



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

**Análisis del impacto de los proyectos futuros de generación  
distribuida renovable en la región de Piura**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**Ingeniero Mecánico Electricista**

**AUTOR:**

**Carmen Miranda, Gustavo Enrique (orcid.org/0000-0003-2432-3819)**

**ASESOR:**

**Dr. Luján López, Jorge Eduardo (orcid.org/0000-0003-1208-1242)**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

**Generación, Transmisión y Distribución**

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

**Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático**

**CHICLAYO – PERÚ**

**2024**

## Declaratoria de autenticidad del asesor



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

### Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, LUJÁN LÓPEZ JORGE EDUARDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, asesor de Tesis titulada: "Análisis del Impacto de los Proyectos Futuros de Generación Distribuida Renovable en la Región de Piura", cuyo autor es CARMEN MIRANDA GUSTAVO ENRIQUE, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 13.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

CHICLAYO, 05 de Agosto del 2024

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
LUJÁN LÓPEZ JORGE EDUARDO DNI: 17897892 ORCID: 0000-0003-1208-1242	Firmado electrónicamente por: JLUJAN el 07-08- 2024 07:47:16

Código documento Trilce: TRI - 0850772

## Declaratoria de originalidad del autor



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

### Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, CARMEN MIRANDA GUSTAVO ENRIQUE estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Análisis del Impacto de los Proyectos Futuros de Generación Distribuida Renovable en la Región de Piura", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
GUSTAVO ENRIQUE CARMEN MIRANDA DNI: 45894368 ORCID: 0000-0003-2432-3819	Firmado electrónicamente por: GCARMENM el 05-08- 2024 23:08:34

Código documento Trilce: TRI - 0850771

## Dedicatoria

Dedicada a mis abuelos, a mi esposa, a mis padres y hermanos.

## **Agradecimiento**

Agradecimiento a mi asesor, el Dr. Jorge Luján, que me orientó en la presente investigación. A mis compañeros de trabajo por su profesionalismo.

## Índice de contenidos

Carátula.....	i
Declaratoria de autenticidad del asesor.....	ii
Declaratoria de originalidad del autor .....	iii
Dedicatoria .....	iv
Agradecimiento.....	v
Índice de contenidos.....	vi
Índice de tablas .....	vii
Índice de figuras .....	viii
Resumen .....	ix
Abstract .....	x
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. METODOLOGÍA .....	9
III. RESULTADOS .....	11
IV. DISCUSIÓN.....	21
V. CONCLUSIONES .....	23
VI. RECOMENDACIONES .....	24
REFERENCIAS.....	25
ANEXOS	

## Índice de tablas

Tabla 1. Lista de proyectos utilizados en el presente estudio .....	11
Tabla 2. Inversión de los futuros proyectos de GD renovable .....	15
Tabla 3. Inversión si los futuros proyectos fueran centrales térmicas de ciclo abierto..	16
Tabla 4. Costo energético nivelado para potencia instalada .....	17
Tabla 5. Ingresos por venta de energía eléctrica .....	18
Tabla 6. Intensidad de carbono por modelo de aerogenerador.....	18
Tabla 7. Factores de planta de centrales eólicas en servicio .....	19
Tabla 8. Proyección de emisiones de CO2 de los futuros proyectos de DG renovable	19
Tabla 9. Proyección de emisiones de CO2 si se utiliza gas natural. ....	20

## Índice de figuras

Figura 1. Comparativa: Generación Centralizada y GD Renovable .....	7
Figura 2. Diseño en software ETAP incluyendo futuros proyectos de GD renovable....	11
Figura 3. Flujos de potencias en la red en estado inicial.....	12
Figura 4. Flujos de potencias en la red con inyección de DG renovable al 20%.....	13
Figura 5. Flujos de potencias en la red con inyección de DG renovable al 40%.....	14
Figura 6. Flujos de potencias en la red con inyección de DG renovable al 60%.....	15
Figura 7. Evolución del costo global de potencia instalada .....	15
Figura 8. Evolución del costo energético nivelado. ....	17

## Resumen

El presente análisis contribuye a ODS 7 (Energía Asequible y no Contaminante) y tuvo como objetivo general: analizar el impacto que tendrá la integración de futuros proyectos de generación distribuida (GD) renovable en Piura. Los objetivos específicos son: analizar los impactos técnico, económico y ambiental que tendrá la integración de futuros proyectos de GD renovable en Piura. Esta investigación es de tipo aplicada ya que se utiliza los conocimientos adquiridos sobre redes eléctricas y generación distribuida renovable. El análisis tendrá como objeto de estudio el sistema eléctrico de las subestaciones La Niña y Piura Oeste las cuales pertenecen al sistema interconectado nacional zona norte. Se obtuvo como resultados: la reducción de pérdidas de potencia, altos costos de inversión, reducción en el precio de la energía y en las emisiones de gases de efecto invernadero. Se concluye que la integración de GD renovable tiene un impacto positivo, pero conlleva retos técnicos.

**Palabras clave:** Generación distribuida renovable, centrales eólicas, impacto.

### **Abstract**

This analysis contributes to SDG 7 (Affordable and Non-Polluting Energy) and had the general objective: to analyze the impact that the integration of future renewable distributed generation (DG) projects will have in Piura. The specific objectives are: analyze the technical, economic and environmental impacts that the integration of future renewable DG projects in Piura will have. This research is of an applied type since it uses the knowledge acquired about electrical networks and renewable distributed generation. The analysis will have as its object of study the electrical system of the La Niña and Piura Oeste substations which belong to the national interconnected system in the northern zone. The results were obtained: the reduction of power losses, high investment costs, reduction in the price of energy and greenhouse gas emissions. It is concluded that the integration of renewable DG has a positive impact, but entails technical challenges.

**Keywords:** Renewable distributed generation, wind power plants, impact.

## **I. INTRODUCCIÓN**

El suministro eléctrico cumple un papel importante en el día a día, de él dependen la mayoría de las actividades que la población realiza, así como los grandes sectores industriales que rigen la economía del país. Un corte de energía prolongado en el sector industrial de una ciudad puede generar un completo caos: máquinas que no funcionan, pérdida de producción, pérdida de horas hombre, sistemas de comunicaciones inoperativos, entre otros. Un correcto diseño de suministro eléctrico, y una tarifa justa, es requisito indispensable para aumentar la productividad y el empleo de una nación (Ardito, 2020).

En el ámbito internacional, históricamente la electricidad se generaba en su mayoría con el uso de combustibles fósiles en unas pocas instalaciones de gran tamaño y se transportaba a través de grandes líneas de transmisión antes de pasar por líneas de distribución más pequeñas para abastecer a hogares y empresas. Con el tiempo las naciones se han dado cuenta de lo que conlleva este modelo de distribución de energía centralizado. Calentamiento global por el uso de combustibles fósiles, fallas en las líneas de transmisión debido a su gran longitud, incremento en la facturación de energía y rechazos de carga son algunos de los problemas con los que se ha enfrentado el desarrollo humano (Kessler, 2020).

Por otro lado, en Perú la desestabilización en el precio de los combustibles, la dependencia que se tiene hacia las grandes centrales de generación eléctrica y los enormes esfuerzos de los gobiernos de todo el mundo por reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que afectan al medio ambiente y a la calidad de vida de las personas, han llevado a la innovación tecnológica en el sector eléctrico hasta tal punto que hace unos años apareció una nueva forma de generación eléctrica que llevaría a un nuevo concepto de generación y consumo en el Perú. No hay duda de que los cambios traídos por estas nuevas tecnologías hoy hacen posible el uso de energías renovables que el Perú tiene gran potencial de desarrollar y que lleva al surgimiento de pequeños generadores de energía descentralizada o distribuida (GD) (Nunez, 2022).

Actualmente, la Asociación Peruana de Energías Renovables reúne empresas y organizaciones involucradas en el desarrollo de las energías renovables no tradicionales, como la energía solar, eólica, geotérmica, mareomotriz, biomasa y pequeñas

hidroeléctricas. Esta asociación nos informa sobre los futuros proyectos a desarrollarse en todas las regiones del Perú entre las cuales nos centraremos en la región de Piura.

En la región de Piura solo el 8% de los 500 MW de la potencia instalada se obtiene mediante uso de energías renovables. Teóricamente Piura tiene un potencial de generar 8000 MW mediante el uso de energías renovables, es decir, la región podría producir el 66% de la potencia energética que consume el país (Castro, 2021).

La generación térmica a base de gas natural es la predominante en la región. Cuando estas unidades térmicas salen de servicio ocasionan un impacto negativo en el suministro eléctrico afectando principalmente al sector industrial como lo es el puerto de Paita, Miski Mayo, Petroperú, Caña Brava, Agro Aurora, entre otros. Frente a estos sucesos las demás centrales se ven obligadas a regular potencia reactiva para mantener los niveles de tensión. Por otra parte, los clientes libres de la región Piura buscan energía de bajo costo en centrales generadoras con operaciones en otros departamentos y cuyos precios de energía se ven afectados por el pago de peaje por el uso de las líneas de transmisión.

Las posibles causas a estos problemas en la actualidad se dan eventualmente por la falta de centrales generadoras distribuidas dentro de la región Piura que puedan asumir el consumo energético de otras centrales cuando salgan de servicio o cuando fallen las principales líneas de transmisión. El aumento en el número de centrales generadoras distribuidas ayudaría a los clientes libres a conseguir energía limpia y de bajo costo dentro de su propia región sin tener que pagar peaje por el uso de largas líneas de transmisión.

Empresas que apuestan por el desarrollo de energías renovables tienen claro el panorama y ven en ello una clara opción de negocio en donde los beneficios son para todos. En los próximos años, tal como nos informa la Asociación Peruana de Energías Renovables se ejecutarán grandes proyectos de GD renovable en Piura.

Por lo descrito, este análisis se enfoca en cómo trabaja en la actualidad el sistema de transmisión norte entre las subestaciones de La Niña y Piura Oeste de 220kV y cuál será el impacto cuando las futuras centrales de GD renovable se integren y entren en funcionamiento. Para este fin se utilizó ETAP que es un software libre para el estudio del comportamiento de flujos de energía. Además, se utilizó datos actuales de la red de

transmisión de energía eléctrica y fichas técnicas de los futuros proyectos de GD renovable a ejecutarse.

