

**ESCENARIO DE DESCARBONIZACIÓN Y SU POSIBLE FACTIBILIDAD
INTEGRANDO GENERACIÓN RENOVABLE AL SISTEMA NACIONAL
INTERCONECTADO**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de: INGENIERO
ELÉCTRICO**

**TEMA:
ESCENARIO DE DESCARBONIZACIÓN Y SU POSIBLE FACTIBILIDAD
INTEGRANDO GENERACIÓN RENOVABLE AL SISTEMA NACIONAL
INTERCONECTADO**

**AUTOR:
KEVIN FABRICIO NACIMBA ANASI**

**TUTOR:
CRISTIAN CRISTÓBAL CUJI CUJI**

Quito, febrero del 2022

Kevin Fabricio Nacimba Anasi

ESCENARIO DE DESCARBONIZACIÓN Y SU POSIBLE FACTIBILIDAD INTEGRANDO GENERACIÓN RENOVABLE AL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2022

Ingeniería Eléctrica

Breve reseña histórica e información de contacto.

Kevin Fabricio Nacimba Anasi (Y'1997 – M'03). Realizó sus estudios secundarios en el colegio municipal Julio E. Moreno, se graduó de Bachillerato General Unificado. Egresado de la Carrera de Electricidad de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en un escenario de descarbonización y una posible factibilidad de integrar generación renovable al sistema nacional interconectado, con la finalidad de reducir las emisiones de CO₂ de una Central Térmica.



knacimbaa@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Cristian Cristóbal Cuji Cuji (Y'1989-M'03). Se graduó de Ingeniero Electrónico de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador en 2014 y Master en Energía, Facultad de Ciencias Físicas en la Universidad Complutense de Madrid – España en 2015. Actualmente es profesor e investigador en la Universidad Politécnica Salesiana – Quito Ecuador. Miembro del Grupo de Investigación Girei (Grupo de Investigación en Redes Eléctricas Inteligentes – Smart Grid Research Group).

ccuji@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados:

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2022 Universidad Politécnica Salesiana

QUITO - ECUADOR

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación ESCENARIO DE DESCARBONIZACIÓN Y SU POSIBLE FACTIBILIDAD INTEGRANDO GENERACIÓN RENOVABLE AL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO, realizado por Kevin Fabricio Nacimba Anasi, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, febrero del 2022



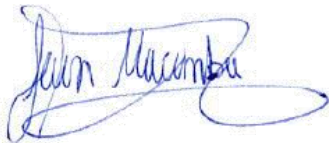
Cristian Cristóbal Cuji Cuji

Cédula de identidad: 1718002221

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo Kevin Fabricio Nacimba Anasi, con documento de identificación N° 1723343024, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado/titulación intitulado: ESCENARIO DE DESCARBONIZACIÓN Y SU POSIBLE FACTIBILIDAD INTEGRANDO GENERACIÓN RENOVABLE AL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERO ELÉCTRICO, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Nombre: Kevin Fabricio Nacimba Anasi

Cédula: 1723343024

Fecha: Febrero 2022

1. INDICE GENERAL

1.	Introducción	2
2.	Marco teórico	2
2.1	Descarbonización	3
2.2	Consideraciones de una central térmica	3
2.3	Consideraciones de una central renovable	3
2.3.1	Energías renovables.....	4
2.3.2	Energía solar fotovoltaica.....	4
2.4	Escenario actual – caso central Pedernales	4
2.5	Demanda y despacho de energía	5
2.6	Caracterización del proceso de descarbonización	5
2.6.1	Factor de emisión de CO2.....	5
2.6.2	Huella de carbono.....	6
2.7	Normativas para determinar la huella de carbono.....	6
2.7.1	ISO 14064:2006	6
2.7.2	PAS 2050.....	7
2.7.3	PCG Potencial de calentamiento global	7
2.8	Evaluación de recurso primario.....	7
2.8.1	Armstrong-Prescott.....	7
2.8.2	Regresión lineal.....	8
2.9	Sistemas de alta eficiencia.....	8
3.	Desarrollo y caracterización del escenario de descarbonización	9
3.1	Evaluación del recurso solar con el algoritmo Armstrong-Prescott.....	9
3.1.1	Regresión lineal.....	9
3.1.2	Radiación global calculada con Armstrong-Prescott	10
3.2	Cálculo de Energía demandada	10
3.3	Diseño de una central fotovoltaica	12
3.3.1	Cálculo del número de paneles.....	12
3.3.2	Cálculo de baterías, inversor y transformador	14
3.3.3	Estimación de la huella de carbono.....	16
3.4	Simulación de la incorporación de una nueva central a la red	16
3.4.1	Modelamiento Propuesto de la central fotovoltaica	17

3.4.2	Estimación de la reducción de CO2	17
4.	Análisis de resultados	18
4.1	Características de demanda/potencia	18
4.2	Cuantificación de CO2	19
4.3	Resultados que se esperan de un proceso de descarbonización	19
5.	Conclusiones	21
6.	Referencias	22
6.1	Estado del arte	26

2. INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Central térmica Pedernales	4
Figura 2. Detalle de la demanda mensual de energía que presenta el SNI 2018 [15].....	5
Figura 3. Regresión lineal por mínimos cuadrados.....	9
Figura 4. Grafica comparativa de irradiación para el sector Pedernales, datos tomados de la tabla 5 y varias bases de datos (NASA y NREI).	10
Figura 5. Curva de potencia demandada en las horas pico, datos de despacho tomados de la base de datos de TRANSELECTRIC.	11
Figura 6. Energía producida y despachada, datos generados en la simulación del software PVsyst.	14
Figura 7. Energía del sistema.	14
Figura 8. Simulación de generación por parte de los paneles.....	14
Figura 9. Simulación del sistema de almacenamiento en el software ETAP.....	15
Figura 10. Datos de la huella de carbono de la central térmica Pedernales, datos calculados a partir de los datos emitidos en la página web de CENACE.	16
Figura 11. Simulación Etap con una unidad térmica e ingresando una unidad fotovoltaica	17
Figura 12. Flujograma representativo de la investigación.	18

3. INDICE DE TABLAS

Tabla 1. datos técnicos de la central térmica pedernales	5
Tabla 2. Factor de emisión de CO ₂ por tipo de combustible usado en generación térmica.	6
Tabla 3. Potencial de calentamiento de varios gases.....	7
Tabla 4. Cálculo de parámetros H/H ₀ y n/N para conseguir una regresión lineal.	9
Tabla 5. Radiación global del caso de estudio C.T. Pedernales.	10
Tabla 6. Datos de despacho de potencia de la central térmica Pedernales	11
Tabla 7. Área real bajo la curva.....	12
Tabla 8. Características del panel solar	12
Tabla 9. Cantidad de paneles generados por el software PVsyst	12
Tabla 10. Datos de la configuración de paneles suministrada por PVsyst	13
Tabla 11. Subconjuntos de arreglos fotovoltaicos con iguales características en el software PVsyst	14
Tabla 12. Características de cada unida de batería elegido en el software ETAP	15
Tabla 13. Características del inversor usado en el software PVsyst.....	16
Tabla 14. Características del transformador	16
Tabla 15. Demanda de potencia en las horas pico.....	18
Tabla 16. Cantidades de CO ₂ producido en la generación térmica.....	19
Tabla 17. Detalles de emisión de CO ₂ con 1 unidad de generación térmica y 1 unidad de generación fotovoltaica.....	20
Tabla 18. Resumen de los resultados de la investigación.....	20

ESCENARIO DE DESCARBONIZACIÓN Y SU POSIBLE FACTIBILIDAD INTEGRANDO GENERACIÓN RENOVABLE AL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO

Resumen

En este documento se da a conocer resultados referentes a un escenario de descarbonización y una posible integración de generación renovable al Sistema Nacional Interconectado. Para ello, este trabajo presenta una simulación de una central fotovoltaica y su sistema de almacenamiento ayudados de software como: PVsyst y Etap. Para llevar a cabo este estudio se identifican la cantidad de irradiación que se presentan en el sector a través del algoritmo Armstrong-Prescott, después, se detalla el diseño fotovoltaico donde se da a conocer la cantidad de módulos a usar mediante software y ecuaciones, a continuación, se planteó un arreglo de baterías para almacenar la energía producida por los módulos fotovoltaicos acción que se lleva a cabo mediante una simulación en el software Etap. Finalmente, se realiza una simulación con la sección de almacenamiento, despacho y conexión a la red, para así terminar con el cálculo de CO_2 o huella de carbono. Al concluir este trabajo se muestran los resultados esperados, sobre un escenario de descarbonización donde ha disminuido la cantidad de CO_2 emitido a la atmósfera, minimizando así el calentamiento global.

Palabras Claves: Descarbonización, Dióxido de carbono, Demanda, Térmica, Fotovoltaica, Emisión, Demanda, Despacho, huella de carbono.

Abstract

This document discloses results regarding a decarbonization scenario and a possible integration of renewable generation into the National Interconnected System. For this, this work presents a simulation of a photovoltaic plant and its storage system, aided by software such as: PVsyst and Etap. To carry out this study, the amount of irradiation that occurs in the sector is identified through the Armstrong-Prescott algorithm, then the photovoltaic design is detailed where the number of modules to be used is disclosed through software and equations, to Next, an arrangement of batteries was proposed to store the energy produced by the photovoltaic modules, an action that is carried out by means of a simulation in the Etap software. Finally, a simulation is carried out with the storage, dispatch and connection to the network section, in order to finish with the calculation of CO_2 or carbon footprint. At the conclusion of this work, the expected results are shown, on a decarbonization scenario where the amount of CO_2 emitted into the atmosphere has decreased, thus minimizing global warming.

Keywords: Decarbonization, Carbon dioxide, Demand, Thermal, Photovoltaic, Emission, Demand, Dispatch, carbon footprint.

1. Introducción

El alto consumo de combustibles fósiles para poder sustentar la demanda de energía por parte de los usuarios ha provocado una alta emisión de gases de efecto invernadero (GEI), que ha conllevado a un calentamiento global acelerado lo que incide directamente en el cambio climático [1].

