de los requerimientos

Se han definido cuatro posibles resultados para calificar cada requerimiento según su impacto en la mantenibilidad del activo:

- NA/NR: El requerimiento no aplica o no es un requisito para el tipo de activo.
- Bajo: El requerimiento es deseable o su incumplimiento es una condición subsanable.
- Alto: El requerimiento es esencial o su incumplimiento no es una condición subsanable.
- Muy alto: Su incumplimiento genera una condición no subsanable que genera un mayor impacto en la mantenibilidad del activo.

Evaluación de mantenibilidad de un activo: para obtener un resultado total que represente la evaluación global de todos los requerimientos para un activo, es necesario que la evaluación sea cualitativa cuantificada.

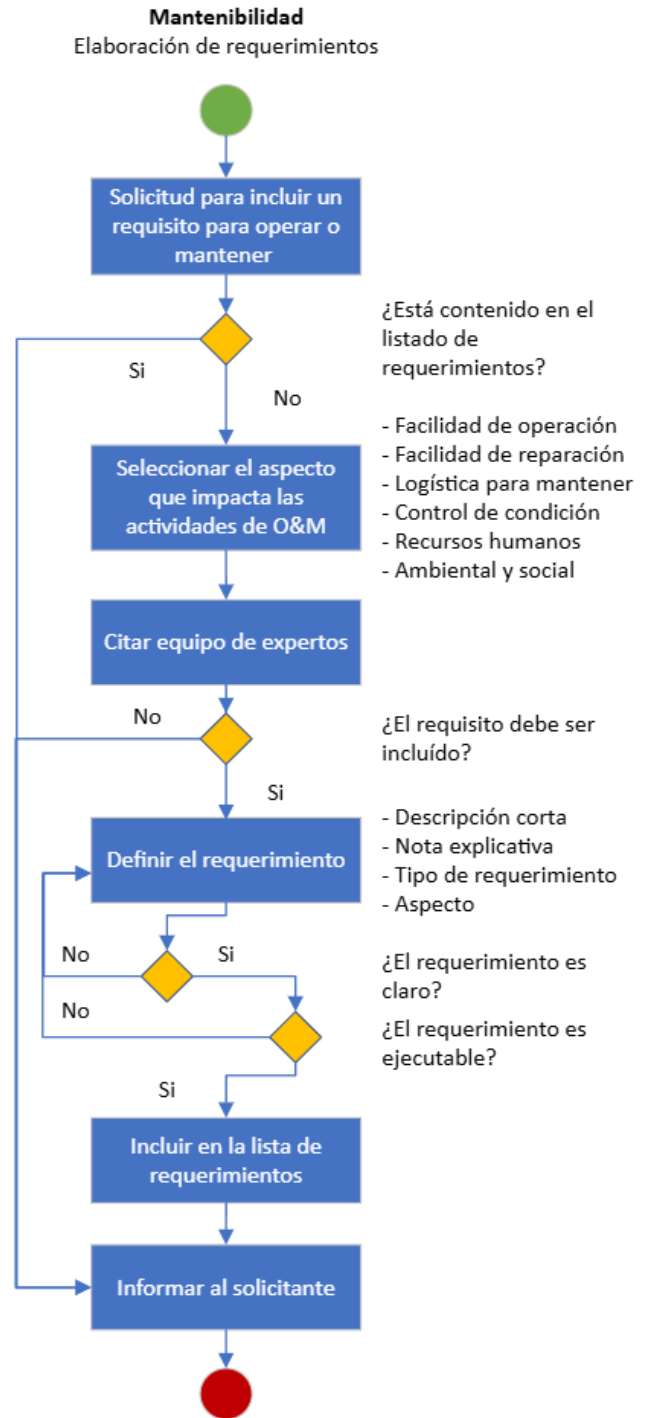


Fig 4 Creación de requerimientos

Haciendo este tipo de ejercicios para diferentes tipos de activos se definió y calibró una

distribución adecuada para asignar un valor numérico a cada criterio como se muestra en la figura 5.

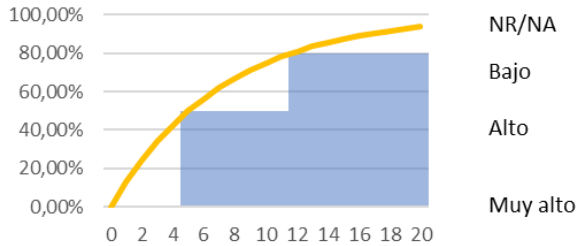


Fig 5 Distribución para evaluación cualitativa cuantificada de los requerimientos de un activo

El resultado global es el promedio de los requerimientos calificados para cada activo.

