



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**OBTENCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO A
TRAVÉS DE ENERGÍA ALTERNATIVA
PARA MOVER UNA TURBINA
GENERADORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA
EN SAN JOSÉ DE CAPANAPARO, ESTADO
APURE**

Autor:

Jorge Armando Bolívar Rivas

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**OBTENCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO A TRAVÉS DE ENERGÍA ALTERNATIVA
PARA MOVER UNA TURBINA GENERADORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN
SAN JOSÉ DE CAPANAPARO, ESTADO APURE**

Proyecto del Trabajo de Grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO

Autor:

Jorge Armando Bolívar Rivas

Tutor:

Dr. Fredy Barragán Suescún

San Diego, junio de 2023



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

ACTA DE APROBACIÓN

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de INGENIERÍA para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado: OBTENCIÓN DE AIRE COMPRESIDO A TRAVÉS DE ENERGÍA ALTERNATIVA PARA MOVILIDAD URBANA GENERADORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN SAN JOSÉ DE CAGANAPARO, ESTADO APURE

Realizado por el (la) Br. JORGE BOLIVAR

C.I. N° 27291855 cursante de la carrera de INGENIERÍA MECÁNICA


hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral,


considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

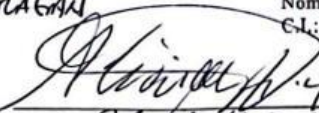
APROBADO

NO APROBADO

El Jurado


Tutor Académico (Coordinador)
Nombre: FREDDY BARRAGAN
C.I.: 11.151.678


Jurado
Nombre: Doroteo Romanelli
C.I.: 4131877


Jurado
Nombre: Alvaro Yaman
C.I.: 4598880

Fecha: 13/11/2023



16/11/23



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**CONSTANCIA DE APROBACIÓN PARA LA PRESENTACIÓN
PÚBLICA DEL TRABAJO DE GRADO**

Quien suscribe, **Fredy Barragán Suescún**, portador de la cédula de identidad N° **11.151.678**, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por el ciudadano **Jorge Armando Bolívar Rivas**, portador de la cédula de identidad N° **27.291.855**, titulado "OBTENCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO A TRAVÉS DE ENERGÍA ALTERNATIVA PARA MOVER UNA TURBINA GENERADORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN SAN JOSÉ DE CAPANAPARO, ESTADO APURE", presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 27 días del mes de OCTUBRE del año dos mil veintitrés.


Fredy Barragán Suescún
C.I: 11.151.678



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA

FIN 001 2023-ICR TG

Valencia, 04 de agosto de 2023

Ciudadano:
BOLÍVAR RIVAS, JORGE ARMANDO
27.291.855
Presente -

Cumplo con informarle que la comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 09-2023 de fecha 14/06/2023 aprobó el proyecto de grado titulado:

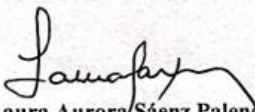
Obtención de aire comprimido a través de energía alternativa para mover una turbina generadora de energía eléctrica en San José de Capanaparo, estado Apure.

Presentado por usted como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Se ratifica la designación del Tutor Académico que lo asesorará en el desarrollo de este proyecto a:
Dr. Fredy Barragán Suescún, titular de la cédula de identidad V-11.151.678

Atentamente




Dra. Laura Aurora Sáenz Palencia
Decana de la Facultad de Ingeniería

c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado de la Facultad de Ingeniería

DEDICATORIA

Este proyecto de investigación está dedicado a mis padres que me han brindado su apoyo en cada momento y se han esforzado cada día en enseñarme los valores necesarios para convertirme no solo en un buen profesional sino también en una buena persona.

A mis hermanos, a quienes siempre he admirado, por ser un gran ejemplo de trabajo duro y mi mayor inspiración. Por siempre protegerme y enseñarme que solo puedo lograr grandes cosas, pero en equipo podemos llegar más lejos.

A mis compañeros de las Facultades de Ingeniería de la Universidad José Antonio Páez y de la Universidad de Carabobo, que me hicieron sentir bienvenido desde que llegué al estado Carabobo y me han acompañado durante todo el proceso.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente a Dios, por las oportunidades y las bendiciones que me ha dado, por orquestar perfectamente los lugares, los momentos y las experiencias que me han hecho la persona que soy hoy día.

Gracias a mis padres, Raúl y Rocio por creer en mí en todo momento, por el apoyo que siempre me han brindado y por motivarme a continuar cuando todo estaba cuesta arriba. Por enseñarme humildad, respeto y resiliencia.

Gracias a mis hermanos Gustavo, Alejandro y Raúl por cuidarme, guiarme y ayudarme a avanzar cada día compartiendo sus experiencias de vida y las enseñanzas que les han dejado sus errores y sus victorias.

Gracias a mis amigos que han estado para mí en cada momento difícil y han disfrutado conmigo de cada logro. Mis amigos de toda la vida en Apure, mis hermanos de la carrera, mis amigos de la Carabobo, los que están fuera del país y los que conocí por casualidad, todos son parte de este logro.

Gracias a la Universidad José Antonio Páez y a los profesores que con paciencia y cariño han compartido sus conocimientos y experiencias, para guiarnos y motivarnos en este camino. Al profesor Fredy Barragán por su gran aporte a mi formación profesional y por ser un excelente ejemplo de profesionalismo y respeto.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	pp.
LISTA DE CUADROS.....	xii
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE TABLAS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Formulación del Problema.....	6
1.3 Objetivos de la Investigación.....	6
1.3.1 Objetivo General.....	6
1.3.2 Objetivos Específicos.....	6
1.4 Justificación de la Investigación.....	6
1.5 Alcance y Limitaciones.....	8
II MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	9
2.2. Teoría Central de la investigación.....	11
2.2.1 Teoría Ambientalista.....	11
2.2.2 Teoría Cinético-Molecular.....	11
2.3 Bases Teóricas.....	12
2.3.1. Energía Renovable.....	12
2.3.2. Almacenamiento de Energía.....	12
2.3.3. Almacenamiento de Energía por Aire Comprimido.....	12
2.3.3.1. Almacenamiento Adiabático.....	13
2.3.3.2. Almacenamiento Diabático.....	13
2.3.3.3. Almacenamiento Isotermo.....	14
2.3.4. Compresor.....	14

2.3.4.1. Compresor Rotativo.....	14
2.3.5. Turbina.....	14
2.3.5.1. Turbina de Gas.....	14
2.3.5.2. Ciclo de la Turbina de Gas.....	15
2.3.6. Intercambiador de Calor.....	16
2.4 Bases Legales.....	17
2.4.1. Ley Orgánica del Ambiente.....	17
2.4.2. Ley del Uso Racional y Eficiente de la Energía.....	17
2.4.3. Ley Orgánica del Sistema y Servicio Eléctrico.....	18
2.4.4. Ley Orgánica del Sector Eléctrico.....	18
2.4.5. Norma ISO.....	18
2.5 Definición de Términos.....	19

III MARCO METODOLÓGICO

3.1. Paradigma de la investigación.....	21
3.2 Tipo de Investigación.....	21
3.3 Diseño de la Investigación.....	22
3.4 Nivel de la Investigación.....	22
3.5. Población y Muestra.....	23
3.6. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.....	23
3.6.1. Observación Directa.....	24
3.6.2. Entrevista.....	24
3.7. Técnicas de análisis de datos.....	24
3.7.1. Matriz FODA.....	25
3.7.2. Diagrama Causa-Efecto (Ishikawa).....	25
3.8. Validez de los Instrumentos.....	26
3.9. Fases Metodológicas.....	26
2.10. Cuadro de Operacionalización de Variables.....	28

IV RESULTADOS

4.1 Diagnosticar la situación de la localidad a nivel energético y de sus condiciones ambientales.....	29
4.1.1 Observación Directa.....	29
4.1.1.1 Lista de Cotejo.....	39
4.1.2 Aplicación de la Entrevista.....	40
4.2 Análisis de las variables que influyen para la obtención del aire comprimido y generación de la energía eléctrica tomando en cuenta las energías alternativas.....	44
4.2.1 Potencia Objetivo.....	46
4.2.2 Producción de Energía Solar Fotovoltaica.....	46
4.2.3 Producción de Energía Eólica.....	49
4.2.4 Producción de Energía Hidráulica.....	52
4.2.5 Funcionamiento del sistema CAES para el almacenamiento de energía en aire comprimido.....	56
4.3 Selección del tipo de energía a utilizar para la obtención del aire comprimido.....	58
4.3.1 Energía Eólica.....	58
4.3.2 Energía Hidráulica.....	59
4.3.3 Energía Solar Fotovoltaica.....	60
4.3.4 Elementos Presentes en la Producción de Energía Solar Fotovoltaica.....	62
4.3.4.1 Posibles Soluciones para el Panel Solar.....	62
4.3.4.2 Ponderación de Criterios.....	63
4.3.4.3 Ponderación de Soluciones Respecto a Cada Criterio.....	64
4.3.4.4 Ponderación Final.....	67
4.3.5 Posibles Soluciones para el Inversor Solar.....	68
4.3.5.1 Ponderación de Criterios.....	69
4.3.5.2 Ponderación de Soluciones Respecto a Cada Criterio.....	69
4.3.5.3 Ponderación Final.....	72
4.3.6 Elección de Proveedor y Cantidad de Paneles Solares.....	72
4.3.6.1 Elección de Proveedor y del Inversor Solar.....	74

4.4 Diseño con ayuda de programas CAD del sistema de producción y almacenamiento de energía por aire comprimido.....	77
4.4.1 Elección del Compresor.....	77
4.4.2 Cálculo del Compresor en el Sistema.....	81
4.4.3 Dimensionamiento del Depósito de Aire Comprimido.....	83
4.4.4 Cálculo de Turbina Generadora en el Sistema.....	88
4.4.5 Diseño del Sistema en Solidworks.....	92
4.5 Evaluación de la viabilidad técnica, operativa, ambiental y económica del sistema diseñado.....	96
4.5.1 Viabilidad técnica.....	96
4.5.2 Viabilidad operativa.....	96
4.5.3 Viabilidad ambiental.....	96
4.5.4 Viabilidad económica.....	97
CONCLUSIONES.....	100
RECOMENDACIONES.....	102
REFERENCIAS.....	103
APÉNDICES.....	105
ANEXOS.....	110

LISTA DE CUADROS

DESCRIPCIÓN

CUADRO		pp.
1	Lista de Cotejo.....	39
2	Entrevista N°1.....	40
3	Entrevista N°2.....	41
4	Matriz FODA.....	44
5	Posibles soluciones según restricciones para los paneles solares.....	63
6	Comprobación lógica de los criterios.....	64
7	Soluciones respecto a criterio 1.....	65
8	Soluciones respecto a criterio 2.....	65
9	Soluciones respecto a criterio 3.....	65
10	Soluciones respecto a criterio 4.....	66
11	Soluciones respecto a criterio 5.....	66
12	Soluciones respecto a criterio 6.....	66
13	Soluciones respecto a criterio 7.....	67
14	Soluciones respecto a criterio 8.....	67
15	Valor final de cada solución.....	67
16	Posibles soluciones según restricciones para los inversores solares...	68
17	Comprobación lógica de los criterios.....	69
18	Soluciones respecto a criterio 1.....	70
19	Soluciones respecto a criterio 2.....	70
20	Soluciones respecto a criterio 3.....	70
21	Soluciones respecto a criterio 4.....	71
22	Soluciones respecto a criterio 5.....	71
23	Soluciones respecto a criterio 6.....	71
24	Valor final de cada solución.....	72

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	DESCRIPCIÓN	pp.
1	Esquema planta CAES convencional.....	13
2	Turbina Generadora que funciona según ciclo abierto sencillo.....	15
3	Diagramas T-s y P-v para un ciclo Brayton ideal.....	16
4	Intercambiador de calor de dos tuberías concéntricas.....	17
5	Paneles solares de proyectos anteriores.....	30
6	Salón de clases.....	31
7	Escuela y antena parabólica.....	32
8	Cocina en leña.....	33
9	Campo abierto.....	34
10	Proyecto de construcción de casas.....	35
11	Iglesia nativa.....	36
12	Pesca y lavado de ropa a la orilla del río Capanaparo.....	37
13	Transporte de vehiculos a través del rio Capanaparo.....	38
14	Diagrama Causa-Efecto (Ishikawa).....	45
15	Mapa de vientos sobre el Estado Apure.....	58
16	Estadística de viento anual en el aeropuerto Las Flecheras (San Fernando de Apure).....	59
17	Temperatura máxima y mínima promedio en el Estado Apure.....	61
18	Mapa de temperatura sobre el Estado Apure.....	61
19	Paneles Solares Monocristalinos.....	73
20	Descripcion del producto.....	73
21	Horas Solares Pico en Venezuela.....	74
22	Inversor Solar ATESS 30KW.....	75
23	Características del Inversor Solar ATESS.....	76
24	Hoja de Datos del Inversor Solar ATESS.....	77
25	Compresor.....	78
26	Detalles Tecnicos del Compresor.....	79
27	Atributos Clave del Compresor.....	80

28	Ciclo Brayton Ideal.....	81
29	Influencia de la presión de almacenamiento en el volumen del depósito.	83
30	Pasos a seguir para cálculo de espesor de diseño según ASME VIII div. 1.....	84
31	Ecuaciones de espesor de diseño según ASME VIII div. 1.....	87
32	Ventilador centrífugo Design 53 Pressure Blower.....	89
33	Generadores Eléctricos de la Empresa Qingdao.....	89
34	Información Básica de Generadores Eléctricos de la Empresa Qingdao.	90
35	Descripción del Producto, Generadores Eléctricos de la Empresa Qingdao.....	90
36	Gráfico CFM/Presión Estática para modelo 53 con salida de 4 pulgadas de ventilador a presión.....	91
37	Esquema de Funcionamiento del Sistema.....	92
38	Disposicion Final del Sistema.....	93
39	Diseño de Turbina Generadora.....	93
40	Diseño de Compresor.....	93
41	Diseño de Válvula de Control de Presión.....	94
42	Acople Compresor-Depósito.....	94
43	Acople Tuberías-Válvula de Control de Presión	95
44	Acople Tubería-Ventilador Centrífugo.....	95
45	Datos de Facturación CORPOELEC.....	99

LISTA DE TABLAS

DESCRIPCIÓN

TABLA		pp.
1	Interpolación para hallar temperatura 2.....	82
2	Interpolación para hallar entalpia 2.....	82
3	Esfuerzo maximo permisible para distintos metales según ASME VIII div.1.....	85
4	Interpolación para hallar esfuerzo maximo permisible.....	86
5	Tabla de ecuaciones para el calculo de espesor según ASME VIII div.1.....	86
6	Presupuesto del Proyecto	98



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**OBTENCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO A TRAVÉS DE ENERGÍA ALTERNATIVA
PARA MOVER UNA TURBINA GENERADORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN
SAN JOSÉ DE CAPANAPARO, ESTADO APURE**

Autor: Jorge Armando Bolívar Rivas

Tutor: Fredy Barragán Suescún

Fecha: Junio 2023

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, se llevó a cabo en el municipio Achaguas, parroquia Guachara, Estado Apure, específicamente en la localidad de San José de Capanaparo al borde del Río Capanaparo, sitio en el cual se presentó el proyecto de Grado cuyo propósito principal es Diseñar un sistema para la obtención de aire comprimido a través de energía alternativa para mover una turbina generadora de energía eléctrica; y de esta forma lograr el aprovechamiento cuando no se disponga energía eléctrica por parte de CORPOELEC y así mitigar la situación de carencia que se presenta en el sitio de estudio, cabe destacar, que San José de Capanaparo forma parte del parque nacional Santos Luzardo y cuenta con extensiones de terreno que pueden ser aprovechadas como lugares turísticos, por lo que la llegada de la energía eléctrica, no solo mejoraría el estilo de vida de sus habitantes sino que también, permitiría un desarrollo acelerado del comercio en la zona. El trabajo de investigación está enmarcado en la línea de investigación Gestión Ambiental, hábitat y vivienda, y se desarrolló bajo el paradigma Tecnológico, tipo proyecto factible, con un diseño documental y de campo, y un nivel o profundidad descriptivo, todo ello concatenado con los objetivos específicos que permitieron el desarrollo de la investigación. Se espera que la propuesta del diseño pueda funcionar como factor motivador para una serie de proyectos enfocados en llevar energía eléctrica a las zonas rurales del país, mejorar la economía, desarrollar avances tecnológicos en el área de las energías renovables y descentralizar la producción de electricidad. La aplicación de las fases que comprenden este proyecto de investigación resultó en la utilización de la energía solar fotovoltaica como fuente primaria de energía por las condiciones ambientales de temperatura óptimas en la zona y luego de la selección de los elementos que comprenden al sistema se determinó que el costo de inversión del proyecto es de \$63.183,00 que se considera un costo no tan alto para el beneficio que podría significar para la comunidad, sin embargo, los costos del servicio eléctrico en Venezuela son reducidos creando una gran diferencia entre el costo por KWh del sistema de generación y almacenamiento de energía con la red eléctrica nacional.