Este tipo de afectaciones a puesto a la humanidad a investigar con prontitud diferentes alternativas para lograr frenar significativamente el consumo de estos combustibles para el suministro energético.

En el año de 1992 en la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático estableció la necesidad urgente de disminuir la emisión de (GEI) a la atmósfera, junto con esto firman el acuerdo de Kioto en el año 1997, el cual ha cambiado a un acuerdo de París en 2015, en donde se incentiva a contribuir con una reducción paulatina de emisiones de gases contaminantes [2]-[3].

En Ecuador uno de los sectores que produce altas cantidades de gases contaminantes es el sector Eléctrico, ya que para su generación usa centrales de generación térmica, donde su principal funcionamiento se basa en el consumo de combustibles fósiles [4], y se ponen en funcionamiento cuando existen picos altos de demanda, ya que las demás fuentes de generación no logran cubrir el pico de potencia que demandan los usuarios.

Para poder resolver esta problemática el presente trabajo propone una visión general sobre ciertas posibilidades existentes para lograr una descarbonización en el sistema de

generación del Sistema Nacional de Electricidad del Ecuador y junto con esto describir los análisis pertinentes según las aplicaciones realizadas para lograr una solución efectiva a largo plazo.

2. Marco teórico

El aumento constante de la demanda del sector eléctrico y sus constantes picos reflejados en la curva de demanda del sistema eléctrico debe ser cubierto por centrales de generación convencionales y no convencionales, mismos que forman parte del Sistema Nacional Interconectado – (SNI). Esto ha provocado que los niveles de CO₂ incrementen, esto debido al uso constante que se da a la producción de energía con grupos electrógenos que consumen gran cantidad de combustibles fósiles, para así Cubrir los picos que demandan los usuarios, mismos que incrementan el uso de centrales de generación térmica para lograr solventarlos de manera gradual, esto de acuerdo con los datos emitidos por CENACE.

Ante las altas cantidades de emisión de CO₂ por parte de los grupos electrógenos y tomando en cuenta los altos índices de contaminación existentes en el mundo, es imprescindible la búsqueda de soluciones que ayuden a mitigar la emisión de gases de efecto invernadero y disminuir de forma paulatina y controlada el uso de generación térmica, uno de los procesos planteados es el uso de energías renovables que son amigables con el planeta y son viables para poder cubrir los requerimientos del sistema eléctrico ecuatoriano.

Para continuar con la investigación se plantea tomar los datos de la central

térmica Pedernales para plantear los diferentes escenarios de descarbonización y planificar la integración de una central de generación renovable.

2.1 Descarbonización

La descarbonización total de las actividades económicas es cada día más crucial, debido a que las consecuencias por el cambio climático son mucho más evidentes y el peligro de superar el umbral de los 2 grados de calentamiento es más inminente [5].

Si bien no existe soluciones drásticas e infalibles para lograr una reducción mayor de las emisiones, existen varias actividades que poseen un alto grado de contribución con una economía asequible y con cero emisiones de gases contaminantes.

Las principales estrategias para alcanzar una descarbonización profunda a cero emisiones son muy conocidas, reducir la demanda que no mejora el bienestar, mejorar la eficiencia energética, descarbonizar los sectores energéticos y los insumos materiales, encaminar las reducciones de GEI mediante el uso de suelo y procesos técnicos de emisiones negativas [6].

Se prevé que con la incorporación de nuevas tecnologías se obtenga energía más limpia como, por ejemplo: solar fotovoltaica y eólica, y sea un gran aporte para lograr un escenario completo de descarbonización del sector eléctrico.

2.2 Consideraciones de una central térmica

Este tipo de unidades de generación son utilizadas en su mayoría para satisfacer la demanda provocada por los usuarios en horas pico, también en el caso de que las

principales centrales salgan de operación o no puedan satisfacer los requerimientos debido a un estiaje. Por lo tanto, estas se han vuelto parte fundamental del sistema eléctrico, ya que permiten una mayor confiabilidad al momento de entregar energía [7].

Se define una central térmica como un conjunto de equipos que permiten producir energía eléctrica mediante procesos de combustión a partir de algún combustible como el carbón, fuel oil o gas, el cual se ingresa en una caldera que es diseñada propiamente para esta aplicación. El principio de funcionamiento de las distintas centrales termoeléctricas es similar, las diferencias que se pueden encontrar son: el distinto tratamiento del combustible antes de ingresar a su caldero y sus quemadores que pueden variar según el combustible empleado [7].

2.3 Consideraciones de una central renovable

Las energías renovables han progresado considerablemente en los últimos años, llegando a tener una gran importancia para cubrir la demanda de los consumidores, tanto así que se especula con grandes posibilidades de que se convierta en uno de los principales recursos primarios de energía, esto, debido a que son muy poco contaminantes y son capaces de lograr grandes cambios en el sector económico, social y ambiental [8]-[9]-[10].

Si bien los costos de generación no son aún competitivos frente a los combustibles fósiles, si se puede evidenciar una disminución considerable, esto gracias a los grandes avances tecnológicos y a los cambios económicos que invierten cada día más

en nuevas fuentes de generación que mitiguen la emisión de gases de efecto invernadero [8].

Las tecnologías para la producción de electricidad a partir de energía renovable permiten realizar una evaluación para poder alcanzar una máxima producción.

2.3.1 Energías renovables

En la actualidad se presentan diversas formas de generar energía limpia y sostenible que logran minimizar de una manera paulatina la contaminación emitida por fuentes de energía no renovable, estas energías limpias se presentan por la irradiación del sol y la velocidad del viento.

Conociendo las características de la región y las condiciones climáticas en las cuales es viable la generación de energía renovable, se opta por la energía solar fotovoltaica la cual se puede adaptar a un espacio de terreno más reducido que una central eólica y se puede establecer una generación con niveles bajos de irradiación, lo que no pasa con la energía eólica que necesita de una velocidad mínima para llevar a cabo su funcionamiento [11].

2.3.2 Energía solar fotovoltaica

Esta es una tecnología que permite generar corriente continua a través de semiconductores cuando son iluminados por un haz de fotones, mientras que la luz índice sobre una célula solar, permitiendo así generar potencia eléctrica medida en vatios, una vez que la luz solar desaparezca estos sistemas dejarán de producir electricidad [12]. Este tipo de sistemas tienen una gran ventaja y es que pueden funcionar por un largo tiempo siempre y cuando se dé un correcto mantenimiento [13].

A pesar de que el tiempo de vida de una central fotovoltaica es de 20 a 25 años se opta por este sistema debido a que genera energía limpia y permite que se lleve a cabo un escenario de descarbonización.

2.4 Escenario actual – caso central Pedernales

Esta central que forma parte de Sistema Nacional Interconectado se encuentra ubicada en Ecuador, provincia de Manabí, al norte del cantón Pedernales, en un terreno de $2066 m^2$. Esta central inicia operaciones en el año 2009 teniendo influencia sobre los sectores 24 de mayo y 25 de diciembre del mismo cantón, además se encuentra conectada al sistema de distribución de CNEL Santo Domingo.



Figura 1. Central térmica Pedernales

A continuación, en la tabla 1 se presenta los principales componentes que son parte de esta central térmica en estudio como: la tecnología usada para la generación, tipo de combustible que consume, cantidad de unidades de generación, la potencia nominal y efectiva de cada unidad de dicha central además el año en que inició sus operaciones.

Tabla 1. datos técnicos de la central térmica pedernales

CENTRAL TÉRMICA PEDERNALES	
Central Eléctrica	C.T. Pedernales
Tecnología	Térmica combustión interna (MCI)
Tipo de Combustibles	Diésel
N° unidades	2 General Motors
Potencia C.U. (MW)	2,5 MW
Potencia nominal (MW)	5 MW
Potencia efectiva (MW)	4 MW
Inicio de Operación	2009

Adicional, a las características mostradas se puede destacar que se encuentra conectada a CNEL Santo Domingo, a través de un transformador elevador de 4,16 Kv a 34,5Kv.

De acuerdo con el uso y requerimiento de este tipo de centrales se puede cuantificar la cantidad de gases contaminantes que emiten, produciendo así daños en el medio ambiente y contribuyendo cambio climático.

2.5 Demanda y despacho de energía

En la actualidad el parque generador del SNI despacha energía eléctrica de fuentes renovables y no renovables, en el periodo 1999-2005 la tasa de crecimiento efectiva de centrales de energía renovable fue de prácticamente nula, y tan solo en el periodo de 2006-2011 tuvo un crecimiento del 4,6%. Al contrario de las fuentes de energía no renovables en este caso centrales de turbo-gas en los años 2008-2009 tubo incremento de 16% esto debido a la falta de inversión de las autoridades [14]. Respecto a la demanda en el último periodo entre 2009-2018 se ha obtenido una tasa anual de crecimiento de 3,96%, esto significó un

crecimiento considerable, lo que ha implicado en trabajos cooperativos con los países vecinos [15].

Este incremento de la demanda incentiva a más investigaciones relacionadas a la generación de energía, debido a que se prevé el incremento de usuarios, por lo tanto, se necesita cubrir sus demandas de una u otra manera y mucho mejor si se habla de energías renovables y limpias, en la figura 2 se puede observar la demanda de años pasados, así como su porcentaje de cambio, evidenciando que existe un ligero incremento de la demanda.

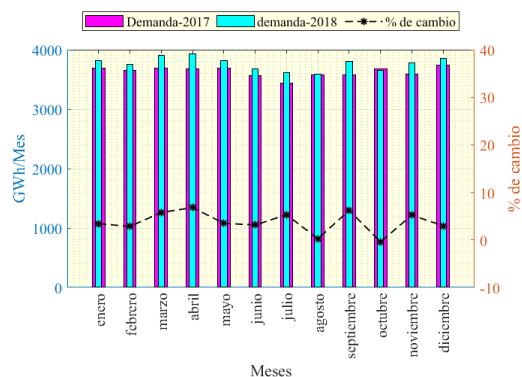


Figura 2. Detalle de la demanda mensual de energía que presenta el SNI 2018 [15].

