



Documentación de los criterios técnicos para la elaboración de los entregables de ingeniería eléctrica, por parte del proceso de interventoría interna, en proyectos fotovoltaicos de la unidad de Gran Escala.

José Leonardo Cardona Corpus

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero Eléctrico

Modalidad de Práctica

Semestre de Industria o Práctica Empresarial

Asesor

Jaime Alejandro Valencia Velásquez, Doctor (PhD) *en Área de formación del asesor interno*

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Eléctrica

Medellín, Antioquia, Colombia

2025

Cita	Cardona Corpus [1]
Referencia	[1] J. Cardona Corpus, “Documentación de los criterios técnicos para la elaboración de los entregables de ingeniería eléctrica, por parte del proceso de interventoría interna, en proyectos fotovoltaicos de la unidad de Gran Escala”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería Eléctrica, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2025.
Estilo IEEE (2020)	



Seleccione biblioteca, CRAI o centro de documentación UdeA (A-Z)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Julio Cesar Saldarriaga Molina.

Jefe departamento: Noe Alejandro Mesa Quintero.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A mis padres, cuyo apoyo incondicional y paciencia a lo largo de este proceso académico han sido fundamentales para alcanzar este gran objetivo. A mi hermana, por sus acertados consejos; a mis amigos de San Andrés y compañeros de la universidad, quienes siempre han creído en mí y en mis capacidades; a mi pareja, que me acompañó en momentos difíciles de este camino; y a todos los profesores y personas que formaron parte de esta etapa en la maravillosa Universidad de Antioquia.

Agradecimientos

A ERCO Energía, por brindarme la oportunidad de realizar mi proceso de prácticas académicas en esta destacada empresa, y especialmente al equipo de interventoría interna de Gran Escala, que me recibió con los brazos abiertos y estuvo dispuesto a transmitirme todos sus conocimientos. A todos los profesores de la Universidad de Antioquia, mi Alma Mater, quienes me proporcionaron las bases necesarias para enfrentar la vida profesional.

TABLA DE CONTENIDO

CONTENIDO

RESUMEN.....	8
ABSTRACT	9
I. INTRODUCCIÓN	10
II. OBJETIVOS	11
A. Objetivo general	11
B. Objetivos específicos	11
III. MARCO TEÓRICO	12
IV. METODOLOGÍA	25
V. ANÁLISIS DE RESULTADOS	27
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	41
REFERENCIAS	43
ANEXOS.....	44

LISTA DE TABLAS

TABLA I. VARIABLES MONITOREADAS EN UN PSFV.	17
TABLA II. CARACTERÍSTICAS DE LOS TERMINALES DE CAPTACIÓN Y BAJANTES	21
TABLA III. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	26
TABLA IV. VALOR DE MATERIALES Y VARIOS	26
TABLA V. VALOR DEL PERSONAL	26
TABLA VI. "COMENTARIOS PRIORIDAD 1".	36
TABLA VII. "COMENTARIOS PRIORIDAD 2".....	36
TABLA VIII. "COMENTARIOS PRIORIDAD 3".	37
TABLA IX. "RESUMEN GLOBAL ESP. ELÉCTRICA".....	37
TABLA X. "COMENTARIOS PRIORIDAD 1"	38
TABLA XI. "COMENTARIOS PRIORIDAD 2".	38
TABLA XII. "COMENTARIOS PRIORIDAD 3".....	38
TABLA XIII. "RESUMEN GLOBAL ESP. SCADA"	39
TABLA XIV. "COMENTARIOS PRIORIDAD 2".	39
TABLA XV. "COMENTARIOS PRIORIDAD 3".....	39
TABLA XVI. "RESUMEN GLOBAL ESP. EEMM"	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. " Sistemas don puesta a tierra dedicadas e interconectadas "	19
Figura 2. " Índice eléctrico documento de Excel ".....	30
Figura 3." Índice SCADA documento de Excel "	30
Figura 4. "Índice EEMM documentos de Excel".....	31
Figura 5. " Comentario en documento Excel “.....	32

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEC	International Electrotechnical Commission
ERCO	Energía Renovable en Colombia
MW.	Mega Watts
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
CREG	Comisión de Regulación de Energía y Gas
SIN	Sistema Interconectado Nacional
SDL	Sistema de Distribución Local
CNO	Consejo Nacional de Operación del Sector Eléctrico
CND	Centro Nacional de Despacho
FNCER	Fuentes No Convencionales de Energía Renovable
RETIE	Reglamento Técnica de Instalaciones Eléctricas
EEMM	Estaciones Meteorológicas
SSAA	Servicios Auxiliares
NTC	Normas Técnicas Colombianas
PQR	Peticiones, Quejas y Reclamos
PhD	Philosophiae Doctor
UdeA	Universidad de Antioquia

RESUMEN

El trabajo de grado titulado "**Documentación de los criterios técnicos para la elaboración de los entregables de ingeniería eléctrica, por parte del proceso de interventoría interna, en proyectos fotovoltaicos de la unidad de Gran Escala**" tiene como objetivo establecer criterios técnicos detallados para la revisión y evaluación de los entregables de ingeniería eléctrica y sistemas SCADA en proyectos fotovoltaicos de Gran Escala, alineando los procesos con normativas y estándares nacionales e internacionales. La metodología desarrollada incluye la recopilación y análisis de normativas, la identificación de criterios técnicos actuales, el desarrollo de una metodología de revisión, y la implementación de un sistema estandarizado de documentación para las observaciones del equipo de interventoría.

Los resultados obtenidos incluyen la creación de listas de verificación y tablas de priorización que organizan las tareas de interventoría mediante un sistema de puntajes, facilitando la identificación de los aspectos más críticos en los entregables. Aunque los documentos aún están en proceso de validación, se espera que su implementación reduzca los tiempos de respuesta y mejoren la calidad en la liberación de los entregables. Las recomendaciones incluyen la implementación gradual de las listas de verificación, un seguimiento continuo del proceso, la ejecución de proyectos piloto y la capacitación del personal. Además, se sugiere ampliar la documentación para incluir otras especialidades y explorar la mejora de procesos en el futuro.

***Palabras clave* —interventoría, Fotovoltaico, Gran Escala, SCADA.**

ABSTRACT

The thesis titled "**Documentation of Technical Criteria for the Preparation of Electrical Engineering Deliverables by the Internal Supervision Process in Utility Scale Photovoltaic Projects**" aims to establish detailed technical criteria for the review and evaluation of electrical engineering and SCADA system deliverables in Utility Scale photovoltaic projects, aligning processes with national and international standards and regulations. The developed methodology includes the collection and analysis of regulations, identification of current technical criteria, the creation of a review methodology, and the implementation of a standardized documentation system for the supervision team's observations.

The results include the creation of checklists and prioritization tables that organize supervision tasks using a scoring system, facilitating the identification of critical aspects in the deliverables. While the documents are still under validation, their implementation is expected to reduce response times and improve the quality of delivery release. Recommendations include the gradual implementation of the checklists, continuous process monitoring, the execution of pilot projects, and staff training. Additionally, it is suggested to expand the documentation to include other specialties and explore process improvement in the future.

***Keywords* — Supervision Process, Photovoltaic, Utility Scale, SCADA.**

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el sector energético mundial ha enfrentado una creciente demanda de soluciones sostenibles debido a la urgencia de mitigar el cambio climático. En este contexto, la energía solar fotovoltaica se ha consolidado como una de las alternativas más eficientes y limpias para la generación de electricidad, destacándose especialmente en proyectos de Gran Escala. Estos proyectos, conocidos como granjas solares, han sido clave en la transición hacia fuentes de energía renovable, ya que permiten generar grandes volúmenes de electricidad aprovechando un recurso natural abundante.

ERCO Energía, empresa líder en Colombia en el ámbito de la energía solar, almacenamiento de energía y movilidad eléctrica, se dedica al desarrollo e implementación de proyectos fotovoltaicos de Gran Escala, se ha consolidado como un referente en la promoción de soluciones energéticas renovables, tanto en Colombia como en Panamá y Estados Unidos. En este proceso, la empresa ha logrado posicionarse como un actor clave en la expansión de la energía solar, buscando no solo optimizar sus procesos internos, sino también garantizar la calidad de sus proyectos mediante la implementación de tecnologías innovadoras.

En este contexto, el proceso de revisión y liberación de los entregables técnicos de ingeniería eléctrica y sistemas SCADA en los proyectos fotovoltaicos juega un rol fundamental. El trabajo del equipo de interventoría interna es esencial para asegurar que todos los entregables cumplan con las normativas nacionales e internacionales vigentes garantizando la correcta ejecución y eficiencia en los proyectos.

El presente trabajo de grado tiene como objetivo desarrollar una metodología sistemática para la revisión y evaluación de los entregables técnicos de ingeniería eléctrica y SCADA en proyectos fotovoltaicos de Gran Escala, específicamente dentro del área de interventoría. Esta metodología tiene como fin optimizar los procesos de revisión, reducir los tiempos de respuesta y mejorar la calidad de la liberación de los entregables, alineándolos con los estándares y las mejores prácticas.

La implementación de esta metodología aplicada complementada con investigación descriptiva contribuirá a una gestión más eficiente de los proyectos, impactando positivamente en la reducción de retrasos y garantizando el cumplimiento de los plazos establecidos. Este trabajo representa un paso hacia la mejora continua de los procesos internos de la empresa.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Establecer los criterios técnicos detallados para la revisión y evaluación de los entregables de ingeniería eléctrica y sistemas SCADA en proyectos fotovoltaicos de Gran Escala, asegurando que los comentarios y observaciones realizados por el equipo de interventoría interna se basen en normativas y estándares nacionales e internacionales, garantizando calidad, conformidad y correcta liberación de los entregables mediante una metodología rigurosa que promueva la alineación con mejores prácticas de la industria.