Descriptor: Recursos energéticos, Aire comprimido, Zona Rural, Conversión de Energía.

INTRODUCCIÓN

Al día de hoy, el problema de la falta de energía eléctrica es una preocupación importante en muchas partes del mundo. La electricidad desempeña un papel fundamental en la vida diaria y es esencial para el funcionamiento de una amplia gama de actividades y sistemas en la sociedad moderna. La sociedad actual depende en gran medida de la electricidad desde el suministro de energía en los hogares hasta el funcionamiento de hospitales, escuelas, fábricas, sistemas de transporte, comunicaciones y muchas otras infraestructuras críticas, la electricidad es fundamental.

Aun conociendo las dificultades que conlleva la falta de energía eléctrica, hoy en día existen muchos sitios a los que el suministro de ésta no se les ha sido otorgado debido a la complejidad que representa el llevar el servicio a estos sitios por sus condiciones geográficas. Para ello, se debe tomar en cuenta el uso de las energías renovables que son fuentes de energía que se obtienen de la naturaleza y que se renuevan de manera continua. Estas fuentes incluyen la energía solar, eólica, hidroeléctrica, geotérmica, biomasa, entre otras.

Una de las principales razones por las que las energías renovables son importantes es su menor impacto ambiental en comparación con los combustibles fósiles. Las fuentes renovables no emiten cantidades significativas de gases de efecto invernadero y otros contaminantes que contribuyen al cambio climático y a la contaminación atmosférica. Las fuentes de energía renovable son prácticamente inagotables y están ampliamente disponibles en todo el mundo. La transición hacia las energías renovables tiene un gran potencial para impulsar la creación de empleo y el crecimiento económico. La instalación, mantenimiento y desarrollo de proyectos de energía renovable requieren una amplia gama de habilidades y generan empleo en áreas como la ingeniería, la construcción, la fabricación y los servicios relacionados. Además, el sector de las energías renovables atrae inversiones y estimula la innovación tecnológica.

Las energías renovables también ofrecen la posibilidad de generar energía de manera descentralizada, lo que significa que se puede producir energía en el punto de consumo. Esto es especialmente relevante en áreas remotas o rurales donde la infraestructura eléctrica tradicional puede ser costosa o difícil de implementar. Las energías renovables permiten el acceso asequible a la electricidad, mejorando la calidad de vida de las comunidades y promoviendo la inclusión energética.

Por otra parte, el almacenamiento es un desafío importante en el ámbito de la energía. Con la presencia de fuentes de energía renovable surge la necesidad de sistemas de almacenamiento de energía eficientes y confiables. Las fuentes de energía renovable son intermitentes en su naturaleza. La generación de energía depende de factores climáticos y puede variar en función de la disponibilidad, así que tomando en cuenta todos estos factores se propone en este trabajo de investigación un sistema de almacenamiento de bajo costo y con una infraestructura que permita un óptimo funcionamiento energético en la localidad de San José de Capanaparo, Estado Apure, para mejorar la calidad de vida de sus habitantes e impulsar el comercio en la región.

En el capítulo I se detalla el problema de investigación, explicando a fondo las causas y consecuencias que lo originan, para encontrar la solución más fiable para la determinación de la propuesta.

En el capítulo II se resume cada uno de los temas requeridos para una correcta adquisición de conocimientos previos en lo que se refiere a la rama de los recursos energéticos (obtención o generación, almacenamiento y distribución), que garanticen el incremento del tema a mitigar y que respalden al proyecto.

En el capítulo III se determina el paradigma, el tipo de investigación y el diseño que se realizará para la recopilación de la información, sirviendo de guía para el desarrollo de la propuesta planteada.

En el capítulo IV se detallan los resultados obtenidos luego de aplicar las fases que dictan el avance del Trabajo de Grado.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

Desde el inicio de los tiempos, el ser humano ha ideado innumerables formas de utilizar y aprovechar la energía proveniente de la naturaleza para su beneficio. A lo largo de la historia, desde las antiguas civilizaciones hasta la época actual, el ser humano ha demostrado una creatividad inigualable al buscar y encontrar soluciones ingeniosas para satisfacer sus necesidades energéticas y potenciar su bienestar. En cada era histórica, se han desarrollado métodos y tecnologías innovadoras para capturar, transformar y almacenar la energía de diferentes maneras. Desde los ingenios hidráulicos y molinos de viento de la antigüedad hasta las modernas centrales eléctricas y los sofisticados sistemas de almacenamiento de energía, se ha logrado un progreso notable en la capacidad humana para controlar y aprovechar los recursos energéticos disponibles en nuestro entorno. Esta tendencia se hace aún más evidente en el panorama mundial actual, donde la obtención de energía se ha convertido en el pilar fundamental sobre el cual se sustenta el desarrollo tecnológico y socioeconómico de las sociedades.

A medida que el tiempo ha transcurrido, se ha experimentado un incremento significativo en el consumo global de energía. “En los tiempos que corren existe una creciente necesidad de aprovechar las fuentes de energía renovable para reducir la dependencia de los combustibles fósiles. Sin embargo, las energías renovables tienen un carácter intermitente, lo que conduce a un comportamiento no óptimo.” (Del Corte, 2019, p1). Esto ha llevado al surgimiento de una necesidad imperante: el almacenamiento eficiente de dicha energía para su posterior utilización. Esta demanda surge como resultado de diversos factores, entre los cuales destacan la disponibilidad incierta de energía en momentos desfavorables de producción, la portabilidad requerida por los dispositivos electrónicos, la eficiencia en la generación y, más recientemente, el mayor aprovechamiento de las fuentes de energía renovable.

En términos de eficiencia, el almacenamiento de energía permite regular la producción y el consumo, optimizando así los recursos disponibles y minimizando posibles desperdicios. Esta capacidad de gestionar de manera inteligente la energía ha adquirido una importancia crucial en la era actual, en la que se busca un enfoque más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

Además, el desarrollo y la implementación de tecnologías de almacenamiento energético han contribuido significativamente al aprovechamiento y la expansión de las energías renovables. Estas fuentes de energía limpia y abundante, como la solar, eólica, hidroeléctrica o geotérmica, requieren de soluciones eficaces de almacenamiento para superar las limitaciones inherentes a su producción intermitente o no constante.

Asimismo es común que ciertos sectores alejados de las centrales eléctricas de un país, no puedan abastecerse de energía eléctrica fácilmente. En su investigación los autores, Arreondo, Navarro y Vizcaino (2008) señalan que, a nivel nacional, las comunidades en zonas rurales siguen siendo vulnerables en cuanto a la infraestructura de servicios públicos domiciliarios, principalmente por la ubicación geográfica de los terrenos con respecto a las redes de distribución, lo que afecta directamente el desarrollo de sus actividades (p. 4). El uso de las energías renovables representa para estos sectores una gran ayuda, debido a que no es necesaria una instalación eléctrica de kilómetros de cable para llegar a estas zonas. Sin embargo, aun solucionando el problema de la producción de energía se debe pensar en cómo almacenarla para asegurar la disponibilidad en todo momento, puesto que las energías renovables no suelen producir con el mismo rendimiento todo el tiempo.

En muchas ocasiones, especialmente en aquellos sectores remotos y alejados de las centrales eléctricas de un país, se enfrentan a dificultades para obtener un suministro eléctrico confiable. En estos casos, el aprovechamiento de las energías renovables se convierte en una solución invaluable, ya que evita la necesidad de extender kilómetros de cables eléctricos hasta dichas zonas. No obstante, una vez resuelto el desafío de la generación de energía, surge la cuestión fundamental de cómo almacenarla de manera efectiva, garantizando su disponibilidad en todo momento, dado que las fuentes renovables no suelen producir con un rendimiento constante.

Este escenario plantea la importancia de desarrollar sistemas de almacenamiento energético adecuados, capaces de gestionar eficientemente los excedentes de energía generados en momentos de alta producción y suministrarla en momentos de baja producción. El almacenamiento se convierte así en un eslabón esencial para asegurar un suministro continuo y confiable de energía en estas áreas remotas, donde el acceso a la red eléctrica tradicional resulta costoso o inviable. Además, los sistemas de almacenamiento energético también ofrecen beneficios adicionales en términos de estabilidad de la red eléctrica y flexibilidad operativa ya que pueden actuar como reguladores, estabilizando la frecuencia y la calidad de la energía suministrada, y proporcionando respaldo en casos de interrupciones o fluctuaciones en la generación. Asimismo, permiten una mejor integración

de las energías renovables en la red eléctrica existente, al compensar las variaciones naturales en la producción de estas fuentes de energía limpia.

Con base en lo expuesto anteriormente, se presenta el caso concreto de la comunidad de San José de Capanaparo, ubicada en la parroquia Guachara, en el municipio Achaguas del Estado Apure. Esta comunidad alberga a numerosas familias indígenas que carecen de suministro eléctrico en sus hogares. A pesar de contar con escuelas, viviendas y destinos turísticos, la ausencia de electricidad supone un obstáculo significativo que limita su calidad de vida. En este entorno, la disponibilidad de energía eléctrica podría suponer una notable mejora en las condiciones de vida de los habitantes. En particular, el suministro eléctrico sería de gran ayuda para iluminar sus hogares y mantener sus alimentos en condiciones óptimas. Aunque algunas personas tienen acceso a generadores eléctricos para cubrir estas necesidades básicas, la dificultad radica en la escasez de estaciones de servicio cercanas, lo que complica la obtención de combustible necesario para su funcionamiento. Como resultado, la comunidad de San José de Capanaparo se ve obligada a pasar las noches en la oscuridad y destinar gran parte de sus días a la búsqueda de alimentos y recursos básicos.

Ante esta realidad, surge la necesidad imperante de proporcionar electricidad a esta comunidad de una manera accesible y asequible, sin incurrir en gastos de inversión excesivos. Al hacerlo, se pretende facilitar las labores diarias de los habitantes de San José de Capanaparo, brindándoles la oportunidad de contar con energía eléctrica en sus hogares y lugares de interés turístico. Esta mejora significativa en sus condiciones de vida tendría un impacto positivo en diversas áreas, desde la educación hasta el bienestar general de la comunidad.

En consecuencia, se requiere una solución integral que aborde la falta de suministro eléctrico en San José de Capanaparo, considerando la implementación de fuentes de energía renovable, como la solar o la eólica, que se adapten a las características y necesidades de la comunidad. Además, es crucial diseñar un sistema de almacenamiento de energía eficiente, que permita aprovechar al máximo la producción de energía en momentos favorables y garantice su disponibilidad constante durante los períodos de baja producción.

Al proporcionar a la comunidad de San José de Capanaparo un acceso confiable y sostenible a la electricidad, se abrirían oportunidades para el desarrollo socioeconómico, el fortalecimiento de la educación, la mejora de las condiciones de salud y bienestar, y la promoción del turismo sostenible en la región. En última instancia, se busca no solo brindar una solución energética adecuada, sino

también empoderar a la comunidad, permitiéndoles mejorar su calidad de vida y fomentando un futuro más equitativo y próspero para todos sus habitantes.

1.2 Formulación del Problema

¿Cómo se puede obtener aire comprimido a través de energía alternativa para alimentar una turbina generadora de energía eléctrica en la comunidad de San José de Capanaparo, Estado Apure?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un sistema para la obtención de aire comprimido a través de energía alternativa para mover una turbina generadora de energía eléctrica en San José de Capanaparo, Estado Apure.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar la situación de la localidad a nivel energético y de sus condiciones ambientales.
- Analizar las variables que influyen para la obtención del aire comprimido y generación de la energía eléctrica tomando en cuenta las energías alternativas.
- Seleccionar el tipo de energía a utilizar para la obtención del aire comprimido.
- Diseñar con ayuda de programas CAD el sistema de producción y almacenamiento de energía por aire comprimido.
- Evaluar la viabilidad técnica, operativa, ambiental y económica del sistema diseñado.

1.4 Justificación de la Investigación

Es de conocimiento general que en Venezuela, los procesos de obtención y almacenamiento de energía están mayormente enfocados en una sola fuente, siendo esta la energía hidráulica, lo que limita significativamente la diversidad de tipos de energía que se pueden producir. Esta situación plantea una gran oportunidad para la investigación y el impulso del desarrollo de diferentes fuentes de energía renovable, especialmente para su aplicación en las zonas rurales del país. La presente investigación desempeña un papel crucial al abordar esta necesidad apremiante. Al promover y avanzar en el conocimiento científico y tecnológico de las energías renovables, se sientan las bases para una transición energética más equilibrada y sostenible en Venezuela. Estos avances no solo beneficiarían a las zonas rurales, donde el acceso a la electricidad es limitado, sino que también tendrían un impacto positivo en todo el país.

Esta diversificación energética aportaría estabilidad y seguridad al suministro eléctrico nacional, minimizando los riesgos asociados con la volatilidad de los precios del petróleo y los cambios en el mercado internacional de energía. Además, el desarrollo de tecnologías de energía

renovable también proporcionaría oportunidades económicas significativas para el país. La inversión en investigación, desarrollo y producción de sistemas de energía renovable generaría empleos locales, promovería la innovación y fortalecería la industria nacional en este sector en crecimiento. Esto contribuiría al desarrollo económico sostenible de Venezuela y a la diversificación de su base industrial.

Asimismo, el impulso de las energías renovables permitiría a Venezuela posicionarse como una potencia en temas de energías alternativas a nivel regional e incluso global. Con recursos naturales abundantes y un potencial considerable para la generación de energía renovable, el país podría convertirse en un referente en la adopción y aplicación de soluciones energéticas sostenibles. Esto no solo fortalecería su reputación internacional, sino que también abriría oportunidades para la cooperación y el intercambio de conocimientos con otras naciones en el ámbito de la energía renovable.

Por otro lado, es importante tener en cuenta el derecho fundamental de los ciudadanos que habitan estas áreas a tener acceso al servicio eléctrico, ya que esto no solo contribuiría a mejorar sus condiciones de vida, sino que también impulsaría el desarrollo de la comunidad en su conjunto. Actualmente, una cantidad significativa de tiempo y esfuerzo se dedica a contrarrestar las desventajas ocasionadas por la ausencia de una red eléctrica, tiempo que los habitantes de estas localidades podrían emplear de manera más productiva para obtener los beneficios de un empleo estable, mejorar sus niveles de educación y realizar su contribución al país.

Al tratarse de un proyecto centrado en el uso de energías alternativas, es importante destacar que tendrá un impacto ambiental mínimo en la zona. San José de Capanaparo, además de ser una comunidad con necesidades energéticas no satisfechas, cuenta con una riqueza natural en forma de hermosos paisajes y sitios turísticos. El desarrollo de esta investigación en energías alternativas podría no solo satisfacer las necesidades energéticas de la comunidad, sino también generar oportunidades económicas a través del turismo sostenible y el aprovechamiento responsable de los recursos naturales presentes en la región.

La implementación de soluciones energéticas sostenibles en San José de Capanaparo tendría un impacto positivo en varios aspectos. En primer lugar, proporcionaría a los habitantes acceso a servicios básicos y comodidades modernas que mejoran directamente su calidad de vida. La electricidad confiable permitiría una iluminación adecuada en los hogares, mejorando la seguridad y las condiciones de estudio de los niños. Además, facilitaría la refrigeración y conservación de

alimentos, así como el uso de electrodomésticos y herramientas eléctricas para actividades cotidianas. Adicionalmente, el desarrollo de energías alternativas en la zona promovería la creación de empleo local, tanto en la instalación y mantenimiento de los sistemas como en actividades relacionadas con el turismo sostenible.