Evaluación de mantenibilidad para un grupo de activos o un proyecto: en este tipo de evaluaciones, donde se tienen varios activos, las condiciones operativas llegan a ser similares para unidades funcionales del mismo tipo y se vuelve recurrente el resultado, lo cual se simplificó agrupando los tipos de unidad funcional en seis categorías:

- 1. General líneas: es una agrupación de unidades funcionales que comparten características propias de mantenibilidad para las líneas de transmisión, por ejemplo, torres, conductores, cables de guarda, entre otros.
- 2. General subestaciones: es una agrupación de unidades funcionales propias de una subestación que comparten o constituyen las características de mantenibilidad de la subestación, por ejemplo, los pórticos, servicios auxiliares, estaciones de operación, sistema contra incendios, entre otros.
- 3. Equipos de patio: agrupa equipos que comparten zonas similares como descargadores, reactores, transformadores de corriente, transformadores de tensión autotransformadores, reactores, etc.
- 4. Equipos de maniobra: agrupa a los equipos como son: interruptores, seccionadores y cuchillas.

- 5. Equipos de PCYM: agrupa los sistemas de protección, control, medida y comunicaciones.
- 7. Algunas unidades funcionales tienen características adicionales a la agrupación asignada, por tanto, se le evalúan requerimientos de mantenibilidad de carácter específico.

La figura 6 ilustra los pasos para la evaluación de mantenibilidad por grupos de activos

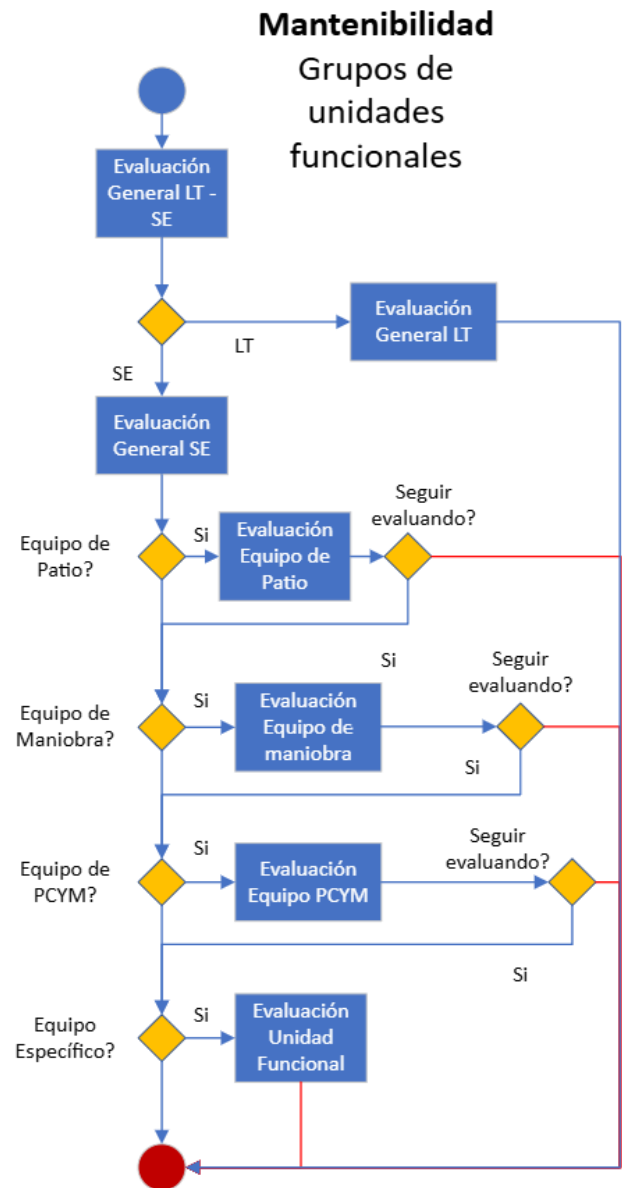


Fig 6 Evaluación agrupando UF

Validar evaluaciones y resultados: el resultado de la evaluación se discute por el equipo de expertos que se conforma para ello. Los resultados se integran para seguir creando línea base y poder hacer comparaciones entre resultados de diferentes tipos de activos y distinguir qué activo tiene una mantenibilidad mejor o peor que otro, partiendo de la valoración cualitativa de los requerimientos.

Construcción de lista de verificación de requerimientos para mantenibilidad

La evaluación de la mantenibilidad requiere de un equipo de expertos que debe contar con la participación, como mínimo, de las áreas de Operación, Mantenimiento, Ingeniería y Confiabilidad. Este equipo es el encargado de evaluar cada requerimiento para cada agrupación de unidades funcionales y acordará su valoración, sin ponderar, sin promediar, es decir, será resultado del consenso. La figura 7 detalla los pasos a seguir.