2.6 Caracterización del proceso de descarbonización

Este proceso pretende cuantificar la cantidad de CO_2 que se emite por cada proceso que se lleva a cabo y en donde se puede evidenciar que se producen gases contaminantes que son emitidas directamente hacia la atmósfera.

2.6.1 Factor de emisión de CO_2

El ente encargado para el cálculo del factor de emisión en Ecuador es el Operador Nacional de Electricidad CENACE, desde el año 2010 ha recopilado información anual con la

finalidad de proveer una actualización del factor de emisión de CO₂, para guiar su cálculo se basa de una herramienta metodológica de la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (UNFCCC) usada principalmente para el sistema eléctrico [16].

El factor de emisión es considerado como la cantidad en toneladas de CO₂ que es desprendida hacia la atmósfera por cada unidad de MWh que se produce por el consumo de combustible fósil [17].

Tabla 2. Factor de emisión de CO₂ por tipo de combustible usado en generación térmica.

Combustible	FE (kg CO ₂ /TJ)	FE (t CO ₂ /TJ)
Fuel oil	75,500	75,50
Diésel	72,600	72,60
Gas Natural	54,300	54,30
Nafta	69,300	69,30
Residuo	73,300	73,30
Bunker	73,300	73,30

En la tabla 2 se presentan valores de factor de emisión de acuerdo con el tipo de combustible a utilizarse, también se puede usar para realizar el cálculo de la huella de carbono.

El factor de emisión el cual se considera para proyectos de generación renovable es el margen combinado (CM) para lo que se puede considerar los criterios de Ex Post y Ex Ante [16].

$$\text{Factor Ex Ante } EF_{grid,CM,2017-201} = 0.2449 \text{ tonCO}_2/\text{MWh} \quad (1)$$

$$\text{Factor Ex Post } EF_{grid,CM,2019} = 0.2255 \text{ tonCO}_2/\text{MWh} \quad (2)$$

2.6.2 Huella de carbono

La elaboración y fabricación de productos tiene consecuencia sobre el medio ambiente, ya que se producen gases de efecto invernadero, lo que ha provocado a lo largo del tiempo que se produzca un cambio climático drástico el cual en la actualidad se lo puede presenciar [18].

El resultado de la huella de carbono proporciona un resultado que es útil para realizar indicadores ambientales con relación a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) [19]. Esto contribuye y da el paso para revertir la emisión de grandes cantidades de gases contaminantes con diferentes recursos. Para el año 2014 se presentó una cantidad de 6103237,1 ton CO₂ [15]. Esto con referencia a las unidades de generación térmica las cuales usan diferentes tipos y cantidades de combustibles fósil. Y aun cuando la cifra no aparenta ser tan importante esta representa tan solo el 0.17% del contexto mundial.

2.7 Normativas para determinar la huella de carbono

Para determinar la cantidad de CO₂ producida por cierta actividad se toma en cuenta estas normativas, debido a que más adelante se pretende determinar la cantidad de dióxido de carbono se logra minimizar.

2.7.1 ISO 14064:2006

Esta norma se encuentra a disposición de cualquier organización, ya que se enfoca en la elaboración de un informe sobre los GEI (gases de efecto invernadero) que se encuentran produciendo, el informe debe detallar: generalidades, pertinencia, integridad, coherencia, exactitud y transparencia, los 3 tipos de emisiones

contaminantes que otorga la norma son [19]:

- Emisiones directas
- Emisiones indirectas por energía
- Otras emisiones indirectas.

Para el caso de la generación térmica se usará la Emisión Directa, puesto que son emisiones que son propiedad o pueden ser controladas por la organización, por ejemplo, si este producto se basa en la quema de combustibles fósiles.

2.7.2 PAS 2050

Este método fue elaborado en el 2008 por British Standard Institute (BSI) con apoyo de (Carbon Trust y DEFRA), el cual se encuentra dedicado al cálculo de emisiones de productos y servicios, que responde a normativas ISO y del GHG protocol. Esta proporciona a su vez un método para la evaluación de (GEI), con esto se evaluará el impacto del cambio climático [20]-[21].

$$HC = EP \times FE \times GWP \quad (3)$$

Donde:

HC: huella de carbono en (*Tn CO₂eq*).

EP: energía producida en (*MWh*).

FE: factor de emisión en (*Ton $\frac{CO_2}{MWh}$*).

GWP: factor de calentamiento global.

2.7.3 PCG Potencial de calentamiento global

El factor de potencial de calentamiento (PCG) es quien describe el impacto del (GEI) en un periodo de tiempo determinado y se determina como *CO₂* equivalente [21].

En la tabla 3 se presenta el potencial de calentamiento de varios gases, dentro de ellos el dióxido de carbono que presenta un valor de 1 que se toma para la evaluación de la huella de carbono.

Tabla 3. Potencial de calentamiento de varios gases.

Gases de efecto invernadero (GEI)	Potencial de calentamiento
Dióxido de carbono CO ₂	1
Metano	25
Hexafluoruro de Azufre	23900

2.8 Evaluación de recurso primario

Ante la insuficiencia de datos de irradiación solar que puedan ser lo suficientemente precisos y que logren satisfacer las condiciones estadísticas que permitan ser representativos en el tiempo y en el espacio, se tomaran diferentes opciones para estimarlos a partir de datos meteorológicos existentes en cada sector mediante una agrupación de correlaciones que se establecen estadísticamente [22].

2.8.1 Armtrung-Prescott

Este corresponde a uno de los modelos de estimación de radiación global diaria, el cual es considerado un método empírico mismo que permite realizar una regresión lineal a partir de los datos meteorológicos del sector. Datos que permiten calcular la irradiación solar y así conocer uno de los parámetros para el diseño de una central fotovoltaica [23].

$$\frac{H}{H_0} = a + b * \left(\frac{n}{N}\right) \quad (4)$$

Donde:

H : promedio mensual de la radiación global diaria $\text{Kwh. m}^{-2}. \text{dia}^{-1}$.

H_o : promedio mensual de la radiación extraterrestre diaria $\text{Kwh. m}^{-2}. \text{dia}^{-1}$.

n : promedio mensual de la cantidad de horas de brillo solar diario.

N : promedio mensual de la cantidad máxima de horas de posible sol diario.

a y b : constantes obtenidas en la regresión lineal.

2.8.2 Regresión lineal

Para obtener los parámetros a y b es necesario realizar una regresión lineal con los siguientes parámetros: radiación extraterrestre, fotoperiodo, ángulo de declinación y el ángulo de la hora al atardecer, lo que nos permitirá aplicar el algoritmo de Armstrong-Prescott para el cálculo de la radiación global diaria [24]-[25].

Para calcular la declinación del ángulo del sol se procesa a usar la siguiente ecuación:

$$\delta = 23.45^\circ * \sin \left[\frac{360 * (n - 80)}{365} \right] \quad (5)$$

Donde:

δ : ángulo de declinación.

n : día del año que comienza 1 de enero y termina el 31 de diciembre como el día 365.

Para obtener el ángulo del día al atardecer se usa la siguiente ecuación:

$$w_s = \cos^{-1}(-\tan\phi * \tan\delta) \quad (6)$$

Donde:

δ : ángulo de declinación.

ϕ : ángulo de la latitud.

w_s : ángulo de la hora al atardecer.

Para obtener el cálculo de la radiación extraterrestre es necesario hacer el uso de la siguiente ecuación:

$$H_o = 37.6(w_s * \sin\phi * \sin\delta + \cos\phi * \cos\delta) \quad (7)$$

Donde:

H_o : radiancia extraterrestre.

δ : ángulo de declinación.

ϕ : ángulo de latitud de la ubicación.

w_s : ángulo de la hora al atardecer.

Para continuar, es indispensable el cálculo del fotoperiodo para lo cual es necesario usar la siguiente formula:

$$N = \frac{2 * w_s}{15} \quad (8)$$

Donde:

N : fotoperiodo.

w_s : ángulo de la hora al atardecer.

2.9 Sistemas de alta eficiencia

El avance tecnológico y el aumento de la población, han hecho que se incremente de manera considerable el consumo eléctrico, los sistemas fotovoltaicos convencionales requieren grandes extensiones de terreno, además que su eficiencia es regular alrededor del 15% lo que ha llevado a estos sistemas a quedar en el pasado [26]-[27].

La industria misma por medio de investigaciones ha logrado un incremento de elevados precios y el uso de diferentes materiales para conseguir sistemas fotovoltaicos de alta eficiencia,

mismos que han logrado presentar una eficiencia de 35%, minimizando así las grandes cantidades de módulos necesarios para conseguir la producción de energía requerida.

Para este caso se optó por una forma de concentración llamado lente de Fresnel, mismo que se puede encontrar dentro de los paneles de alta eficiencia, estos dispositivos permiten incrementar la luz del sol sobre la superficie de la célula fotovoltaica con el propósito de mejorar la eficiencia del panel de esta manera reducir la cantidad de paneles para lograr la energía demandada [28]-[29]-[30].

3. Desarrollo y caracterización del escenario de descarbonización

En este apartado se mostrarán los resultados de una evaluación de recursos a partir de un algoritmo, junto con este se plantea un diseño fotovoltaico que permita cubrir las características de la central de generación térmica y así poder definir un escenario de descarbonización y contribuir con los convenios que plantean una reducción de gases de efecto invernadero (GEI) para minimizar el cambio climático.

3.1 Evaluación del recurso solar con el algoritmo Armstrong-Prescott

A continuación, se detalla en la tabla 4 los parámetros calculados para todos los meses de un año. Una vez establecidos los datos procedemos a calcular H/H_0 y n/N mismos que permitirán encontrar los parámetros a y b mediante una regresión lineal.

Tabla 4. Cálculo de parámetros H/H_0 y n/N para conseguir una regresión lineal.