1.5 Alcance y Limitaciones

Este trabajo de investigación se llevó a cabo teniendo en cuenta los diversos costos asociados a la construcción de un sistema de distribución de energía eléctrica en aquellas localidades pequeñas y alejadas de los puntos de distribución principales de la zona. Es importante realizar un estudio exhaustivo de las condiciones geográficas del lugar donde se pretende implementar este sistema de producción y almacenamiento de energía propuesto, con el fin de determinar su viabilidad económica o explorar alternativas más adecuadas. Es posible inferir que las zonas rurales que carecen de servicio eléctrico pero se encuentran cercanas a la línea principal de distribución de energía no forman parte del sector de interés de esta investigación.

Dado el nivel de complejidad en la construcción y los costos asociados a los materiales requeridos para implementar un sistema de almacenamiento de energía a gran escala mediante aire comprimido, el enfoque de la investigación se centra en pequeñas localidades donde la demanda de energía es reducida. Sin embargo, es fundamental destacar que esta elección estratégica no implica que estas pequeñas localidades sean menos importantes o merezcan menos atención. Por el contrario, al enfocar los esfuerzos en estas comunidades de menor tamaño, se busca brindarles una solución energética adaptada a sus necesidades específicas y optimizar el uso de recursos limitados

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la Investigación

Los antecedentes de la investigación son el conjunto de trabajos cuya revisión sirve como apoyo para sustentar la investigación, “Se refiere a los estudios previos, trabajos y tesis de grado, trabajos de ascenso, artículos e informes científicos relacionados con el problema planteado, es decir, investigaciones realizadas anteriormente y que guardan alguna vinculación con nuestro proyecto” (Arias, 2016; p106).

Cruz (2022), presentó el trabajo de investigación **“Estudio de la hibridación de ciclos combinados con sistemas de almacenamiento de energía por aire comprimido (compressed air energy storage, CAES)”** como requisito para su titulación de Ingeniero Mecánico en la Universidad de la Laguna, España. Su enfoque principal estuvo basado en explorar, examinar y desarrollar diversas alternativas a sistemas de almacenamiento de energía mediante el uso de aire comprimido. Se estableció una combinación eficiente con uno de los ciclos combinados presentes en la central térmica de Granadilla, en la isla de Tenerife. De manera complementaria, se realizó un análisis energético con el fin de evaluar la efectividad de la integración entre el sistema de almacenamiento por aire comprimido, la turbina de gas y el ciclo combinado.

Su relación con el presente trabajo de investigación se basa en la presencia de un sistema CAES de almacenamiento de energía en aire comprimido, como equipo de apoyo para la optimización del proceso de almacenamiento de energía en la central térmica de Granadilla, donde con ayuda del software DWSIM se definió el orden y elementos que componen el sistema y se realizaron simulaciones para analizar el comportamiento del proceso por medio de los datos obtenidos.

Por otra parte, Romero (2021) en su trabajo de grado **“Propuesta de mejora al sistema de aire comprimido de la planta de aire de servicio/instrumentación de la empresa mixta Petromonagas ubicada en el Complejo Industrial Petrolero José Antonio Anzoátegui, Barcelona”**, para optar al título de Ingeniería Industrial en la Universidad Santiago Mariño, en la sede de Barcelona, Venezuela, el enfoque principal de este estudio se centró en identificar posibles mejoras para el sistema de aire comprimido, con el objetivo de aumentar la producción y optimizar

su funcionamiento. Estas mejoras fueron propuestas para ser ejecutadas por las personas responsables de su operación. La investigación en cuestión se clasificó como descriptiva y se debe llevar a cabo en el campo. Para esto, se utilizaron métodos como la observación directa, entrevistas no estructuradas y revisión documental. Además, el autor empleó instrumentos esenciales para la recopilación de datos, como una guía de observación, un formato de registro y un cuestionario. Estos instrumentos permitieron diagnosticar las causas principales que afectan al sistema de aire comprimido.

Con el apoyo de esta propuesta se pensó diseñar el sistema de aire comprimido tomando en cuenta las mejoras planteadas que son producto de la investigación para asegurar un correcto funcionamiento y con la menor cantidad de pérdidas posibles relacionadas a las variables que se toman en cuenta en dicho trabajo de investigación.

De igual manera, Ramírez (2020) realizó el proyecto **“Estudio de factibilidad técnico económico para la implementación de un sistema complementario de suministro eléctrico basado en energías verdes para el conjunto residencial “La Arboleda” en Ciudad Guayana”**, para optar al título de Ingeniería Industrial de la Universidad Católica Andrés Bello, Venezuela. El proyecto tuvo como objetivo estudiar la viabilidad técnico-económica de implementar un sistema fotovoltaico complementario para el Conjunto Residencial "La Arboleda" en Ciudad Guayana. Esta investigación se clasificó como evaluativa-proyectiva, ya que se centró en evaluar la viabilidad real en las condiciones existentes. El estudio técnico comenzó con la identificación de las necesidades de los residentes y luego se procedió a calcular la demanda energética, considerando la potencia requerida por los diferentes equipos de uso doméstico y las horas de uso de cada uno. Con esta información, se seleccionaron los equipos que formarían parte de la propuesta. Después de aplicar un método de evaluación ponderada de criterios, se optó por dos sistemas solares fotovoltaicos híbridos independientes.

El estudio de viabilidad de un sistema de producción de energía renovable presente en este proyecto es crucial para el desarrollo de un trabajo de investigación enfocado en energía limpia, ya que la producción de la energía que se va a almacenar es la base sobre la que se construye este trabajo de grado, por lo que los datos obtenidos en el estudio de la factibilidad del sistema de suministro eléctrico, fueron de apoyo para evaluar de donde vendrá la energía que alimentará el sistema de almacenamiento a diseñar.

Asimismo Del Corte (2019), en su trabajo de fin de grado “**Análisis almacenamiento de energía de aire comprimido**” presentado para su titulación en Ingeniería de Tecnologías Industriales, en la Universidad de Zaragoza, España, propone un análisis tanto termodinámico como económico de una instalación de almacenamiento de energía utilizando aire comprimido. Se llevó a cabo un estudio sobre tres tipos de configuraciones diferentes: una planta CAES básica, una planta CAES con compresión multietapa, refrigeración y regeneración en la turbina, y finalmente, una planta CAES con compresión multietapa, refrigeración, expansión multietapa con recalentamiento y regeneración. Este análisis termodinámico de las tres configuraciones se logró utilizando el software EES (Engineering Equation Solver). El objetivo fue examinar y comparar los distintos rendimientos térmicos de cada configuración, con el fin de determinar cuál era la más eficiente.

En este trabajo de investigación se estudiaron distintas variaciones del proceso de almacenamiento de energía en aire comprimido, lo que sirve de guía para identificar cual configuración presenta una mejor relación entre el rendimiento y el costo de diseño y construcción del sistema. Con los datos obtenidos en dicho proyecto de investigación se pudo observar desde varias perspectivas de configuraciones del sistema, cual es el más conveniente en el desarrollo de la presente investigación.

2.2 Teoría Central de la Investigación

2.2.1 Teoría Ambientalista

La teoría ambientalista, también conocida como ambientalismo, es una corriente de pensamiento que se enfoca en la importancia de proteger y preservar el medio ambiente y los recursos naturales. Esta teoría sostiene que el entorno natural es valioso en sí mismo y tiene derecho a existir y prosperar, independientemente de su utilidad para los seres humanos.

Tomando en cuenta esta teoría, se pensó en una solución al problema planteado que no representara un gran impacto al medio ambiente, intentando en lo posible disminuir el efecto del uso de combustibles fósiles, alternando su utilización con las energías renovables y el almacenamiento de estas.

2.2.2 Teoría Cinético-Molecular

La teoría cinético-molecular es una teoría que explica los estados de la materia y se basa en la idea de que la materia está compuesta por partículas diminutas que siempre están en movimiento. La teoría ayuda a explicar las propiedades observables y comportamientos de sólidos, líquidos y gases. Sin embargo, la teoría es más fácil de entender ya que se aplica a los gases. La teoría se aplica

específicamente a un modelo de un gas llamado gas ideal. Un gas ideal es un gas imaginario cuyo comportamiento se ajusta perfectamente a todos los supuestos de la teoría cinético-molecular. En realidad, los gases no son ideales, pero están muy cerca de serlo en la mayoría de las condiciones cotidianas.

Cuando se trabaja con gases y transformación de energía, es imposible no tomar en consideración la teoría cinético-molecular, que para el presente trabajo de investigación representa el pilar sobre el que se sustentan los principios termodinámicos del funcionamiento de los equipos diseñados y construidos para la producción y almacenamiento de energía.

2.3 Bases Teóricas

Las bases teóricas representan los pilares del trabajo de investigación, puesto que es sobre estas que se construye la totalidad del trabajo. Esta será la plataforma sobre la cual se llevará a cabo el análisis de los resultados que se obtienen en la investigación. “Las bases teóricas implican un desarrollo amplio de los conceptos y proposiciones que conforman el punto de vista o enfoque adoptado, para sustentar o explicar el problema planteado”. (Arias, 2016; p107).

2.3.1 Energía Renovable

Las energías renovables son todas aquellas fuentes de energía que se pueden hallar naturalmente y no se agotan. Se obtienen a partir de recursos naturales abundantes y cuentan con la propiedad de ser más limpias y sostenibles que los combustibles fósiles, ya que generan una menor emisión de gases de efecto invernadero.

2.3.2 Almacenamiento de Energía

El almacenamiento energético consiste en conservar energía generada sobrante para liberarla cuando se requiera en la misma manera en que se almacenó o en otra forma diferente.

2.3.3 Almacenamiento de Energía por Aire Comprimido

El almacenamiento de energía de aire comprimido (CAES) se basa en el ciclo de la turbina de gas (ver figura 1). El excedente de energía se usa para comprimir aire usando un compresor rotativo y luego almacenarlo, a menudo en una cámara subterránea. Cuando se requiere energía, se libera de la cámara y pasa a través de una turbina de aire que genera electricidad a partir del flujo de aire a alta presión. La compresión de aire crea calor; el aire es más caliente después de la compresión. La expansión requiere calor. Si no se añade más calor, el aire será mucho más frío después de la expansión. Si el calor generado durante la compresión puede ser almacenado y utilizado durante

expansión, aumenta la eficacia del almacenamiento. Hay tres maneras en qué un sistema CAES puede lidiar con el calor. El almacenamiento de aire puede ser adiabático, diabático, o isotérmico.

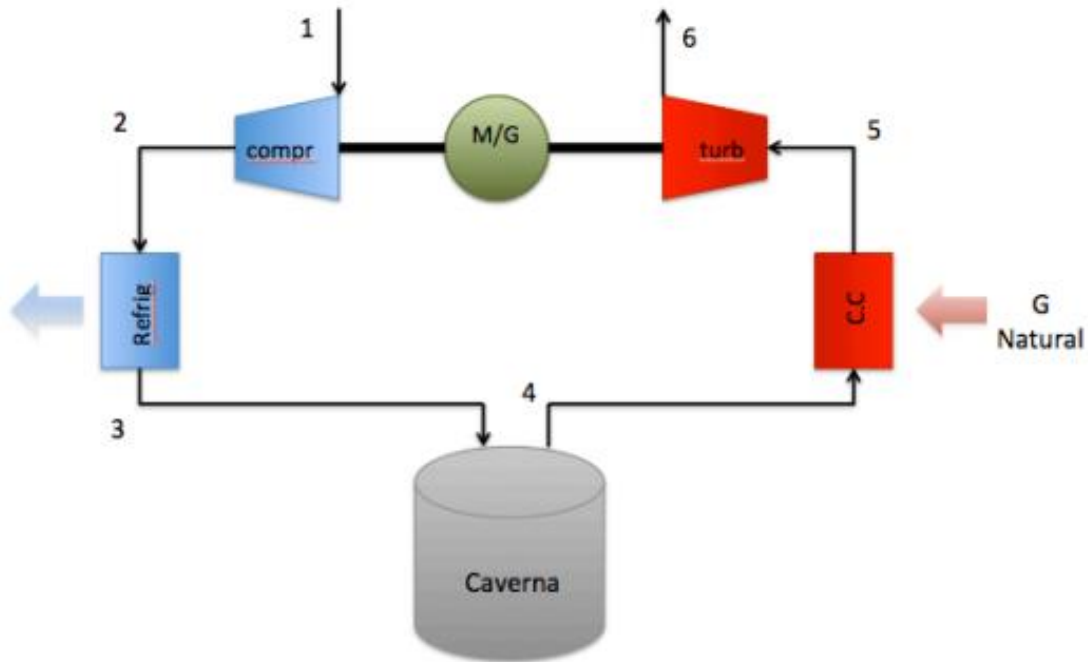


Figura 1: Esquema planta CAES convencional.
Fuente: Del Corte (2019)

2.3.3.1 Almacenamiento Adiabático

El almacenamiento adiabático continúa para mantener el calor producido por la compresión y la devuelve al aire cuando se expande el aire para generar energía. Este es un tema de estudio en curso, sin plantas a escala de utilidad a partir de 2015, pero un ADELE proyecto alemán tiene previsto llevar una planta de demostración (360 megavatios de capacidad de almacenamiento) en el servicio en 2016. La eficiencia teórica de almacenamiento adiabática se aproxima a 100% con un aislamiento perfecto, pero en la práctica la eficiencia de ida y vuelta se espera que sea del 70%. El calor puede ser almacenado en un sólido como el hormigón o piedra, o más probablemente en un líquido como el aceite caliente (hasta 300 °C) o soluciones de sales fundidas (600 °C).

2.3.3.2 Almacenamiento Diabático

Almacenamiento diabático disipa mucho del calor de la compresión con intercambiadores (aproximándose así a compresión isoterma) a la atmósfera en forma de desechos; esencialmente, perdiendo, así, la energía renovable usada para realizar el trabajo de compresión. Tras la retirada, la

temperatura del aire comprimido es el único indicador de la cantidad de energía almacenada que permanece en el aire. El calentamiento puede realizarse con un quemador de gas natural para el grado de utilidad de almacenamiento o con una masa de metal calentada. A medida que la recuperación suele ser más necesaria cuando las fuentes renovables están en reposo, el combustible tiene que ser quemado para compensar el calor malgastado. Esto degrada la eficiencia del ciclo de recuperación de almacenamiento; y si bien este enfoque es relativamente simple, la quema de combustible aumenta el costo de la energía eléctrica recuperada y pone en peligro los beneficios ecológicos asociados con la mayoría de las fuentes de energía renovables. No obstante, esto es hasta ahora el único sistema que ha sido implementado comercialmente.

2.3.3.3 Almacenamiento Isotermo

Métodos de compresión y expansión isotérmica intentan mantener la temperatura operativa por intercambio de calor constante al entorno. Son solo prácticos para niveles de bajos de energía, sin necesidad de intercambiadores muy eficaces. La eficacia teórica de almacenamiento de energía isotermo se acerca 100% para una perfecta transferencia de calor al entorno.

2.3.4 Compresor

Los compresores son dispositivos que se utilizan para incrementar la presión de un fluido. A estos dispositivos el trabajo se suministra desde una fuente externa a través de un eje giratorio, por lo tanto los compresores requieren entrada de trabajo.

2.3.4.1 Compresor Rotativo

Un compresor rotativo de paletas es un tipo de compresor en el cual el rotor gira en el interior de un estator cilíndrico. Durante la rotación, la fuerza centrífuga extrae las paletas de las ranuras para formar células individuales de compresión. La rotación reduce el volumen de la célula y aumenta la presión del aire.

2.3.5 Turbina

En las centrales eléctricas de vapor, gas o en hidroeléctricas, el dispositivo que impulsa al generador eléctrico es la turbina. A medida que el fluido pasa por ésta se hace trabajo contra las alabes (turbinas de vapor y de gas) o aspas (turbinas hidráulicas), las cuales están unidas a la flecha, la cual a su vez gira y la turbina produce trabajo.

2.3.5.1 Turbina de Gas

Una turbina de gas es una turbomáquina motora cuyo fluido de trabajo es un gas (ver figura 2). Como la compresibilidad de los gases no puede ser despreciada, las turbinas de gas son

turbomáquinas térmicas. Comúnmente se habla de las turbinas de gas por separado de las turbinas ya que, aunque funcionan con sustancias en estado gaseoso, sus características de diseño son diferentes, y, cuando en estos términos se habla de gases, no se espera un posible cambio de fase.