B. Objetivos específicos

- Establecer las normativas y estándares nacionales e internacionales aplicables en los entregables de ingeniería; tanto eléctricos, como de comunicaciones SCADA, en proyectos fotovoltaicos de Gran Escala, para fundamentar los criterios técnicos de revisión y evaluación.
- Analizar la metodología detallada para la revisión y evaluación de los diferentes entregables, asegurando la correcta aplicación de los diferentes criterios técnicos y mejores prácticas.
- Implementar un sistema de documentación que registre los comentarios y observaciones por parte de interventoría de manera más sistemática y estandarizada, garantizando coherencia con los criterios técnicos y facilitando la liberación de entregables.

III. MARCO TEÓRICO

Un sistema fotovoltaico es el conjunto de equipos eléctricos y electrónicos que producen energía eléctrica a partir de la radiación solar. El principal componente de este sistema es el módulo fotovoltaico, a su vez compuesto por células capaces de transformar la energía luminosa incidente en energía eléctrica de corriente continua. El resto de los equipos incluidos en un sistema fotovoltaico depende en gran medida de la aplicación a la que está destinado. A grandes rasgos los sistemas fotovoltaicos pueden ser clasificados en dos grandes grupos: conectados a red (grid connected) y autónomos (off-grid). [1]

Un proyecto *Utility Scale*, también conocido como proyecto de energía solar a gran escala, es un sistema de generación de energía solar diseñado para producir grandes cantidades de energía eléctrica, tienen características particulares que las diferencian de instalaciones solares de menor escala. Algunas de las características más destacadas incluyen:

Capacidad de generación: Un proyecto *Utility Scale* tiene una capacidad de generación considerablemente mayor que los sistemas solares residenciales o comerciales. Por lo general, estos proyectos tienen una capacidad de varios megavatios (MW) e incluso pueden alcanzar varios cientos de megavatios.

Extensión de terreno: Dado que la capacidad de generación es mayor, estos proyectos requieren áreas de terreno extensas para instalar miles de paneles solares. Esto implica que suelen estar ubicados en áreas rurales o desiertas donde el espacio es abundante y el recurso solar es óptimo.

Conexión a la red eléctrica: Los proyectos *Utility Scale* están diseñados para suministrar energía a la red eléctrica, lo que implica una infraestructura de transmisión y distribución adecuada. Esto incluye subestaciones, transformadores y líneas de transmisión de alta tensión.

Financiamiento y estructura de propiedad: Los proyectos *Utility Scale* suelen involucrar inversiones significativas y, en consecuencia, requieren financiamiento a gran escala. Esto puede incluir financiamiento de deuda, capital y subvenciones gubernamentales. También pueden tener estructuras de propiedad complejas, con múltiples partes interesadas, como desarrolladores, inversores, empresas de servicios públicos y entidades gubernamentales.

Acuerdos de compraventa de energía (PPA): Los proyectos *Utility Scale* a menudo establecen acuerdos de compraventa de energía a largo plazo con empresas de servicios públicos u otros compradores de energía.

Regulaciones y permisos: Estos proyectos están sujetos a un conjunto de regulaciones y requisitos de permisos específicos en función de su tamaño y ubicación. Esto puede incluir evaluaciones de impacto ambiental, estudios de interconexión y permisos de construcción, entre otros. [2]

La interventoría se encarga fundamentalmente de controlar, revisar y supervisar todas las etapas de un proyecto, de forma efectiva y permanente, con el fin de que se cumplan todas las especificaciones contractuales y las exigencias técnicas, administrativas, legales, financieras, presupuestales, ambientales, etc. Puede ser realiza por un profesional, a título personal o en representación de una persona jurídica para la inspección, vigilancia y control de las obligaciones pactadas con el ejecutor de un proyecto.

El desarrollo de las labores de interventoría depende las condiciones contractuales que se hayan pactado.

En nuestros días la interventoría (que originalmente se asociaba a aspectos técnicos) se ha diversificado a otras áreas del conocimiento, por lo que su ejercicio tiene un amplio panorama. Así, se puede hablar de los siguientes tipos de interventoría:

- *Interventoría del proyecto*, esta asesora al contratante durante el diseño del proyecto y estudios previos para que de esta forma cumpla con las condiciones y requisitos que el cliente propone y dentro de los recursos que este dispone para poder ejecutar debida y eficientemente la obra. De igual forma el interventor se encarga de todas las actividades previas como el control de pólizas, control a los contratos y estudios técnicos de ingeniería y control. El interventor tiene la voluntad de revisar los estudios y proyectos técnicos por especialistas, en donde el costo es responsabilidad del propietario
- *interventoría durante la construcción*, Incluye las funciones técnicas y administrativas, las cuales se complementan durante la construcción del proyecto. Así, estas os funciones deben ser realizadas por la misma persona o identidad.
- *interventoría técnica*, La función del interventor en este ámbito es velar por el cumplimiento de las especificaciones técnicas y que lo ejecutado sea acorde a lo

especificado en los planos, así como las normas de calidad y seguridad adecuado durante la obra. El interventor debe dejar constancia escrita de todos los trabajos que se ejecuten durante el proyecto y debe exigir las pruebas y ensayos que se requieran. Así, debe llevar un control detallado de las actividades donde se evidencie la exigencia y cumplimiento de las normas de calidad y estudios técnicos de la obra que el constructor deba realizar.

- *Interventoría ambiental*, Mediante esta interventoría se garantiza que se cumplan los Planes de Manejo Ambiental (PMA) para alcanzar todos los objetivos y metas, con el fin de mitigar el impacto ambiental que se pueda generar. Esta, desarrolla como mínimo los siguientes aspectos:
 - Observaciones a los procedimientos propuestos.
 - Evaluación comparativa en el tiempo de los indicadores ambientales.
 - Medidas adoptadas en desarrollo del sistema de Gestión Ambiental.
 - Recomendaciones.

En Síntesis, la interventoría tiene como función en la parte técnica, controlar cada parte de los procesos de un proyecto desde su inicio hasta su finalización, con el fin de que se cumplan todas las condiciones establecidas en el contrato y de igual forma cumpla con toda la normativa. [3]

Las normativas nacionales que rigen el desarrollo y operación de proyectos solares fotovoltaicos a Gran Escala en Colombia establecen lineamientos necesarios para garantizar el cumplimiento técnico, ambiental y de seguridad en todas las etapas de su implementación. Estas regulaciones abarcan aspectos relacionados con la integración de energías renovables al sistema eléctrico, los requisitos técnicos y mantenimiento que aseguran su sostenibilidad en el tiempo. A través de estas disposiciones, se fomenta el desarrollo de proyectos que contribuyen a la transición energética del país bajo estándares claros y definidos. Donde encontramos:

CREG 174 del 2021: Regular aspectos operativos y comerciales para permitir la integración de la autogeneración a pequeña escala y de la generación distribuida al Sistema Interconectado Nacional (SIN). También se regulan aspectos de procedimiento de conexión de los autogeneradores a gran escala con potencia máxima declarada a 5MW.

Esta resolución aplica a los autogeneradores a pequeña escala conectados al SIN, a los generadores distribuidos, a los operadores de red y transmisores nacionales. También aplica a las conexiones de los autogeneradores a gran escala con potencia máxima declarada menor a 5 MW.

Para efectos de esta resolución se tendrán en cuenta las siguientes definiciones:

- **Autogeneración.** Actividad realizada por usuarios, sean estos personas naturales o jurídicas, que producen energía eléctrica, principalmente para atender sus propias necesidades. Cuando se atienda la propia demanda o necesidad se realizará sin utilizar activos de uso de distribución y/o transmisión para entregar excedentes de energía y para el uso de respaldo de red.
- **Autogenerador a gran escala (AGGE).** Autogenerador con capacidad instalada o nominal superior al límite definido en el artículo primero de la resolución UPME 281 de 2015, o aquella que la modifique o sustituya.
- **Autogenerador a pequeña escala (AGPE).** Autogenerador con capacidad instalada o nominal igual o inferior al límite definido en el artículo primero de la resolución UPME 281 de 2015 o aquella que la modifique o sustituya.
- **Capacidad instalada o nominal de un autogenerador y un generador distribuido.** Es la capacidad continua a plena carga del sistema de generación del autogenerador o el generador que se conecta al SIN, bajo las condiciones especificadas según el diseño del fabricante.
Cuando la conexión al SIN sea a través de inversores, esta capacidad corresponde a la suma de las capacidades nominales de los inversores en el lado de corriente alterna o con conexión al SIN. La capacidad nominal de un inversor corresponde al valor nominal de salida de potencia activa indicado por el fabricante.
Si el valor de placa se encuentra en unidades de kVA o MVA, se deberá asumir factor de potencia unitario.
- **Generación distribuida.** Es la actividad de generar energía eléctrica con una planta con capacidad instalada o nominal de generación menor a 1 MW, y que se encuentre instalada cerca de los centros de consumo, conectada al SDL.
- **Potencia máxima declara para AGPE y AGGE.** Corresponde a la potencia que se declara por el AGPE o AGGE ante el OR, en el momento del registro de la frontera comercial para entrega de excedentes de energía, cuando aplica, y declarada durante el procedimiento de conexión.

Para GD se entiende que es la capacidad efectiva neta aplicable a los agentes generadores de acuerdo con la regulación vigente, declarada ante el OR en el procedimiento de conexión y el momento de registro de la frontera comercial.

La potencia máxima declarada será igual a la potencia establecida en el contrato de conexión, en caso de que este aplique. Así mismo, esta deberá ser menor o igual a la capacidad instalada o nominal, y será la máxima capacidad que se puede entregar a la red en la frontera comercial.
[4]

CREG 075 del 2021: Las disposiciones y procedimientos establecidos en la presente resolución son aplicables a quienes estén interesados en conectarse como generadores, cogeneradores, auto generadores o usuarios finales, al SIN.

También aplica a los transportadores responsables de los activos relacionados con la conexión al SIN de los interesados arriba mencionados, y a los agentes comercializadores en lo relacionado con las funciones propias de esa actividad.