Contexto general del proyecto o entrada de nuevos activos: una vez se conforma el equipo de expertos, este debe comprender, por parte de ingeniería, las especificaciones técnicas de los nuevos activos, los DSI (Documentos de Selección del Inversionista e Interventor), configuración, arquitectura y demás especificaciones técnicas definidas en la construcción del caso de negocio y sus posibles modificaciones. Conocido esto, se definen los tipos de unidades funcionales que ingresarán al análisis y que serán evaluadas. En caso de que el proyecto incluya un tipo de unidad funcional nuevo, se debe solicitar su inclusión en el Manual de Unidades Funcionales de la compañía y, posteriormente, incluirlo para su valoración. La evaluación se realiza considerando el tipo de unidad funcional y su contexto operacional con los detalles de ingeniería definidos hasta entonces.

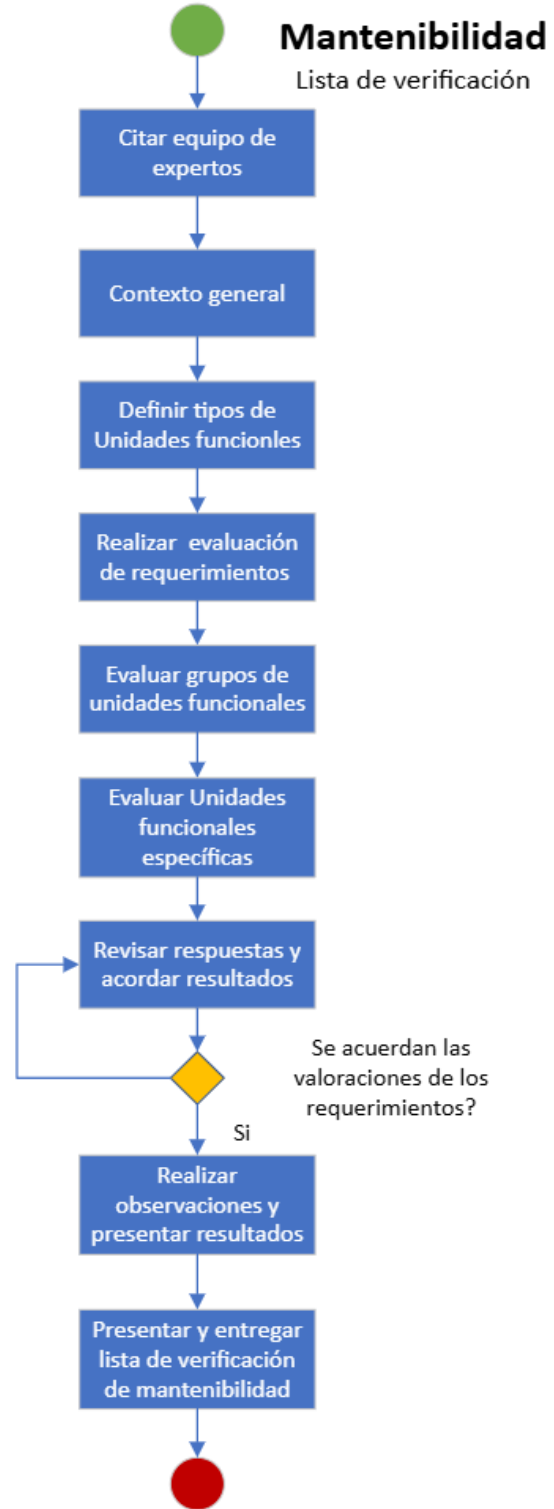


Fig 7 Construcción listas de verificación

Matriz de requisitos y unidades funcionales: al finalizar la evaluación, se disponen de los resultados de los requerimientos evaluados respecto a las agrupaciones de unidades funcionales. Es decir, se tiene un producto donde cada agrupación de unidad funcional tiene asociadas sus características de mantenibilidad para ser aplicadas desde el diseño (ver figura 8). Este resultado es un primer entregable a la etapa de diseño, para tener en especial consideración aquellos valorados como un requisito esencial, es decir, los requerimientos valorados en alto o muy alto.

Fig 8 Matriz UF vs requerimientos

Lista de verificación: un segundo entregable consiste en un listado de requerimientos y sus resultados de evaluación, que será utilizado por parte de ingeniería para verificar y chequear que las características de mantenibilidad solicitadas sean incluidas en los diseños de los nuevos activos y procurar su materialización en las etapas de construcción (ver ejemplo en la figura 9).