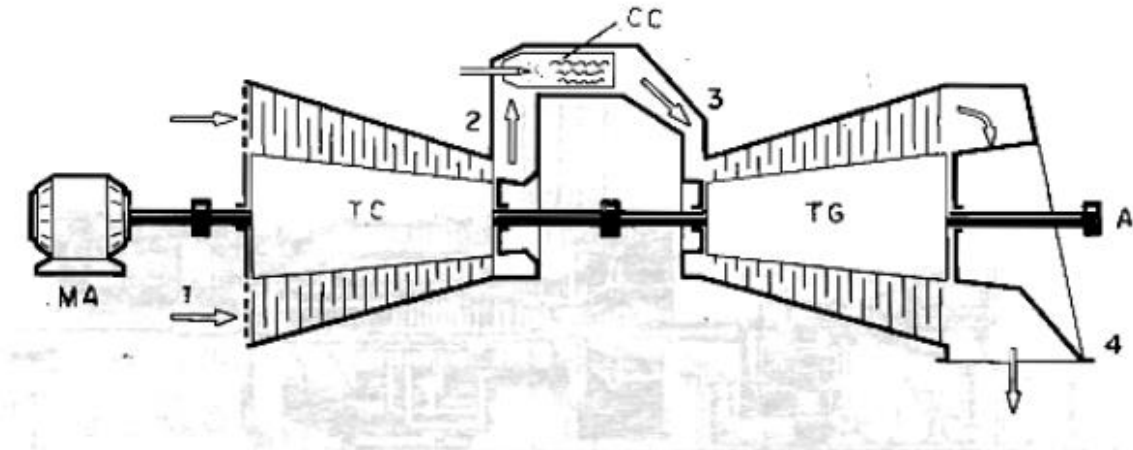


Figura 2: Turbina Generadora que funciona según ciclo abierto sencillo
Fuente: Mataix (2011)

2.3.5.2 Ciclo de la Turbina de Gas

El ciclo de la turbina de gas o ciclo Brayton (ver figura 3), consiste en dar presión al aire para luego calentarlo a base de quemar combustible. Posteriormente este gas a alta temperatura se hace pasar por una turbina donde se extrae su energía; una parte de esa energía se emplea para impulsar el compresor, y la energía restante se utiliza para girar un generador eléctrico.

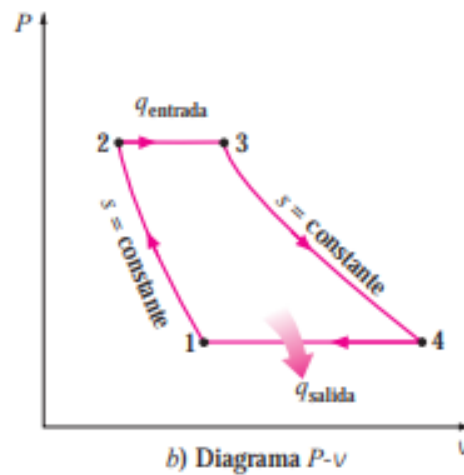
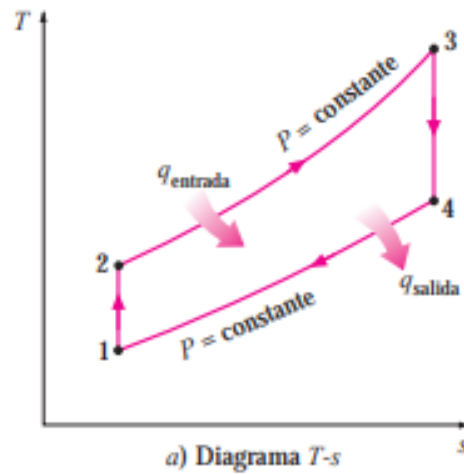


Figura 3: Diagramas T-s y P-v para un ciclo Brayton ideal
Fuente: Çengel (2009)

2.3.6 Intercambiador de Calor

Un intercambiador de calor es un dispositivo diseñado para transferir calor entre dos fluidos, sin que se mezclen directamente entre sí. Su función principal es facilitar el intercambio térmico eficiente, ya sea para calentar o enfriar un fluido utilizando el calor de otro fluido.

Los intercambiadores de calor están compuestos por dos corrientes de fluido separadas que circulan en circuitos independientes. Estas corrientes de fluido se encuentran en contacto a través de una superficie de intercambio térmico, que puede ser un conjunto de tubos, placas, aletas u otros elementos (ver figura 4). Uno de los fluidos, llamado fluido caliente, cede calor a través de la superficie de intercambio al otro fluido, conocido como fluido frío, que absorbe ese calor.

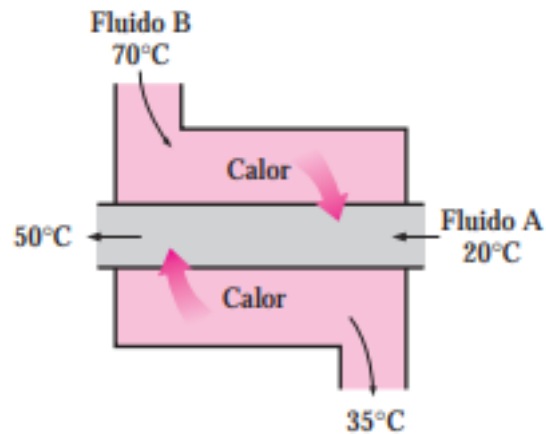


Figura 4: Intercambiador de calor de dos tuberías concéntricas
Fuente: Çengel (2009)

2.4 Bases Legales

Las bases legales hacen referencia a toda aquella manifestación escrita que siendo de carácter normativo, respaldan y dan soporte a la investigación. “Las bases legales no son más que leyes que sustentan, desde el punto de vista jurídico, el desarrollo del proyecto” (Figueredo et ál., 2020, p22)

El trabajo de investigación se encuentra bajo las siguientes bases legales:

Ley Orgánica del Ambiente

- **Artículo 12.** De la calidad ambiental.

El Estado, conjuntamente con la sociedad, deberá orientar sus acciones para lograr una adecuada calidad ambiental que permita alcanzar condiciones que aseguren el desarrollo y el máximo bienestar de los seres humanos, así como el mejoramiento de los ecosistemas, promoviendo la conservación de los recursos naturales, los procesos ecológicos y demás elementos del ambiente, en los términos establecidos en esta ley.

Ley de Uso Racional y Eficiente de la Energía

- **Artículo 8.** Promoción de nuevas tecnologías

El Estado venezolano promoverá el establecimiento y desarrollo en el territorio nacional, de industrias, fábricas y unidades de producción que empleen nuevas tecnologías para el diseño y elaboración de bienes de consumo masivo, dando un tratamiento prioritario al aprovechamiento de energías renovables. Para el logro de estas acciones, se podrán ejecutar las cláusulas sobre transferencia tecnológica contenidas en los instrumentos internacionales vigentes.

- **Artículo 9.** Actuación coordinada para la ejecución de proyectos.

Se deberán establecer mecanismos que fomenten la ejecución de proyectos productivos Nacionales que involucren el uso de tecnologías que aprovechen las energías renovables.

Ley Orgánica del Sistema y Servicio Eléctrico

- **Artículo 6.** Declaratorias de acceso universal y de servicio público

Interpretando el espíritu de la Constitución de la República, se reconoce el acceso universal al servicio eléctrico, el cual será garantizado por el Estado a todas las personas, quienes tienen el deber de hacer uso racional y eficiente del mismo.

Se declaran como servicio público las actividades de generación, transmisión, despacho del sistema eléctrico, distribución y comercialización.

- **Artículo 35.** Uso racional de la energía

Es el uso consciente de la energía utilizando sólo la necesaria para la satisfacción de las necesidades de cada usuario o usuaria, lo que contribuye con el mejor aprovechamiento de los recursos energéticos.

Ley Orgánica del Sector Eléctrico

- **Artículo 14.** Principios de planificación

La planificación de corto y largo plazo de la expansión del Sistema Eléctrico Nacional se realizará de manera tal que los proyectos que se prevean sean económica y técnicamente viables y ambientalmente sostenibles; que la demanda sea satisfecha bajo principios de eficiencia económica; que se cumplan los requisitos de calidad, confiabilidad y seguridad aplicables; y que los planes para cubrir la demanda eléctrica nacional y regional puedan adaptarse a las necesidades de cambio que emanen de las condiciones económicas, financieras, técnicas y ambientales del país.

La planificación del desarrollo de las redes de Distribución dentro de los límites de una mancomunidad de municipios, se hará de conformidad con lo establecido en el acuerdo de constitución de la mancomunidad en relación con la coordinación de los planes de desarrollo urbano local de los municipios involucrados.

Norma ISO

- **ISO 14001.** Protección del medio ambiente

La norma ISO 14001 ayuda a gestionar e identificar los riesgos ambientales que pueden producirse internamente en la empresa mientras realiza su actividad. Con la identificación y gestión de los riesgos que se consigue con esta norma, se tiene en cuenta tanto la prevención de riesgos

como la protección del medio ambiente, siguiendo la normativa legal y las necesidades socioeconómicas requeridas para su cumplimiento.

- **ISO 8573.** Calidad del Aire Comprimido

La serie de normas DIN ISO 8573 se ocupa de la calidad del aire comprimido en nueve partes. Las partes dos a nueve incluyen métodos de prueba. La Parte 8573-1 clasifica el aire comprimido por un contenido máximo de impurezas (partículas, agua y aceite) que puede contener.

2.5 Definición de Términos

- **Adiabático:** Proceso en el cual no hay transferencia de calor hacia o desde un sistema. En otras palabras, no hay intercambio de calor con el entorno durante el proceso.
- **Caudal:** Es la cantidad de fluido (líquido, gas o vapor) que fluye a través de un sistema en un determinado período de tiempo, generalmente medido en volumen por unidad de tiempo.
- **Compresión:** Es el proceso mediante el cual se reduce el volumen de una sustancia, en este caso, el aire, aumentando su presión.
- **Diabático:** Un proceso diabático implica transferencia de calor hacia o desde un sistema. Durante un proceso diabático, el sistema intercambia calor con su entorno.
- **Eficiencia:** Es la medida de la capacidad de un sistema o proceso para aprovechar la energía o los recursos de manera óptima y obtener el máximo rendimiento.
- **Entalpía:** La entalpía es una medida de la energía total de un sistema termodinámico y se representa como H. Incluye la energía interna del sistema y la energía asociada con la presión y el volumen del sistema.
- **Entropía:** La entropía es una medida del desorden o la distribución de la energía en un sistema. Cuanto mayor es la entropía, mayor es el desorden en el sistema.
- **Fotovoltaico:** Relacionado con la tecnología que convierte la luz solar directamente en electricidad. Los sistemas fotovoltaicos utilizan células solares para capturar la energía del sol y convertirla en corriente eléctrica.
- **Isotérmico:** Proceso termodinámico que ocurre a una temperatura constante. Durante un proceso isotérmico, la temperatura del sistema no cambia, lo que implica que la energía térmica se transfiere hacia o desde el sistema para mantener la temperatura constante.
- **Potencia:** La potencia es la cantidad de trabajo realizado por unidad de tiempo. Representa la rapidez con la que se realiza el trabajo o se transfiere energía.

- **Trabajo:** En física, el trabajo se define como la fuerza aplicada sobre una distancia. Es el producto de la fuerza utilizada para mover un objeto y la distancia sobre la cual se aplica esa fuerza.
- **Turbina:** Dispositivo mecánico que convierte la energía de un fluido en movimiento en energía mecánica rotativa. Las turbinas son comúnmente utilizadas en la generación de electricidad, donde el flujo de agua, vapor o gas hace girar las palas de la turbina, generando así energía.
- **Válvula:** Dispositivo mecánico que regula el flujo de fluidos, como el aire comprimido. En el almacenamiento de energía en aire comprimido, las válvulas se utilizan para controlar el flujo de aire hacia y desde los tanques de almacenamiento, permitiendo la liberación controlada de la energía almacenada.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Es crucial contar con un referente que permita estructurar y agilizar el desarrollo de la investigación, y esto se logra mediante el uso del marco metodológico. El marco metodológico comprende un conjunto de instrumentos que definen y guían el trabajo de investigación, señalando el camino más eficiente para su ejecución. Bajo la interpretación de Arias (2016) “la metodología del proyecto incluye el tipo o tipos de investigación, las técnicas y los instrumentos que serán utilizados para llevar a cabo la indagación. Es el "cómo" se realizará el estudio para responder al problema planteado” (p.110).

3.1 Paradigma de la Investigación

En palabras de Vega (2007) “Un paradigma tecnológico sustenta la denominada sociedad de la información. A partir de una aproximación a la realidad informacional, se expone su presencia en el desarrollo de la teoría y la práctica de la ciencia de la información. Se particulariza en la influencia de dicho paradigma a nivel subdisciplinario en la organización de la información. Se destaca, además, la significación de la dimensión cognitiva y social en la concepción del Web semántico en el contexto tecnológico actual”.

Expuesto lo anterior, el paradigma adoptado para el desarrollo del presente trabajo de investigación es el tecnológico por ser un proyecto basado en la aplicación de teorías científicas llevadas a la práctica y sometidas a un estudio exhaustivo de las características que describen dicho sistema.

3.2 Tipo de Investigación

En cuanto a la modalidad de la investigación utilizada se habla de proyecto factible, que en palabras de Hurtado (2010) “Son trabajos que conllevan a propuestas viables para atender necesidades demostradas a través de una investigación de campo o documental ya sea de una organización, grupo social o institución, a ser usados como solución al problema delimitado” (p.14). Y se procedió a su vez, con un enfoque de tipo cuantitativo en donde “se hace uso de la recogida de datos numéricos sobre variables, el análisis de la información se hace a través de métodos estadísticos, matemáticos e informáticos para explicar el comportamiento de las variables de estudio.” Hurtado (2010) (p.10).

En función de lo expresado en el párrafo anterior, este trabajo de grado está enmarcado en una investigación de tipo proyecto factible.

3.3 Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación adoptado en el presente estudio es un diseño documental y de campo, ya que se pretende observar un fenómeno en su contexto natural y, así mismo, obtener información respecto al mismo. Según Arias (2016) una investigación de campo “consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna” (p. 31). Así mismo, Para Tamayo y Tamayo (2000, p. 130) “la investigación documental es la que se realiza con base en revisión de documentos, manuales, revistas, periódicos, actas científicas, conclusiones y seminarios y/o cualquier tipo de publicación considerado como fuente de información.”

Una vez expuesto lo anterior, se considera que el diseño de la presente investigación es documental y de campo, y se seleccionarán las técnicas adecuadas con su respectivo instrumento para recopilar la información que permita diseñar el sistema con energía idóneo para satisfacer las necesidades energéticas de la comunidad de San José de Capanaparo, Estado Apure.

3.4 Nivel de la Investigación

Considerando las particularidades expuestas con anterioridad, se le atribuye el nivel de la investigación de tipo descriptiva. Para Arias (2016) “La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de conocer su estructura o comportamiento.” (p.24). Debido a esto, el curso de la investigación viene dado por las tendencias en los datos obtenidos consecuencia de la capacidad estadística en este nivel de investigación.

Haciendo mención de las palabras de Hurtado (2010) “La investigación descriptiva se realiza cuando la experiencia y la exploración previa indican que no existen descripciones precisas del evento en estudio, o que las descripciones existentes son insuficientes o han quedado obsoletas debido a un flujo distinto de información, a la aparición de un nuevo contexto, a la invención de nuevos aparatos o tecnología de medición” (p.413).

Ahora bien, en cuanto al caso de estudio mostrado se desea incrementar la calidad de vida de los habitantes de la comunidad de San José de Capanaparo por medio de la obtención y almacenamiento de energía eléctrica, por lo que fue necesario la estimación del consumo energético y los gastos producto del diseño y mantenimiento del sistema y la posterior comparación de las condiciones de vida actuales con las esperadas luego de implementar la posible solución.

3.5 Población y Muestra

Según Arias (2016), se define población como “La población, o en términos más precisos población objetivo, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación.” (p.81). En este trabajo de investigación la población es de tipo censal y está definida por el conjunto los sistemas de almacenamiento de energía en aire comprimido que ya han sido diseñados y comercializados anteriormente. Se realiza entonces un estudio a estos sistemas para identificar sus características y propiedades que son de ayuda para el avance de la investigación.