A los solicitantes de conexión de proyectos relacionados con las disposiciones contenidas en la Resolución CREG 030 de 2018, o aquella que la modifique o sustituya, además de lo establecido en dicha resolución en las que se les mencione de manera directa.

Además de las definiciones establecidas en las leyes 142 y 143 de 1994 y en la regulación vigente de la CREG, las siguientes definiciones deberán ser tenidas en cuenta para la interpretación y aplicación de esta resolución.

- **Asignación de capacidad de capacidad de transporte.** Autorización para que un interesado pueda conectar un proyecto al SIN en un punto de conexión determinado, con una capacidad de transporte asignada. En el caso de un generador, en la autorización se precisa el recurso primario a utilizar, y se asigna la máxima potencia activa (kW o MW) a entregar al sistema y, en caso de un usuario final, la máxima potencia activa (kW a MW) a tomar del sistema. Esta autorización tendrá plenos efectos a partir del momento de puesta en operación del proyecto y hará parte inherente de él, mientras se encuentre en operación.
- **Clase de proyecto.** Clasificación que se le da a un proyecto con base en sus características técnicas. Las clases corresponden a las definidas en esta resolución como proyecto clase 1 y proyecto clase 2.
- **Concepto de conexión.** Decisión a través de la cual la UPME asigna capacidad de transporte a un proyecto clase 1.

- **Curva S.** Curva mediante la cual se representa el cronograma y porcentaje estimado de avance de la construcción de un proyecto durante el tiempo previsto para su puesta en operación.
- **Estudio de conexión.** Estudio cuyos análisis y conclusiones soportan la viabilidad técnica de las alternativas de conexión eléctrica de un proyecto al SIN, y que debe contener la información mínima definida para ello, con base en lo dispuesto en esta resolución.
- **Estudio de disponibilidad de espacio físico.** Estudio cuyo análisis y conclusiones soportan la viabilidad física de las alternativas de conexión de un proyecto a una subestación del SIN, con respecto a su ubicación espacial, y que debe contener la información mínima definida para ello, con base en lo dispuesto en esta resolución.
- **Proyecto clase 1.** Proyectos de conexión de usuarios finales al STN o STR, y proyectos de conexión de generación, cogeneración o autogeneración al SIN diferentes a los proyectos que se encuentren bajo el alcance de la resolución CREG 030 de 2019, o aquella que la modifique, adicione o sustituya. También se consideran como proyectos clase 1 las modificaciones que se soliciten a las capacidades ya asignadas.
- **Proyecto clase 2.** Proyectos de conexión, o de modificación de condiciones de la conexión, de usuarios finales en los SDL. [5]

Acuerdo 1521 del CNO: por el cual se aprueba la “Metodología para el seguimiento de la calidad y la disponibilidad de la medición y el reporte al CND de las variables meteorológicas asociadas a las plantas solares fotovoltaicas y eólicas en el SDL con potencia nominal o capacidad máxima declarada igual o mayor a 5MW”. [6]

Las variables meteorológicas mínimas que se deben monitorear en las plantas SFV son las siguientes:

TABLA I.
VARIABLES MONITOREADAS EN UN PSFV.

Variable	Unidad
irradiación en el plano del panel fotovoltaico	Vatios por metro cuadrado [w/m^2]
Temperatura posterior del panel fotovoltaico	Grados centígrados [C°]
Irradiación global horizontal	Vatios por metro cuadrado [w/m^2]
Temperatura	Grados centígrados [C°]

La revisión de documentación y entregables por parte de la interventoría requiere un conocimiento exhaustivo del reglamento que regula las instalaciones eléctricas en Colombia. Esto es fundamental para garantizar que los diseños y cálculos se realicen de manera adecuada,

minimizando los riesgos asociados a las instalaciones. En el caso de los proyectos de generación de energía mediante el recurso solar, el RETIE, en su versión vigente según la Resolución 40117 del 2 de abril de 2024, encontramos los siguientes artículos que son de obligatorio cumplimiento en los proyectos analizados, algunos son relacionados directamente con equipos utilizados en el aprovechamiento del recurso solar y otros son puntos críticos de todas las instalaciones eléctricas en general (Sistema de puesta a Tierra y Apantallamiento):

- **Artículo 2.3.3. Baterías o sistemas de acumulación de energía:** las baterías deben cumplir los siguientes requisitos de producto y ensayos mínimos requeridos adaptados a las normas técnicas tales como: IEC 60623, IEC 60896-11, IEC 60896-21, IEC 61056-1, IEC 61427-1, IEC 61427-2, IEC 62133-1, IEC 612133-2, UL 1642, UL 1989, UL 9540, EN 62133 y IEC 62619.
- **Artículo 2.3.25. Paneles solares fotovoltaicos:** Los paneles solares deben cumplir con los siguientes requisitos de producto y ensayos mínimos requeridos adaptado de normas técnicas tales como: IEC 61215, IEC 61701, IEC 61730-1, IEC 61730-2 y UL 1703.
- **Artículo 2.3.28 Reguladores o controladores de tensión para carga de baterías:** Los reguladores para el control de carga de las baterías para sistemas solares fotovoltaicos o de acumulación de carga, deben cumplir los siguientes requisitos de producto y ensayo mínimos requeridos adaptado de normas técnicas tales como: IEC 62109-1 y UL 1741.
- **Artículo 2.3.23. Inversores:** Los inversores para uso de instalaciones con FCNER deben cumplir los siguientes requisitos de producto y ensayos mínimos requeridos adaptado de normas técnicas tales como: IEC 62109-1, IEC 62109-2, IEC 62116y UL 1741.
- **Artículo 3.12.1. Requisitos generales del sistema de puesta tierra:**
 - **3.12. 1.a.** Los elementos metálicos que no formen parte de las instalaciones eléctricas no podrán ser incluidos como parte de ellos conductores del sistema de puesta a tierra.
 - **3.12. 1.a.** Los elementos metálicos principales que actúan como refuerzo estructural de una edificación deben tener una conexión eléctrica permanente con el sistema de puesta a tierra general. Este requisito es fundamental en los refuerzos estructurales de pisos que soporte transformadores y celdas.
 - **3.12. 1.a.** Las conexiones que van bajo el nivel del suelo (puesta a tierra), deben ser realizadas con soldadura exotérmica o conector certificado para enterramiento directo conforme a normas tales como IEEE 837, UL 467, UL 486^a o la norma NTC 2206.

- **3.12. 1.d.** Para verificar que las características del electrodo de puesta a tierra y su unión con la red equipotencial se deben dejar puntos de conexión accesibles e inspeccionables al momento de la medición. Cuando para este efecto se construyan cajas de inspección sus dimensiones internas deben ser mínimo 30 cm x 30 cm, o de 30 cm de diámetro si es circular y su tapa debe ser removible, no aplica a los electrodos de líneas de transmisión y redes de distribución.
- **3.12. 1.e.** Cuando por requerimientos de un edificio existan varias puestas a tierra, todas ellas deben estar interconectadas eléctricamente, según criterio adoptado de IEC.61000-5-2, tal como aparece en la **Figura 1**.

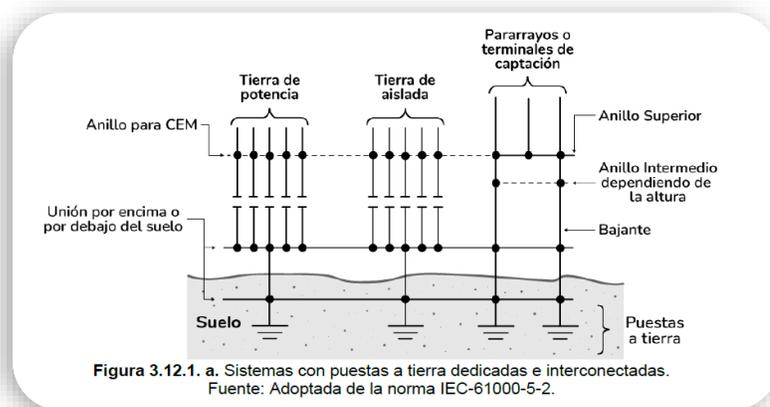


Figura 1. " Sistemas don puesta a tierra dedicadas e interconectadas ".

- **Artículo 3.12.2.1. Electrodo de puesta a tierra.**

- **3.12. 2.1.a.** La puesta a tierra debe estar construida por uno o varios de los siguientes tipos de electrodos: varillas, tubos, placas, flejes, alambres o cables desnudos.
- **3.12. 2. 1.b.** No se permite el uso de aluminio en los electrodos de puesta a tierra.
- **3.12.2.1. c.** La unión entre el electrodo y el conductor a tierra debe hacerse con soldadura exotérmica o con un conector certificado para enterramiento directo. Cada electrodo que no sea punto de unión entre el conductor del electrodo de puesta a tierra y la puesta a tierra debe quedar enterrado en su totalidad, sin embargo, el punto de unión entre el conductor del electrodo de puesta a tierra y la puesta a tierra debe ser accesible.
- **3.12.2.2.b.** De acuerdo con las disposiciones del presente Reglamento no se debe utilizar aluminio enterrado.