Ws_rad	H0	N	H/H0	n/N
1,564	34,25	11,95	0,124	0,355
1,566	35,62	11,96	0,124	0,370
1,569	37,11	11,98	0,135	0,417
1,572	37,56	12,01	0,128	0,400
1,575	36,53	12,03	0,116	0,351
1,577	35,18	12,05	0,106	0,310
1,578	34,97	12,05	0,111	0,321
1,576	36,12	12,04	0,112	0,337
1,573	37,41	12,02	0,113	0,350
1,569	37,40	11,99	0,106	0,332
1,566	36,00	11,97	0,106	0,318
1,564	34,44	11,95	0,118	0,341

3.1.1 Regresión lineal

La regresión lineal permite ajustar un modelo de datos que en su naturaleza es lineal en coeficientes para el modelo, el tipo de regresión más común es conocido como un ajuste de mínimos cuadrados que permite ajustar líneas o polinomios.

En la figura 3 se puede observar cómo realizando una regresión lineal por mínimos cuadrados y determinando su ecuación de la línea de tendencia se puede conocer los parámetros a y b que son utilizados para resolver el algoritmo propuesto.

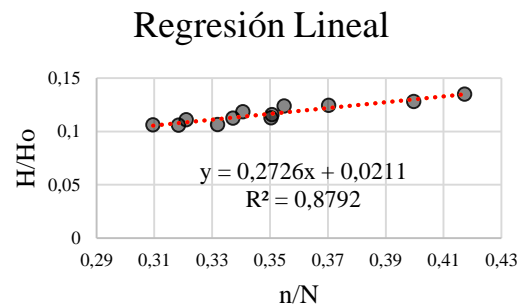


Figura 3. Regresión lineal por mínimos cuadrados.

3.1.2 Radiación global calculada con Armstrong-Prescott

Para plantear un caso de estudio es indispensable conocer la localidad, en la cual se va a evaluar el recurso, ya que como se mencionó anterior mente es necesario conocer su latitud. Para este apartado se usará el algoritmo de Armstrong Prescott el cual permite conocer la radiación global diaria en un valor mensual en unidades de $kWh\ m^2/día$ mostrados en la tabla 5 a partir de los coeficientes a y b obtenidos mediante el proceso de regresión lineal, la radiación extraterrestre, la cantidad de horas máximo de sol y la cantidad máximo de horas de brillo solar.

Tabla 5. Radiación global del caso de estudio C.T. Pedernales.

Radiación Global $kWh\ m^2/día$			
Meses	Armstrong Prescott	Base de datos NASA	Base de datos NREI
Enero	4,036452	4,24	4,36
Febrero	4,348007	4,43	4,56
Marzo	5,003544	5,00	4,89
Abril	4,884436	4,80	5,34
Mayo	4,262864	4,22	4,55
Junio	3,710399	3,73	4,32
Julio	3,798725	3,87	4,14
Agosto	4,082130	4,06	4,52
Septiembre	4,362287	4,21	4,69
Octubre	4,172993	3,98	4,71
Noviembre	3,884174	3,81	4,43
Diciembre	3,924183	4,07	4,41

Adicional, se muestra en la figura 4 una gráfica en la cual se puede conocer el comportamiento de la irradiación global a lo largo del año, en este caso se evaluaron bases de datos de la NASA y NREI con la que se puede corroborar que el algoritmo Armstrong Prescott facilita conocer de una manera confiable los datos a partir de diferentes parámetros, además que se logra corroborar una

similitud en los datos, esto aumenta la confiabilidad de los datos tomados y almacenados por la NASA.

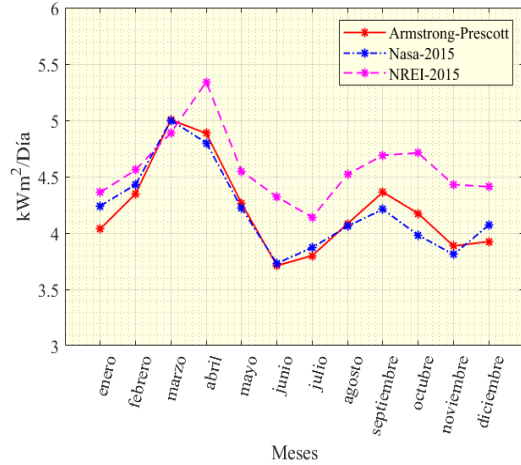


Figura 4. Gráfica comparativa de irradiación para el sector Pedernales, datos tomados de la tabla 5 y varias bases de datos (NASA y NREI).

3.2 Cálculo de Energía demandada

Este análisis se realiza a partir de los datos de conocimiento público presentado por la unidad de negocios de TRANSELECTRIC, en donde se pueden conocer los datos de despacho de la central térmica PEDERNALES, para este caso de estudio se usarán datos recientes con fechas del año en curso, cabe aclarar que en estos datos también se puede considerar el aporte de otras centrales de generación, por lo tanto únicamente se tomará en cuenta los datos de 18:00 a 22:00 que son consideradas horas pico de demanda, donde entra en funcionamiento la central mencionada.

A continuación, en la tabla 6 se presentan los tres datos de potencia que se tomaron en el momento del despacho de la central Pedernales de fechas diferentes con el fin de evaluar los cambios que se presentan.

Tabla 6. Datos de despacho de potencia de la central térmica Pedernales

Potencia Despachada Subestación pedernales			
HORA	28/11/2021 POTENCIA P	2/12/2021 POTENCIA P	7/12/2021 POTENCIA P
0:00	11,40	11,57	12,31
1:00	10,96	11,24	11,87
2:00	10,67	11,01	11,34
3:00	10,29	10,88	11,29
4:00	9,75	10,79	11,05
5:00	9,85	10,60	10,82
6:00	9,79	10,61	10,98
7:00	0,00	9,63	9,86
8:00	0,00	10,20	10,50
9:00	0,00	11,17	11,53
10:00	0,00	11,73	11,97
11:00	0,00	12,03	12,18
12:00	0,00	12,35	12,46
13:00	0,00	12,23	12,08
14:00	0,00	12,42	12,17
15:00	9,16	12,04	12,08
16:00	9,90	11,70	11,97
17:00	10,23	12,06	12,12
18:00	11,27	12,65	12,32
19:00	13,70	14,86	14,96
20:00	13,63	14,42	14,53
21:00	13,10	13,86	13,77
22:00	12,53	12,87	12,99
23:00	11,74	12,07	12,52

Con estos datos se puede determinar la curva para poder realizar el análisis y determinar la energía necesaria para el dimensionamiento de la central fotovoltaica, tomando en cuenta estos datos son de potencia vs tiempo, se procede a calcular el área bajo la curva para determinar la energía que se debe cubrir durante el tiempo que serían las 4 horas pico.

Para esta ocasión se usarán datos de la curva más pronunciada previendo así una cantidad que sobre pase el pico más alto detectado.

Tomando en cuenta que para el pico de la demanda se usará los datos emitidos cada 10 minutos durante las horas pico.

En la figura 5 se observa el prominente pico de despacho, que a su vez se toma como pico de demanda, debido a que es la cantidad de potencia que genera la central térmica para cubrir este pico.

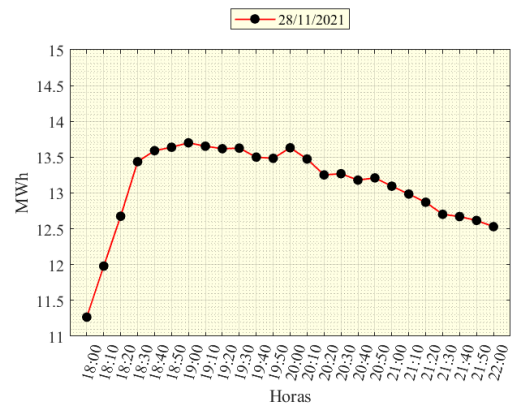


Figura 5. Curva de potencia demandada en las horas pico, datos de despacho tomados de la base de datos de TRANSELECTRIC.

Para hallar el área bajo la curva se debe tomar en cuenta que existe generación proveniente de otras fuentes que cubren aproximadamente 11.4MWh como se puede evidenciar en la figura 5, lo que indica que para el cálculo únicamente se tomarán datos a partir de ese punto, con este antecedente se realiza una línea de tendencia polinomial que arroja como resultado la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 &0.000001x^6 - 0.0001x^5 \\
 &\quad + 0.0029x^4 \\
 &\quad - 0.0371x^3 \\
 &\quad + 0.1658x^2 \\
 &\quad + 0.336x \\
 &\quad + 11.651 \qquad (9)
 \end{aligned}$$

Utilizado el software Matlab se puede conocer que el área bajo la curva tiene un valor de 58,68MWh, a lo que se procede hacer una resta del área rectangular de la parte inferior ya que la misma hace referencia a la energía entregada por otro tipo de centrales generadoras.

Para lo consiguiente, se resta el área rectangular del polinomio y en la tabla 6 se observa la energía real que es el objetivo para el diseño.

Tabla 7. Área real bajo la curva

ÁREA BAJO LA CURVA	
	Cantidad
Área del polinomio	58,68
Área rectangular	49,28
Área real	9,4 \approx 10 MWh

Como resultado entonces se conoce que el diseño fotovoltaico debe cubrir una demanda de 10MWh en las horas pico para poder reemplazar una central térmica y logra apagar un generador de la central térmica Pedernales.

3.3 Diseño de una central fotovoltaica

Una vez conocida la cantidad de energía que se debe suministrar se procede con el diseño de una central fotovoltaica, que en este caso ira conectado a SNI a través de baterías que tendrán la capacidad de almacenar tal cantidad de energía para así lograr reemplazar una unidad de generación de la central térmica Pedernales. Además, se pone en conocimiento que para este diseño se dimensionará tan solo 1MW.

A continuación, en la tabla 8 se detalla las características del panel solar que se ha determinado para el diseño.

Tabla 8. Características del panel solar

Panel Solar 500W AmsoSolar		
Potencia Máxima Nominal	500	W
voltaje a circuito abierto	62,8	V
voltaje de potencia máximo	51,20	V
corriente de corto circuito	10,080	A
Corriente de potencia máxima	9,766	A
eficiencia	19,62	%
tolerancia	0-+3	W

Para este modelo se trabajará con el Software PVsyst, este permite realizar el diseño para una potencia de 1MW a partir de los parámetros determinados por el panel solar.