Por otra parte, si por alguna razón no es posible definir la población en el proyecto de investigación, se procede realizando la selección de una muestra. “La muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible” (Arias, 2016, p. 83).

3.6 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Están definidos como los métodos o técnicas que utiliza el autor para obtener la información y cumplir con los objetivos planteados en la investigación. De acuerdo a Hurtado (2010), “Las técnicas comprenden procedimientos y actividades que le permiten al investigador obtener la información necesaria para dar respuesta a su pregunta de investigación” (p. 771).

En este sentido, Arias (2016), señala que “Son ejemplos de técnicas; la observación directa, la encuesta en sus dos modalidades: oral o escrita (cuestionario), la entrevista, el análisis documental, análisis de contenido, entre otros” (p. 111).

Para el desarrollo de la investigación se realizó la observación directa, que “es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos” (Arias, 2016, p. 69). En cuanto al investigador la observación le permite tener la información de forma directa e inmediata, contemplando el objeto de estudio para capturar imágenes a través de los instrumentos de recolección de datos.

En el orden de ideas anteriores, “Los instrumentos son los medios materiales que se emplean para recoger y almacenar la información. Ejemplo: fichas, formatos de cuestionario, guía de entrevista, lista de cotejo, escalas de actitudes su opinión, grabador, cámara fotográfica o de video, entre otros instrumentos”. (Arias, 2016, p. 111). Es decir, que el investigador puede terminar los objetivos de la investigación, utilizando recursos tecnológicos y guías para guardarlos teniendo una fuente de donde verificar.

Ahora bien, en la presente investigación las técnicas de recolección de datos que se aplicaron fueron la observación directa y la entrevista; y los instrumentos a utilizar fueron la lista de cotejo y el guion de la entrevista, todo ello aplicado en la comunidad de San José de Capanaparo, Estado Apure en Venezuela.

3.6.1 Observación Directa

Con referencia a la definición de observación “es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos” (Arias, 2016, p. 69). En cuanto al investigador la observación le permite tener la información de forma directa e inmediata, contemplando el objeto de estudio para capturar imágenes a través de los instrumentos de recolección de datos. En el desarrollo del presente proyecto de investigación, esta técnica fue crucial para obtener un diagnóstico preliminar de la situación en la que se encuentra la localidad de San José de Capanaparo a nivel energético. El instrumento requerido para el desarrollo de esta técnica es la lista de cotejo que permitió llevar un control de los elementos o conductas que se esperaba o no estuvieran presentes en el estudio.

3.6.2 Entrevista

Por otra parte, en palabras de Arias (2016) “La entrevista, más que un simple interrogatorio, es una técnica basada en un diálogo o conversación "cara a cara", entre el entrevistador y el entrevistado acerca de un tema previamente determinado, de tal manera que el entrevistador pueda obtener la información requerida” p.73. El uso de la entrevista en la presente investigación fue de gran ayuda para identificar los requerimientos de la comunidad y la obtención de información acerca de las condiciones geográficas de la zona. Y el instrumento para esta técnica fue el guion de la entrevista previamente revisado y aprobado para la realización de esta técnica.

3.7 Técnicas de Análisis de Datos

El análisis de datos está formado por un proceso que une la codificación, la clasificación, el procesamiento y la interpretación de la información obtenida durante la recolección de datos. La finalidad del análisis es llegar a conclusiones específicas en relación al evento de estudio, y de dar respuesta a la pregunta de investigación. (Hurtado, 2010, p. 505).

Todas estas operaciones no pueden igualar de antemano de manera rígida. La recolección de datos y ciertos análisis preliminares pueden revelar problemas y dificultades que afectaran la planificación inicial del análisis de los datos. Sin embargo, es importante planificar los principales

aspectos del plan de análisis en función de la verificación de cada una de los objetivos ya que estas igualdades condicionarán a su vez la fase de recolección de datos.

Considerando lo anteriormente expuesto, las técnicas de análisis que fueron utilizadas en el desarrollo del presente proyecto de investigación, son la matriz FODA, el diagrama causa-efecto y el diagrama de Pareto, que son las que mejor se ajustan al desarrollo del trabajo.

3.7.1 Matriz FODA

Esta herramienta de análisis puede aplicarse a cualquier situación, individuo, producto o empresa que sea objeto de estudio en un momento dado. “El análisis FODA es una lista de las fortalezas y debilidades de una organización analizando sus recursos y capacidades, así como una lista de las amenazas y oportunidades que se identifica con el análisis de su entorno” (Stacey, 1993). Las variables analizadas y su representación en la matriz son específicas de ese momento. Después de analizarlas, se deben tomar decisiones estratégicas para mejorar la situación actual en el futuro.

- **Fortalezas:** se refiere a las capacidades especiales del objeto de estudio que le otorgan una posición de ventaja frente a la competencia. Incluye recursos controlados, habilidades y capacidades, y actividades positivas desarrolladas.
- **Oportunidades:** son factores positivos y explotables que deben descubrirse en el entorno en el que el objeto de estudio opera. Estas oportunidades permiten obtener ventajas competitivas.
- **Debilidades:** son factores que generan una posición desfavorable frente a la competencia. Incluyen recursos faltantes, habilidades que no se poseen y actividades que no se desarrollan de manera positiva.
- **Amenazas:** son situaciones que provienen del entorno y pueden incluso poner en peligro la existencia de la organización.

Con ayuda de esta herramienta, el desarrollo del trabajo de investigación se puede evaluar desde un mejor punto de vista con respecto a la viabilidad del diseño del sistema de producción y almacenamiento de energía en aire comprimido.

3.7.2 Diagrama Causa-Efecto (Ishikawa)

El diagrama causa-efecto es una forma de organizar y representar las diferentes teorías propuestas sobre las causas de un problema, es una herramienta que permite resumir de manera concentrada todas las posibles causas que se supone contribuyen a un efecto específico. Según Gutiérrez (2005, p. 165) el diagrama causa-efecto o diagrama de Ishikawa es un método gráfico que

refleja la relación entre una característica de calidad (muchas veces en el área problemática) y los factores que posiblemente contribuyen a que existan. De esta manera, facilita la comprensión compartida de un problema complejo, pero nunca debe reemplazar los datos. Es importante tener en cuenta que los diagramas de causa y efecto presentan y organizan teorías, las cuales solo pueden ser probadas cuando se contrastan con datos empíricos para determinar las causas de los fenómenos observables. Se cometen errores comunes al construir el diagrama sin analizar exhaustivamente los síntomas en su conjunto, al limitar involuntariamente las teorías propuestas ocultando la causa raíz, o al cometer errores en la relación causal y en el orden de las teorías, lo que implica una pérdida significativa de tiempo.

3.8 Validez de los Instrumentos

Cuando se habla de la calidad de un estudio hay que referirse a su rigor científico, fiabilidad, veracidad, confiabilidad, plausibilidad, adecuación metodológica, credibilidad, congruencia. Pero, quizá, el término más utilizado en el campo cuantitativo es el de «confiabilidad». Una investigación no confiable, no es verdadera. Una investigación no válida, no es una buena investigación, no tiene credibilidad. Si los estudios no pueden ofrecer resultados válidos, entonces, las decisiones políticas, educativas, curriculares, no pueden basarse en ellos.

Así mismo, Martínez (2006) expresa que una investigación con buena confiabilidad es aquella que es estable, segura, congruente, igual a sí misma en diferentes tiempos y previsible para el futuro.

En función a lo expresado por Martínez (2006), en esta investigación se realizó la validación del instrumento de recolección de información (guion de la entrevista) por un panel de expertos para dar confiabilidad a los datos recopilados.

3.9 Fases Metodológicas

Para realizar una investigación, se debe delimitar, identificar, desarrollar contenido, explorar, entre otros, una serie de pasos que permitan facilitar los criterios precisos de la investigación, donde esta serie de pasos son conocidos como fases. Las fases como ya antes dicho son una serie de pasos que debe llevar la investigación para sustentar los objetivos específicos.

Para las fases del desarrollo de la presente investigación, fueron divididos en 5 Fases para el cumplimiento de los objetivos específicos. Las fases a describir son:

- **FASE I: Diagnóstico de la situación de la localidad a nivel energético y de sus condiciones ambientales.**

Diagnóstico de la situación actual. En esta fase fue necesaria la recolección de información directamente en el área de estudio sobre la población y posible cantidad de energía requerida como también la recolección de información que permita la determinación de las mejores condiciones para la ubicación y el mejor aprovechamiento de los recursos energéticos naturales con que se ejecutará el diseño de la planta de almacenamiento.

- **FASE II: Análisis de las variables que influyen para la obtención del aire comprimido y generación de la energía eléctrica tomando en cuenta las energías alternativas.**

En esta fase se obtuvieron y calcularon las distintas variables necesarias para el mejor diseño de la planta como el dimensionamiento, sus variables principales como la capacidad, la potencia transmitida y la capacidad requerida para satisfacer la demanda de la localidad de San José de Capanaparo.

- **FASE III: Selección del tipo de energía a utilizar para la obtención del aire comprimido.**

Continuando con esta fase, se procedió a realizar un análisis de las ventajas de cada sistema de producción de energía alternativa que se pueda desarrollar en la comunidad dependiendo de las condiciones ambientales y la eficiencia de los mismos para la elección del más óptimo.

- **FASE IV: Diseño con ayuda de programas CAD del sistema de producción y almacenamiento de energía por aire comprimido.**

Siguiendo con la presente fase, con la ayuda de distintos Software CAD, se simula de manera precisa el funcionamiento de la planta y se apreciará el aspecto final del diseño, la ubicación y montaje de la misma.

- **FASE V: Evaluación de la viabilidad técnica, operativa, ambiental y económica del sistema diseñado.**

Finalmente, se procede a realizar la evaluación de la viabilidad del proyecto utilizando como referencia los datos obtenidos en las fases previas y comparando con otros sistemas su eficiencia, complejidad, impacto ambiental y costos de diseño.

3.10 Cuadro de Operacionalización de Variables

Objetivo General

Proponer el diseño de un sistema para la obtención de aire comprimido a través de energía alternativa para mover una turbina generadora de energía eléctrica en San José de Capanaparo, Estado Apure.

OBJETIVO ESPECÍFICO 1	VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES	ÍTEMS	FUENTE DE INFORMACIÓN	
Diagnosticar la situación de la localidad a nivel energético y de sus condiciones ambientales.	Consumo de Energía	Aspectos del sistema	Potencia Objetivo	1	Técnica: Entrevista Instrumento: Guion de entrevista	
			Población Objetivo	2		
	Condiciones Ambientales	Entorno del sistema	Fuente Generadora			3
						4
						5
			Condiciones Climáticas			6
						7

Fuente: Bolívar, J. (2023)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Diagnosticar la situación de la localidad a nivel energético y de sus condiciones ambientales.

La aplicación del primer objetivo proporcionó una gran cantidad de datos necesarios para llevar a cabo el proyecto. La elaboración de esta etapa implicó la comprensión de las condiciones energéticas y medioambientales en la localidad de San José de Capanaparo. Como resultado, se pudo identificar de manera clara la situación problemática y obtener conocimiento acerca de varias características esenciales para el avance de la investigación. Los datos empleados se recopilaron a través de métodos de observación en persona y mediante una entrevista estructurada.

4.1.1 Observación Directa

Para la aplicación de esta técnica, se realizó una lista de cotejo que sirvió como guía para evaluar las condiciones ambientales y el estilo de vida en la zona. Se obtuvieron muestras fotográficas y se consultó con los habitantes de la localidad acerca de sus hábitos, sus actividades del día a día y la relación que tenían con los aparatos eléctricos y electrónicos. La comunidad de San José de Capanaparo cuenta con un gran potencial para la producción de energías alternativas, ya que sus condiciones ambientales como la presencia de fuertes corrientes de viento, campo abierto bajo la luz del sol y cercanía al río Capanaparo ofrecen una variedad de opciones en cuanto a fuentes de energía se refiere.

La mayoría de los habitantes de San José de Capanaparo son familias indígenas y ganaderos, después de varias conversaciones con integrantes de la comunidad, se pudo comprender de mejor manera como se estructuran las labores diarias de los habitantes, que inician con la salida del sol y estas consisten principalmente en la búsqueda de alimento en las costas del río, cacería, ganadería, trabajo en el hogar y en algunos casos artesanías que luego serán intercambiadas o vendidas, para luego terminar la faena con la cena al final de la tarde. Cabe destacar que algunos habitantes cuentan con aparatos electrónicos y la gran mayoría tiene conocimiento o han manipulado dispositivos móviles. La comunidad también cuenta con una escuela, varias iglesias, un ambulatorio, centros comunes y antenas repetidoras de telefonía móvil.



Figura 5: Paneles solares de proyectos anteriores
Fuente: Bolívar, J. (2023)

En la figura 5 se puede observar un panel solar funcional que anteriormente formaba parte de un conjunto de paneles que convertían la energía solar fotovoltaica en energía eléctrica para lugares concurridos como la escuela, iglesias o ambulatorios. En el pasado existieron programas destinados a llevar energía eléctrica a la zona y aunque los mismos no fueron ejecutados de la mejor manera, esto indica que hay conocimiento de la tecnología y una infraestructura que puede facilitar el desarrollo de nuevos proyectos tecnológicos.



Figura 6: Salón de clases

Fuente: Bolívar, J. (2023)

En la figura 6 se observan los salones de clase de la escuela que son lugares con mucha entrada de luz y ventilación para asegurar la correcta visión y el confort de las personas que utilizan las instalaciones. Las actividades se realizan en cuadernos y hojas blancas o de reciclaje y se cuentan con pocos recursos para la obtención de información como lo son los libros físicos mayormente en posesión de la escuela. El uso de energía en una escuela podría ser de gran ayuda para la preparación de clases con información actualizada proveniente de ambientes virtuales o incluso la enseñanza de la manipulación de aparatos electrónicos en el aula.



Figura 7: Escuela y antena parabólica
Fuente: Bolívar, J. (2023)

Como parte de la ejecución de distintos proyectos para el manejo de la energía eléctrica en la zona, se instalaron estructuras como lo muestra la figura 7, en la que se observa una antena parabólica, como muestra de que se intentó hacer uso de contenido audiovisual para la enseñanza de los jóvenes en la escuela.



Figura 8: Cocina en leña
Fuente: Bolívar, J. (2023)

Los habitantes de San José de Capanaparo acostumbran a cocinar sus alimentos en fuego a la leña como se observa en la figura 8, usualmente antes de que el sol se oculté por la tarde y se dificulte la visión. Este es un proceso que, aunque es una costumbre cultural, requiere de un esfuerzo e inversión de tiempo mayor que con los métodos actuales de cocinas a gas o eléctricas.



Figura 9: Campo abierto
Fuente: Bolívar, J. (2023)

San José de Capanaparo es una localidad que cuenta con grandes extensiones de terreno en las que no existen construcciones y pueden ser aprovechadas para el desarrollo céntrico de instalaciones dedicadas a la producción y almacenamiento de energía eléctrica como se aprecia en la figura 9.



Figura 10: Proyecto de construcción de casas

Fuente: Bolívar, J. (2023)

Uno de los proyectos destinados a la mejora del estilo de vida de los habitantes de San José de Capanaparo, fue la construcción de casas cuya estructura facilitarían la instalación de elementos eléctricos como lámparas o enchufes. Las casas tienen la estructura que puede ser observada en la figura 10.



Figura 11: Iglesia nativa
Fuente: Bolívar, J. (2023)

En la figura 11 se puede apreciar una de las iglesias en las que los habitantes van a practicar su fé. Este acto forma parte del día a día de muchas de las personas que viven en San Josñe de Capanaparo.



Figura 12: Pesca y lavado de ropa a la orilla del río Capanaparo
Fuente: Bolívar, J. (2023)

Como parte de las actividades diarias de los habitantes de San José de Capanaparo, se puede evidenciar en la figura 12 la pesca y el lavado de ropa. Éstas actividades se realizan a la orilla del río un par de veces por semana. Al no haber energía eléctrica, no es posible el uso de lavadoras o refrigeradores para mantener los alimentos.



Figura 13: Transporte de vehiculos a través del rio Capanaparo

Fuente: Bolívar, J. (2023)

Para llegar a la localidad desde algunas zonas es más recomendable cruzar con los vehículos a través del río como se puede ver en la figura 13, esto representa un mayor ahorro de tiempo y combustible, pero también puede ser peligroso. Anteriormente existían embarcaciones guiadas o balsas que permitían el paso de vehículos y personas, éstas se desplazaban aprovechando la fuerza de sus pasajeros, estas embarcaciones se fueron deteriorando con el tiempo y hoy en día los habitantes usan otros métodos de transporte menos seguros.