La pregunta de investigación se formuló en base a la siguiente pregunta: ¿cuál será el impacto de los futuros proyectos de GD renovable en la región Piura?, específicamente se plantea las siguientes preguntas: ¿cuál será el impacto técnico de los futuros proyectos de GD renovable en la región Piura?, ¿cuál será el impacto ambiental de los futuros proyectos de GD renovable en la región Piura? ¿cuál será el impacto económico de los futuros proyectos de GD renovable en la región Piura?

Este análisis se justificó según los criterios de Condor (2020), por su *conveniencia* porque la GD permitirá tener un mercado eléctrico competitivo. Además, por su *relevancia social* ya que la GD renovable ayudará a minimizar las emisiones de CO<sub>2</sub> al medio ambiente. También, por las *implicaciones de desarrollo* porque pretende contribuir en el incremento de la competitividad, la mayor productividad energética y la mejora de calidad de vida en el Perú. Finalmente, se justifica por su *utilidad práctica* ya que el análisis está enfocado en evaluar el impacto técnico, ambiental y económico para saber qué posibilidades de desarrollo tendremos.

Como se mencionó, el propósito general del análisis fue: evaluar el impacto que tendrá la integración de futuros proyectos de GD renovable en la región Piura. Los objetivos específicos son: evaluar el impacto técnico que tendrá la integración de futuros proyectos de GD renovable en la región Piura; evaluar el impacto ambiental que tendrá la integración de futuros proyectos de GD renovable en la región Piura; evaluar el impacto económico que tendrá la integración de futuros proyectos de GD renovable en la región Piura.

En una minuciosa búsqueda de información y aportes a nivel internacional, se encontró a (Ngamroo et al. 2023) quienes buscaron el impacto que tendría la generación distribuida en términos de su tamaño y ubicación en los sistemas de distribución tanto en condiciones normales como de falla. Para lograr esto modelaron una sección real de una línea de distribución de 22 kV de la Autoridad Provincial de Electricidad de Tailandia utilizando el software PSCAD y seleccionaron la generación eólica como fuente de energía renovable. En esta investigación se demostró que la presencia de generación distribuida tiene un impacto significativo en las características de voltaje y corriente tanto

en condiciones normales como de falla y pueden afectar la operación de los sistemas de distribución convencionales.

También se tiene una investigación realizada en Grecia en donde (Anastasiadis, Kondylis y Vokas 2020) realizaron una investigación con el objetivo de estudiar el efecto del aumento de la generación distribuida en los índices básicos de la red de distribución de 20 kV. Para ello, consideraron una ampliación realista de una red de distribución existente y analizaron sus índices básicos (tensión, factor de potencia, flujo de potencia, fatiga térmica de los cables) en función al nivel de aumento de energía distribuida con la finalidad de encontrar el nivel de energía necesaria y óptima. Los resultados que obtuvieron demostraron que la red de distribución de 20 kV soporta un aumento máximo de 25 MW en unidades de generación distribuida siendo el rango más apropiado de 10 MW a 17,5 MW.

Producto del apoyo entre universidades de Irán y República Checa se obtuvo el estudio hecho por (Abushamah, Haghifam, Bolandi 2021) en donde mencionan que la expansión de unidades de generación distribuida debe evaluarse técnica y económicamente y propone un novedoso enfoque para modelar la planificación de generación centralizada y distribuida en el sistema eléctrico. Su enfoque consta de una función objetivo integrada que involucra los factores de toma de decisiones más importantes en todo el sistema eléctrico teniendo como propósito encontrar la combinación óptima entre centrales de generación centralizada ya existentes y futuras unidades de generación distribuida para minimizar costos totales relacionados con la expansión de la generación, operación, mantenimiento, combustible, emisiones, pérdidas de distribución, etc. Los resultados de su estudio confirman la eficacia y superioridad del enfoque propuesto.

En Malasia (Nsaif et al. 2021) sostienen que la integración de generación distribuida introduce diversos problemas de protección que no pueden resolverse mediante sistemas de protección convencionales. Identifican problemas como flujo de energía bidireccional y la variación de nivel de corriente de falla durante el cambio de topología. Frente a estos problemas, ellos presentan una descripción general de las estrategias de protección y detección de fallas, además exploran numerosas técnicas de detención de islas centrándose en los tipos de generación, parámetros, costos y

ventajas. De las estrategias propuestas discuten las cuestiones y desafíos clave junto con propuestas selectivas para futuras investigaciones. Concluyen mencionando que todos los puntos de vista destacados en su investigación serán beneficiosos para los ingenieros e investigadores en su avance en las estrategias de protección y fallas de redes distribuidas logrando así una operación y gestión adecuada.

En la República de Corea, (Yoon 2023) se centra en los daños económicos y sociales causados por la generación centralizada. Sung clasifica el daño económico y social en cuatro tipos de daños: daño a la salud, caída de los precios de la tierra, daño al paisaje circundante y conflictos sociales. Su estudio tiene como objetivo valorizar económicamente los beneficios obtenidos al evitar costos y daños sociales mediante el reemplazo de generación centralizada por instalaciones de generación de energía distribuida. Para lograr su objetivo realiza la medición de la Disposición a Pagar (DAP) para cada tipo de daño mediante el método de valorización contingente (CVM) que se aplica comúnmente para evaluar bienes que no son de mercado como bienes públicos y ambientales. Como resultado obtiene que la personas perciben el alivio de los daños a la salud como el mayor beneficio al evitar las instalaciones de energía centralizadas y que la disposición a pagar por reparación de daños a la salud representó entre el 29% y el 51% de la disposición a pagar total.

En Latinoamérica se cuenta con la propuesta metodológica de (Ortega-Romero et al. 2023) en donde identifican las ubicaciones optimas de unidades de generación distribuida a lo largo de una red de media tensión en Ecuador con el fin de minimizar perdidas de energía, mejorar los niveles de tensión y facilitar la planificación del sistema de distribución eléctrica. Utilizaron datos del sistema de distribución existente, software de simulación como el CYME y métodos como el Índice de Perdida de Energía y el Algoritmo de Polinización de Flores. Como resultados obtuvieron que la incorporación de unidades de generación distribuida supuso una reducción del 39.62% en pérdidas de energía activa y 41.88% en pérdidas de energía reactiva mejorando considerablemente el perfil de voltaje en comparación con el caso base.

Por otro lado, en la región Piura se tiene la tesis de maestría de (Condor 2020) en donde promueve la generación descentralizada utilizando fuentes de energías renovables como se hace en América Latina y el Caribe con el objetivo de incrementar

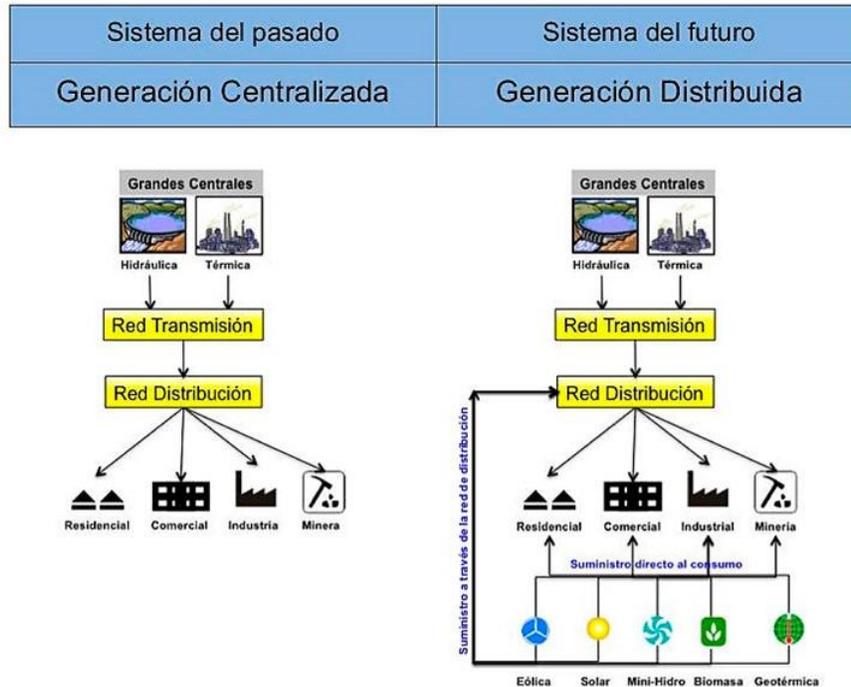
la competitividad y lograr un crecimiento económico sostenible. Condor utiliza metodología de investigación cualitativa investigando y describiendo casos de éxito de países como Chile, Argentina, Colombia, Guatemala, México y Brasil logrando proponer con éxito un modelo de generación distribuida para el Perú. En sus resultados menciona la obtención de un mercado competitivo gracias a la generación distribuida la cual será posible gracias a recursos renovables, esto promoverá el uso de vehículos eléctricos a fin de minimizar las emisiones de dióxido de carbono.

La generación de energía distribuida ha sido definida por varias organizaciones e instituciones regionales y globales, como IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos), CIGRE (Consejo para la Investigación Energética Internacional), IEA (Agencia Internacional de Energía), EPRI (Instituto de Investigación de Energía Eléctrica), DPCA (Alianza de Energía Descentralizada), Departamento de Energía de EE. UU. (US DOE), etc.

IEEE la define como una instalación de generación conectada al sistema eléctrico a través de un punto de conexión común: un subconjunto de generación de energía descentralizada, mientras que CIGRE agrega: generalmente no programada, no despachada centralmente y con una capacidad de menos de 50 o 100 megavatios. Lo mismo ocurre con el Departamento de Energía de EE. UU. y el EPRI quienes consideran que la generación distribuida está en el rango de tamaño y capacidad de unos pocos kilovatios a 50 megavatios o incluye generación pequeña de 1 kilovatio a 50 megavatios.

Las energías renovables son definidas por la Organización de Naciones Unidas (ONU) como aquellas energías derivadas de fuentes naturales y con la capacidad de reponerse de una forma más rápida de lo que pueden consumirse. Algunas fuentes de energías renovables son: energía solar, energía eólica, energía geotérmica, energía hidroeléctrica, energía oceánica y bioenergía. Esta energía es más barata, genera más empleo y produce menos emisiones que la quema de combustibles fósiles convirtiéndose en una fuente de energía vital para resolver la crisis del cambio climático. En la Figura 1 se muestra la comparativa entre los actuales modelos de generación de energía centralizada y los futuros sistemas de generación distribuida en donde las unidades de generación se encuentran próximas a los puntos de consumo utilizando fuentes renovables.