En la tabla 9 se tiene los resultados de simulación por parte de PVsyst en cual se puede optar por un pre dimensionamiento función misma del software, que podría facilitar el diseño tan solo conociendo un área o una potencia pico.

Tabla 9. Cantidad de paneles generados por el software PVsyst

Subconjunto y ayuda de pre. Dimensionamiento	
Nombre	Conjunto FV
Oriente	Plano inclinado fijo
Inclinación	10°
Azimut	0°
Potencia planeada	1000kWp
Área disponible	5130 m2
Módulos necesarios aprox.	2002

A continuación, se realiza un cálculo mediante fórmulas, para corroborar los datos proporcionados por el software.

3.3.1 Cálculo del número de paneles

Una vez conocida la potencia que se genera para cargar las baterías que irán conectadas al sistema para solventar la energía requerida se procede a conocer la cantidad de módulos necesarios.

$$N^{\circ} \text{Paneles} = \frac{P_{gen}(W)}{P_{panel}(W)} \quad (10)$$

$$N^{\circ} \text{Paneles} = \frac{1MW}{500W} = 2000 \quad (11)$$

En donde:

$N^{\circ} \text{Paneles}$: número de paneles.

$P_{gen}(w)$: potencia de generación.

$P_{panel}(W)$: Potencia nominal del panel.

A continuación, se procede a calcular el número de paneles en serie y en paralelo tomando en cuenta que se usa un inversor con una tensión nominal de 700V.

$$\begin{aligned} N^{\circ} \text{ de paneles en serie} \\ = \frac{V_{nom \text{ sist}}}{V_{nom \text{ p}}} \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} N^{\circ} \text{ de paneles en serie} \\ = \frac{700 \text{ V}}{51,2} \\ = 13.6 \approx 14 \end{aligned} \quad (13)$$

Donde:

$V_{nom \text{ sist}}$: voltaje nominal del sistema.

$V_{nom \text{ p}}$: voltaje nominal del panel.

Para determinar el número de paneles en paralelo se usa la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} N^{\circ} \text{ de paneles en paralelo} \\ = \frac{NTP}{NPS} \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} N^{\circ} \text{ de paneles en paralelo} \\ = \frac{2000}{14} \\ = 142,86 \approx 143 \end{aligned} \quad (15)$$

Donde:

NTP : número total de paneles.

NPS : número de paneles en serie.

Por lo tanto, el modelo fotovoltaico que permite obtener una energía de 1452 MWh/año es un total de 2002 paneles tomando en cuenta que sería necesario un arreglo de 14 paneles en serie y 143 cadenas.

Como este arreglo no logra cubrir la energía demandada se procede a replicar el mismo modelo 3 veces esto en el caso de que se necesite componentes que se pueden encontrar en el mercado, a continuación, se muestra datos obtenidos a través de la simulación.

Tabla 10. Datos de la configuración de paneles suministrada por PVsyst

Núm. De módulos y cadenas PVsyst	
Mód. En serie	14
Núm. De cadenas	143
Perdida sobrecarga	0,00%
Proporción Pnom	1
Número de módulos	2002 unidades
Área	5130 m ²

Una vez realizada la simulación tomando en cuenta que se debió replicar 3 veces, se establecen los resultados para así obtener la energía necesaria en un año tomando en cuenta que, para la carga de baterías se considera un valor sobredimensionado debido a la eficiencia que presentan los mismos, además se puede evidenciar en cada subconjunto el número de módulos, las cadenas que son necesarias y también el número de inversores que el caso de este sistema se usara 1 con características con las que se cuenta en el mercado.

Tabla 11. Subconjuntos de arreglos fotovoltaicos con iguales características en el software PVsyst

Subconjuntos PVsyst		
Nombre	#Mód #Inv.	#Cadena #MPPT
Subconjunto #1		
Amso Solar – M500 Wp 96 cells Bonfiglioli Vectron – RPS ND 05.	14	143
	1	1
Subconjunto #2		
Amso Solar – M500 Wp 96 cells Bonfiglioli Vectron – RPS ND 05.	14	143
	1	1
Subconjunto #3		
Amso Solar – M500 Wp 96 cells Bonfiglioli Vectron – RPS ND 05.	14	143
	1	1

A continuación, se aprecia en la figura 6 datos referentes a la energía suministrada por los paneles solares y también la energía que se despacharía por parte del sistema FT con sus respectivas configuraciones.

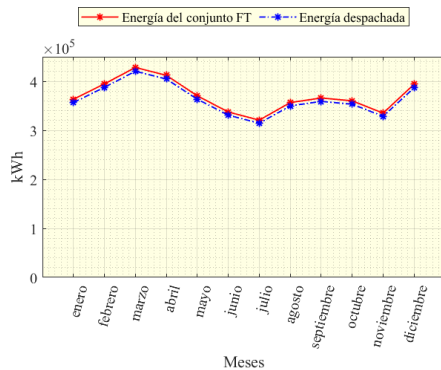


Figura 6. Energía producida y despachada, datos generados en la simulación del software PVsyst.

En la figura 7 se conoce que gracias a este diseño se pudo determinar que 4438687 KWh/año se está generando por el diseño, pero tan solo se está entregando o despachando 4355274KWh/año lo que da a conocer que tan solo en la generación ya existen pérdidas de 83413KWh/año.

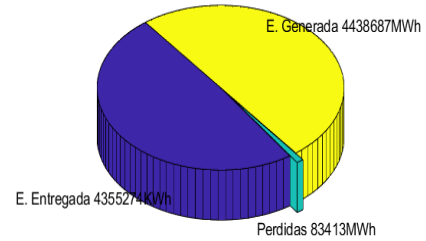


Figura 7. Energía del sistema.

Finalmente, para el apartado del diseño de paneles en la figura 8 se presenta una simulación en el software Etap, en el cual se muestra el arreglo ya de los paneles y la generación que proporciona demostrando en el sistema un ligero cambio, esto debido a que los datos de irradiación no son los mismos que en el software PVsyst y por las pérdidas generadas en los cables.

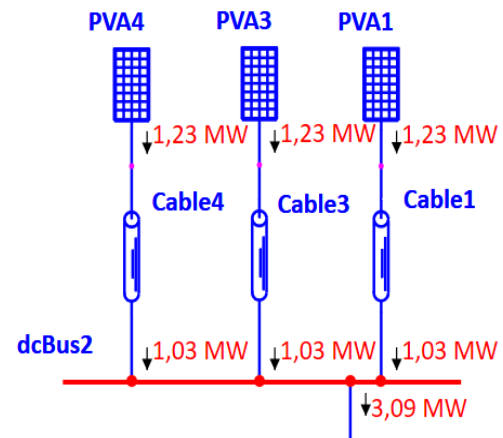


Figura 8. Simulación de generación por parte de los paneles.

3.3.2 Cálculo de baterías, inversor y transformador

En esta sección se busca un arreglo de baterías con el afán de poder almacenar la energía producida por los paneles fotovoltaicos, para lo cual se dimensionan a partir de las siguientes ecuaciones.

En primer lugar, se determina la capacidad del banco de baterías, para

hacerlo se toma en cuenta un sobre dimensionamiento ya que por la eficiencia de carga y descarga de las baterías se requiere almacenar un poco más de energía.

$$C_{nb} = \frac{E_{CT} * (D_{out} + 1)}{V_{nom} * P_{Dmax} * \eta D} \quad (16)$$

$$C_{nb} = \frac{12MWh * (1 + 1)}{700 * 0.75 * 0.75} = 6095.4 \approx 60952 \quad (17)$$

Donde:

C_{nb} : Capacidad nominal del banco de baterías en Ah/día.

E_{CT} : es el consumo de energía diario total de la carga.

D_{out} : refiere a los días de autonomía o de nula radiación.

P_{Dmax} : Profundidad máxima de descarga de la batería.

ηD : Eficiencia de la descarga de la batería.

V_{nom} : voltaje nominal del sistema.

Una vez conocida la capacidad que requiere el banco de baterías se procede a determinar la cantidad de paneles solares requeridos, para esto se usará el software Etap donde se pudo establecer que para tal cantidad de energía que son 12MWh se requiere un arreglo de 17 strings de acuerdo con las características que tiene cada unidad.

Tabla 12. Características de cada unida de batería elegido en el software ETAP

Características de la batería	
manufacture	EnerSys
model	GC-M
type	Time vs Amp
VPC	2,055
hour	8
Rp	0,001474
SG	1,215
temperature	25
plates	45
capacity	3550
1min Amp	3245
%K	922,3
SC Amp	29930

Luego de este paso se procede a realizar el arreglo en el mismo software tomando en cuenta que el valor del voltaje del sistema debe ser de 700V ya que se estimó el mismo para todo el diseño, además se podrá observar la capacidad de cada una de las baterías, puesto que para poder alcanzar tal almacenamiento se debió colocar más sistemas en paralelo para alcanzar la potencia nominal requerida.

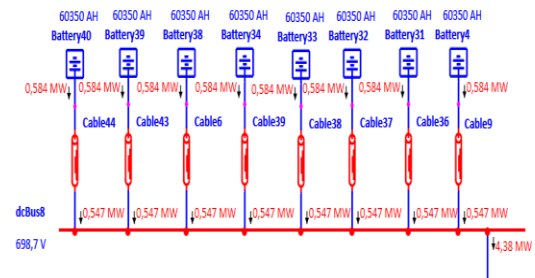


Figura 9. Simulación del sistema de almacenamiento en el software ETAP.

De la misma manera se dimensiono el inversor, ya que se requiere que presente el mismo voltaje del sistema que son 700V, además los parámetros para este componente se los dimensiono con los requerimientos que ya se necesita voltaje en AC, para la salida se requiere presentar una potencia nominal de 4MW y un voltaje de salida de 4,16KV que permitirá usar un transformador de 4,16KV a 34,5KV.

Tabla 13. Características del inversor usado en el software PVsyst.

INVERSOR		
Potencia Máxima Nominal	5	MW
DC_{IN}	700	V
AC_{OUT}	4,16	kV
Potencia reactiva out	4,5	A
eficiencia	90	%

Como ya se indicó se prevé usar un transformador con características mostradas en la tabla 14 similares a los existentes, por lo que simplemente se desconectaría los generadores que usan combustibles fósiles que son consideradas como no renovables para integrar a la red un sistema que es totalmente libre de contaminación y totalmente de energía renovables.