-
- **3.12.2.3.c.** Los conductores del sistema de puesta a tierra deben ser continuos, sin interruptores o medios de desconexión y cuando se unan deben hacerlo en las cajas, mediante empalmes o uniones con soldadura o con conectores certificados para tal uso, garantizando que queden mecánica y eléctricamente seguros.
 - **3.12.2.3.d.** El conductor de puesta a tierra de equipos debe acompañar los conductores activos durante todo su recorrido y por la misma canalización. En las cajas, incluso las no metálicas, donde se instalen aparatos como tomacorrientes o interruptores, debe colocarse un elemento de sujeción o conexión del conductor de protección.
 - **3.12.2.3.e.** Los conductores de los cableados de puesta a tierra que por disposición de la instalación se requieran aislar, deben ser de aislamiento color verde, verde con rayas amarillas o en su defecto identificarlos con marcas verdes en los puntos extremos y puntos visibles o de inspección.
 - **Artículo 3.12.5. Puesta a tierra en sistemas con corriente continua.** Los siguientes requisitos aplican para sistemas bifilares de corriente continua con tensión nominal superior a 60 V e inferior a 300 V.
 - **3.12.5.b.** Si la fuente de alimentación del sistema de c.c. está localizada en el predio, se debe hacer una conexión de puesta a tierra en uno de los siguientes:
 1. La fuente de alimentación.
 2. El primer medio de desconexión o dispositivo de sobre corriente del sistema.
 3. Por otro medio que brinde una protección del sistema equivalente y utilice equipo apto para ese uso.
 - **3.12.5.d.** Se debe usar un puente de conexión equipotencial sin empalmes para conectar los conductores de puesta a tierra de los equipos, al conductor puesto a tierra en la fuente o en el primer medio de desconexión del sistema donde el sistema está puesto a tierra.
 - **Protección contra rayos y sobretensiones transitorias:**
 - **3.13.1.1. Evaluación del nivel de riesgo frente a rayos.** frente a rayos, basada en procedimientos establecidos en la norma técnica NTC 4552-2 o normas técnicas internacionales como la IEC 62305-2 o de reconocimiento internacional (siempre y cuando sean aplicables a las condiciones para descargas atmosféricas de Colombia).

- **3.13.1.3. Componentes del sistema de protección contra rayos.**

- **3.13.1.3.1.** Terminales de captación o pararrayos. Cualquier elemento metálico de la estructura que se encuentre expuesto al impacto directo del rayo, como antenas de televisión, chimeneas, techos, torres de comunicación y cualquier tubería que sobresalga, debe ser tratado como un terminal de captación siempre y cuando se garantice su capacidad de conducción y continuidad eléctrica.
- **3.13.1.3.2.** Conductores bajantes deben instalarse conductores bajantes, ubicados de tal manera que desde el punto de impacto hasta tierra existan varios caminos en paralelo para la corriente.
- **3.13.1.3.2.d.** Cada bajante debe terminar en un sistema de puesta tierra que tenga un camino vertical u horizontal para la corriente o una combinación de ambos.
- **3.13.1.3.2.e.** Las bajantes deben cumplir con lo establecido en la **TABLA II.** y no deben instalarse en canales de drenaje de aguas, incluso si tienen un aislamiento eléctrico.

TABLA II.
CARACTERÍSTICAS DE LOS TERMINALES DE CAPTACIÓN Y BAJANTES

Material	Configuración	Área mínima (mm^2)	Diámetros y espesores mínimos
Cobre	Cinta Solida	50	2mm de espesor
	Alambre	50	8 mm de diámetro
	Cable	50	1,7 mm de diámetro por hilo
	Varilla	200	16 mm de diámetro
Aluminio o aluminio recubierto de cobre	Cinta solida	70	3mm de espesor
	Alambre	50	8 mm de diámetro
	Cable	50	1,7 m de diámetro por hilo
Aleación de aluminio	Cinta solida	50	2,5 mm de espesor
	Alambre	50	8 mm de diámetro
	Cable	50	1,7 mm de diámetro por hilo
	Varilla	200	16 mm de diámetro
Acero galvanizado en caliente o acero recubierto de cobre	Cinta solida	50	2,5 mm de espesor
	Alambre	50	8 mm de diámetro
	Cable	50	1,7 mm de diámetro
	Varilla	200	16 mm de diámetro espesor capa de: 50 μ m
Acero inoxidable	Cinta solida	50	2,5 mm de espesor
	Alambre	50	8 mm de diámetro
	Cable	70	1,7 mm de diámetro por hilo
	Varilla	200	16 mm de diámetro
Bronce	Alambre	50	8 mm de diámetro
	Tubo	50	4 mm de espesor
	Varilla	200	16 mm de diámetro

3.13.1.3.2.g El número de bajantes no debe ser inferior a dos y deben ubicarse en el perímetro de la estructura a proteger, en función de las restricciones arquitectónicas y prácticas.

- **3.13.1.3.2.k** La puesta a tierra de protección contra rayos debe interconectarse con los demás sistemas de puestas a tierra de la edificación.

- **Artículo 3.12. 21. Inversores:**

- **3.17. 21.a.** Se debe asegurar que el inversor este protegido contra sobretensiones, sobre corrientes, riesgos mecánicos, incendio, sobrepresiones de sonido, conforme a normas tales como la IEC 62109-2, dichas protecciones pueden ser instaladas de manera externa al inversor o que éste las incluya de fábrica de manera interna.
- **3.17.21.c.** Debe tener protección contra sobre corriente, cortocircuito, y contra sobre temperatura interna, ya sea que dichas protecciones se instalen de manera externa al inversor o que éste las incluya de fábrica de manera interna.
- **3.17.21.d.** Los cables deben ser de calibre apropiado para que la caída de tensión no sea mayor a 3%, medido entre dos puntos cualesquiera entre la salida del inversor y el punto de conexión.
- **3.17.21.g.** Se debe proporcionar una conexión a tierra de los equipos, esto significa que todas las partes metálicas expuestas del sistema
- **3.17.21.h.** En el caso de sistemas solares fotovoltaicos, el cable de puesta a tierra de los equipos debe ser de cobre aislado de color verde, y debe estar dimensionado de acuerdo con lo establecido en la sección 690.45 de la NTC 2050 Segunda Actualización.
- **3.17.21.j.** Seguridad personal y protección del equipo: Se debe disponer de por lo menos los siguientes mecanismos de protección:
 1. **Protección de isla:** El inversor debe permitir que el generador cese la energización de la red del operador de red local en un tiempo no mayor a 2,0 s contados a partir de la pérdida de la tensión de la red.
 2. **Respuesta a recuperación de la red:** El generador distribuido debe responder a la recuperación de la red del operador local.

- **Artículo 3.17.23. Paneles solares fotovoltaicos:**

- **3.17.23.a.** Toda instalación eléctrica conectada a la red de distribución que cuente con generación fotovoltaica debe estar claramente identificada mediante una placa, la cual debe estar ubicada en la zona de desconexión.
- **3.17.23.b.** Los métodos de cableado y encerramientos que contengan conductores de fuentes de circuito de c.c. de sistemas solares fotovoltaicos deben estar marcados con el término “ADVERTENCIA: FUENTE DE ALIMENTACIÓN FOTOVOLTAICA”
- Canalizaciones expuestas, bandejas porta cables y otros métodos de cableado.
- Cubiertas o encerramientos de cajas de paso y cajas de conexiones.
- Cuerpos de tubo (Conduit) en los que cualquiera de las aberturas disponibles del tubo (Conduit) no se utilizan.
- **3.17.23.c.** Debe proporcionarse un medio que desconecte el sistema solar fotovoltaico de todos los sistemas de cableado, incluidos sistemas de potencia, sistemas de almacenamiento de energía y equipos de uso final y su cableado de predios asociados, y se debe instalar en un lugar fácilmente accesible,
- **3.17.23.g.** La interconexión de los módulos y/o paneles fotovoltaicos debe realizarse mediante conectores que cumplan con los siguientes requisitos:
 - Ser a prueba de agua Tipo MC4 o equivalente, diseñado para aplicaciones de energía fotovoltaica, que cumpla con los requisitos de instalación en conformidad a la familia de normas IEC 60998 o equivalente.
- **3.17.23.h.** Los empalmes de los conductores se deben realizar en cajas de derivación, con los accesorios correspondientes para dicho uso.
- **3.17.23.i.** Los conductores deben estar identificados mediante el código de colores del presente Reglamento en todos los puntos accesibles de terminación, conexión y empalmes.
- **3.17.23.k.** Los conductores de los circuitos deben estar protegidos e instalados en cable Tipo MC o mediante canalización. Los conductores que requieran ser protegidos contra radiación solar y temperatura, deben ir encerrados en tubería (Conduit) o canalización igualmente resistente a estos propósitos.
- **3.17.23.n.** Para minimizar las corrientes inversas en la instalación se debe tener en cuenta:

-
- En un arreglo no se deben instalar módulos y/o paneles fotovoltaicos de distintos modelos.
 - Se debe garantizar la ausencia de sombras parciales sobre los módulos y/o paneles mediante protecciones las cuales podrán venir incluidas en los equipos.
 - **3.17.23.p.** Las instalaciones fotovoltaicas instaladas en cubierta, tejados o en campo abierto, deben ser sometidas a una evaluación del nivel de riesgo por descargas atmosféricas. [7]

ERCO Energía S.A.S. es una empresa líder en el sector energético en Colombia, con una sólida trayectoria en el desarrollo de proyectos de generación de energía limpia, confiable y económicamente eficiente. Con más de 1.900 proyectos exitosos en su historial, **ERCO** se ha destacado como un referente en el mercado. Como primer comercializador digital de energía en Latinoamérica, la empresa está a la vanguardia de la innovación en el sector energético, brindando a sus usuarios la oportunidad de ahorrar dinero y optimizar el uso de los recursos. Cuenta con presencia en Colombia, Panamá y Estados Unidos, de esta manera garantiza que somos la solución más costo eficiente, de calidad. [8]

IV. METODOLOGÍA

Para cumplir con los objetivos propuestos en la documentación de los criterios técnicos para la elaboración de los entregables de ingeniería eléctrica y sistemas SCADA en proyectos fotovoltaicos de Gran Escala, se llevarán a cabo las siguientes actividades:

Actividad 1: Revisión y recopilación de normativas y estándares aplicables.

Se realiza un análisis exhaustivo de las normativas y estándares nacionales e internacionales que regulan los proyectos fotovoltaicos de Gran Escala, enfocándose en los aspectos de ingeniería eléctrica y sistemas SCADA. Esta actividad incluirá la revisión de documentos técnicos, normas IEC, NTC y otras regulaciones pertinentes, así como la consulta de mejores prácticas dentro de la misma empresa (ERCO Energía).

Actividad 2: Identificación y análisis de criterios técnicos actuales.