Figura 1. Comparativa: Generación Centralizada y GD Renovable



Fuente: Internet

El impacto es definido como el resultado (o consecuencias) de los efectos de un proyecto; para determinar el impacto, se deben identificar objetivos operativos y modelos causales para relacionar el proyecto con las consecuencias de su implementación (ONU, 1984). El impacto es el resultado de la actividad del proyecto. En este sentido, expresa el grado en que se logran los objetivos del estudio. Los impactos se pueden medir en diferentes unidades de análisis o dimensiones, entre las cuales destacan: impacto técnico, impacto económico e impacto ambiental (Gertler et al. 2016).

Los indicadores cuantitativos que obtenemos del impacto técnico son: pérdidas de potencia y perfil de tensión (Hamidan, Borousan 2022). Por su lado, dentro del impacto económico tenemos indicadores como: costo de la inversión y costo energético nivelado (IRENA, 2022). Finalmente, el impacto ambiental cuantifica la intensidad de carbono y las emisiones de CO<sub>2</sub> (Catalán 2020).

En el contexto tecnológico, el término “impacto técnico” se refiere a los efectos y consecuencias que tiene la implementación de un sistema o proyecto en términos de su arquitectura, rendimiento, funcionalidad o mantenibilidad. La evaluación cuidadosa del

impacto técnico es crucial para minimizar los riesgos y garantizar que los cambios realizados en un sistema no generen problemas inesperados o efectos no deseados. El término “impacto económico” se refiere a las consecuencias financieras o monetarias resultantes de un cambio en un determinado sistema. Su concepto se utiliza en la evaluación de proyectos para comprender como se verán afectados los ingresos, los costos, la rentabilidad y otros aspectos financieros relacionados. Este tipo de análisis es esencial para comprender plenamente las implicaciones financieras de un determinado curso de acción y para tomar decisiones informadas que maximicen los beneficios económicos o minimicen los impactos negativos en una determinada área o industria. El término “impacto ambiental” se refiere a los efectos que determinadas acciones humanas tienen sobre el medio ambiente, incluyendo los ecosistemas naturales, los recursos naturales, la biodiversidad y los seres humanos. El análisis del impacto ambiental implica evaluar cómo determinadas actividades pueden alterar el equilibrio ecológico, agotar los recursos naturales, afectar la calidad del aire, del agua y del suelo, así como perjudicar la biodiversidad y la salud humana. Se consideran también los efectos a largo plazo de estas acciones sobre el entorno natural, como el cambio climático, la degradación del suelo, la deforestación, la pérdida de hábitats y la contaminación. El objetivo de evaluar y comprender el impacto ambiental es minimizar los efectos negativos de las actividades humanas sobre el entorno natural, y promover el desarrollo sostenible, que busca equilibrar el progreso económico con la conservación y protección del medio ambiente.

La hipótesis general de este análisis plantea que los futuros proyectos de GD renovable en la región de Piura afectarán favorablemente en los rubros técnico, económico y ambiental al reducir las pérdidas de potencia en las líneas de transmisión, mejorar los perfiles de tensión, generar oportunidades de empleo y reducir las emisiones de efecto invernadero. Sin embargo, su integración a las redes eléctricas ocasiona desafíos técnicos en el estudio de protecciones, operatividad entre otros.

## II. METODOLOGÍA

Este análisis es de tipo aplicada ya que utiliza los conocimientos adquiridos sobre redes eléctricas y generación distribuida renovable, a la vez que se adquieren otros después de implementar simulaciones en donde se añade futuras centrales distribuidas renovables a una red de transmisión eléctrica actual (Tamayo, 2004). De enfoque cuantitativo porque se utiliza el análisis de los datos actuales y posibles futuros de las subestaciones de La Niña y Piura Oeste para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas previamente (Hernández et al. 2003). El diseño del presente análisis es preexperimental ya que los datos se obtendrán mediante observación de hechos acondicionados por el investigador al momento de simular la integración de generación distribuida renovable a la red eléctrica actual y en donde se manipula una sola variable (centrales de generación distribuida renovable) y se espera la respuesta de otra variable (impacto técnico, impacto económico e impacto ambiental) (Álvarez 2020).

La definición conceptual de la variable “impacto” está definida como el resultado (o consecuencias) de los efectos de un proyecto; para determinar el impacto, se deben identificar objetivos operativos y modelos causales para relacionar el proyecto con los efectos de su implementación (ONU, 1984). Como definición operacional, la variable “impacto” puede ser medida en distintas unidades de análisis o dimensiones, entre las cuales destacan: impacto técnico, impacto económico e impacto ambiental (Gertler et al. 2016). La variable “generación distribuida renovable” se define conceptualmente como la producción de energía eléctrica a mediana o pequeña escala, cerca de los puntos de consumo, utilizando fuentes de energía renovable que son sostenibles y no agotables a lo largo del tiempo (Velásquez, 2012). La variable “generación distribuida renovable” se opera mediante la instalación y utilización de sistemas de generación de energía eléctrica, que emplean fuentes renovables y están ubicados cerca de los puntos de consumo. En términos operacionales específicos a utilizar en el presente proyecto de investigación tenemos a las turbinas eólicas (U.S. EPA, 2024).

Se tuvo como objeto de estudio el sistema eléctrico conformado por las subestaciones de La Niña y Piura Oeste las cuales pertenecen al sistema interconectado nacional zona norte. Se tomó como criterios de inclusión las subestaciones con niveles

de tensión de 500kV, 220kV y 138kV y como criterios de exclusión las subestaciones con niveles de tensión inferiores a 138kV y redes de distribución en 60kV. La muestra está constituida por la población en estudio; es decir por las subestaciones de La Niña y Piura Oeste. Con respecto al muestreo no aplica por ser muestra censal. Como unidad de análisis se considera a cada red de transmisión eléctrica que pertenece a las subestaciones de La Niña y Piura Oeste y que cumple con los criterios de inclusión y exclusión definidos para este estudio.

Se utilizó el análisis documental como técnica de recolección de datos ya que se recopiló y seleccionó información existente en registros previamente establecidos. Como instrumentos de recolección de datos se utilizó fichas de registros. Las fichas de registro fueron validadas por juicio de expertos. No se evaluó confiabilidad, dado que ello corresponde a cuestionarios.

La información se analizó utilizando el software ETAP y hojas de cálculo de Excel para producir una tabla comparativa de flujos de potencia, precios de energía, inversiones en implementación, emisiones, etc.

El análisis tuvo en cuenta los buenos principios y la conducta aceptable en la investigación y utilizó las normas de referencia ISO, teniendo en cuenta los autores y el año del estudio. Asimismo, se siguió con lo establecido en los lineamientos vigentes de la Universidad Cesar Vallejo, y los datos autorizados por la empresa serán completamente confidenciales.

### III. RESULTADOS

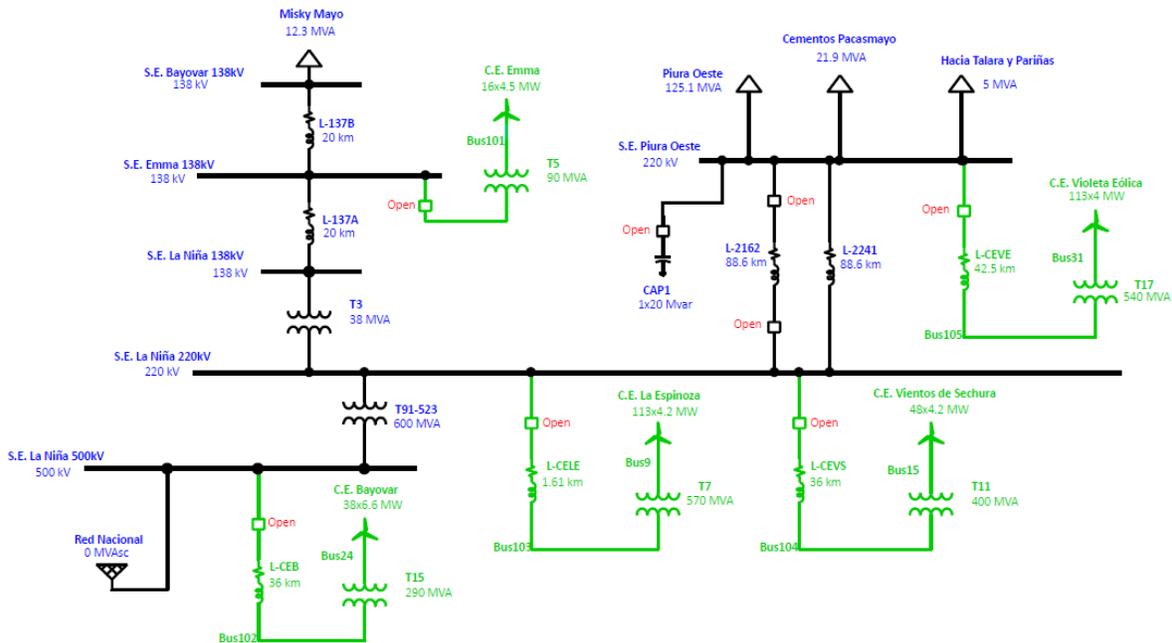
Se recopiló información técnica de los futuros proyectos de GD renovable en la región Piura encontrada en las páginas web de OSINERGMIN y la Asociación Peruana de Energías Renovables. Así mismo se obtuvo el unifilar eléctrico peruano y el flujo de potencias de las subestaciones de La Niña y Piura Oeste en la página web del COES (Anexo 4). Posteriormente se estudió y organizó dicha información obtenida para luego diseñar mediante software la nueva red de transmisión eléctrica considerando los nuevos proyectos de GD renovable y analizando su comportamiento cuando estas centrales de generación entren en funcionamiento.

Tabla 1. Lista de proyectos utilizados en el presente estudio

Tipo de central	Nombre	Potencia MW	Futuro punto de conexión
Eólica	La Espinoza	474.6	S.E. La Niña 220kV
Eólica	Vientos de Sechura	201.6	S.E. La Niña 220kV
Eólica	Bayovar	250.8	S.E. La Niña 220kV
Eólica	Emma	72	L-1137 La Niña – Bayovar 138kV
Eólica	Violeta Eólica	452	S.E. Piura Oeste 220kV

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. Diseño en software ETAP incluyendo futuros proyectos de GD renovable.