Tabla 14. Características del transformador

TRANSFORMADOR		
Potencia Máxima Nominal	5	MWA
voltaje Primario	4,16	kV
voltaje secundario	34,5	kV

3.3.3 Estimación de la huella de carbono

En esta investigación se busca un posible escenario de descarbonización tomando en cuenta datos históricos de la huella de

carbono calculados mediante la norma ISO 14064 y la norma PAS 2050, que parametriza una ecuación mediante la cual se evaluará los datos de energía despachada y producción de CO_2 .

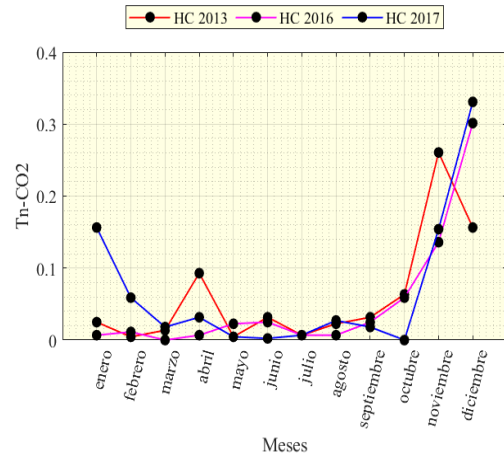


Figura 10. Datos de la huella de carbono de la central térmica Pedernales, datos calculados a partir de los datos emitidos en la página web de CENACE.

Como se puede apreciar en la figura 10 existe emisiones de CO_2 altas por parte de la central Pedernales, de tal manera se llevará a cabo los distintos escenarios de descarbonización tomando en cuenta que tan solo son 2 unidades y por ello se planea que en los 2 años subsiguientes se pueda realizar una descarbonización de la central Pedernales.

3.4 Simulación de la incorporación de una nueva central a la red

Para continuar, en la Figura 11 se presenta un modelo en el cual se saca de servicio una unidad de generación térmica y se reemplaza por una central fotovoltaica, cubriendo así la demanda de energía en las horas pico.

Tomando en cuenta todo el desarrollo que se llevó a cabo, esta simulación pretende mostrar una incorporación de

una central renovable al SNI potenciando así el uso progresivo de centrales que no emitan una contaminación como tal.

3.4.1 Modelamiento Propuesto de la central fotovoltaica

En esta sección se hace una descripción del modelo que se propone realizar tomando en cuenta el desarrollo de la investigación, como primer punto se determina un arreglo fotovoltaico con capacidad de cargar un arreglo de baterías de 8 unidades con capacidad de 60350 AH cada una, además que, provee una potencia aproximada de 4,38MW, sustentando así los requerimientos por parte del sistema. Para el segundo punto se adiciona un inversor con la capacidad nominal de 5MW, lo que ayuda a una correcta incorporación al transformador elevador que en su devanado secundario da como resultado una potencia nominal de 5MVA con un voltaje de 34,5kV.

3.4.2 Estimación de la reducción de CO₂

Mediante la Figura 11 se puede evidenciar como se planea realizar la sustitución de una central térmica por una renovable permitiendo así lograr una exitosa descarbonización tomando en cuenta que disminuye totalmente la cantidad de CO₂ producido por un Equipo electrógeno y que la nueva central es considerada amigable con el medio ambiente por no producir gases contaminantes en su generación, finalmente se prevé que se pueda reemplazar en su totalidad el segundo equipo y que esto permita a lo largo del tiempo una descarbonización total y no parcial.

Adicional a esto se menciona que por ser una central que cubre una potencia de

5MW considerada pequeña es posible apagar sus 2 unidades térmicas ya que no influye de una manera considerable la compensación que realiza como tal una central térmica de más capacidad como la central termo Esmeraldas que tiene una capacidad de 130MW.

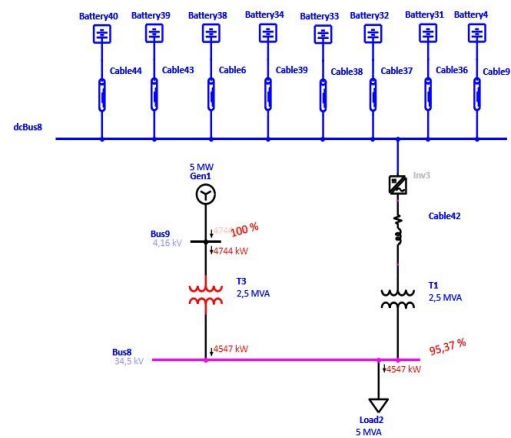


Figura 11. Simulación Etap con una unidad térmica e ingresando una unidad fotovoltaica

Para mostrar el desarrollo de toda esta investigación a continuación en la figura 12 se presenta un flujograma, el cual describe los procesos y actividades que fueron usados para poder llegar a un análisis de resultados con esto se pretende personalizar un esquema y un orden llevados a cabo para poder alcanzar todos los objetivos propuestos.

Se presenta un escenario de descarbonización derivado de la emisión de CO₂, para lo que se analiza las características tanto de una central térmica, una central fotovoltaica y una curva prominente de demanda, siguiendo el flujo se plantea la caracterización de una central fotovoltaica, adicional se prevé la integración de sistemas de alta eficiencia como un lente de fresnel, además analiza la evaluación del recurso energético a través de un algoritmo y una regresión lineal, para finalizar se muestra

las características de la central renovable con la cual se plantea la reducción de CO_2 lo que permite cumplir el objetivo de una descarbonización.

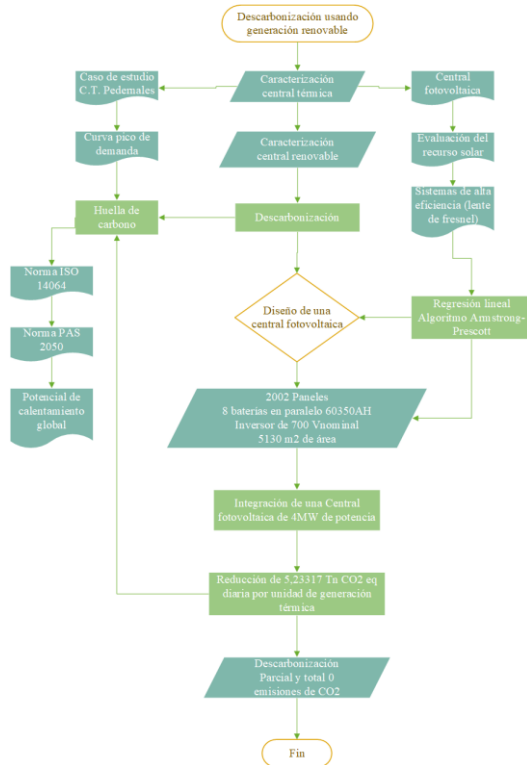


Figura 12. Flujograma representativo de la investigación.

4. Análisis de resultados

Como resultado principal se tiene que en 2 escenarios de descarbonización se puede lograr una reducción considerable de monóxido de carbono, lo que permitirá contribuir con el planeta reduciendo la velocidad acelerada con que se está llevando a cabo el cambio climático, a continuación, se detalla las reducciones de CO_2 .

4.1 Características de demanda/potencia

Como se puede analizar en la tabla 15 en los despachos de potencia por parte de la subestación Pedernales, se determina que durante el transcurso de un día tan solo

en las horas pico que es de 18:00 a 22:00 entra en funcionamiento la central térmica, también se puede determinar esa hipótesis ya que en ese lapsus de tiempo se observa una elevación en los valores de despacho.

Tabla 15. Demanda de potencia en las horas pico.

Potencia Despachada Subestación pedernales			
HORA	28/11/2021	2/12/2021	7/12/2021
	POTENCIA P	POTENCIA P	POTENCIA P
18:00	11,27	12,65	12,32
18:10	11,98	13,24	12,45
18:20	12,68	13,81	13,12
18:30	13,44	14,09	14,10
18:40	13,59	14,64	14,54
18:50	13,64	14,92	14,80
19:00	13,70	14,86	14,96
19:10	13,65	14,83	14,93
19:20	13,62	14,58	14,89
19:30	13,63	14,37	14,79
19:40	13,50	14,25	14,58
19:50	13,48	14,26	14,49
20:00	13,63	14,42	14,53
20:10	13,47	14,22	14,64
20:20	13,25	13,95	14,58
20:30	13,27	13,88	14,43
20:40	13,18	13,80	14,25
20:50	13,21	13,91	14,14
21:00	13,10	13,86	13,77
21:10	12,99	13,79	13,54
21:20	12,87	13,69	13,44
21:30	12,70	13,43	13,13
21:40	12,67	13,36	13,23
21:50	12,62	13,11	13,26
22:00	12,53	12,87	12,99

Se debe tomar en cuenta también que los valores de despacho por parte de la central térmica única mente se toman a partir de 11,27 MW ya que esta potencia esta suministrada por parte de las demás centrales de generación.

4.2 Cuantificación de CO2

Para determinar la cantidad de gases contaminantes por cada MW generado se plantea el cálculo por medio de la huella de carbono, mismo que se establece por medio de las normas ISO 14064 y PAS 5020, donde se plantea un factor de emisión considerado en el ciclo combinado de 0,2255 *Ton CO₂/MWh* y un potencial de calentamiento de 1, con el cual se cuantifica la cantidad de gases contaminantes que se emiten a la atmósfera.

En la tabla 16 se presenta las cantidades de *CO₂* que se emiten diariamente por la central térmica en donde se puede apreciar un valor alto al día tomando en cuenta las horas pico donde se presenta una generación.