Se procederá a identificar y analizar los criterios técnicos que actualmente emplea el equipo de interventoría en la revisión de los entregables de ingeniería eléctrica y sistemas SCADA. Esto incluirá la recopilación de la información interna, revisión de documentos previos, y entrevistas con expertos en la materia.

Actividad 3: Desarrollo de una metodología para la revisión de entregables.

Con base en la información recopilada, se desarrollará una metodología detallada que guíe el proceso de revisión y evaluación de los entregables de ingeniería eléctrica y sistemas SCADA. La metodología incluirá la definición de criterios específicos, procedimientos de revisión, y formatos estandarizados para asegurar la consistencia y calidad en las evaluaciones.

Actividad 4: Implementación de un sistema de documentación estandarizado.

Se diseñará e implementará un sistema de documentación que permita registrar de manera sistemática y estandarizada los comentarios y observaciones realizados por el equipo de interventoría. Este sistema asegurará que todas las observaciones estén alineadas con los criterios técnicos previamente definidos y facilitará, en términos de tiempo y calidad, la liberación de los entregables.

Actividad 5: Validación y optimización de los criterios técnicos y metodología.

Finalmente, se procederá a validar la metodología y los criterios técnicos desarrollados mediante su aplicación en caso de estudios o proyectos de referencia dentro de ERCO Energía. Se realizarán ajustes y optimizaciones según sea necesario para garantizar su eficacia y alineación con las mejores prácticas de la industria.

Cronograma de actividades

En la **TABLA III** se presenta el cronograma de actividades propuesto para el desarrollo del proyecto de prácticas durante el semestre académico.

TABLA III.
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividades	SEMANAS																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1																								
2																								
3																								
4																								
5																								

Presupuesto

En la **TABLA IV** y **TABLA V** se detalla el valor de los recursos materiales y de personal respectivamente.

TABLA IV.
VALOR DE MATERIALES Y VARIOS

Descripción	Cantidad	Valor Unidad	Valor Total
Licencia de Microsoft Office	1	\$531.000	\$531.000
Computador portátil	1	\$3'000.000	\$3'000.000
Gastos de papelería	45 paginas	\$150	\$6750
Total			\$3'537.75'0

TABLA V.
VALOR DEL PERSONAL

Descripción	No. Horas	Valor Unidad	Valor Total
Estudiante	1196	\$6.521	\$7'800.000
Asesor externo	20	\$100.000	\$2'000.000
Asesor interno	15	\$87.000	\$1'05.000
Total			\$11'505.000

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con el objetivo de iniciar el proceso de estandarización y documentación de los comentarios emitidos por la interventoría sobre los entregables de ingeniería para el desarrollo de proyectos solares fotovoltaicos de Gran Escala en la empresa **ERCO Energía**, se realizó una revisión exhaustiva de los listados maestros correspondientes a las especialidades de interés: eléctrica, Comunicaciones SCADA y estaciones meteorológicas. Esta revisión permitió identificar un total de 37 entregables para la parte eléctrica, 18 para SCADA y 6 para las estaciones meteorológicas. Además, los documentos encontrados fueron clasificados según su naturaleza en las siguientes categorías: Memorias de Calculo, Planos, Diagramas, Fichas Técnicas y Listas.

Entregables eléctricos:

1. Memoria de Cálculo Eléctrica.
2. Esquema Unifilar S/E de Conexión.
3. Esquema Unifilar General PSFV.
4. Simulación de Generación PVsyst (PDF y ZIP).
5. Ficha Técnica Panel con Certificado RETIE.
6. Ficha Técnica Inversor.
7. Manual de Instalación del Inversor.
8. Certificados del Inversor.
9. Diagrama Constructivo del Inversor.
10. Detalle Conexionado eléctrico del Inversor.
11. Memoria del Cálculo Red Mt (Línea o Subterráneo).
12. Plano de Planta Red MT y Cámaras de Inspección.
13. Ficha Técnica Centro de Transformación,
14. Detalle de Conexionado del Centro de Transformación.
15. Manual del Centro de Transformación.
16. Planos Centro de Transformación – Proveedor o Fabricante.
17. Memoria de Calculo Red BT DC y AC.
18. Esquema Unifilar Red BT DC y AC.
19. Plano de Planta Red BT DC y AC y Cámaras de Inspección.
20. Estudio Sistema Puesta Tierra.

21. Plano Sistema Puesta Tierra.
22. Plano Apantallamiento Equipos Mayores y Memoria de Apantallamiento,
23. Listado de Cables DC, AC BT y AC MT.
24. Ficha Técnica de Cables DC, AC BT y AC MT.
25. Detalle de Conexión Paneles Solares y Mesas.
26. Detalle Conexión Inversores y Strings.
27. Memoria de Calculo Selección del Transformador SSAA.
28. Ubicación de Tableros AC y SSAA.
29. Esquema Unifilar Tableros AC y SSAA.
30. Detalle de Conexionado y Listado de Materiales Tableros AC y SSAA.
31. Plano Distribución Shelter.
32. Planos Mecánicos y Eléctricos Shelter.
33. Fichas Técnicas Celdas MT.
34. Ingeniería de Celdas MT.
35. Ficha Técnica y Planos - Gabinete Medida Subestación Conexión.
36. Ficha Técnica Relé Protección PSFV.
37. BOM Eléctrico.

Entregables SCADA:

1. Arquitectura de Comunicaciones.
2. Especificaciones Técnicas Equipos SCADA y PPC.
3. Listado de Elementos SCADA.
4. Listado de señales.
5. Memoria Descriptiva SCADA.
6. Memoria Descriptiva PPC.
7. Manual de Operación SCADA PPC.
8. Plano Constructivo y Conexionado Rack SCADA.
9. Protocolo FAT SCADA.
10. Protocolo SAT SCADA.
11. Protocolo FAT PPC y RTU.
12. Protocolo SAT PPC y RTU.
13. Plano Constructivo y Conexionado Tablero RTU + PPC

14. Plano Constructivo y Conexionado Tablero UAD 1, UAD 2, ... UAD n.
15. Plano de Ruta de Cableado Comunicaciones SCADA.
16. Ficha Técnica Fibra Óptica o UTP.
17. Ficha Técnica Smart ACU (si aplica).
18. Manual Smart ACU (Si aplica).

Entregables Estaciones Meteorológicas:

1. Especificaciones Técnicas Equipos EEMM.
2. Lista de Equipos y accesorios de montaje.
3. Protocolo SAT Equipos EM.
4. Montaje Equipos Meteorológicos.
5. Plano Constructivo y Conexionado Tablero EMM.
6. Plano Ubicación EEMM.

El proceso de recopilación de comentarios se basó principalmente en la revisión de los comentarios previos realizados sobre los entregables y diseños elaborados por el equipo de ingeniería para los diferentes proyectos en curso y los cerrados. Se depuraron y analizaron las observaciones repetitivas del equipo de interventoría interna de **ERCO Energía**, así como las correcciones realizadas por las distintas interventorías involucradas (externas) en los proyectos. Esta información se organizó en tres formatos de Excel, correspondiente a las especialidades eléctrica, SCADA y estaciones meteorológicas (EEMM). Cada formato está estructurado con una primera página como índice, que contine el listado maestro de la especialidad. se ilustra en las **Figura 2, Figura 3 y Figura 4** respectivamente.

		COMENTARIOS ESTANDARIZADOS PARA LOS ENTREGABLES DE INGENIERIA	Código:
			Versión: A
			Fecha: 11/12/2024
Codificación	Documento		Cantidad de comentarios por entregable
	Memoria de Cálculo Eléctrica		6
	Esquema Unifilar S/E de Conexión		4
	Esquema Unifilar General PSFV		8
	Simulación de Generación PVsyst (PDF y ZIP)		9
	Ficha Técnica Panel con Certificado RETIE		3
	Ficha Técnica Inversor		1
	Manual de Instalación del Inversor		2
	Certificados del Inversor		2
	Diagrama Constructivo del Inversor		2
	Detalle Conexión eléctrico del Inversor		10
	Memoria de Cálculo Red MT (Línea o Subterráneo)		7
	Plano de Planta Red MT y Cámaras de Inspección		8
	Ficha Técnica Centro de Transformación		1
	Detalle Conexión del Centro de Transformación		6
	Manual del Centro de Transformación		3
	Planos Centro de Transformación - Proveedor o Fabricante		7
	Memoria de Cálculo Red BT DC y AC		8
	Esquema Unifilar Red BT DC y AC		7
	Plano de Planta Red BT DC y AC y Cámaras de Inspección		6
	Estudio Sistema Puesta Tierra		7
	Plano Sistema Puesta Tierra		10
	Plano Apantallamiento Equipos Mayores y Memoria de Apantallamiento		8
	Listado de Cables DC, AC BT y AC MT		8
	Ficha técnica de Cables DC, AC BT y AC MT		1
	Detalle Conexión Paneles Solares y Mesas		5
	Detalle Conexión Inversores y Strings		3
	Memoria de Cálculo Selección del Transformador SSAA		10
	Ubicación de Tableros AC y SSAA		6
	Esquema Unifilar Tableros AC y SSAA		3
	Detalle de Conexión y Listado de Materiales Tableros AC y SSAA		5
	Plano Distribución Shelter		7
	Planos Mecánicos y Eléctricos Shelter		5
	Fichas Técnicas Celdas MT		0
	Ingeniería de Celdas MT		4
	Ficha Técnica y Planos - Gabinete Medida Subestación Conexión		1
	Ficha Técnica Relé Protección PSFV		1
	BOM Eléctrico		2

Figura 2. " Índice eléctrico documento de Excel ".