REQUERIMIENTO (BASE MNCV III DISEÑO)	¿Se requiere?	TIP	Resultado general:		
			Aspecto	Impacto	
23	Conocer modos de falla, mecanismos de falla, causas y consecuencias al sistema	C	Facilidad de reparación	Alto	<input type="checkbox"/>
26	Compatibilidad tecnológica de controles, comunicación y protecciones	C	Facilidad de reparación	Bajo	<input type="checkbox"/>
28	Información de la vida útil referida por fabrica del activo	C	Facilidad de reparación	Alto	<input type="checkbox"/>
29	Información específica sobre MTF, MTBF (indicadores esperados)	C	Facilidad de reparación	Alto	<input type="checkbox"/>
30	Información específica sobre MTR (indicadores esperados)	C	Facilidad de reparación	Alto	<input type="checkbox"/>
31	Lista de repuestos críticos Materiales (Bill of Materials)	C	Facilidad de reparación	Muy Alto	<input type="checkbox"/>

Fig 9 Lista de verificación

Beneficios y conclusiones

Desarrollar evaluaciones de mantenibilidad para la etapa de diseño genera consulta y participación de las áreas de Operación y Mantenimiento, permitiendo traer aspectos, conocimientos y lecciones aprendidas adquiridas en la etapa de explotación comercial del activo al área de Ingeniería encargada del diseño y construcción.

Asimismo, trae a discusión desde el área de Ingeniería, las experiencias constructivas, restricciones y características para el diseño de los nuevos activos, para ser informados desde una fase temprana a Operación y Mantenimiento.

La mantenibilidad debe obedecer a las necesidades y expectativas en costo, desempeño y confiabilidad de los activos.

La manera en que se establecen los requerimientos depende de cada negocio y, por ello, trabajar con los expertos de cada área y proceso de la compañía involucrados en los activos asegura el éxito para establecer una metodología para evaluar la mantenibilidad.

La manera de medir el éxito consiste en verificar que los nuevos activos entren en operación con las características de mantenibilidad solicitadas mediante las listas de verificación construidas.

A medida que se realizan evaluaciones, se va creando una línea base que permite clasificar los activos en niveles de mantenibilidad.

Bibliografía

[1] IEC 60706-2:2006, “Mantenibilidad de equipos Parte 2: Requisitos de mantenimiento y estudios durante la fase de diseño y desarrollo”

[2] The Institute of Asset Management, “Asset Management - An Anatomy”, Version 4. Julio, 2024.

[3] GEB - ENLAZA, “Plan Estratégico de Gestión de Activos Productivos - PEGA”, Versión 6. Agosto, 2024.

[4] GEB - ENLAZA, “ENL-PNE-MAN-001 Unidades Funcionales de Activos Productivos”, Versión 4. Agosto, 2024.

[5] IEC 60300-1:2024, “Gestión de la confiabilidad Parte 1: Directrices para su gestión y aplicación”

[6] IEC 60300-2:2024, “Gestión de la confiabilidad Parte 2: Guía para la gestión de la confiabilidad”

[7] IEC 60300-3-10:2021, “Guía de aplicación. Mantenibilidad”

[8] ISO 55001:2014. “Gestión de activos, sistema de gestión, requisitos”

Hoja de Vida

Óscar Alfonso López Rueda: Ingeniero Electrónico de alto desempeño certificado como Profesional en Ingeniería de Mantenimiento y Confiabilidad SMRP (CMRP), certificado como Gestor de Mantenimiento y Confiabilidad ACIEM (CGMC) y certificado en Gestión de Activos en la norma SB-PAS-55 del IAM, Magister en Ingeniería de Confiabilidad, Mantenibilidad y Riesgo, con más de 24 años en el ejercicio de la profesión. Cinco años de experiencia en el negocio de transmisión de energía eléctrica y catorce años en la industria oil and gas.

José René Peña: Ingeniero Electricista especializado en Gerencia de Mantenimiento con

experiencia en implementación, certificación, sostenimiento y mejora continua de Sistemas de Gestión de Activos bajo norma ISO 55001. Auditor interno certificado en normas ISO 55001, 9001, 14001 y 45001. Experiencia en coordinación y liderazgo como ingeniero de mantenimiento de líneas de transmisión de alta tensión. Desarrollo e implementación de planes de mantenimiento preventivo bajo metodología RCM. Experiencia y conocimientos como líder de implementación y usuario funcional del módulo PM de SAP para gestión de mantenimiento preventivo y correctivo. Dirección residencia: Carrera 67 No. 95-26 Dirección oficina: Carrera 9 No. 73-44 Celular: 3213122420

Gerardo Guerra García: Ingeniero Eléctrico con estudios de especialización y maestría en proyectos, mantenimiento y sistemas eléctricos de potencia. Certificado como Profesional en Ingeniería de Mantenimiento y Confiabilidad (CMRP) por SMRP, miembro IEEE, miembro CIGRE. Amplia experiencia de estrategias de mantenimiento y confiabilidad para infraestructuras eléctricas en alta tensión, protecciones eléctricas, subestaciones, FACTS y análisis de eventos.

Dirección oficina: Carrera 9 No. 73-44, Celular: 3004927823

REFERENCIAS

[1] IEC 60706-2, “Maintainability of equipment Part 2: Maintainability requirements and studies during the design and development phase”, second edition 2006.