Tabla 16. Cantidades de CO2 producido en la generación térmica

H.C. CENTRAL TÉRMICA PEDERNALES			
HC (TnCo2) 28/11/2021	HC (TnCo2) 02/12/2021	HC (TnCo2) 07/11/2021	Unidad
0,004	0,312	0,237	Tn CO2 eq
0,164	0,443	0,267	Tn CO2 eq
0,321	0,573	0,418	Tn CO2 eq
0,493	0,637	0,638	Tn CO2 eq
0,528	0,759	0,738	Tn CO2 eq
0,539	0,822	0,795	Tn CO2 eq

0,553	0,809	0,832	Tn CO2 eq
0,542	0,803	0,826	Tn CO2 eq
0,534	0,747	0,817	Tn CO2 eq
0,536	0,699	0,795	Tn CO2 eq
0,508	0,671	0,746	Tn CO2 eq
0,504	0,674	0,727	Tn CO2 eq
0,537	0,710	0,735	Tn CO2 eq
0,502	0,666	0,760	Tn CO2 eq
0,452	0,604	0,747	Tn CO2 eq
0,455	0,589	0,712	Tn CO2 eq
0,435	0,570	0,672	Tn CO2 eq
0,442	0,596	0,648	Tn CO2 eq
0,416	0,583	0,564	Tn CO2 eq
0,391	0,569	0,512	Tn CO2 eq
0,366	0,545	0,490	Tn CO2 eq
0,328	0,487	0,420	Tn CO2 eq
0,320	0,472	0,443	Tn CO2 eq
0,308	0,415	0,448	Tn CO2 eq
0,289	0,360	0,387	Tn CO2 eq
Año	Año	Año	Tn CO2 eq
3820,214	5518,075	5611,723	

4.3 Resultados que se esperan de un proceso de descarbonización

Como resultado principal se tiene que en 2 escenarios de descarbonización se puede lograr una reducción considerable de monóxido de carbono, lo que permitirá contribuir con el planeta reduciendo la velocidad acelerada con que se está llevando a cabo el cambio climático, a continuación, se detalla las reducciones de *CO₂*.

Finalmente, en la tabla 17 se comprueba la hipótesis de que si disminuimos paulatinamente una unidad de generación proporcionalmente se reduce las emisiones de dióxido de carbono debido a que se pone fuera de funcionamiento el equipo electrógeno.

Tabla 17. Detalles de emisión de CO2 con 1 unidad de generación térmica y 1 unidad de generación fotovoltaica

HUELLA DE CARBONO CENTRAL TÉRMICA PEDERNALES			
Nº de GEN. Térmico	Nº de GEN. Fotovoltaico	HC (TnCo2) 28/11/2021	Unidad
1	1	0,001879	Tn CO2 eq
1	1	0,082218	Tn CO2 eq
1	1	0,160669	Tn CO2 eq
1	1	0,246649	Tn CO2 eq
1	1	0,263981	Tn CO2 eq
1	1	0,269352	Tn CO2 eq
1	1	0,276356	Tn CO2 eq
1	1	0,271007	Tn CO2 eq
1	1	0,267033	Tn CO2 eq
1	1	0,267966	Tn CO2 eq
1	1	0,253793	Tn CO2 eq
1	1	0,251885	Tn CO2 eq
1	1	0,268487	Tn CO2 eq
1	1	0,250815	Tn CO2 eq
1	1	0,225803	Tn CO2 eq
1	1	0,227656	Tn CO2 eq
1	1	0,217640	Tn CO2 eq
1	1	0,221084	Tn CO2 eq
1	1	0,208039	Tn CO2 eq
1	1	0,195676	Tn CO2 eq
1	1	0,182765	Tn CO2 eq

1	1	0,163782	Tn CO2 eq
1	1	0,160191	Tn CO2 eq
1	1	0,154084	Tn CO2 eq
1	1	0,144358	Tn CO2 eq
Día		5,233170	Tn CO2 eq

Adicional se puede conocer que la central térmica únicamente cuenta con 2 unidades de generación por lo que si se procede a reemplazar el siguiente equipo se cumplirá el objetivo no solo parcial si no total de descarbonización tomando en cuenta que, al apagarse totalmente dejaría de emitir gases contaminantes, reduciendo así totalmente las emisiones de dióxido de carbono.

Tabla 18. Resumen de los resultados de la investigación

Resumen de resultados		
Cantidad de paneles del sistema	2002	u
Arreglo de paneles en serie	14	u
Número de cadenas	143	u
Área requerida	5130	m2
Potencia nominal instalada	3,69	MW
potencia entregada	3,09	MW
CO2 emitido por las C.T.	10,466339	Tn CO2 eq
CO2 reducido	5,23317	Tn CO2 eq
Arreglo de baterías	8	serie
Capacidad de las baterías	60350	AH
Energía generada al año	443869	MWh/Año
Energía entregada al año	435527	MWh/Año
Perdidas del sistema al año	83413	MWh/Año

Para finalizar con esta investigación en la tabla 18 se presenta un resumen con datos relevantes donde para comenzar se conoce que la central de generación térmica Pedernales produce 5518,0748

$Tn CO_2 eq$ de gases contaminantes al año para lo que se buscó una solución a partir de una descarbonización, a continuación, se puede conocer que para esta solución se realizó una estructuración de una central renovable, a partir de este punto, para el diseño fotovoltaico es necesario usar una cantidad de 2002 paneles solares de 500W de potencia nominal, de la misma manera se da a conocer que para la cantidad de potencia y energía requerida en el sistema se necesita de un arreglo de 14 módulos en serie y 143 cadenas en paralelo cubriendo con esto un área de 5130 m², con estas características mediante la simulación en los diferentes software PVsyst y Etap se puede conocer que se tiene una potencia instalada de 3,69MW y que luego de las pérdidas de potencia únicamente se tiene 3,09 MW de potencia entregada, adicional se simuló un arreglo de 8 baterías en paralelo con una capacidad de 60350AH los cuales se encuentran sobredimensionados esto debido a su baja eficiencia. Para proceder también al punto de mayor relevancia se calculó la cantidad de CO₂ que se emite a la atmósfera que en este caso para un solo día se tiene 10,466339 $Ton CO_2 eq$, pretendiendo así que, mediante una descarbonización que consiste en apagar una unidad de generación térmica y sustituirla por una de generación renovable puede disminuir 5,23317 $Ton CO_2 eq$, finalmente con la ayuda del software PVsyst se logró simular que al año se tendrá 443869 MWh de potencia generada y de igual manera se conoció que se tiene 83413MWh de pérdidas del sistema dando como resultado final 435527 MWh de energía entregada ya al

sistema, para terminar se hace mención en que con estos datos conocidos se tiene la capacidad de llevar a cabo una descarbonización parcial y total.

5. Conclusiones

La potencia y energía generada son los suficientemente capaces de cubrir los picos de energía generados en la curva de demanda que son de 58,68MWh, lo que sin duda nos da un indicador de un diseño exitoso que cumple con los requerimientos exigidos al inicio del diseño, así mismo se puede conocer que el mismo diseño fotovoltaico tendrá una generación nominal de 443868MWh al año y de la misma manera se tendrá energía entregada equivalente a 4355274 MWh al año, estimando que con estas cantidades de generación es posible realizar una descarbonización parcial en un tiempo prudencial y una descarbonización total a lo largo del tiempo y con recursos asequibles.

Evaluando el recurso energético mediante el algoritmo Armstrong-PreScott se evidenció que se cuenta con una radiación pico de 5,003544 Kwhm²/día y con una radiación mínima de 3,710399 Kwhm²/día las cantidades de radiación solar no son excelentes sin embargo permiten que el sistema funcione con facilidad y produzca la cantidad de potencia y energía requerida, tomando en cuenta que para alcanzar los parámetros deseados se necesita de la misma manera una extensión de terreno aproximada de 5130m² para ubicar los módulos, área que sin duda se podría encontrar en el sector, adicional se puede trabajar con sistemas de alta eficiencia tomando en cuenta que un sistema normal posee una eficiencia de alrededor de 15%, mientras

que los módulos de alta eficiencia alcanzan una eficiencia de 35% que sería muy útil en estos diseños.

Los sistemas fotovoltaicos son sistemas de gran apoyo para poder cubrir la demanda de 5MW de potencia nominal, puesto que permiten su almacenamiento en baterías que al momento de requerirse se puede disponer de la misma sin ningún problema, tanto así que es posible realizar un diseño que permita guardar hasta un día extra de autonomía, por cualquier circunstancia adversa que se pueda presentar ya sea días nublados o nulidad en irradiación.

Debido a la cantidad de baterías requeridas para este diseño que requiere un arreglo de 8 arreglo de baterías de 60350AH cada uno es necesario evaluar un posible uso de baterías de gran escala como el tesla Pack que permite almacenar en cantidades por encima de 1MWh y con esto reducir la cantidad de arreglos de baterías mostrado en la simulación, además de la extensión de terreno necesaria para colocar tal cantidad de arreglos.

Conocidos ya los escenarios de descarbonización se puede determinar que es factible y se puede llevar a cabo sin problemas el sistema, ya que se observa que desconectando una unidad de generación térmica y colocando una central fotovoltaica que reemplace una térmica, se reduce 5,23317 *Ton CO₂ eq*, de manera que se tiene energía limpia y sostenible que contribuyen a minimizar el impacto ambiental, de la misma manera si se logra sustituir el siguiente equipo eléctrico se tendría una total descarbonización con 0 *Ton CO₂ eq* emitidas al ambiente lo que permite una

contribución total a la disminución del cambio climático.