		COMENTARIOS ESTANDARIZADOS PARA LOS ENTREGABLES DE INGENIERIA	Código:
			Versión: A
			Fecha: 29/11/2024
Codificación	Documento		Cantidad de comentarios por entregable
	Arquitectura de Comunicaciones		7
	Especificaciones Técnicas Equipos SCADA y PPC		2
	Listado de Elementos SCADA		5
	Listado de señales		8
	Memoria Descriptiva SCADA		0
	Memoria Descriptiva PPC		1
	Manual de Operación SCADA PPC		0
	Plano Constructivo y Conexión Rack SCADA		5
	Protocolo FAT SCADA		2
	Protocolo SAT SCADA		0
	Protocolo FAT PPC y RTU		0
	Protocolo SAT PPC y RTU		0
	Plano Constructivo y Conexión Tablero RTU + PPC		6
	Plano Constructivo y Conexión Tablero UAD 1, UAD 2		6
	Plano de Ruta Cableado Comunicaciones SCADA		7
	Ficha Técnica Fibra Óptica o UTP		1
	Ficha Técnica Smart ACU (si aplica)		0
	Manual Smart ACU (Si aplica)		0

Figura 3. " Índice SCADA documento de Excel ".

		COMENTARIOS ESTANDARIZADOS PARA LOS ENTREGABLES DE INGENIERIA	Código:
			Versión: A
			Fecha: 29/11/2024
Codificación	Documento		Cantidad de comentarios por entregable
	Especificaciones Técnicas Equipos EEMM		5
	Lista de Equipos y accesorios de montaje		7
	Protocolo SAT Equipos EM		1
	Montaje Equipos Meteorológicos		3
	Plano Constructivo y Conexionado Tablero EEMM		6
	Plano Ubicación EEMM		3

Figura 4. "Índice EEMM documentos de Excel".

En la sección titulada “Cantidad de comentarios por entregable”, se presenta un conteo de los comentarios obtenidos durante el proceso de recopilación en el que se generaron dos notas clave:

- **Nota 1:** En los entregables relacionados con fichas técnicas, se debe tener en cuenta siempre la información contenido en las memorias de cálculo y los planos. Además, es fundamental asegurarse de que las fichas técnicas sean lo más actualizadas posible y que cumplan con las especificaciones técnicas del proyecto, tal como se expresa en el contrato.
- **Nota 2:** En cuanto a los entregables vinculados a las pruebas FAT y SAT, es importante recordar que el proveedor de los equipos es el responsable de realizar estos procedimientos. Además, se debe garantizar que dichos procedimientos cumplan, como mínimo, con las especificaciones técnicas acordadas con el cliente.

Dado que los entregables mencionados en estas notas son entregados directamente por el proveedor y el fabricante, el papel de la interventoría es asegurarse de que los equipos sean los mismo que se especificaron en los esquemas, planos y memorias.

En las páginas siguientes del documento, se presentan los comentarios relacionados con cada entregable del listado maestro. Cada sección incluye tres columnas: “Criterio a evaluar”, “Referencia de norma o estándar a cumplir”, y una lista de verificación para que el personal encargado del documento registre si cumple, o no, con el comentario correspondiente. Esto se ilustra en la **Figura 5**, donde se puede observar los comentarios del primer entregable de la especialidad eléctrica, “Memoria de Cálculo Eléctrico”.

	COMENTARIOS ESTANDARIZADOS PARA LOS ENTREGABLES DE INGENIERIA	Código:	
		Versión: A	
		Fecha: 11/12/2024	
Memoria de Cálculo Eléctrica			
Criterio a evaluar	Referencia de norma o estándar a cumplir	Cumple	
		Si	No
Los documentos de referencia se deben ajustar a la codificación de los entregables.	Requisito ERCO/cliente		
Cumplir con el listado de requisitos mínimo de acuerdo al diseño detalle exigido por el reglamento nacional.	3.3.1.1. Diseño detallado (del numeral a hasta el x) RETIE 2024		
Garantizar que toda la información y cálculos coincidan con todos los entregables y anexos referenciados. Ejemplo: Diagramas unifilares, fichas técnicas, etc.			
En normatividad de referencia se recomienda evitar normas desactualizadas, siempre referenciar la última actualización de la norma independientemente de que se haya basado en otra versión.	Requisito ERCO/cliente		
Incluir el listado de los documentos anexos			
Revisar que los documentos anexados mencionados no incluyan versiones.			

Figura 5. " Comentario en documento Excel “.

En el proceso de recopilación de comentarios, se tomaron en cuenta las observaciones de los equipos de interventoría interna de **ERCO Energía**, la interventoría externa, las normativas nacionales e internacionales, así como las especificaciones técnicas de la empresa para los proyectos de Gran Escala. A partir de esto, se detectaron dos tipos de comentarios: de forma y de fondo, los cuales están destinados a garantizar la calidad, precisión y cumplimiento normativo de los entregables.

Comentarios de forma: Se refieren a aspectos relacionados con presentación y estructura de los documentos, tales como ortografía, gramática, formato, claridad en la redacción, disposición de gráficos, tablas y diagramas, y cumplimiento con los estándares de presentación requeridos por el proyecto. Estos comentarios buscan asegurar que los documentos sean claros, uniformes y fáciles de interpretar.

Comentarios de fondo: Apuntan al contenido técnico y sustantivo de los documentos. Incluyen la revisión de cálculos, diseños, especificaciones técnicas, cumplimiento de normativas como el RETIE, CREG y estándares internacionales, análisis de viabilidad y compatibilidad con

los objetivos del proyecto. Estos comentarios buscan validar la coherencia, precisión y adecuación técnica de las propuestas y diseños presentados.

Ambos tipos de comentarios son esenciales para garantizar que los documentos técnicos entregados cumplan con los estándares de calidad y las normativas aplicables, minimizando riesgos y asegurando la eficiencia en la implementación del proyecto.

Posterior al proceso de recopilación de comentarios, se buscó el apoyo de profesionales de áreas transversales dentro de la empresa. Este proceso incluyó no solo a los equipos de ingeniería e interventoría, sino también al personal de la unidad de “Técnico Regulatorio”, encargada de gestionar los procedimientos de legalización y certificación de los proyectos de **ERCO Energía** según las normativas vigentes. Además, esta área brinda soporte técnico a otras unidades de la empresa y gestiona la respuesta a PQRs.

En los entregables observados en la ~~¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.~~, se identificaron algunos documentos de mayor criticidad e importancia al momento de la liberación. Por ello, se realizó una clasificación de prioridad de 1 a 3, donde 1 representa una prioridad alta y 3 una prioridad baja. A continuación, se detallan los entregables clasificados por prioridad:

Prioridad 1 (Alta):

- Esquema Unifilar General PSFV.
- Simulación de Generación PVSyst (PDF y ZIP).
- Memoria de Cálculo Red MT (línea o subterráneo).
- Plano de Planta Red MT y Cámaras de Inspección.
- Memoria de Cálculo Red BT DC y AC.
- Plano de Planra Red BT DC y AC y Cámaras de Inspección.

Prioridad 2 (Media):

- Memoria de Cálculo Eléctrica.
- Detalle Conexionado eléctrico del Inversor.
- Detalle Conexionado eléctrico del Centro de Transformación.
- Planos Centro de Transformación - Proveedor o Fabricante.
- Esquema Unifilar Red BT DC y AC.
- Estudio Sistema Puesta Tierra.
- Plano Sistema Puesta Tierra.
- Listado de Cables DC, AC BT y AC MT.

- Ficha técnica Cables DC, AC BT y AC MT.
- Detalle Conexión Paneles Solares y Mesas.
- Detalle Conexión Inversores y Strings.
- Ficha Técnica Celdas MT-PSFV.
- Ingeniería Celdas MT – PSFV
- Ficha Relé de Protección y Medidores PSFV.

Prioridad 3 (Baja):

- Ficha Técnica Panel con Certificado RETIE.
- Ficha Técnica Inversor.
- Manual de Instalación del Inversor.
- Certificados del Inversor.
- Diagrama Constructivo del Inversor.
- Ficha Técnica Centro de Transformación.
- Plano Apantallamiento Equipos Mayores y Memoria de Apantallamiento.
- Memoria de Cálculo Selección del Transformador SSAA.
- Ubicación de Tableros AC y SSAA.
- Plano Distribución de Shelter.
- Plano Mecánicos y Eléctricos Shelter.
- BOM Eléctrico.

En el caso de los entregables relacionados a las comunicaciones SCADA que se observan

en

la

		COMENTARIOS ESTANDARIZADOS PARA LOS ENTREGABLES DE INGENIERIA	Código:
			Versión: A
			Fecha: 29/11/2024
Codificación	Documento		Cantidad de comentarios por entregable
		Especificaciones Técnicas Equipos EEMM	5
		Lista de Equipos y accesorios de montaje	7
		Protocolo SAT Equipos EM	1
		Montaje Equipos Meteorológicos	3
		Plano Constructivo y Conexionado Tablero EEMM	6
		Plano Ubicación EEMM	3

Figura 4. "Índice EEMM documentos de Excel"., los documentos se clasifican de acuerdo con la siguiente prioridad:

Prioridad 1 (Alta):

- Listado de Elementos SCADA.

Prioridad 2 (Media):

- Arquitectura de Comunicaciones.
- Listado de Señales.
- Plano Constructivo y Conexionado Rack SCADA.
- Plano Constructivo y Conexionado Tablero RTU + PPC.
- Plano Constructivo y Conexionado Tablero UAD 1, UAD 2, ..., UAD n.
- Plano Ruta Cableado Comunicaciones SCADA.
- Ficha Técnica Fibra Óptica o UTP.

Prioridad 3 (Baja):

- Especificaciones Técnicas Equipos SCADA y PPC.
- Memoria Descriptiva SCADA.
- Memoria Descriptiva PPC.
- Manual de Operación SCADA PPC.
- Protocolo FAT SCADA.
- Protocolo SAT SCADA.
- Protocolo FAT PPC y RTU.
- Ficha Técnica Smart ACU (si aplica).
- Manual Smart ACU (si aplica).

Por último, los entregables relacionados con la ingeniería de las estaciones meteorológicas, observados en la ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., fueron organizados por prioridades de la siguiente manera:

Prioridad 2 (Media):

- Plano Ubicación EEMM.