4.1.1.1 Lista de Cotejo

La lista de cotejo (ver cuadro 1) se elaboró con la intención de corroborar de manera visual y en conversaciones con los habitantes de la zona, cuáles eran las condiciones a nivel energético y ambiental en las que se encontraba San José de Capanaparo, que en su zona con más densidad poblacional cuenta con 20 viviendas en la que habitan unas 100 personas aproximadamente. Esta información refleja la necesidad existente y facilita el proceso de elección de la energía primaria que se usará para la producción de energía eléctrica.

Cuadro 1: Lista de Cotejo

ITEMS	PREGUNTAS	SI	NO	OBSERVACIONES
1	¿Existen métodos de producción de energía en la zona?		X	Con excepción de algunos paneles solares no funcionales de proyectos no completados en el pasado.
2	¿La zona cuenta con espacio suficiente para la construcción de infraestructuras para la generación de energía eléctrica?	X		Cuenta con un terreno amplio sin muchas construcciones.
3	¿Los habitantes cuentan con tecnología que requiera el uso de energía eléctrica?	X		Algunos habitantes cuentan con bombillas eléctricas en sus hogares y teléfonos móviles que cargan por medio de plantas eléctricas a gasolina.
4	¿Existe comercio en la zona?	X		Mayormente en efectivo o trueques.
5	¿Las condiciones ambientales son aptas para el desarrollo de tecnología de producción de energía eléctrica?	X		Existen varias fuentes que pueden ser utilizadas para la generación de energía eléctrica.
6	¿Los habitantes realizan actividades en horas de la noche?		X	Con excepción de eventos como ferias, festejos religiosos o trabajos de cacería nocturna.
7	¿Los habitantes almacenan sus alimentos por varios días antes de su consumo?		X	Con excepción de alimentos no perecederos o con poco contenido de agua.
8	¿Los habitantes cuentan con instituciones públicas?	X		Escuelas, iglesias y ambulatorios.

Fuente: Bolívar, J. (2023)

4.1.2 Aplicación de la Entrevista

En la ejecución de esta técnica, se realizó un conjunto de preguntas a dos ingenieros encargados del área de generación de energía eléctrica en la empresa CORPOELEC, esta entrevista fue tipo dialogo entre el experto y el investigador y se realizó para obtener información acerca de las posibles opciones de generación de energía eléctrica en la zona de San José de Capanaparo y evaluar la factibilidad de cada una de ellas (ver cuadros 2 y 3).

Cuadro 2: Entrevista N°1

APLICACIÓN DE LA ENTREVISTA		
ITEM	PREGUNTA	RESPUESTA
1	¿Cuál es la potencia promedio consumida por persona en un día para cubrir sus necesidades básicas y la variabilidad con respecto al consumo internacional?	La potencia eléctrica promedio consumida por una persona en Venezuela está en el orden de los 70 a 80 kwh/persona al mes lo cual representa un consumo de 2,33 a 2,67 kwh/persona al día en comparación a el consumo internacional estamos en niveles no tan distintos.
2	En función a su experiencia en el ramo eléctrico, ¿podría indicarnos en función a la estadística, cual es el mes de mayor consumo eléctrico y si cumple con los estándares de consumo internacional?	Los meses del periodo llamado seco por existir menos precipitaciones, el consumo eléctrico es mayor, donde el mes que representa el mayor consumo es el mes de marzo, internacionalmente la demanda viene de la mano de las condiciones ambientales y todas varían dependiendo de la zona geográfica.
3	Desde su óptica, ¿puede describir las ventajas y desventajas entre la energía solar, eólica e hidráulica? y en función a ello, ¿cuál considera que sea la más eficiente?	La energía hidráulica en la actualidad representa la mejor opción pero está altamente limitada a ciertas condiciones ambientales presentes para su desarrollo.
4	Entre la energía solar, eólica e hidráulica ¿Cuál considera usted que es la menos fluctuante?	Todas las energías actuales son fluctuantes en el tiempo porque vienen alimentadas del ambiente y con los

		cambios climáticos actuales limitan la producción o la comprometen.
5	Entre la energía solar, eólica e hidráulica ¿Cuál de estas alternativas considera usted que representa un menor costo de diseño y construcción?	Por los grandes volúmenes de energía producida en menor costo, la energía hidráulica en la actualidad representa la mejor opción.
6	¿Cómo afectan las altas temperaturas al desempeño de equipos neumáticos?	Todos los equipos eléctricos los afecta la temperatura del ambiente y en su mayoría tienen una placa característica en la que viene descrito el rango máximo de temperatura a la cual puede estar sometido para su óptimo funcionamiento en el tiempo, las variaciones de la temperatura bien sean altas o bajas afectan el rendimiento de los equipos.
7	En función a su vivencia como habitante de Achaguas, considera usted posible generar electricidad a través del caudal del río Capanaparo a la altura de la comunidad de San José de Capanaparo?	Para generar electricidad se deben cumplir con ciertas condiciones ambientales que darían la factibilidad de desarrollar un proyecto de generación en esa zona en este caso el caudal del agua, se tendrían que hacer estudios específicos para evaluar correctamente la viabilidad.

Fuente: Bolívar, J. (2023)

Cuadro 3: Entrevista N°2

APLICACIÓN DE LA ENTREVISTA		
ITEM	PREGUNTA	RESPUESTA
1	¿Cuál es la potencia promedio consumida por persona en un día para cubrir sus necesidades básicas y la variabilidad con respecto al consumo internacional?	Las estadísticas indican 2519,4kwh por persona al año, en contraste con 2198 kwh/año por persona a nivel global. El consumo es parecido.

APLICACIÓN DE LA ENTREVISTA		
ITEM	PREGUNTA	RESPUESTA
2	<p>En función a su experiencia en el ramo eléctrico, ¿podría indicarnos en función a la estadística, cual es el mes de mayor consumo eléctrico y si cumple con los estándares de consumo internacional?</p>	<p>Los meses de mayor consumo eléctrico en Venezuela y en cualquier parte del mundo son aquellos en los cuales se experimentan umbrales de temperatura, bien sea frío o calor. En Venezuela los picos de consumo se registran en los meses de Marzo-Abril. Que estén o no dentro de los patrones de consumo internacional, depende de la capacidad de las poblaciones para adquirir estos equipos de aire acondicionado y/o calefacción.</p>
3	<p>Desde su óptica, ¿puede describir las ventajas y desventajas entre la energía solar, eólica e hidráulica? y en función a ello, ¿cuál considera que sea la más eficiente?</p>	<p>Energía eólica: Ventajas: Energía limpia, Bajo costo de operaciones Desventajas: Alto costo de inversión para su construcción, Alto costo de mantenimientos correctivos</p> <p>Energía solar: Ventajas: Energía limpia, menor costo, Tiempo de construcción corto. Desventajas: La captación de energía solo se logra en horas diurnas</p> <p>Energía hidráulica Ventajas: Energía limpia, Costo de operaciones bajo Desventajas: Impacto ambiental por la construcción de las represas necesarias, alto costo de inversión para la construcción, alto costo de mantenimiento</p> <p>Se puede inferir que el sistema de generación eléctrico más idóneo es el de energía solar fotovoltaica.</p>

APLICACIÓN DE LA ENTREVISTA		
ITEM	PREGUNTA	RESPUESTA
4	Entre la energía solar, eólica e hidráulica ¿Cuál considera usted que es la menos fluctuante?	Las fluctuaciones se producen toda vez que existan perturbaciones en el sistema, bien sea por fallas o cortocircuitos a lo largo del sistema o porque la demanda sobrepase en gran medida a la producción, esta última condición convierte a nuestro sistema en inestable y cualquier evento por mínimo que sea se traduce en fluctuaciones de energía. Sin embargo, con la construcción e instalación de grandes centros de acumulación de energía se ha logrado determinar que estos ofrecen una excelente capacidad de estabilidad en los sistemas.
5	Entre la energía solar, eólica e hidráulica ¿Cuál de estas alternativas considera usted que representa un menor costo de diseño y construcción?	Sin lugar a dudas los parques de generación Fotovoltaicos sin acumulación o con acumulación representan hoy por hoy los proyectos de menor costo.
6	¿Cómo afectan las altas temperaturas al desempeño de equipos neumáticos?	Cuando se tiene aire comprimido en un espacio y este es sometido a altas temperaturas, las moléculas de aire se expanden y por consiguiente se produce una elevación de presión espacio en cuestión.
7	En función a su vivencia como habitante de Achaguas, considera usted posible generar electricidad a través del caudal del río Capanaparo a la altura de la comunidad de San José de Capanaparo?	Se deben realizar una serie de estudios técnicos con equipos especializados que permitan conocer datos necesarios para este tipo de proyectos, entre ellos: nivel de las aguas, velocidad del caudal, sedimentos, por lo menos por 12 meses continuos.

Fuente: Bolívar, J. (2023)

4.2 Análisis de las variables que influyen para la obtención del aire comprimido y generación de la energía eléctrica tomando en cuenta las energías alternativas.

Con el uso de ésta técnica se puede identificar y aprovechar las posibles ventajas y predecir las desventajas en la ejecución del proyecto a partir de los datos obtenidos en la observación directa y el contacto con los habitantes de la región (ver cuadro 4).

Cuadro 4: Matriz FODA

	OPORTUNIDADES	AMENAZAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo económico de la zona. • Potenciación del turismo. • Mejora en el estilo de vida de los habitantes. • Mejora en la educación de los jóvenes. • Mejora en la higiene y salubridad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mala adaptación por parte de los habitantes. • Fluctuación en la generación de energía. • Falta de alternativas en caso de fallas eléctricas. • Daño por altas temperaturas. • Oxidación acelerada de los equipos en invierno.
FORTALEZAS	Estrategias FO	Estrategias FA
<ul style="list-style-type: none"> • Condiciones ambientales aptas. • Espacio disponible. • Poca demanda energética. • Bajo mantenimiento. • Zona de alto valor cultural. 	<p>Aprovechar la poca demanda de energía en el sector para potenciar la economía basada en el turismo.</p> <p>Dar a conocer el valor cultural de la zona.</p> <p>Integración de la comunidad indígena a los procesos tecnológicos.</p>	<p>Aprovechar el terreno disponible para construir una infraestructura que no genere disturbios en la comunidad.</p> <p>Diseñar un a infraestructura que pueda protegerse de la humedad y el calor.</p> <p>Uso del sistema CAES para evitar la fluctuación en la producción de energía.</p>
DEBILIDADES	Estrategias DO	Estrategias DA
<ul style="list-style-type: none"> • Coste inicial alto. • Poca infraestructura aprovechable. • Necesidad de construcción de líneas de distribución. • Vulnerabilidad ante los cambios climáticos. • Necesidad de personal de mantenimiento en la zona. 	<p>Recuperar la inversión inicial aumentando el ingreso producto del turismo.</p> <p>Capacitar a los habitantes para realizar el mantenimiento de los equipos.</p> <p>Utilizar la energía producida para apaciguar o los efectos de las lluvias y las altas temperaturas.</p>	<p>Antes de la creación de líneas de distribución, centralizar la producción de energía para ahorro de dinero y adaptación de los habitantes.</p> <p>Iniciar con baja producción de energía y evaluar el comportamiento de los habitantes.</p> <p>Instruir a los habitantes en el mantenimiento y protección de los equipos e infraestructura.</p>

Fuente: Bolívar, J. (2023)

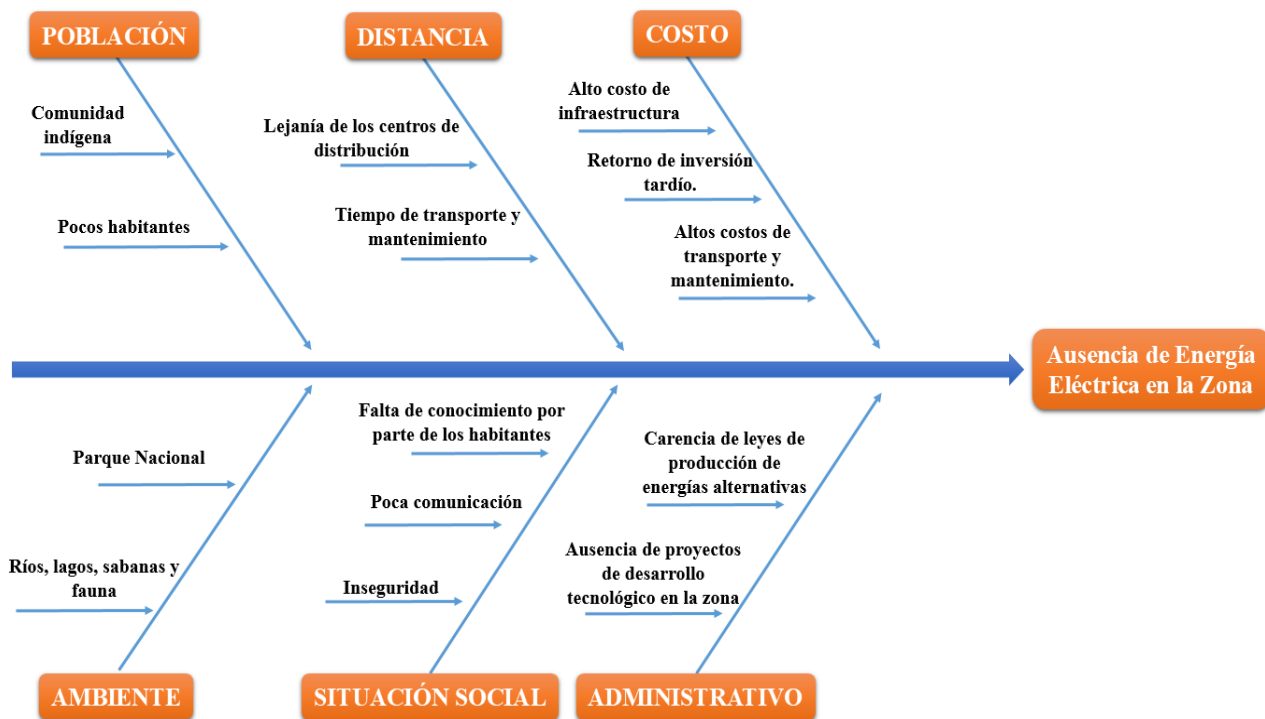


Figura 14: Diagrama Causa-Efecto (Ishikawa)

Fuente: Bolívar, J. (2023)

Al ser una herramienta que permite identificar los posibles orígenes de un problema, el diagrama de Ishikawa o Causa y Efecto de una manera muy gráfica ayuda a determinar los puntos clave a los que se debe prestar especial atención para que en el desarrollo de una propuesta de solución se limiten lo más posible las consecuencias de estos elementos que producen el problema. Gracias a la aplicación de este método en la presente investigación, se pueden deducir que el problema de la ausencia de energía eléctrica en la comunidad de San José de Capanaparo, se debe a su condición de lejanía de las líneas de distribución de energía del estado Apure y que al ser un Parque Nacional con grandes extensiones de sabana, flora y fauna, ríos y poca población, no es rentable ni óptimo para el medio ambiente el llevar la energía desde las centrales eléctricas hasta esa zona.

Es por esta razón, que la manera más eficiente y segura de llevar la energía eléctrica a San José de Capanaparo sería con una planta de producción y almacenamiento de energía alternativa, que al ser una infraestructura que estaría ubicada en la localidad y no va a producir gran contaminación, no afectará negativamente al ecosistema.

4.2.1 Potencia Objetivo

Según los datos suministrados por los expertos, la cantidad promedio de potencia necesaria para una persona va entre los 2,33kwh y 2,67kwh, estos datos aplican para una vivienda de tamaño medio con todos los servicios y electrodomésticos, puesto que las casas en San José de Capanaparo son de tamaño reducido y para un principio el proyecto apunta a surtir energía para abastecer iluminación, línea blanca básica (neveras, lavadoras y cocinas) para posteriormente abrir paso al comercio en la zona y la explotación de los sitios turísticos. Por esto se tomará un consumo aproximado de 3kwh por vivienda. Para unas 20 viviendas en las que habitan alrededor de 100 personas el consumo aproximado de la comunidad es de 60kwh/día. Siendo esta la potencia mínima que se requiere que el sistema produzca. Cabe destacar que el sistema de producción de energía debe ser capaz de producir una potencia mayor para alimentar el sistema de almacenamiento, que a su vez, debe ser capaz de almacenar un día de consumo para evitar cortes energéticos en caso de posibles fallas o días de poca producción. En Apure, el periodo nocturno es de 12 horas y al ser terreno llano, no hay cerros que tapen el sol en el amanecer o atardecer. Tomando en cuenta todo esto se concluye que el depósito del sistema CAES debe ser capaz de almacenar al menos 60kwh.