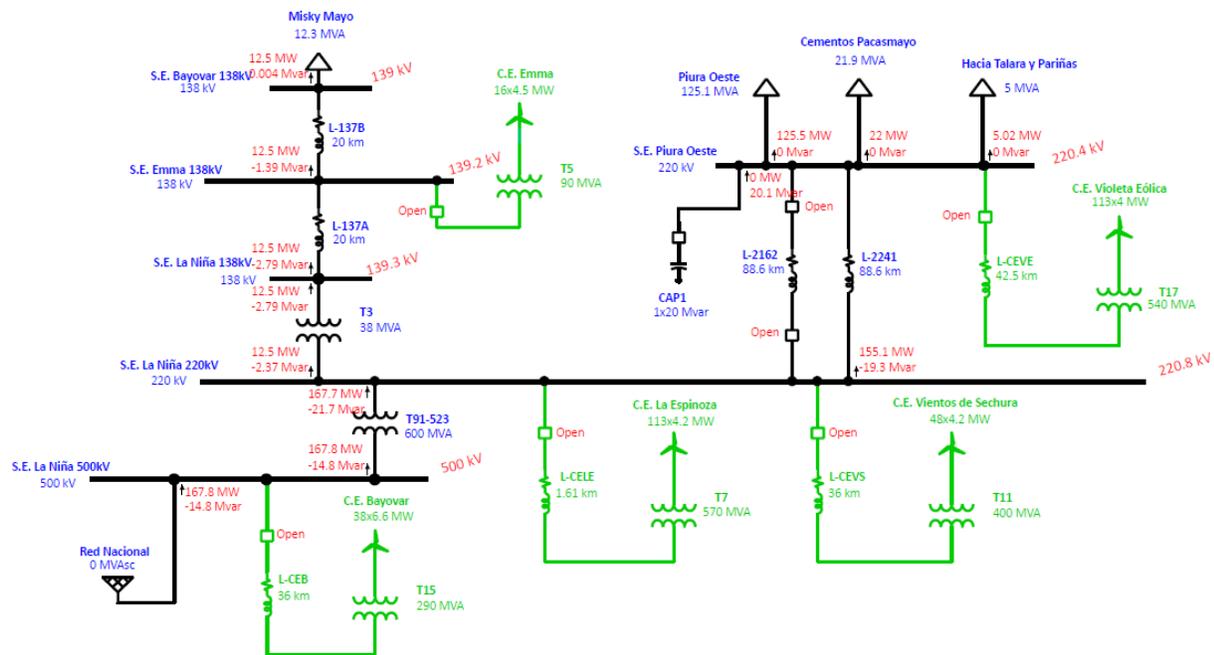


Fuente: Elaboración propia.

Durante la elaboración del presente análisis la línea L-2162 se encontraba fuera de servicio por mantenimiento, por tal motivo no se está considerando en las simulaciones. Así mismo, se toma como supuestos que la red eléctrica hacia Talara, Pariñas y Tumbes consume solo 5MVA debido a la generación existente en dicha zona (Parque Eólico Talara, CT Malacas, CT Tumbes, CT Refinería Talara). De igual forma, se supone que la S.E. La Niña 500kV recibe la suficiente energía, proveniente del interconectado nacional, para alimentar las barras de las subestaciones de estudio.

Mediante simulación en el software ETAP se procedió a analizar la red de transmisión en su estado inicial y luego con una inyección de generación del 20%, 40% y 60% de la potencia total instalada de las futuras centrales de generación, evaluando de esta forma el impacto técnico.

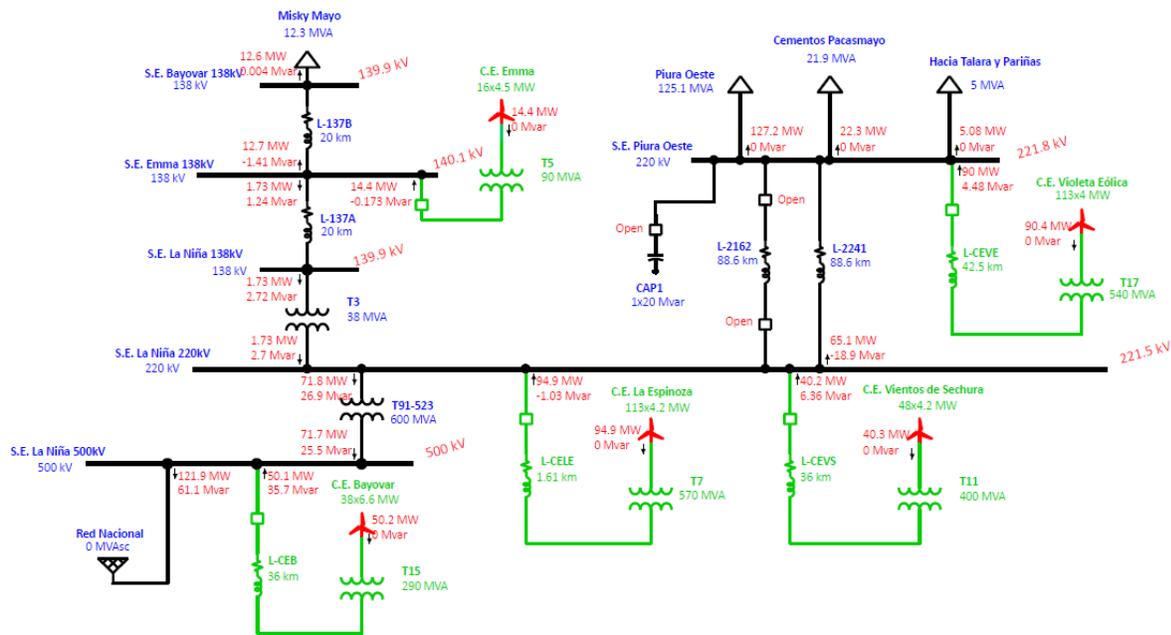
Figura 3. Flujos de potencias en la red en estado inicial



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3, la red de transmisión en su estado inicial de estudio tiene una pérdida de 2.8MW en potencia activa y 5.2Mvar en potencia reactiva, así mismo se toma 167.8MW de potencia activa y -14.8Mvar de potencia reactiva de la barra de 500kV. Con respecto a los perfiles de tensión se observa que es necesario la activación de un banco de condensadores de 20Mvar para lograr mantener los niveles de tensión en la subestación Piura Oeste.

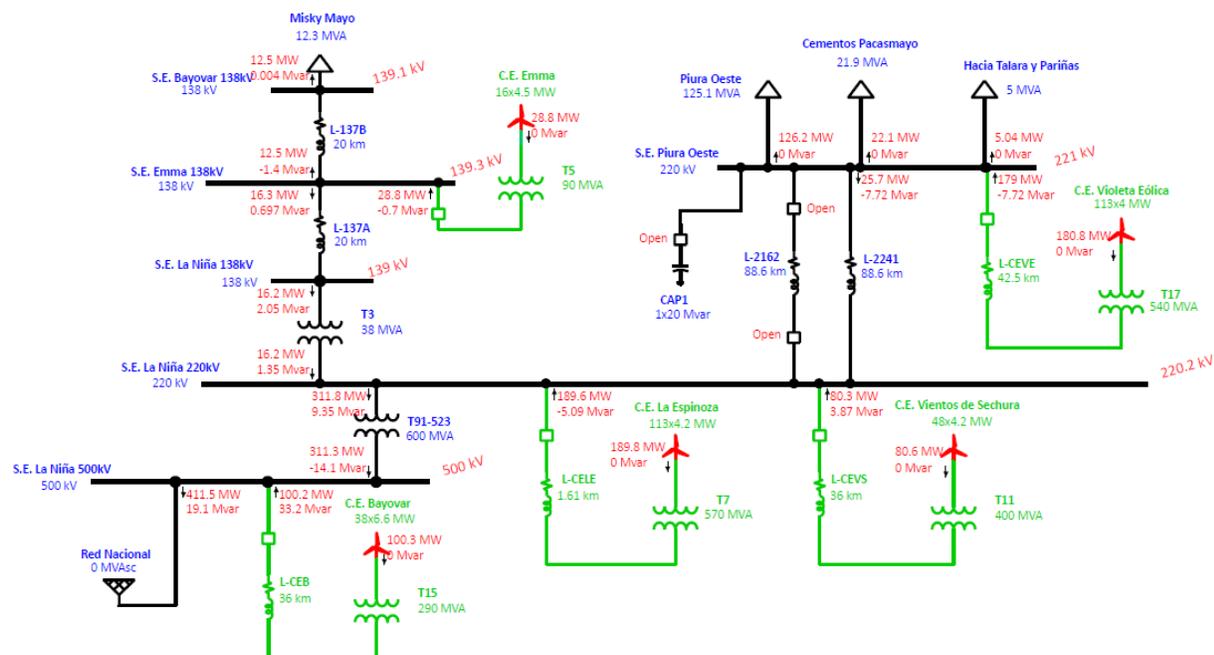
Figura 4. Flujos de potencias en la red con inyección de DG renovable al 20%



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4 se aprecia una inyección de potencia activa del 20% de todas las unidades de generación. Las pérdidas en potencia activa se redujeron a 1.1MW y en potencia reactiva a -61.2Mvar. Se invierte el flujo de potencia en T3 y en la barra de 500kV se inyecta 121.9MW de potencia activa y 61.1Mvar de potencia reactiva al interconectado nacional. El perfil de tensión en la barra Piura Oeste se logra mantener sin la necesidad del banco de condensadores, sin embargo, en el resto de las subestaciones vemos que los niveles de tensión se elevan.