Prioridad 3 (Baja):

- Especificaciones Técnicas equipos EEMM.
- Listado de Equipos y Accesorios de Montaje.
- Protocolo SAT Equipos EM.
- Montaje Equipos Meteorológicos.
- Plano Constructivo y Conexionado Tableros EEMM.

La clasificación de los comentarios según la prioridad de los documentos corresponde a la importancia de cada entregable en el proceso de liberación para su implementación en campo, en el contexto de los proyectos fotovoltaicos de Gran Escala. Los documentos de Prioridad 1 (Alta) son aquellos críticos para garantizar la correcta operación y diseño del sistema, por lo que deben ser liberados con la mayor celeridad y exactitud posible. Los de Prioridad 2 (Media), aunque no tan urgentes, son esenciales para soportar especificaciones técnicas y detalles complementarios del proyecto. Finalmente, los documentos de Prioridad 3 (Baja), aunque secundarios, también requieren una revisión adecuada para mantener la calidad global del proyecto. Este análisis desglosa la cantidad de comentarios asociados a cada prioridad, permitiendo identificar cuales requieren mayor atención por parte del equipo de interventoría e ingeniería en **ERCO Energía**, optimizando así el esfuerzo técnico y la administración de los recursos del proyecto.

Para la especialidad eléctrica:

Basándose en la información encontrada en la ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., en la columna “cantidad de comentarios por entregables” y comparándolo con los niveles de prioridad presentados anteriormente encontramos los siguientes resultados:

Documentos críticos para el diseño y operación del sistema, **Prioridad 1 (Alta)**:

TABLA VI.
"COMENTARIOS PRIORIDAD 1".

Documento	Comentarios
Esquema Unifilar General PSFV	8
Simulación de Generación PVsyst (PDF y ZIP)	9
Memoria de Cálculo Red MT (línea o subterráneo)	7
Plano de Planta MT y Cámaras de Inspección	8
Memoria de Cálculo Red BT DC y AC	8
Plano de Planta Red BT DC y AC y Cámaras de Inspección	6

Total, comentarios: 46.

Promedio por documento: aproximadamente 8.

Los documentos de prioridad alta tienen una cantidad significativa de comentario. Estos requieren atención prioritaria por su impacto en la definición del diseño y puesta en marcha en la construcción del parque.

Documentos críticos para el diseño y operación del sistema, **Prioridad 2 (Media)**:

TABLA VII.
"COMENTARIOS PRIORIDAD 2".

Documento	Comentarios
Memoria de Cálculo Eléctrica	6
Detalle Conexionado eléctrico del inversor	10
Detalle Conexionado Eléctrico del Centro de Transformación	6

Planos Centro de Transformación – Proveedor o Fabricante	7
Esquema Unifilar Red BT DC y AC	8
Estudio Sistema Puesta Tierra	6
Plano Sistema Puesta Tierra	10
Listado de Cables DC, AC BT y AC MT	8
Ficha Técnica Cables DC, AC BT y AC MT	1
Detalle Conexión Paneles Solares y Mesas	5
Detalle Conexión Inversores y String	3
Ficha Técnica Celdas MT	0
Ingeniería Celdas MT	4
Ficha Relé de Protección y Medidores PSFV	1

Total, comentarios: 75

Promedio por documento: aproximadamente 5.

Aunque los documentos de prioridad media tienen un número ligeramente menor de comentarios, destacan el “Detalle de Conexión del Inversor” y el “Plano puesta Tierra” con 10 comentarios cada uno, lo que refleja áreas específicas que requieren un enfoque más detallado por parte del equipo de ingeniería a la hora de realizar los entregables.

Documentos críticos para el diseño y operación del sistema, **Prioridad 3 (Baja)**:

TABLA VIII.
“COMENTARIOS PRIORIDAD 3”.

Documento	Comentarios
Ficha Técnica Panel con Certificado RETIE	3
Ficha Técnica Inversor	1
Manual de Instalación del Inversor	2
Certificados del Inversor	2
Diagrama Constructivo del Inversor	2
Ficha Técnica Centro de Transformación	1
Plano Apantallamiento Equipos Mayores y Memorias de Apantallamiento	8
Memoria de Cálculo Selección del Transformador SSAA	10
Ubicación de Tableros AC y SSAA	6
Plano Distribución de Shelter	7
Planos Mecánicos y Eléctricos Shelter	5
BOM Eléctrico	2

Total, comentarios: 49

Promedio por documento: aproximadamente 4.

Los documentos de prioridad baja tienen menos comentarios y su impacto. Sin embargo, los documentos “Memoria de Cálculo Selección del Transformador SSAA” y “Plano Apantallamiento Equipos Mayores y Memorias de Apantallamiento” destacan con 10 y 8 comentarios respectivamente, lo que sugiere que estos documentos deben ser revisados de manera más detallada a la hora de su creación por parte del equipo de ingeniería o diseño.

Resumen global:

TABLA IX.
"RESUMEN GLOBAL ESP. ELÉCTRICA"

Prioridad	Numero de documentos	Comentarios totales	Promedio por documento
1	6	4	8
2	14	75	5
3	12	49	4

Para la especialidad SCADA:

Basándose en la información encontrada en la

COMENTARIOS ESTANDARIZADOS PARA LOS ENTREGABLES DE INGENIERIA		Código:
		Versión: A
		Fecha: 29/11/2024
Codificación	Documento	Cantidad de comentarios por entregable
	Especificaciones Técnicas Equipos EEMM	5
	Lista de Equipos y accesorios de montaje	7
	Protocolo SAT Equipos EM	1
	Montaje Equipos Meteorológicos	3
	Plano Constructivo y Conexionado Tablero EEMM	6
	Plano Ubicación EEMM	3

Figura 4. "Índice EEMM documentos de Excel"., en la columna "cantidad de comentarios por entregables" y comparándolo con los niveles de prioridad presentados anteriormente encontramos los siguientes resultados:

Documentos críticos para el diseño y operación del sistema, **Prioridad 1 (Alta):**

TABLA X.
"COMENTARIOS PRIORIDAD 1"

Documento	Comentarios
Arquitectura de Comunicaciones	8
Listado de Señales	7
Plano de ruta Cableado Comunicaciones SCADA	7

Total, comentarios: 22

Promedio por documento: aproximadamente 7.

Los documentos de prioridad alta tienen una cantidad significativa de comentario. Estos requieren atención prioritaria por su impacto en la definición del diseño y puesta en marcha en la construcción del parque.

Documentos críticos para el diseño y operación del sistema, **Prioridad 2 (Media):**

TABLA XI.
"COMENTARIOS PRIORIDAD 2"

Documento	Comentarios
Especificaciones Técnicas Equipos SCADA y PPC	2
Listado de Elementos SCADA	5
Plano Constructivo y Conexionado Rack SCADA	5
Protocolo FAT SCADA	2
Plano Constructivo y Conexionado Tablero RTU + PPC	6

Plano Constructivo y Conexionado Tablero UAD 1, AD2, ...

6

Total, comentarios: 26

Promedio por documento: aproximadamente 4.

Aunque los documentos de prioridad media tienen un número ligeramente menor de comentarios en promedio, requieren de igual forma un enfoque detallado por parte del equipo de ingeniería a la hora de realizar los entregables.

Documentos críticos para el diseño y operación del sistema, **Prioridad 3 (Baja)**:

TABLA XII.
“COMENTARIOS PRIORIDAD 3”.

Documento	Comentarios
Memoria Descriptiva PPC	2
Ficha Técnica Fibra Óptica o UTP	0
Memoria Descriptiva SCADA	1
Manual de Operación SCADA PPC	0
Protocolo SAT SCADA	2
Protocolo FAT PPC y RTU	0
Protocolo SAT PPC y RTU	1
Ficha Técnica Smart ACU (si aplica)	0
Manual Smart ACU (si aplica)	0

Total, comentarios: 6

Promedio por documento: aproximadamente 1.

Los documentos de prioridad baja presentan menor densidad de comentarios, siendo la más ligera en cuanto a observaciones. Esto debido a que los entregables que hacen parte de esta clasificación son entregados por el fabricante o proveedor.

Resumen global:

TABLA XIII.
“RESUMEN GLOBAL ESP. SCADA”

Prioridad	Numero de documentos	Comentarios totales	Promedio por documento
1	3	22	7
2	6	4	4
3	9	6	1

Para la especialidad EEMM:

Basándose en la información encontrada en la [referencia](#), en la columna “cantidad de comentarios por entregables” y comparándolo con los niveles de prioridad presentados anteriormente encontramos los siguientes resultados:

Documentos críticos para el diseño y operación del sistema, **Prioridad 2 (Media)**:

TABLA XIV.
“COMENTARIOS PRIORIDAD 2”.

Documento	Comentarios
Plano Ubicación EEMM	3

Total, comentarios: 3

Promedio por documento: 3.

El documento “Plano Ubicación EEMM” tiene una prioridad media, ya que es fundamental para el proceso de construcción determinar la estructura, los equipos y la localización de las estaciones meteorológicas en el PSFV. Esta información resulta clave, ya que puede ser requerida en otros entregables de especialidades relacionadas.

Documentos críticos para el diseño y operación del sistema, Prioridad 3 (Baja):

TABLA XV.
“COMENTARIOS PRIORIDAD 3”.

Documento	Comentarios
Especificaciones Técnicas Equipos EEMM	5
Listado de Equipos y Accesorios de Montaje	7
Protocolo SAT Equipos EM	1
Montaje Equipos Meteorológicos	3
Plano Constructivo y Conexionado Tablero EMM	6

Total, comentarios: 22

Promedio por documento: aproximadamente 4.

En el caso, los documentos de **Prioridad 3** concentran la mayor cantidad de comentarios y representan la mayoría de los entregables. Sin embargo, su prioridad es baja, ya que no abordan aspectos críticos durante la construcción del proyecto solar fotovoltaico a Gran Escala. Es importante destacar que, a pesar de su menor criticidad, estos entregables deben cumplir con lo estipulado en el **Acuerdo del CNO 1521** para garantizar la conformidad y calidad del proyecto.