4.2.2 Producción de Energía Solar Fotovoltaica

Para producir energía solar fotovoltaica, es necesario contar con una serie de condiciones y elementos esenciales que permitan la generación de electricidad a partir de la radiación solar. Se necesita una cantidad suficiente de radiación solar para generar electricidad de manera efectiva. Las regiones con alta irradiación solar son ideales para la producción de energía solar fotovoltaica. La radiación solar se mide en kilovatios-hora por metro cuadrado al año (kWh/m²/año) y varía según la ubicación geográfica. La ubicación del sistema fotovoltaico es fundamental. Debe estar ubicado en un lugar con exposición directa al sol durante la mayor parte del día. Los techos de edificios, terrenos despejados o áreas con poca obstrucción son opciones comunes.

La inversión inicial para la compra e instalación de un sistema solar fotovoltaico puede ser significativa, por lo que es importante considerar las opciones de financiamiento y los incentivos gubernamentales disponibles. Además, se deben obtener los permisos necesarios para la instalación. También es importante contar con un sistema de monitorización para supervisar el rendimiento del sistema solar y detectar posibles problemas o disminuciones en la producción.

Las condiciones ambientales como la temperatura y la sombra pueden afectar el rendimiento de los paneles solares. La temperatura ambiente debe estar dentro de un rango adecuado y la sombra debe minimizarse para obtener un rendimiento óptimo.

La temperatura óptima de funcionamiento de los paneles solares se sitúa entre los 20 y los 25 grados. Por encima de esta temperatura, el rendimiento de las placas solares se reduce ligeramente. De hecho, según la mayoría de los fabricantes, a 40°C el rendimiento se sitúa en torno al 80%. Sin embargo, este efecto negativo producido por el calor se ve compensado por el aumento de horas solares. Así es cómo afecta la temperatura al rendimiento de las placas solares.

El punto máximo de rendimiento de un panel solar es, por tanto, cuando el ambiente está más templado, incluso si está nublado. Al contrario de lo que se suele pensar, las placas solares sí producen electricidad en los días nublados. Las nubes afectan a la radiación de tres maneras distintas: la reflejan, la absorben y la difuminan, pero no impiden que esa radiación alcance el panel fotovoltaico. Por lo tanto, incluso en los días de mayor nubosidad, la instalación puede rendir al 10% o 15%.

Los principales elementos necesarios para la producción de energía solar fotovoltaica son:

- **Paneles Solares:** Se requieren paneles solares fotovoltaicos que conviertan la luz solar en electricidad. Los paneles solares generalmente están hechos de células solares de silicio cristalino o de película delgada y se montan en una estructura que los orienta hacia el sol.
- **Inversor Solar:** Un inversor solar es necesario para convertir la corriente continua (CC) generada por los paneles solares en corriente alterna (CA) utilizada en la mayoría de los hogares y sistemas eléctricos.
- **Conexión a la Red o Sistema de Almacenamiento:** La electricidad generada se puede utilizar directamente en el lugar o ser inyectada en la red eléctrica. Si se almacena, se necesitará un sistema de almacenamiento, como baterías, para su uso posterior.

Para realizar una correcta estimación de cuanta potencia puede generar un panel solar, se debe hacer una investigación en el mercado, para determinar los tipos de paneles existentes, sus capacidades y características principales. Existe una gran variedad de paneles solares en el mercado que van desde los 100W hasta incluso los 800W y los costos varían por el mismo orden.

Los tipos de paneles que se encuentran en el mercado, se pueden dividir por el material del que están elaborados de esta manera:

1. Paneles solares de silicio cristalino:

- Paneles solares monocristalinos: Estos paneles están fabricados a partir de una sola estructura de cristal de silicio. Son conocidos por su alta eficiencia y rendimiento en condiciones de espacio limitado. Son ideales para aplicaciones donde se requiere generar una gran cantidad de energía en un espacio reducido.
- Paneles solares policristalinos: Estos paneles están hechos de múltiples cristales de silicio. Son un poco menos eficientes que los monocristalinos pero suelen ser más económicos. Son adecuados para aplicaciones comerciales donde el espacio no es un problema y se busca un equilibrio entre costo y rendimiento.

2. Paneles solares de película delgada:

- Paneles solares de película delgada de telururo de cadmio (CdTe): Estos paneles utilizan una fina capa de telururo de cadmio para generar electricidad. Son conocidos por su bajo costo y su capacidad para funcionar bien en condiciones de poca luz. Son utilizados en aplicaciones comerciales y de gran escala.
- Paneles solares de película delgada de silicio amorfo (a-Si): Estos paneles también son delgados y flexibles. Son adecuados para aplicaciones en las que se requiere una flexibilidad y una adaptabilidad a superficies curvas. Su eficiencia es menor en comparación con los paneles de silicio cristalino.

En el mercado de energía solar, existen varios tipos de inversores solares diseñados para convertir la corriente continua (CC) generada por los paneles solares en corriente alterna (CA) que se utiliza en la mayoría de los hogares y sistemas eléctricos. A continuación, se presentan algunos de los tipos más comunes de inversores solares:

- Inversores de Cadena (String Inverters):

Los inversores de cadena son los más comunes en sistemas solares residenciales y comerciales. Funcionan conectando varios paneles solares en serie (en cadena) y convierten la CC de toda la cadena en CA. Son eficientes y económicos, pero si un panel está sombreado o tiene un mal funcionamiento, puede afectar el rendimiento de toda la cadena.

- Inversores Centralizados (Central Inverters):

Los inversores centralizados son utilizados en sistemas solares a gran escala, como plantas de energía solar. Convierten la CC generada por múltiples cadenas de paneles en CA. Son eficientes y fáciles de mantener, pero una falla en el inversor puede afectar todo el sistema.

- Inversores Optimizados (Power Optimizers):

Los inversores optimizados se colocan en el mismo riel que los paneles solares y optimizan el rendimiento de cada panel individualmente antes de enviar la energía a un inversor centralizado. Esto significa que el rendimiento de un panel no se ve afectado por el rendimiento de otros paneles en el sistema.

- Microinversores (Microinverters):

Los microinversores se colocan directamente en la parte posterior de cada panel solar. Cada panel tiene su propio inversor, lo que significa que cada panel opera independientemente de los demás. Esto es especialmente útil en sistemas donde los paneles están ubicados en diferentes orientaciones o sufren sombreado parcial.

- Inversores Híbridos (Hybrid Inverters):

Los inversores híbridos son versátiles y pueden funcionar tanto conectados a la red eléctrica como en sistemas de almacenamiento de energía (con baterías). Pueden suministrar energía a la red y almacenar energía en baterías para su uso posterior, lo que proporciona flexibilidad al usuario.

- Inversores de Batería (Battery Inverters):

Diseñados específicamente para sistemas de almacenamiento de energía con baterías, estos inversores cargan y descargan las baterías de manera eficiente y controlan el flujo de energía entre la batería, los paneles solares y la red eléctrica.

- Inversores Híbridos Todo en Uno (All-in-One Hybrid Inverters):

Estos inversores integran las funciones de inversores solares, cargadores de baterías y controladores de sistemas en un solo dispositivo. Son convenientes para sistemas de energía solar con almacenamiento y son ideales para aplicaciones fuera de la red.

La elección del tipo de inversor solar dependerá de varios factores, como el tamaño del sistema, el presupuesto, la ubicación geográfica y los requisitos de rendimiento específicos del proyecto. Cada tipo de inversor tiene sus ventajas y desventajas, por lo que es importante seleccionar el tipo adecuado para satisfacer las necesidades del sistema solar en cuestión.

4.2.3 Producción de Energía Eólica

Evaluar la instalación de turbinas eólicas para producir energía eólica es un proceso que requiere una comprensión sólida de varios aspectos técnicos, ambientales, económicos y regulatorios. Entre los aspectos clave que se necesita considerar al evaluar una instalación de turbinas eólicas están:

- Recursos eólicos: Se debe evaluar la velocidad y dirección del viento en la ubicación propuesta para determinar la viabilidad del proyecto. Esto incluye la realización de estudios de viento a largo plazo utilizando torres de medición de viento y análisis de datos históricos.
- Ubicación del sitio: Se identifica la ubicación exacta para la instalación de las turbinas eólicas. Esto puede incluir la selección de terrenos adecuados y la consideración de factores geográficos y geológicos.
- Permisos y regulaciones: Se investiga y comprenden los requisitos regulatorios locales, estatales y federales relacionados con la instalación de turbinas eólicas. Esto incluye permisos de uso de la tierra, licencias ambientales y cumplimiento de normativas de seguridad.
- Impacto ambiental: Se evalúa el impacto ambiental del proyecto, incluyendo la afectación a la fauna, la flora y los ecosistemas locales. Cumpliendo con regulaciones de conservación y mitigación ambiental.
- Diseño del sistema: Se decide el tipo y tamaño de las turbinas eólicas que se utilizarán. Considerando la capacidad de generación, la altura de la torre y la disposición en el sitio.
- Financiamiento y costos: Se realiza un análisis económico para determinar la viabilidad financiera del proyecto. Esto incluye el costo de las turbinas eólicas, la infraestructura necesaria y los gastos operativos.
- Operación y mantenimiento: Se planifica cómo se llevará a cabo la operación y el mantenimiento continuo de las turbinas eólicas para garantizar su rendimiento a lo largo del tiempo.
- Seguridad y salud: Se establecen protocolos de seguridad para la construcción y operación de las turbinas eólicas. Esto es fundamental para proteger a los trabajadores y cumplir con las regulaciones de seguridad laboral.
- Estudio de impacto visual: Se evalúa el impacto visual de las turbinas eólicas en la comunidad local y realiza consultas con los residentes para abordar inquietudes.
- Evaluación de riesgos: Se identifica y gestiona los riesgos potenciales asociados con el proyecto, como variaciones en la velocidad del viento, problemas de mantenimiento y factores económicos.

Existen varios tipos de turbinas eólicas diseñadas para la producción de energía eólica. Cada tipo tiene sus propias características y aplicaciones específicas. Algunos de los tipos más comunes de turbinas eólicas son:

Turbina Eólica de Eje Horizontal (HAWT - Horizontal Axis Wind Turbine):

- Turbina Eólica de Velocidad Fija (Fixed-Speed HAWT): Este tipo de turbina tiene un generador conectado directamente al eje de las palas y opera a una velocidad de rotación constante. Suelen tener tres palas y son adecuadas para condiciones de viento constantes. Estas turbinas suelen funcionar de manera constante a una velocidad de rotación predefinida, lo que las hace adecuadas para condiciones de viento relativamente estables. No son tan eficientes en condiciones de viento variable o baja.
- Turbina Eólica de Velocidad Variable (Variable-Speed HAWT): Estas turbinas utilizan un generador de velocidad variable que permite ajustar la velocidad de rotación de las palas para optimizar la captura de energía en una variedad de condiciones de viento. Son más eficientes que las de velocidad fija. Pueden adaptarse a una amplia gama de condiciones de viento ajustando la velocidad de rotación de las palas. Son más eficientes que las de velocidad fija, pero requieren un sistema de control más sofisticado.
- Turbina Eólica de Engranajes Directos (Direct-Drive HAWT): Estas turbinas eliminan la necesidad de una caja de engranajes, lo que reduce la complejidad y el mantenimiento. Operan a velocidades variables y son eficientes. Estas turbinas pueden operar a velocidades variables y son eficientes. La eliminación de la caja de engranajes reduce el mantenimiento y mejora la confiabilidad.

Turbina Eólica de Eje Vertical (VAWT - Vertical Axis Wind Turbine):

- Turbina Eólica Darrieus: Las turbinas Darrieus tienen un diseño de eje vertical con dos o más alas en forma de "S". Son compactas y se pueden instalar en espacios reducidos, pero su eficiencia es variable. Son adecuadas para una variedad de condiciones de viento y pueden arrancar a velocidades de viento más bajas. Su diseño compacto las hace útiles en lugares con espacio limitado.
- Turbina Eólica Savonius: Las turbinas Savonius también tienen un diseño de eje vertical, con palas en forma de "S" o de "C". Son robustas y pueden funcionar a velocidades de viento más bajas, pero su eficiencia es limitada en comparación con otros diseños. Tienen la ventaja

de funcionar a velocidades de viento muy bajas y son robustas, pero su eficiencia es limitada en comparación con otros diseños.

Turbina Eólica de Eje Horizontal de Dos Palas (Two-Bladed HAWT): Estas turbinas tienen solo dos palas y operan a velocidades variables. Son eficientes y se utilizan en proyectos de menor escala. Estas turbinas pueden funcionar en condiciones de viento variable. Suelen utilizarse en proyectos de menor escala.

Turbina Eólica de Baja Velocidad Específica (Low-Speed Specific Turbine): Estas turbinas están diseñadas para funcionar a velocidades de viento bajas y constantes, como las que se encuentran en áreas urbanas o boscosas.

4.2.4 Producción de Energía Hidráulica

La implementación de un proyecto de producción de energía hidráulica, también conocida como energía hidroeléctrica, implica una serie de pasos y consideraciones clave. En términos generales los principales elementos que se deben considerar para un proyecto de producción de energía hidráulica son:

Evaluación de Recursos Hidroeléctricos:

- Identificación de fuentes de agua: Se deben identificar ríos, arroyos o fuentes de agua adecuadas para el proyecto. Esto implica la medición del caudal y la evaluación de la disponibilidad de agua durante todo el año.

Permisos y Regulaciones:

- Cumplimiento normativo: Se deben conocer las regulaciones ambientales, de agua y energéticas locales, estatales y nacionales que se aplican a proyectos hidroeléctricos y obtener los permisos y autorizaciones necesarios para el proyecto.

Estudio de Impacto Ambiental:

- Evaluación ambiental: Realiza un estudio detallado de impacto ambiental para evaluar los posibles efectos del proyecto en el ecosistema local. Debes desarrollar estrategias de mitigación para minimizar cualquier impacto negativo.

Diseño de la Central Hidroeléctrica:

- Tipo de central: Se elige el tipo de central hidroeléctrica, que puede ser de almacenamiento, a filo de agua o de pasada, según la disponibilidad de recursos hídricos y la topografía.

- Turbinas y generadores: Se selecciona el tipo y tamaño de las turbinas y generadores adecuados para el proyecto. Las opciones incluyen turbinas de flujo axial, turbinas de Francis, turbinas Pelton, entre otras.
- Sistemas de control y regulación: Se diseñan sistemas de control y regulación para operar la central de manera eficiente y segura.

Infraestructura Civil:

- Obras civiles: Se construyen las estructuras físicas, como presas, canales, compuertas, y sistemas de captación y desvío de agua.

Equipo y Maquinaria:

- Adquisición y montaje: Se adquiere e instala el equipo necesario, como turbinas, generadores, transformadores y sistemas de transmisión.

Conexión a la Red Eléctrica:

- Subestación: Se construye una subestación eléctrica para conectar la energía generada a la red eléctrica existente.

Operación y Mantenimiento:

- Plan de operación: Se establece un plan de operación y mantenimiento para garantizar el funcionamiento continuo de la central hidroeléctrica.

Gestión de Proyectos:

- Gestión del proyecto: Se designa un equipo de gestión de proyectos para supervisar la planificación, la construcción y la operación del proyecto.

Seguridad y Salud Laboral:

- Protocolos de seguridad: Se establecen protocolos de seguridad para proteger a los trabajadores y cumplir con las regulaciones de seguridad laboral.

Monitorización y Evaluación:

- Sistema de monitorización: Implementa un sistema de monitorización para supervisar el rendimiento de la central hidroeléctrica y detectar problemas o anomalías.

Consultas y Comunicación Comunitaria:

- Comunicación con la comunidad: Mantén una comunicación abierta y consultas con la comunidad local para abordar preocupaciones y ganar su apoyo.