Figura 5. Flujos de potencias en la red con inyección de DG renovable al 40%

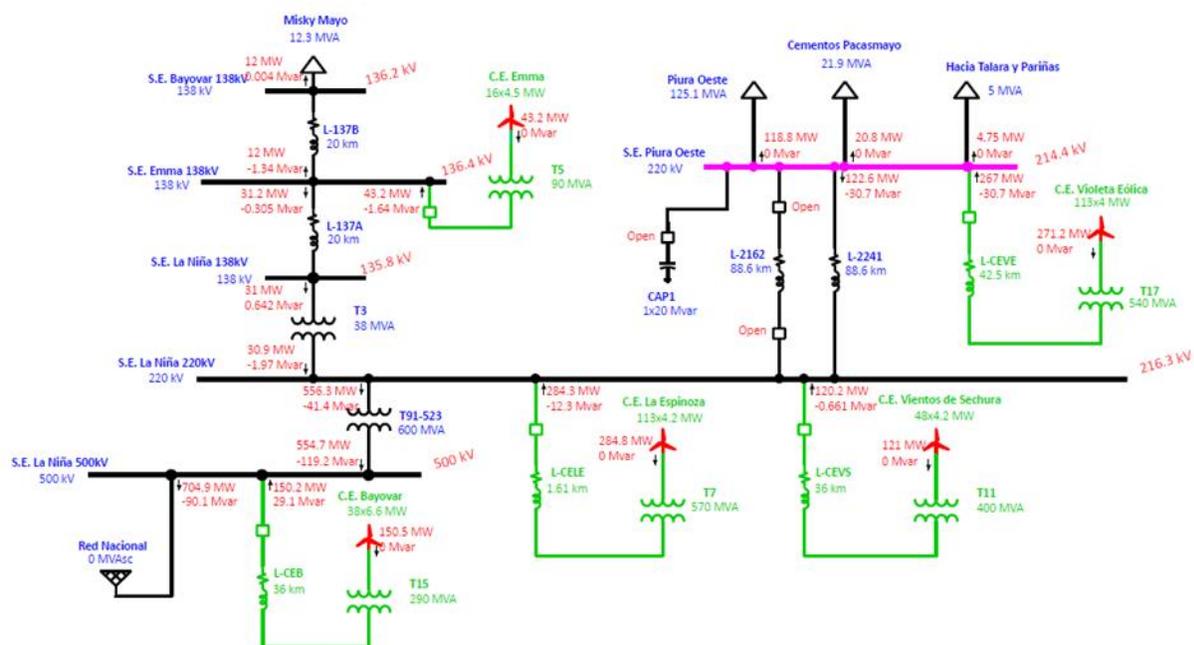


Fuente: Elaboración propia.

En la figura 5 se aprecia una inyección de potencia activa del 40% de todas las unidades de generación. Las pérdidas en potencia activa se elevaron a 3MW y en potencia reactiva a -19Mvar. La barra de 500kV hacia el interconectado nacional es alimentada con 411.5MW de potencia activa y 19.1Mvar de potencia reactiva. El perfil de tensión en la subestación Piura Oeste 220kV y en la subestación La Niña 138kV se mantiene elevado.

En la figura 6 apreciamos una inyección de potencia activa del 60% de todas las unidades de generación. Las pérdidas en potencia activa se elevaron a 9MW y en potencia reactiva a 90Mvar. La barra de 500kV hacia el interconectado nacional es alimentada con 704.9MW de potencia activa y 90.1Mvar de potencia reactiva. Los transformadores T3 y T91-523 trabajan al 80% y 90% de su capacidad respectivamente. El perfil de tensión en la subestación Piura Oeste 220kV cae por debajo de su límite mínimo de operación.

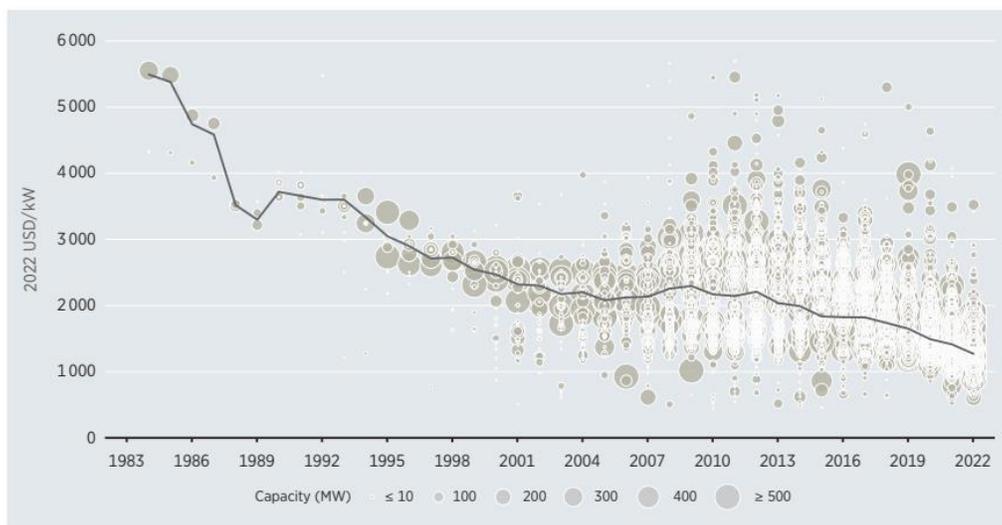
Figura 6. Flujos de potencias en la red con inyección de DG renovable al 60%



Fuente: Elaboración propia.

Para el impacto económico se estimó el costo total de la inversión de los futuros proyectos de GD renovable tomando como referencia datos globales de “costo de potencia instalada” publicados por la International Renewable Energy Agency (IRENA). El coto global de potencia instalada para generación eólica en el 2022 fue de 1274 USD/kW.

Figura 7. Evolución del costo global de potencia instalada



Fuente: IRENA.

Tabla 2. Inversión de los futuros proyectos de GD renovable.

<b>Central eólica</b>	<b>Potencia instalada MW</b>	<b>Inversión M/USD</b>
La Espinoza	474.6	604.6
Vientos de Sechura	201.6	256.8
Bayovar	250.8	319.5
Emma	72	91.7
Violeta Eólica	452	575.9
<b>Total</b>	<b>1451</b>	<b>1848.6</b>

Fuente: Elaboración propia.

La consultora INODU realizó en Chile un estudio llamado “Estudio de costos por tecnología de generación” en donde menciona que el costo de potencia instalada para una central térmica a gas de ciclo simple es de 816 k USD/MW (INODU, 2020). Con ese dato analizamos cuanto sería la inversión si se tratase de centrales térmicas para la misma potencia instalada.

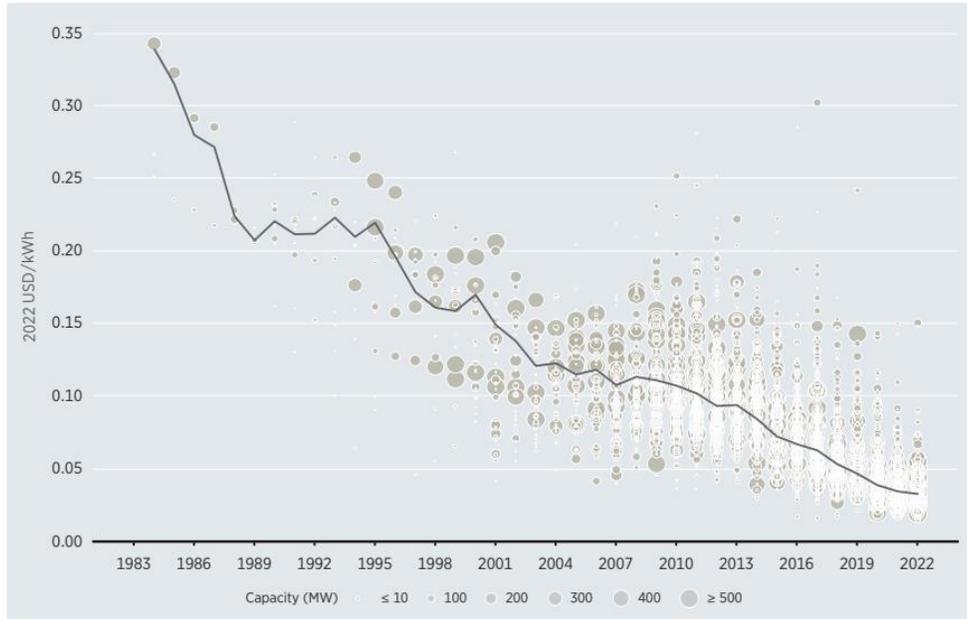
Tabla 3. Inversión si los futuros proyectos fueran centrales térmicas de ciclo abierto

<b>Central térmica</b>	<b>Potencia instalada MW</b>	<b>Inversión M/USD</b>
La Espinoza	474.6	379.7
Vientos de Sechura	201.6	161.3
Bayovar	250.8	200.6
Emma	72	57.6
Violeta Eólica	452	361.6
<b>Total</b>	<b>1451</b>	<b>1160.8</b>

Fuente: Elaboración propia.

IRENA arroja datos globales de suma importancia como lo es el LCOE (Levelised Cost Of Electricity) el cual representa el costo necesario para convertir una fuente de energía en electricidad. El costo energético nivelado para generación eólica en el 2022 fue de 0.033 USD/kW. Con ello calcularemos cuanto es el costo de producir la potencia instalada.

Figura 8. Evolución del costo energético nivelado.



Fuente: IRENA.

Tabla 4. Costo energético nivelado para potencia instalada

Central eólica	Potencia instalada MW	Costo Energético Nivelado USD
La Espinoza	474.6	15,661
Vientos de Sechura	201.6	6,652
Bayovar	250.8	8,276
Emma	72	2,376
Violeta Eólica	452	14,916
<b>Total</b>	<b>1451</b>	<b>47,883</b>

Fuente: Elaboración propia.

Para el presente año los valores del costo marginal de venta de energía eléctrica han variado entre los 30 USD/MWh y los 45 USD/MWh (LUYO, 2024). Con un promedio de 37.5 USD/MWh se proyectó los ingresos que tendrían los futuros proyectos de GD renovable por el concepto de venta de energía.

Tabla 5. Ingresos por venta de energía eléctrica

<b>Central eólica</b>	<b>Potencia instalada MW</b>	<b>Venta de Energía USD/MWh</b>
La Espinoza	474.6	17,798
Vientos de Sechura	201.6	7,560
Bayovar	250.8	9,405
Emma	72	2,700
Violeta Eólica	452	16,950
<b>Total</b>	<b>1451</b>	<b>54,412</b>

Fuente: Elaboración propia.

El impacto ambiental se evaluó en base a la intensidad de carbono de cada modelo de aerogenerador utilizado en los distintos proyectos de DG renovable. Este dato lo obtuvimos de sus fichas técnicas. De esta forma se realizó a siguiente tabla:

Tabla 6. Intensidad de carbono por modelo de aerogenerador

<b>Central eólica</b>	<b>Potencia Instalada MW</b>	<b>Cantidad de aerogeneradores</b>	<b>Modelo del aerogenerador</b>	<b>Intensidad de carbono</b>
La Espinoza	474.6	113	Vestas V-150 / 4.2MW	7.3g de CO2e/kWh
Vientos de Sechura	201.6	48	Vestas V-150 / 4.2MW	7.3g de CO2e/kWh
Bayovar	250.8	38	Vestas V-150 / 6MW	5.6g de CO2e/kWh
Emma	72	16	Siemens Gamesa SG 4.5-145 Optima Flex	7g de CO2e/kWh
Violeta Eólica	452	113	-	7.3g de CO2e/kWh

Fuente: Elaboración propia.