Resumen global:

TABLA XVI.
“RESUMEN GLOBAL ESP. EEMM”

Prioridad	Numero de documentos	Comentarios totales	Promedio por documento
1	0	0	0
2	1	3	3
3	5	22	4

Dado que los documentos se encuentran actualmente en proceso de validación por parte de la empresa **ERCO Energía** para su futura implementación, aún no ha sido posible realizar un análisis cuantitativo y cualitativo del impacto que estas listas de verificación tendrán en la optimización de tiempos de liberación de los entregables, basándose en sus prioridades. No obstante, el objetivo

es que estos documentos sean compartidos tanto con el equipo de diseño como con el equipo de interventoría de la unidad de Gran Escala, con el fin de establecer un derrotero o línea de trabajo a seguir. De esta forma, se busca acotar los tiempos de respuesta entre el equipo de interventoría y los diseñadores, para reducir los plazos de liberación de los documentos. Aunque se prevé que este enfoque permitirá mejorar la eficiencia de los procesos, no es posible precisar actualmente la magnitud de la mejora hasta que la implementación sea completada y los documentos sean utilizados en el contexto real de un proyecto. Además, en proyectos con interventoría externa, se garantizaría que las observaciones planteadas estén alineadas con los criterios estandarizados establecidos en los documentos “CRITERIOS ESTANDARIZADOS PARA LOS ENTREGABLES DE INGENIERÍA” de cada especialidad.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este trabajo de grado aportó en la estandarización de los procesos de revisión y evaluación de los entregables de ingeniería eléctrica en proyectos fotovoltaicos de Gran Escala, porque se desarrollaron listas de verificación y tablas de priorización que permiten organizar de manera eficiente las tareas de interventoría, asignando una clasificación según su criticidad, facilitando la focalización de esfuerzos en áreas clave.

Debido a que los documentos aún están en proceso de validación por **ERCO Energía**, se espera que su implementación recorte los tiempos de respuesta del equipo de interventoría y los tiempos de liberación de los entregables, pero no es posible determinar su impacto exacto hasta que se apliquen en su totalidad.

En términos generales, el trabajo proporciona una base sólida para optimizar la coordinación entre los equipos de diseño e interventoría, garantizando una revisión más eficiente y alineada con los estándares establecidos, mejorando la comunicación entre procesos y el logro de objetivos definidos por la empresa.

Recomendaciones:

Implementación de las Listas de Verificación: Se recomienda que una vez validados los documentos por **ERCO Energía**, se implemente de manera gradual la utilización de las listas de verificación con las partes interesadas. Esto permitirá evaluar de manera práctica su efectividad en la mejora de los tiempos y la calidad de los entregables, ajustando según sea necesario.

Seguimiento Continuo del Proceso: Es esencial llevar a cabo un seguimiento continuo del proceso de implementación de las listas, recopilando retroalimentación tanto de los diseñadores como del equipo de interventoría, para identificar áreas de mejora y realizar ajustes que optimicen el funcionamiento del sistema de revisión de entregables.

Evaluación de Resultados en Proyectos Piloto: Se recomienda la implementación en proyectos piloto con la ejecución de las listas de verificación en los primeros entregables, para obtener un análisis más claro sobre la reducción de tiempos y prevención de la materialización de riesgos en la ejecución de los proyectos. Esta fase experimental permitirá realizar ajustes antes de una implementación a mayor escala.

Capacitación Continua: Dado que la correcta aplicación de estos criterios depende de un entendimiento profundo por parte de todos los involucrados, se recomienda organizar sesiones de capacitación para el personal encargado de la aplicación de las listas de verificación. Esto garantizará que las herramientas sean utilizadas de manera adecuada y eficiente.

Ampliación de la Documentación: Para futuros trabajos, se sugiere ampliar la documentación relacionada con los criterios técnicos de otras especialidades involucradas en los proyectos fotovoltaicos de Gran Escala, como la parte civil y mecánica, con el fin de crear un enfoque completamente integrado que abarque todas las fases del proyecto y no solo los sistemas eléctricos.

Investigación en Optimización de Procesos: A futuro, se recomienda realizar estudios adicionales que exploren otros mecanismos de optimización en la liberación de entregables, tales como la implementación de herramientas digitales, para acelerar aún más la revisión y aprobación de los entregables de ingeniería.

REFERENCIAS

- [1] ELECAM, “¿Qué es un sistema fotovoltaico? Tipos de sistemas,” [En línea]. Disponible en: <https://elecama.net/que-es-un-sistema-fotovoltaico-tipos-de-sistemas-2/>
- [2] Evolusol, “Proyecto Utility Scale Fotovoltaico,” [En línea]. Disponible en: <https://www.evolusol.cl/proyecto-utility-scale-fotovoltaico/>.
- [3] 360 En Concreto, “Tipos de interventoría en un proyecto,” [En línea]. Disponible en: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/tipos-de-interventoria-en-un-proyecto/>.
- [4] Comisión de Regulación de Energía y Gas [CREG], Resolución No. 174 de 2021 (07 oct 2021). Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional. *Access Control*. Bogotá, 2021.
- [5] Comisión de Regulación de Energía y Gas [CREG], Resolución No. 075 de 2021 (16 jun 2021). Por la cual se definen las disposiciones y procedimientos para la asignación de capacidad de transporte en el Sistema Interconectado Nacional. *Access Control*. Bogotá, 2021.
- [6] Ministerio de Minas y Energía. (2024). Resolución 40117 de 2024: Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía.
- [7] G. Rioja, *¿Judicialización de la salud? el caso de las personas sordas* [conferencia]. Mar del Plata: XIII Congreso de la Caja de Abogados de la Provincia de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, 2008.
- [8] ERCO Energía, “Energía solar en Medellín,” [En línea]. Disponible en: <https://erco.energy/co/energia-solar-medellin>.

ANEXOS

Anexo 1. Poster

Departamento de Ingeniería Eléctrica

DOCUMENTACIÓN DE LOS CRITERIOS TÉCNICOS PARA LA ELABORACIÓN DE LOS ENTREGABLES DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, POR PARTE DEL PROCESO DE INTERVENTORIA INTERNA, EN PROYECTOS FOTOVOLTAICOS DE LA UNIDAD DE GRAN ESCALA

PRACTICANTE: José Leonardo Cardona Corpus
ASESORES: Jaime Alejandro Valencia, Sammy Quiázua



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
Facultad de Ingeniería

PROGRAMA: Ingeniería Eléctrica
Semestre de la práctica: 2023-2



Introducción

El trabajo "Documentación de los criterios técnicos para la elaboración de los entregables de ingeniería eléctrica, por parte del proceso de interventoría interna, en proyectos fotovoltaicos de la unidad de Gran Escala" tiene como objetivo establecer criterios técnicos detallados para la revisión y evaluación de los entregables de ingeniería eléctrica y sistemas SCADA en proyectos fotovoltaicos de Gran Escala, alineando los procesos con normativas y estándares nacionales e internacionales. La metodología desarrollada incluye la recopilación y análisis de normativas, la identificación de criterios técnicos actuales, el desarrollo de una metodología de revisión, y la implementación de un sistema estandarizado de documentación para las observaciones del equipo de interventoría.

Los resultados obtenidos incluyen la creación de listas de verificación y tablas de priorización que organizan las tareas de interventoría mediante un sistema de puntajes, facilitando la identificación de los aspectos más críticos en los entregables. Las recomendaciones incluyen la implementación gradual de las listas de verificación, un seguimiento continuo del proceso, la ejecución de proyectos piloto y la capacitación del personal. Además, se sugiere ampliar la documentación para incluir otras especialidades y explorar la automatización de procesos en él.

Metodología

- Actividad 1:** Revisión y recopilación de normativas y estándares aplicables.
- Actividad 2:** Identificación y análisis de criterios técnicos actuales.
- Actividad 3:** Desarrollo de una metodología para la revisión de entregables.
- Actividad 4:** Implementación de un sistema de documentación estandarizado.
- Actividad 5:** Validación y optimización de los criterios técnicos y metodología

Resultados

Dado que los documentos se encuentran actualmente en proceso de validación por parte de la empresa ERCO Energía para su futura implementación, aún no ha sido posible realizar un análisis cuantitativo del impacto que estas listas de verificación tendrán en la optimización de tiempos de liberación de los entregables, basándose en sus prioridades. No obstante, se pretende que estos sean compartidos tanto con el equipo de diseño como con el equipo de interventoría de la unidad de Gran Escala, con el fin de establecer un derrotero. De esta forma, se busca acotar los tiempos de respuesta entre el equipo de interventoría y los diseñadores, para reducir los plazos de liberación de los documentos. Aunque se prevé que este enfoque permitirá mejorar la eficiencia de los procesos, no es posible precisar actualmente la magnitud de la mejora hasta que la implementación sea completada y los documentos sean utilizados en el contexto real de un proyecto.

Listado Maestro Eléctrico

Colificación	Documento	Cantidad de comentarios por entregable
1	Normativa de Colombia	1
1	Normativa de Ecuador	1
1	Normativa de Venezuela	1
1	Normativa de Chile	1
1	Normativa de Perú	1
1	Normativa de Argentina	1
1	Normativa de Brasil	1
1	Normativa de México	1
1	Normativa de India	1
1	Normativa de China	1
1	Normativa de Rusia	1
1	Normativa de Corea del Sur	1
1	Normativa de Japón	1
1	Normativa de Australia	1
1	Normativa de Nueva Zelanda	1
1	Normativa de Sudáfrica	1
1	Normativa de Egipto	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1
1	Normativa de Qatar	1
1	Normativa de Catar	1
1	Normativa de Arabia Saudita	1
1	Normativa de Emiratos Árabes Unidos	1
1	Normativa de Omán	1
1	Normativa de Kuwait	1