6. Referencias

- [1] G. Valasai, N. Mirjat, M. Uqaili, H. Memon, S. Samoo, and K. Harijan, “Decarbonization of Electricity Sector of Pakistan—An Application of Times Energy Model,” *J. Clean Energy Technol.*, vol. 5, no. 6, pp. 507–511, 2017, doi: 10.18178/jocet.2017.5.6.425.
- [2] M. Mora, “Decarbonization of the power generation system in Central America,” pp. 6–9, 2016.
- [3] T. Aboumahboub, R. J. Brecha, H. B. Shrestha, and U. Fuentes, “Decarbonization of Australia’s Energy System: Integrated Modeling of the Transformation of Electricity, Transportation, and Industrial Sectors,” 2020.
- [4] R. Parra, “Factor de emisión de CO₂ debido a la generación de electricidad en el Ecuador durante el periodo 2001 - 2014,” no. November 2015, 2017, doi: 10.18272/aci.v7i2.269.
- [5] W. Vergara, J. V Fenhann, and M. C. Schletz, *Carbono cero América Latina*. 2016.
- [6] U. De la torre, “Rutas de descarbonización profunda en América Latina: desafíos y oportunidades Rutas de descarbonización profunda en América Latina: desafíos y oportunidades,” 2020.
- [7] K. Marcos, W. Torres, and G. Vizhñay, “Operación Economica de los Sistemas Electricos de Potencia Utilizando Programacion

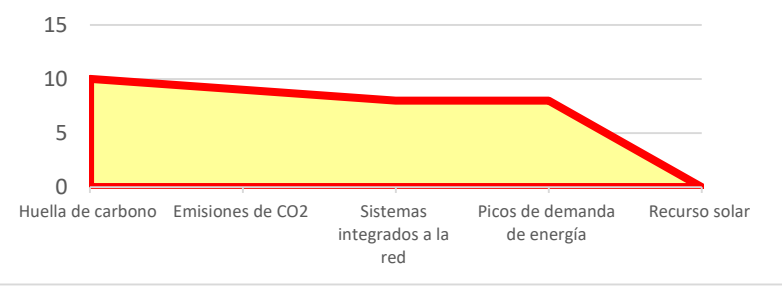
- Dinámica.pdf.” 1999.
- [8] R. Mohr, “Inserción de Generadores de Energía Renovable en Redes de Distribución,” p. 133, 2007.
- [9] F. Posso, J. C. Acevedo, and J. Hernández, “El impacto económico de las energías renovables,” *Aibi Rev. Investig. Adm. e Ing.*, no. February 2016, pp. 22–26, 2014, doi: 10.15649/2346030x.526.
- [10] C. Bordons, F. García-Torres, and L. Valverde, “Gestión Óptima de la Energía en Microrredes con Generación Renovable,” *RIAI - Rev. Iberoam. Autom. e Inform. Ind.*, vol. 12, no. 2, pp. 117–132, 2015, doi: 10.1016/j.riai.2015.03.001.
- [11] J. Santamarta, “Las energías renovables son el futuro,” 2010.
- [12] F. Adler, M. Bernardi, M. Garcia, M. Monticelli, M. Morquecho, “Energía Solar Fotovoltaica.” 2013.
- [13] E. López, S. Martín, J. M. Martín, A. Díaz, P. Gómez, and J. Carpio, “Boletín N°5 Rama de Estudiantes IEEE-UNED,” p. 60, 2006.
- [14] G. Salazar and B. Panchi, “Análisis de la Evolución de la Demanda Eléctrica en el Ecuador Considerando el Ingreso de Proyectos de Eficiencia Energética,” vol. 33, no. 3, 2014.
- [15] Cenace, “Informe Anual 2020 cenace,” LXXXIII Asam. Gen. Ordinaria, p. 337, 2020, [Online]. Available: https://camimex.org.mx/application/files/5816/0204/8730/info_20
- [16] Cenace, “Informe del Factor de Emisión de CO2 2018,” p. 14, 2018.
- [17] L. Haro and J. Oscullo, “Factor Anual de Emisión de CO 2 Producido por el Parque Generador del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador , Sobre el Cambio Climático UNFCCC , para el Periodo 2009-2014,” vol. 37, no. 1, 2016.
- [18] A. Sigüenza, Estudio de la huella de carbono generado durante el funcionamiento de un vehículo eléctrico. 2019.
- [19] M. para la transición Ecológica, “Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización,” Catálogo Publicaciones la Adm. Gen. del Estado, p. 48, 2016.
- [20] S. Solano and E. Ortiz, “huella de carbono para edificaciones en Costa Rica y su aplicación en el módulo habitacional Trópika,” vol. 29, pp. 73–84, 2016.
- [21] P. Gómez, B. Maldonado, and P. Dávila, “Un Recorrido por la Histórica Compañía Ecuatoriana del Té C.A. (CETCA): Estudio y Análisis de la Sostenibilidad de la Cadena de Suministro del Té Negro,” p. 227, 2014.
- [22] H. Gallegos, R. Righini, and C. Raichijk, “Alternativas para la evaluación del recurso solar en argentina,” 2005.
- [23] C. J. Gil Arrieta, “Modelo de predicción de irradiación solar ajustado al clima de Barranquilla,

- para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos,” p. 210, 2017.
- [24] M. O. Guzmán, J. V. Baldión, F. O. Simbaqueva, H. J. Zapata, and C. C. Chacón, “Coeficientes para Estimar la Radiación Solar Global A partir del Brillo Solar en la Zona Cafetera Colombiana,” *Cenicafé*, vol. 64, no. 1, pp. 60–76, 2013, [Online]. Available: <http://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/526>.
- [25] A. Shukla, Alexandre Dal-Pai, and A. Skific, “Angstrom-Prescott model based Regression Coefficient Calculation for the Region of Botucatu, Brazil,” *Int. J. Eng. Res.*, vol. V9, no. 04, pp. 335–339, 2020, doi: 10.17577/ijertv9is040331.
- [26] F. Barbosa and C. Cuji, “Modelamiento de la producción energética entre un sistema de generación fotovoltaico de alta eficiencia y un sistema convencional,” p. 21, 2017.
- [27] E. Mediavilla and C. Cuji, “Óptima gestión de la producción energética entre sistemas fotovoltaicos de alta eficiencia y micro-generación eólica basado en lógica difusa,” p. 30, 2020.
- [28] E. A. Mediavilla and C. C. Cuji, “Fuzzy Controller for Energy Management in a Transition Process from Thermal Generation Plant to Renewables Controlador Difuso Para Gestión De La Energía En Un Proceso De Transición De Central De Generación Térmica A Renovables,” no. 18, pp. 61–73, 2022.
- [29] D. E. Polanco, “Estimation of Energy Payback Time Applied In Hydrogen Production For Electricity Generation Purposes Estimación Del Tiempo De Recuperación De Energía Aplicado En Producción,” no. 18, pp. 74–84, 2022.
- [30] H. D. Sisa, C. Cristóbal, and C. Cuji, “Evaluación del consumo de energía eléctrica de acuerdo a la arquitectura bioclimático mediante el Modelo ASHRAE y Gauss T-Student Evaluation of electricity consumption according to the bioclimatic architecture using the ASHRAE Model and Gauss T-Student,” vol. 17, no. 1, 2021.

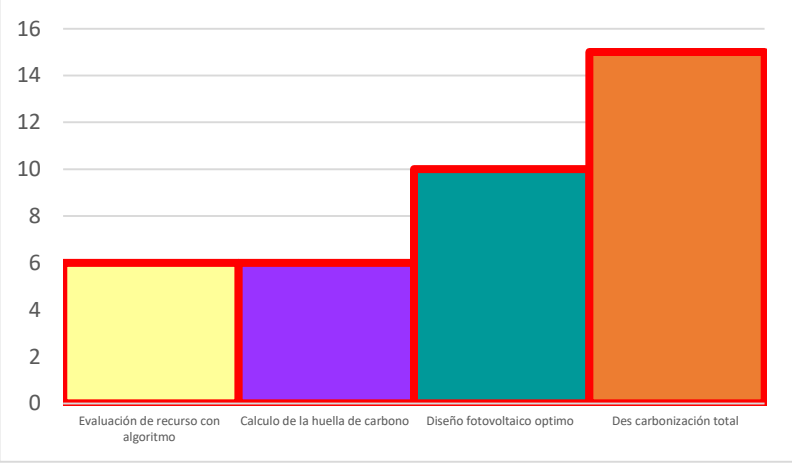
6.1 Estado del arte

ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA					
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	descarbonización	Demanda de energía	Sistemas fotovoltaicos	Evaluación de recurso	Huella de carbono	Emisiones de CO2	Sistemas integrados a la red	Picos de demanda de energía	Recurso solar	Diseño fotovoltaico	Curva de demanda	Energía generada	Irradiación solar	Algoritmo de predicción	Modelo Armstrong-Precott	Normativa de la huella de carbono	Software ETap y PVsyst	Evaluación de recurso con algoritmo	Calculo de la huella de carbono	Diseño fotovoltaico optimo	Des carbonización total	
1	2017	Decarbonization of Electricity Sector of Pakistan—An Application of Times Energy Model	6	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒
2	2019	Decarbonization of the power generation system in Central America	0	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒
3	2020	Decarbonization of Australia's Energy System: Integrated Modeling of the Transformation of Electricity, Transportation, and Industrial Sectors	7	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒
4	2017	Factor de emisión de CO2 debido a la generación de electricidad en el Ecuador durante el periodo 2001 - 2014	11	☒	☒	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒
5	2016	CARBONO CERO AMÉRICA LATINA	24	☒	☒	☐	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒
6	2020	Rutas de descarbonización profunda en América Latina: desafíos y oportunidades	0	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒
7	1999	Operación Económica de los Sistemas Eléctricos de Potencia Utilizando Programación Dinámica	0	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒
8	2007	INSERCIÓN DE GENERADORES DE ENERGÍA RENOVABLE EN REDES DE DISTRIBUCIÓN	12	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒
9	2014	El impacto económico de las energías renovables	31	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐
10	2015	Gestión Óptima de la Energía en Microrredes con Generación Renovable	101	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐
11	2010	Las energías renovables son el futuro	75	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☒	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐
12	2010	Energía Solar Fotovoltaica	5	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☒	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
13	2006	BOLETIN N° 5- RAMA DE ESTUDIANTES IEEE-UNED	0	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐
14	2014	Análisis de la Evolución de la Demanda Eléctrica en el Ecuador Considerando el Ingreso de Proyectos de Eficiencia Energética	10	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒
15	2020	Informe Anual 2020 CENACE	0	☒	☒	☐	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
16	2018	Informe del Factor de Emisión de CO2 2018	0	☒	☒	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
17	2016	Factor Anual de Emisión de CO2 Producido por el Parque Generador del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador , Sobre el Cambio Climático UNFCCC , para el Periodo 2009-2014	31	☒	☒	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA



SOLUCIÓN DADA MEDIANTE



TEMÁTICA