Se proyectó las emisiones anuales de CO2 de los proyectos de GD renovable en base a la energía producida durante un año y esta a su vez en base a su factor de planta. Investigamos el actor de planta de algunas centrales eólicas ya en servicio para hallar un promedio el cual utilizar.

Tabla 7. Factores de planta de centrales eólicas en servicio

Central eólica	Factor de planta
C.E. CUPISNIQUE	43%
C.E. MARCONA	52.93%
C.E. TALARA	46%
C.E. TRES HERMANAS	45%
<b>Promedio</b>	<b>47%</b>

Fuente: OSINERGMIN.

Aplicamos el factor de planta promedio hallado en los proyectos de GD renovable para proyectar su generación anual y estimar sus emisiones de CO2.

Tabla 8. Proyección de emisiones de CO2 de los futuros proyectos de DG renovable

Central Eólica	Potencia Instalada MW	Factor de planta	Energía Anual GWh	TonCO2
La Espinoza	474.60	47%	1954.02	14,264
Vientos de Sechura	201.60	47%	830.03	6,059
Bayovar	250.80	47%	1032.59	7,538
Emma	72	47%	296.44	2,164
Violeta Eólica	452	47%	1860.97	13,585
		<b>Total</b>	<b>5974.06</b>	<b>43,611</b>

Fuente: Elaboración propia.

Según “Our World in Data” de la Universidad de Oxford tenemos que a nivel mundial el gas natural emite 0,2 kg de CO2 por kWh. Suponiendo que la misma cantidad de energía sea producida por gas natural y no por una fuente renovable, calculamos las emisiones de CO2.

Tabla 9. Proyección de emisiones de CO2 si se utiliza gas natural.

<b>Central térmica</b>	<b>Potencia Instalada MW</b>	<b>Factor de planta</b>	<b>Energía Anual GWh</b>	<b>TonCO2</b>
La Espinoza	474.60	47%	1954.02	390,805
Vientos de Sechura	201.60	47%	830.03	166,006
Bayovar	250.80	47%	1032.59	206,519
Emma	72	47%	296.44	59,288
Violeta Eólica	452	47%	1860.97	372,195
		<b>Total</b>	<b>5974.06</b>	<b>1,194,811</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### **IV. DISCUSIÓN**

En este análisis, al evaluar el impacto técnico que tendrá la integración de futuros proyectos de GD renovable en Piura, se encontró que las pérdidas de potencia activa y reactiva y los perfiles de tensión en las subestaciones se reducen o aumentan según el porcentaje de inyección de GD renovable, los transformadores de potencia T3 y T91-523 trabajan en flujo inverso y a máxima capacidad. Esto quiere decir que la integración de GD renovable conlleva al desafío técnico de evaluar a detalle los puntos de pérdidas de potencia, la operatividad de las centrales de generación y las protecciones de la red de transmisión. Frente a lo mencionado se acepta la hipótesis del estudio donde se refiere que los futuros proyectos de GD renovable en la región de Piura afectarán favorablemente el rubro técnico. Estos resultados son corroborados por (Nsaif et al. 2021) quienes en su investigación concluyen que la integración de GD introduce diversos problemas de protección y se debe realizar un estudio previo de estrategias de protección y detección de fallas.

En la evaluación del impacto económico se encontró que la inversión de los proyectos de GD renovable en la región de Piura es 38% mayor que una inversión destinada para una central térmica a gas. Esto se debe básicamente a dos factores muy importantes: costos de infraestructura y costos de los aerogeneradores. Con respecto a la infraestructura podemos decir que se necesita preparar el extenso terreno para luego proceder con la instalación de las turbinas eólicas. Por otra parte, los aerogeneradores siguen siendo tecnología avanzada y relativamente costosa a pesar de sus mejoras tecnológicas y aumento en su escala de producción. El costo energético nivelado para generación eólica en el 2022 fue de 0.033 USD/kW y con tendencia a la baja, esto se debe a los avances tecnológicos en la fabricación de aerogeneradores y eficiencia de las turbinas eólicas lo que reduce el costo de producción y mantenimiento de los equipos, también es importante mencionar las economías de escala que se alcanzan a medida que se instalan más parques eólicos y se construyen más aerogeneradores lo que ocasiona que los costos de instalación, infraestructura y mantenimiento por unidad de capacidad tiendan a disminuir. A medida que el LCOE de la energía eólica disminuye, se vuelve más competitiva frente a otras fuentes de energía convencionales como el carbón, el gas natural o la energía nuclear. Esto puede llevar a una mayor adopción de la energía

eólica en el mercado energético global. Los costos marginales de venta de energía en el Perú hacen aún más atractivo el negocio de la generación renovable. Frente a lo mencionado se acepta la hipótesis del análisis donde se refiere que los futuros proyectos de GD renovable en la región de Piura afectarán favorablemente el rubro económico. Estos resultados son corroborados por (Condor 2020) quien en su tesis de maestría concluye que se logrará obtener de un mercado competitivo gracias a la generación distribuida la cual será posible gracias a recursos renovables.

Con respecto al impacto ambiental se encontró que la intensidad de carbono de un aerogenerador es relativamente bajo debido al uso de energía renovable como fuente primaria de energía para generar electricidad. El viento es una fuente de energía renovable y limpia, que no produce emisiones directas de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) durante la generación de electricidad. Esto contrasta significativamente con las centrales térmicas, que queman combustibles fósiles (como carbón, gas natural o petróleo) para generar electricidad, produciendo grandes cantidades de CO<sub>2</sub> como resultado de la combustión. A diferencia de las centrales térmicas, que dependen de la combustión de combustibles fósiles para generar calor y posteriormente electricidad, los aerogeneradores no involucran ningún proceso de combustión. La ausencia de combustión significa que no hay emisiones directas de CO<sub>2</sub> durante la operación normal de un aerogenerador. También se encontró que las centrales eólicas emiten hasta 97% menos toneladas de CO<sub>2</sub> al año que las centrales térmicas a gas lo que contribuye significativamente a la reducción de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, lo que las hace una opción más sostenible y favorable desde el punto de vista ambiental en comparación con las centrales térmicas. Frente a lo mencionado se acepta la hipótesis del análisis donde se refiere que los futuros proyectos de GD renovable en la región de Piura afectarán favorablemente el rubro ambiental. Estos resultados son corroborados por (Condor 2020) quien en su tesis de maestría concluye que se logrará obtener de un mercado competitivo gracias a la generación distribuida la cual será posible gracias a recursos renovables, esto promoverá el uso de vehículos eléctricos a fin de minimizar las emisiones de dióxido de carbono.

## V. CONCLUSIONES

Se analizó el impacto técnico, económico y ambiental de los futuros proyectos de GD renovable en la región Piura, obteniéndose las siguientes conclusiones:

1. Se diseñó mediante el software ETAP la red eléctrica de transmisión entre las subestaciones La Niña y Piura Oeste agregando los futuros proyectos de GD renovable en la región de Piura y simulando su funcionamiento con inyecciones de generación del 20%, 40% y 60% hallándose que según la inyección de generación se puede reducir o aumentar las pérdidas de potencia, reducir o aumentar las tensiones en barra y mantener o invertir los flujos de energía en transformadores de potencia los cuales trabajarían al límite de su capacidad.
2. Se calculó el costo de inversión de cada central de generación renovable usando datos globales. Se demostró que la inversión de una central eléctrica de energía renovable tiene un costo de inversión mucho mayor en comparación con las centrales térmicas a gas tradicionales.
3. Se expuso que el costo de producción de energía eléctrica mediante una fuente renovable tiene una tendencia a la baja aportando a la reducción en los costos de energía al consumidor final.
4. Se elaboró un resumen de la intensidad de carbono de cada central eólica en base al modelo de aerogenerador que se utilizará. Dicha información se obtuvo de las fichas técnicas de cada fabricante.
5. Se calculó las emisiones de CO<sub>2</sub> anuales de las centrales renovables y se compararon con datos suponiendo que se utiliza gas natural para generar la misma cantidad de energía. Esto demostró la enorme diferencia entre el uso de combustibles fósiles y la energía renovable.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Habiendo analizado los resultados en la presente investigación, se proponen las siguientes recomendaciones:

1. Desarrollar un estudio de protecciones de las nuevas centrales de GD renovable y sus respectivas subestaciones.
2. Desarrollar un estudio de operatividad cuando todas las centrales de GD renovable estén en funcionamiento a plena carga.
3. Elaborar un estudio de almacenamiento de energía que entre en funcionamiento cuando las centrales eólicas dejen de generar considerando la capacidad de generación total.
4. Elaborar un estudio de los transformadores de potencia que se necesitará reemplazar cuando entren en funcionamiento las nuevas centrales de GD renovable.
5. Elaborar un estudio de la cantidad de puestos de trabajo que originará la llegada de los proyectos de GD renovable.

## REFERENCIAS

ABUSHAMAH, H. Abdulkareem Saleh, HAGHIFAM, M.R. y BOLANDI, T. Ghanizadeh, 2021. A novel approach for distributed generation expansion planning considering its added value compared with centralized generation expansion. *Sustainable Energy, Grids and Networks*. Vol. 25, p. 100417. DOI 10.1016/j.segan.2020.100417.

Agencia Internacional de Energías Renovables. (2022). Estadísticas de capacidad renovable. <https://www.irena.org/publications/2022/Apr/Renewable-Capacity-Statistics-2022-ES>

AHMAD F., ASHRAF I., IQBAL A., MARZBAND M., KHAN I., 2022. A novel AI approach for optimal deployment of EV fast charging station. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.09.058>

AKINYEMI, A.S., MUSASA, K. & DAVIDSON, I.E. Analysis of voltage rise phenomena in electrical power network with high concentration of renewable distributed generations. *Sci Rep* 12, 7815 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11765-w>

ANASTASIADIS, Anestis G., KONDYLLIS, Georgios P. y VOKAS, Georgios A., 2020. Effect of augmented distributed generation in distribution networks. *Energy Reports*. Vol. 6, pp. 177-187. DOI 10.1016/j.egy.2019.10.036.

ÁLVAREZ, A. (2020). Clasificación de las Investigaciones. Lima: Universidad de Lima. <https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/10818/Nota%20Acad%203%a9mica%20%20%2818.04.2021%29%20%20Clasificaci%20c3%b3n%20e%20Investigaciones.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

ARDITO, O. (30 de abril de 2020). Coronavirus y la importancia de la energía eléctrica. <https://elperuano.pe/noticia/95183-coronavirus-y-la-importancia-de-la-energia-electrica>

Asociación Peruana de Energías Renovables. (s.f.). Proyectos de generación eléctrica con energías renovables en el departamento de Piura. <https://www.spr.pe/mapa-de-proyectos/>

CASTRO, M. (20 de diciembre de 2021). Piura Tiene Potencial Para Producir El 66% De La Energía Nacional. <https://www.gob.pe/institucion/regionpiura-drem/noticias/618480-piura-tiene-potencial-para-producir-el-66-de-la-energia-nacional>

CATALÁN, Horacio, 2020. Impacto de las energías renovables en las emisiones de gases efecto invernadero en México. *Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*. Vol. 52, n.o 204. DOI 10.22201/iiiec.20078951e.2021.204.69611.

Comité de Operación Económica del Sistema. (s.f.). Diagrama unifilar. <https://www.coes.org.pe/Portal/Operacion/CaractSEIN/DiagramaUnifilar#>

Comité de Operación Económica del Sistema. (s.f.). Resumen diario de operación, flujos de potencias. <https://www.coes.org.pe/Portal/PostOperacion/Reportes/Idcos#>

CONDOR, H. (28 de febrero de 2021). Generación distribuida con energías renovables en Perú. <https://pirhua.udep.edu.pe/items/214d59bb-df4f-4479-9ebf-98f4c0315a0b>

GERTLER, P., MARTINEZ, S., RAWLINGS, L., PREMAND, P. & VERMEERSCH, C.M.J. (2016). La evaluación de impacto en la práctica: Segunda edición. Banco Interamericano de Desarrollo. <http://dx.doi.org/10.18235/0006529>

HAMIDAN, Mohammad-Ali y BOROUSAN, Farzaneh, 2022. Optimal planning of distributed generation and battery energy storage systems simultaneously in distribution networks for loss reduction and reliability improvement. *Journal of Energy Storage*. Vol. 46, p. 103844. DOI 10.1016/j.est.2021.103844.

HERNÁNDEZ, Roberto. Metodología de la investigación, 3. ed.

HUANG Y., ZHAO L., QIU W., XU Y., GAO J., YAN Y., WU T., LIN Z., 2022. Evaluation of Acceptance Capacity of Distributed Generation in Distribution Network Considering Carbon Emission. *Energies*. 2022; 15(12):4406. <https://doi.org/10.3390/en15124406>

INODU (2020). Estudio de determinación de costos por tecnología de generación. <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2020/03/ICTG-Marzo-2020.pdf>

KESSLER, L. (26 de julio de 2020). Básicos: Generación y transporte de la electricidad. <https://afinidadelectrica.com/2020/07/26/basicos-generacion-y-transporte-de-la-electricidad/>

MANSARAY M., DIAWUO F., BANTINGE B., 2024. Integration of multiple distributed solar PV (DSP) into the grid: The case of the distribution network in Freetown, Sierra Leone. <https://doi.org/10.1016/j.solcom.2024.100075>

MEJÍA M., MACEDO L., MUÑOZ G., CONTRERAS J, PADILHA A., 2021. Medium-term planning of active distribution systems considering voltage-dependent loads, network reconfiguration, and CO2 emissions. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107541>

NGAMROO, Issarachai et al., 2023. Characteristic Evaluation of Wind Power Distributed Generation Sizing in Distribution System. *Sustainability*. Vol. 15, n.o 6, p. 5581. DOI 10.3390/su15065581.

NSAIF, Younis M. et al., 2021. Fault Detection and Protection Schemes for Distributed Generation Integrated to Distribution Network: Challenges and Suggestions. *IEEE Access*. Vol. 9, pp. 142693-142717. DOI 10.1109/ACCESS.2021.3121087.

NUNEZ, C. (21 de marzo de 2022). Explicación de qué son los combustibles fósiles. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/explicacion-que-son-combustibles-fosiles>

LI X., LI H., LI S., JIANG Z., MA X. Review on Reactive Power and Voltage Optimization of Active Distribution Network with Renewable Distributed Generation and Time-Varying Loads, *Mathematical Problems in Engineering*, 2021, 1196369, 18 pages, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/1196369>

LUYO, J. (21 de marzo de 2024). LA GENERACIÓN EÓLICA EN EL PERÚ: SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS. <https://www.csd-institute.org/Publish/Conferencia%20e%20C3%B3lica%20Per%20C3%BA%20-%20VME-21-03-2024.pdf>

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. (s.f.). Compendio de proyectos de centrales de generación de energía eléctrica no convencional con estudios de preoperatividad aprobados por el COES. <https://www.osinergmin.gob.pe/empresas/electricidad/proyectos/publicaciones>

ORTEGA-ROMERO, Isaac et al., 2023. Optimal Integration of Distributed Generation in Long Medium-Voltage Electrical Networks. *Energy Reports*. Vol. 10, pp. 2865-2879. DOI 10.1016/j.egy.2023.09.057.

TAMAYO, M., 2024. El proceso de la investigación científica. 4ª. ed. México.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (2024). Distributed Generation of electricity and its Environmental Impacts. <https://www.epa.gov/energy/distributed-generation-electricity-and-its-environmental-impacts>

VELASQUEZ, S. 2012. Generación Distribuida. Conceptos Generales y Desarrollo en Guatemala. [https://catalogobiblioteca.cnmc.es/ARTI/BRARTI100002595/BRARTI100002595\\_G1/07.generacion\\_conceptos\\_velasquez.PDF](https://catalogobiblioteca.cnmc.es/ARTI/BRARTI100002595/BRARTI100002595_G1/07.generacion_conceptos_velasquez.PDF)

WEN J., QU X., LIN S., DING L., JIANG L. Optimization Method of Active Distribution Network Considering Time Variations in Load and Renewable Distributed Generation, *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 2022, 5771094, 21 pages, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/5771094>

YOON, Sungwook, 2023. Willingness-to-Pay of Converting a Centralized Power Generation to a Distributed Power Generation: Estimating the Avoidance Benefits from Electric Power Transmission. *Sustainability*. Vol. 15, n.o 6, p. 4949. DOI 10.3390/su15064949.

## ANEXOS

### Anexo 1. Tabla de operacionalización de variables o tabla de categorización

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Impacto	El impacto se define como el resultado de los efectos de un proyecto; para determinar el impacto, se deben identificar objetivos operativos y modelos causales para relacionar el proyecto con los efectos de su implementación (ONU, 1984)	El impacto puede ser medido en distintas unidades de análisis o indicadores entre las cuales destacan: impacto técnico, impacto económico e impacto ambiental (Gertler et al. 2016).	Impacto Técnico	Perdidas de potencia	De razón
				Perfil de tensión	
			Impacto Económico	Inversión	
				Costo energético nivelado	
			Impacto Ambiental	Intensidad de carbono	
				Emisiones de CO <sub>2</sub>	

## Anexo 2. Instrumentos de recolección de datos

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
<p>Generación Distribuida Renovable</p>	<p>La GD renovable se define conceptualmente como la producción de energía eléctrica a mediana o pequeña escala, cerca de los puntos de consumo, utilizando fuentes de energía renovable que son sostenibles y no agotables a lo largo del tiempo (Velásquez, 2012).</p>	<p>La generación distribuida renovable se opera mediante la instalación y utilización de sistemas de generación de energía eléctrica que emplean fuentes renovables y están ubicados cerca de los puntos de consumo. En términos operacionales específicos a utilizar en el presente estudio tenemos a las turbinas eólicas (U.S. EPA, 2024).</p>	<p>Turbinas eólicas</p>	<p>Capacidad instalada</p> <hr/> <p>Factor de planta</p>	<p>De razón</p>

### Anexo 3. Fichas de validación de instrumentos para la recolección de datos

Flujo de Potencias MW				
		Misky Mayo	La Niña - Piura Oeste L-2241	Cementos Pacasmayo
16062024	MAX	14	125	30
	MIN	9	60	17
17062024	MAX	13	154	30
	MIN	10	49	16
18062024	MAX	14	178	19
	MIN	12	98	16
19062024	MAX	13	181	26
	MIN	11	92	13
20062024	MAX	14	183	29
	MIN	11	71	17
21062024	MAX	14	191	30
	MIN	11	91	18
22062024	MAX	14	192	29
	MIN	12	86	16
Promedio MAX		13.7	172.0	27.6
Promedio MIN		10.9	78.1	16.1
Promedio		<b>12.3</b>	<b>125.1</b>	<b>21.9</b>

Tipo de Central	Nombre	Potencia Instalada MW	# generadores	Generación Unitaria MW	Tensión de generación kV
Eólica	La Espinoza	474,6	113	4.2	0.72
Eólica	Vientos de Sechura	201,6	48	4.2	0.8
Eólica	Bayovar	250,8	38	6.6	0.69
Eólica	Emma	72	16	4.5	0.69
Eólica	Violeta Eólica	452	113	4	0.72

<b>Tipo de Central</b>	<b>Nombre</b>	<b>Transformadores</b>
Eólica	La Espinoza	3 TP de 190MVA 33/220kV c/u
Eólica	Vientos de Sechura	2 TP de 200MVA 33/220kV c/u
Eólica	Bayovar	2 TP de 145MVA 33/500kV c/u
Eólica	Emma	1 TP de 90MVA 34.5kV a 138kV
Eólica	Violeta Eólica	3 TP de 180MVA 33/220kV

<b>Tipo de Central</b>	<b>Nombre</b>	<b>Punto de Conexión</b>	<b>Tipo de cable OSINERGMIN</b>	<b>Distancia Km</b>
Eólica	La Espinoza	S.E. La Niña 220kV	ACAR 750 MCM	1.61
Eólica	Vientos de Sechura	S.E. La Niña 220kV	ACAR 1200 MCM	36
Eólica	Bayovar	S.E. La Niña 500kV	ACAR 750 MCM	45.2
Eólica	Emma	L-1137 La Niña - Bayovar 138kV	-	-
Eólica	Violeta Eólica	S.E. Piura Oeste 220kV	ACAR 600 MCM	42.5

<b>Tipo de Central</b>	<b>Nombre</b>	<b>Empresa</b>
Eólica	La Espinoza	Sechin Empresa De Generación Eléctrica S.A.
Eólica	Vientos de Sechura	Lader Energy Chile Spa
Eólica	Bayovar	Fenix Power Perú S.A.
Eólica	Emma	GR Bayovar S.A.C.
Eólica	Violeta Eólica	IGNIS Partners S.L.

## Anexo 4. Resultados software ETAP al 20%, 40% y 60% respectivamente.

Load Flow Analyzer

Study Reports

Ref	Select	Reports
1	<input checked="" type="checkbox"/>	test 1

Project Report

Active Project Projecto01

All Project in Active Directory

Report Type

General Info

Bus Results

Branch Results

Loads

Sources

Study ID	test 1
1	Study Case ID LF
2	
3	Data Revision Base
4	Configuration Normal
5	
6	Loading Cat Design
7	Generation Cat Design
8	Diversity Factor Normal Loading
9	
10	Buses 15
11	Branches 14
12	Generators 0
13	Power Grids 1
14	Loads 4
15	
16	Load-MW 167.209
17	Load-Mvar 0.0041
18	Generation-MW 188.335
19	Generation-Mvar -61.145
20	Loss-MW 1.126
21	Loss-Mvar -61.149
22	
23	Mismatch-MW 0
24	Mismatch-Mvar 0

Export... Help Close

Load Flow Analyzer

Study Reports

Ref	Select	Reports
1	<input checked="" type="checkbox"/>	test 1

Project Report

Active Project Projecto01

All Project in Active Directory

Report Type

General Info

Bus Results

Branch Results

Loads

Sources

Study ID	test 1
1	Study Case ID LF
2	
3	Data Revision Base
4	Configuration Normal
5	
6	Loading Cat Design
7	Generation Cat Design
8	Diversity Factor Normal Loading
9	
10	Buses 15
11	Branches 14
12	Generators 0
13	Power Grids 1
14	Loads 4
15	
16	Load-MW 165.822
17	Load-Mvar 0.004
18	Generation-MW 168.879
19	Generation-Mvar -19.085
20	Loss-MW 3.057
21	Loss-Mvar -19.089
22	
23	Mismatch-MW 0
24	Mismatch-Mvar 0

Export... Help Close

Load Flow Analyzer

Study Reports

Ref	Select	Reports
1	<input checked="" type="checkbox"/>	test 1

Project Report

Active Project Projecto01

All Project in Active Directory

Report Type

General Info

Bus Results

Branch Results

Loads

Sources

Study ID	test 1
1	Study Case ID LF
2	
3	Data Revision Base
4	Configuration Normal
5	
6	Loading Cat Design
7	Generation Cat Design
8	Diversity Factor Normal Loading
9	
10	Buses 15
11	Branches 14
12	Generators 0
13	Power Grids 1
14	Loads 4
15	
16	Load-MW 166.335
17	Load-Mvar 0.0039
18	Generation-MW 165.091
19	Generation-Mvar 90.093
20	Loss-MW 9.356
21	Loss-Mvar 50.089
22	
23	Mismatch-MW 0
24	Mismatch-Mvar 0

Export... Help Close

## Anexo 5. Información técnica extraída de Osinergmin, SPR y el COES

ELECTRICIDAD > PROYECTOS > PUBLICACIONES

Generación Transmisión Distribución y Comercialización Calidad del Servicio Eléctrico Proyectos de Inversión en el sector eléctrico Sistema de Recepción de las Empresas Eléctricas Resoluciones de la Gerencia de Fiscalización Eléctrica

Proyectos

- Generación
- Transmisión
- Publicaciones

**PUBLICACIONES**

- COMPENDIO DE PROYECTOS DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN ELÉCTRICA EN CONSTRUCCIÓN  
📄 Disponible en PDF  
Junio - 2024
- COMPENDIO DE PROYECTOS DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN ELÉCTRICA EN OPERACIÓN  
📄 Disponible en PDF  
Abril - 2024
- PROYECTOS DE CENTRALES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVABLES (RER)
- COMPENDIO DE PROYECTOS DE CENTRALES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA NO CONVENCIONAL CON ESTUDIOS DE PRE OPERATIVIDAD APROBADOS POR EL COES  
📄 Disponible en PDF  
Junio - 2024

Mostrar 100 registros

Tecnología	Nombre	Empresa	EPO	POC	Potencia (MW)	Inversión con RDV (MM USD)	Fuente del Monto de Inversión	Departamento	Estado
Edílica	C.E. Bayovar	Fénix Power Perú	Aprobado	2027	250.8	275.88	-	Piura	
Edílica	C.E. Bomberos	Compañía Eléctrica El Platanao S.A.			265.5			Piura	
Edílica	C.E. Cerro Chocan	Norwind S.A.C.	Aprobado	2024	422.4	506	OSINERGMIN	Piura	
Edílica	C.E. Costa Perú	Atlas - Energía Costa Perú S.A.C.			222			Piura	
Edílica	C.E. Emma	Gr Bayóvar S.A.C.	Aprobado	2025	72	116.059	OSINERGMIN	Piura	
Edílica	C.E. Huascar	Zeus Energía S.A.C.	Aprobado	2025	300	389.214	OSINERGMIN	Piura	
Edílica	C.E. La Espinoza	Sowtec Energías Renovables Del Perú S.A.	Aprobado	2024	474.6	558.78	OSINERGMIN	Piura	
Edílica	C.E. Piletas	Fénix Power Perú	Aprobado	2026	250	266	OSINERGMIN	Piura	
Edílica	C.E. Taita	Enel Generación Perú S.A.A.	En revisión	2026	61.6			Piura	
Edílica	C.E. Vientos de Negritos	Lader Energy Chile Spa	En revisión	2028	151.2			Piura	
Edílica	C.E. Vientos de Negritos II	Cordillera Solar I S.A.C	Aprobado	2024	190	180	OSINERGMIN	Piura	
Edílica	C.E. Vientos de Sechura	Lader Energy Chile Spa	En revisión	2028	201.6			Piura	
Edílica	C.E. Violeta	Ignis Partners S.L.	Aprobado	2026	452	540	OSINERGMIN	Piura	
Solar	C.S.F. Sol de Talara	Lader Energy Chile Spa	En revisión	2027	199.65			Piura	
Solar	C.S.F. Valladolid	Oryx Power S.L.	Aprobado	2025	400	240	-	Piura	

Mostrando 1 a 15 de 15 registros

Anterior 1 Siguiente

**SPR**  
Servicio Público de Regulación de Energía y Gas

**Contáctanos**  
 ✉ contacto@spr.pe  
 📍 Calle Santa Cruz 381 Piso 5, Miraflores - Lima - Perú  
 ☎ (01) 7026149

**Conéctate con nosotros**  
 📱 [Facebook](#) [Instagram](#) [LinkedIn](#)

Unifilar del SEIN

coes.org.pe/Portal/Operacion/CaractSEIN/DiagramaUnifilar#

Características del SEIN | Calendario COES | Intranet | Extranet

COES

- Base de Datos
- Equipamiento
- Ficha Técnica
- Mapa del SEIN
- Diagrama Unifilar**

### Diagrama Unifilar

Visualización:   Nombre:

Descargar:

Diagrama Unifilar

2011	2012	2013
2014	2015	2016
2017	2018	2019
2020	2021	2022
2023		2024

Informe Diario del Coordinador

coes.org.pe/Portal/PostOperacion/Reportes/Idcos#

Características del SEIN | Calendario COES | Intranet | Extranet

COES

- IDCOS**
- I EOD
- Máxima Demanda
- Reporte de Disponibilidad
- Reserva Compensable por RPF
- Horas de Operación y Números de Arranques Anuales
- Pruebas Aleatorias PR-25

### IDCOS

Visualización:   Nombre:

Descargar:

IDCOS, 2024, 06\_JUNIO, Día 16

	Nombre	Tamaño	Tipo de documento	Fecha de Publicación
<input type="checkbox"/>	Dom_1606.pdf	266.28 KB		
<input type="checkbox"/>	Anexo9_Hidrologia_Tiempo_real_20240616.xlsx	29.71 KB		
<input type="checkbox"/>	Anexo8_Descarga_Loguras_20240616.xlsx	9.94 KB		
<input type="checkbox"/>	Anexo7_Disponibilidad_gas_20240616.xlsx	9.61 KB		
<input type="checkbox"/>	Anexo6_Vertimiento_20240616.xlsx	8.96 KB		
<input type="checkbox"/>	Anexo5_Restricciones_de_suministros_20240616.xlsx	28.97 KB		
<input type="checkbox"/>	Anexo4_Mantenimientos_Ejecutados_20240616.xlsx	22.84 KB		
<input type="checkbox"/>	Anexo3_Horas_de_Operacion_20240616.xlsx	21.98 KB		
<input type="checkbox"/>	Anexo2_Resumen_operacion_20240616.xlsx	544.89 KB		
<input type="checkbox"/>	Anexo11_Regulación_Secundaria_de_Frecuencia_20240616.xlsx	61.48 KB		
<input type="checkbox"/>	Anexo1_Restricciones_Operativas_20240616.xlsx	20.33 KB		

## Anexo 6. Reporte de similitud en software Turnitin

Resumen de coincidencias ×

# 13 %

< >

Se están viendo fuentes estándar

EN Ver fuentes en inglés

Coincidencias

1	<a href="#">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	2 %	>
2	<a href="#">fdocuments.ec</a> Fuente de Internet	1 %	>
3	<a href="#">evergen.energy</a> Fuente de Internet	1 %	>
4	<a href="#">danielmorochoruz.files...</a> Fuente de Internet	<1 %	>
5	Entregado a Aliat Unive... Trabajo del estudiante	<1 %	>
6	Entregado a Universida... Trabajo del estudiante	<1 %	>
7	<a href="#">www.univision.com</a> Fuente de Internet	<1 %	>
8	Entregado a Universida... Trabajo del estudiante	<1 %	>
9	<a href="#">es.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %	>
10	Entregado a Corporaci... Trabajo del estudiante	<1 %	>
11	<a href="#">www.cepco.es</a> Fuente de Internet	<1 %	>