Existen varios tipos de sistemas de producción de energía hidráulica que aprovechan la energía del agua en movimiento para generar electricidad. Entre los tipos más comunes se tiene:

1. **Central Hidroeléctrica de Almacenamiento (Hydroelectric Storage Power Plant):**

Este es el tipo más común de central hidroeléctrica y se basa en la regulación del flujo de agua. El agua se almacena en una represa o embalse y se libera a través de turbinas cuando se necesita energía. Puede proporcionar una generación de energía controlable y se utiliza para satisfacer la demanda pico de electricidad.

- **Flujo de Agua Controlable:** La principal característica de estas centrales es su capacidad para controlar el flujo de agua a través de una represa o embalse. Pueden almacenar agua durante períodos de baja demanda y liberarla cuando se necesita energía eléctrica.
- **Variabilidad de Generación:** Pueden ajustar la generación de energía de acuerdo con la demanda eléctrica, lo que les permite ser una fuente de energía base o de carga de base.

2. **Central Hidroeléctrica de Filo de Agua (Run-of-River Hydroelectric Plant):**

Este tipo de central no utiliza represas o embalses significativos. El agua fluye directamente desde un río o arroyo a través de una turbina para generar electricidad. Son adecuadas para regiones con caudales de agua constantes y son menos disruptivas para el medio ambiente que las centrales de almacenamiento.

- **Flujo Continuo:** Estas centrales funcionan utilizando el flujo continuo de agua de un río o arroyo sin la necesidad de un embalse. La generación de energía depende en gran medida del caudal del agua disponible, que puede variar estacionalmente.
- **Bajas Emisiones:** Son una opción respetuosa con el medio ambiente, ya que no requieren grandes embalses y tienen un menor impacto ambiental.

3. **Central Hidroeléctrica de Pasada (Diversion Hydroelectric Plant):**

Similar a las centrales de filo de agua, las centrales de pasada desvían parte del flujo de agua de un río o arroyo a través de una tubería o canal que contiene una turbina. Estas centrales son adecuadas para caudales de agua pequeños o medianos.

- **Desvío de Agua:** Estas centrales desvían parte del flujo de agua de un río o arroyo a través de una tubería o canal hacia una turbina, lo que permite generar electricidad.
- **Eficiencia en Caudales Moderados:** Son eficientes en condiciones de caudales moderados y son adecuadas para ríos o arroyos con un flujo constante.

4. **Central Hidroeléctrica por Bombeo (Pumped-Storage Hydroelectric Plant):**

Este tipo de central actúa como una "batería gigante". Durante los períodos de baja demanda de electricidad, el exceso de electricidad se utiliza para bombear agua desde un embalse inferior a

uno superior. Cuando se necesita electricidad adicional, el agua se libera del embalse superior a través de turbinas para generar electricidad.

- **Ciclo de Bombeo:** Funcionan mediante el almacenamiento y la liberación de agua en dos embalses, uno superior y otro inferior. Durante los períodos de baja demanda, el agua se bombea al embalse superior, y cuando se necesita electricidad adicional, se deja fluir hacia abajo a través de turbinas.
- **Capacidad de Respuesta Rápida:** Pueden proporcionar una respuesta rápida a la demanda de electricidad y actuar como una especie de "batería" para gestionar la carga de la red eléctrica.

5. Microcentrales y Minicentrales Hidroeléctricas:

Microcentrales Hidroeléctricas (Micro-Hydroelectric Plants): Son pequeñas centrales hidroeléctricas diseñadas para comunidades o áreas remotas. Suelen tener una capacidad de generación de menos de 100 kilovatios y aprovechan pequeños arroyos o cañadas para generar electricidad local.

Minicentrales Hidroeléctricas (Mini-Hydroelectric Plants): Son centrales hidroeléctricas de tamaño intermedio, con capacidades de generación que van desde 100 kilovatios hasta varios megavatios. Pueden abastecer de electricidad a comunidades más grandes o industrias.

- **Escala Reducida:** Estas centrales son de menor escala y se diseñan para comunidades o áreas locales. Pueden funcionar en una variedad de condiciones de flujo de agua, desde caudales pequeños hasta medianos.

6. Turbinas Pelton, Francis y Kaplan:

Turbina Pelton: Este tipo de turbina es adecuado para altas caídas de agua y bajos caudales. Utiliza chorro de agua a alta velocidad para girar una rueda de paletas y generar electricidad.

Turbina Francis: Las turbinas Francis son versátiles y se utilizan en una amplia gama de caídas de agua y caudales. Son eficientes y pueden adaptarse a diversas condiciones.

Turbina Kaplan: Estas turbinas son adecuadas para caídas de agua bajas y altos caudales, como en plantas de bombeo. Tienen paletas ajustables que permiten una mayor eficiencia.

- **Variabilidad de Caudal y Carga:** La eficiencia y el rendimiento de estas turbinas dependen del caudal de agua y la caída de agua (carga). Las turbinas Pelton son adecuadas para altas caídas de agua y bajos caudales, mientras que las turbinas Francis y Kaplan son versátiles y pueden adaptarse a una amplia gama de condiciones.

- **Control de Paletas:** Las turbinas Kaplan y Francis tienen paletas ajustables que permiten un mayor control sobre la generación de energía.
- **Velocidad de Rotación:** Las turbinas Pelton giran a alta velocidad, mientras que las turbinas Francis y Kaplan tienen velocidades de rotación variables según las condiciones de operación.

Las condiciones de funcionamiento de los diferentes tipos de sistemas de producción de energía hidráulica pueden variar según el diseño, las características específicas de cada central según la ubicación geográfica y las características específicas de cada central hidroeléctrica. Además, se realizan estudios de viabilidad y diseño detallados para garantizar que una central hidroeléctrica funcione de manera eficiente y segura dentro de las condiciones específicas de un sitio.

4.2.5 Funcionamiento del sistema CAES para el almacenamiento de energía en aire comprimido

La implementación de un sistema de almacenamiento de energía en aire comprimido (CAES, por sus siglas en inglés) requiere una serie de componentes y consideraciones clave que consisten principalmente de:

1. Recursos Energéticos:

- **Generación de Energía:** Debe haber una fuente de energía primaria, como plantas de energía eléctrica, paneles solares o turbinas eólicas, que produzca electricidad y tenga la capacidad de alimentar el proceso de compresión de aire.

2. Compresores:

- **Compresores de Aire:** Los compresores de aire son esenciales para comprimir el aire atmosférico a alta presión. Existen diferentes tipos de compresores, como los de tornillo, de pistón o centrífugos, que pueden utilizarse en un sistema CAES.

3. Cavernas o Almacenamiento Subterráneo:

- **Cavernas Salinas o Almacenamiento Subterráneo:** Para un sistema CAES adiabático, se requiere una caverna salina o un espacio subterráneo adecuado para almacenar el aire comprimido a alta presión. Estos espacios deben ser geológicamente estables y herméticos para evitar fugas de aire.

4. Turbina de Expansión:

- **Turbina de Expansión de Aire:** La turbina de expansión es fundamental para liberar el aire comprimido almacenado a alta presión y convertirlo nuevamente en energía

eléctrica. Puede ser una turbina de gas modificada o una turbina de aire específica para CAES.

5. **Intercambiador de Calor:**

- **Intercambiador de Calor:** El sistema CAES adiabático utiliza un intercambiador de calor para precalentar el aire comprimido antes de la expansión y para recuperar el calor durante la compresión. Esto mejora la eficiencia del proceso.

6. **Sistema de Control y Automatización:**

- **Sistema de Control:** Un sistema de control y automatización supervisa y regula todas las operaciones del sistema CAES para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente.

7. **Generadores y Transformadores:**

- **Generadores y Transformadores:** Se requieren generadores y transformadores para convertir la energía mecánica producida por la expansión del aire comprimido en electricidad utilizable y ajustar la tensión para su integración en la red eléctrica.

8. **Mantenimiento y Seguridad:**

- **Plan de Mantenimiento:** Es importante contar con un plan de mantenimiento regular para garantizar el buen funcionamiento y la seguridad del sistema CAES.
- **Seguridad:** Se deben seguir protocolos de seguridad rigurosos, ya que el almacenamiento de aire comprimido a alta presión puede ser peligroso. Esto incluye medidas para prevenir fugas y garantizar la integridad de las cavernas salinas o espacios de almacenamiento.

9. **Permisos y Regulaciones:**

- **Permisos:** Debes obtener los permisos y autorizaciones necesarios de las autoridades locales y reguladores para construir y operar el sistema CAES.

10. **Monitorización y Seguimiento:**

- **Sistema de Monitorización:** Implementa un sistema de monitorización y seguimiento para supervisar el rendimiento del sistema CAES y detectar problemas o anomalías.

La implementación de un sistema CAES es un proyecto complejo que requiere un análisis detallado y una planificación adecuada. La elección del tipo de CAES (adiabático o isobárico) también influirá en los componentes necesarios. Es esencial trabajar con expertos en la tecnología

CAES y considerar cuidadosamente todos los aspectos técnicos, económicos y de seguridad antes de llevar a cabo un proyecto de este tipo.

4.3 Selección del tipo de energía a utilizar para la obtención del aire comprimido.

4.3.1 Energía Eólica

Gracias a la recolección de datos previa se puede determinar que las turbinas eólicas no son la solución óptima debido a la falta de viento suficiente, limitaciones tecnológicas y restricciones de espacio. La energía eólica depende en gran medida de la velocidad y consistencia del viento. Después de un análisis exhaustivo del patrón de viento en la zona, se ha observado que la velocidad del viento no alcanza los niveles necesarios para una producción de energía eficiente y confiable a través de turbinas eólicas. La falta de viento constante reduce significativamente la capacidad de generación de energía de las turbinas, lo que las convierte en una opción poco viable en este contexto (ver figuras 15 y 16). Para poder utilizar la energía del viento, es necesario que este alcance una velocidad mínima que depende del aerogenerador que se vaya a utilizar pero que suele empezar entre los 3 m/s (10 km/h) y los 4 m/s (14,4 km/h), velocidad llamada “cut-in speed”, y que no supere los 25 m/s (90 km/h), velocidad llamada “cut-out speed”.

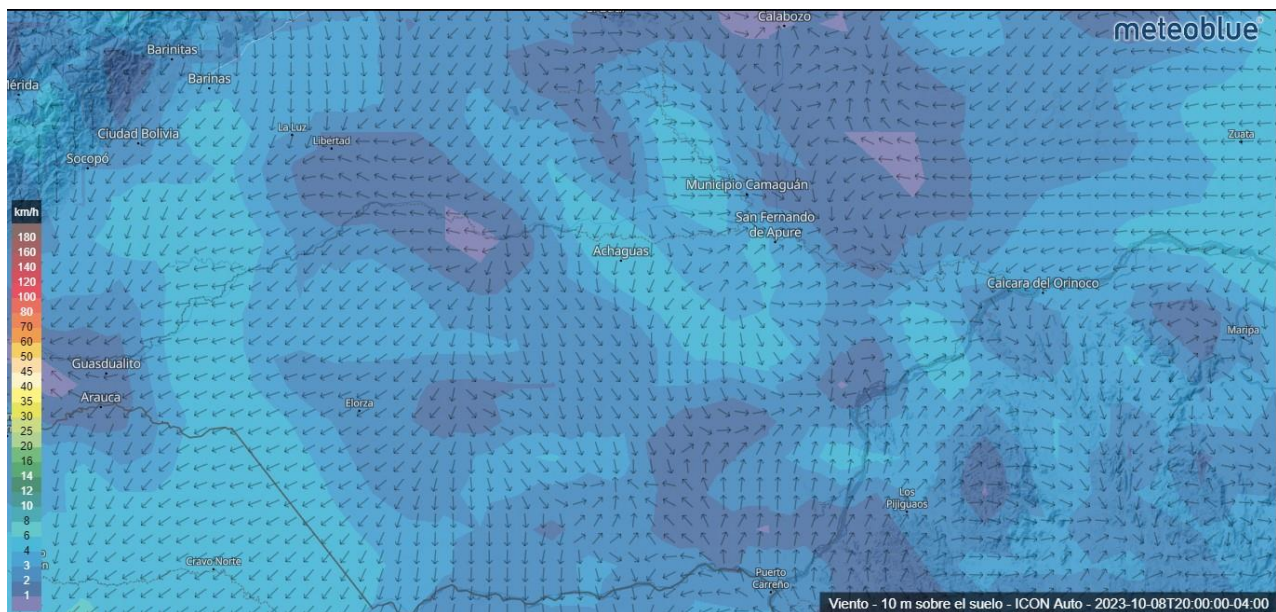


Figura 15: Mapa de vientos sobre el Estado Apure

Fuente: www.meteoblue.com (2023)

Viento anual y estadísticas meteorológicas para Aeropuerto Las Flecheras



Estadísticas basadas en observaciones tomadas entre 11/2012 - 09/2023.

Figura 16: Estadística de viento anual en el aeropuerto Las Flecheras (San Fernando de Apure)
Fuente: es.windfinder.com (2023)

Según la anterior estadística del aeropuerto La Flecheras en el Estado Apure, la velocidad del viento se promedia en 3kts en dirección norte a 3kts(nudos). Realizando una conversión de unidades, podemos obtener la velocidad del viento promedio en km/h.

$$3kts \times \frac{1,852km/h}{1kt} = 5,556km/h$$

Aunque no siempre las corrientes de aire son así de bajas en el estado Apure, esta condición se mantiene durante gran parte del año, en la que el viento tiene una velocidad de no más de 4km/h que no alcanza la velocidad “cut-in-speed” necesaria para movilizar una turbina eólica.

Las tecnologías relacionadas con la energía eólica han avanzado considerablemente en las últimas décadas, pero todavía existen limitaciones técnicas que dificultan su implementación en ciertas ubicaciones. En esta zona específica, las condiciones geográficas y meteorológicas imponen desafíos técnicos significativos que podrían comprometer la eficiencia y la confiabilidad de las turbinas eólicas. Dadas estas limitaciones, es imperativo explorar otras fuentes de energía renovable que se adapten mejor a las condiciones específicas de nuestra zona.

4.3.2 Energía Hidráulica

Aunque representa una gran oportunidad en la zona por la presencia del río Capanaparo, en el proceso de planificación de una planta de producción de energía eléctrica, es fundamental tener en cuenta tanto los aspectos culturales como los ambientales que pueden verse afectados por la instalación de infraestructuras energéticas. En esta situación específica, se está tratando con una zona de gran importancia cultural, designada como un parque nacional, y también existe la falta de información con respecto al caudal del río Capanaparo, que podría ser una fuente potencial de energía hidroeléctrica. Dadas estas circunstancias, la opción de energía hidráulica se descarta prudentemente.

El área designada como parque nacional tiene un valor cultural y ecológico incalculable para la comunidad local y para la conservación de la biodiversidad. Cualquier intervención en esta área

podría tener un impacto negativo en su valor histórico, cultural y natural. La construcción de una represa o la alteración del flujo del río podrían afectar los ecosistemas locales y perturbar el equilibrio ecológico, lo que es inaceptable dada la importancia de esta zona para las generaciones presentes y futuras.

Por otra parte, la energía hidroeléctrica depende en gran medida del caudal del río para generar electricidad de manera eficiente y constante. Sin información precisa sobre el caudal del río Capanaparo, es imposible evaluar adecuadamente el potencial energético de esta fuente. La falta de datos confiables sobre el flujo del agua hace que sea imposible diseñar una infraestructura hidroeléctrica que funcione de manera eficaz y sostenible.

En vista de estas limitaciones y considerando el respeto por el patrimonio cultural y ambiental de la zona, es imperativo explorar otras fuentes de energía que no comprometan la integridad del parque nacional y que se basen en datos sólidos y confiables.

4.3.3 Energía Solar Fotovoltaica

En vista de las restricciones que se presentaron en los modelos anteriores, la opción más viable es el uso de energía solar fotovoltaica para la producción de energía eléctrica en la zona. Las únicas restricciones que presenta este tipo de producción de energía son la cantidad de radiación solar y el espacio disponible para la colocación de los paneles solares. El espacio no es un problema para la comunidad de San José de Capanaparo ya que cuenta con grandes extensiones de terreno, por otra parte, como se explicó anteriormente, los paneles solares operan de manera óptima cuando la temperatura va desde los 20 a los 25 grados Celsius. En San Fernando de Apure, la temporada de lluvia es nublada, la temporada seca es ventosa y mayormente nublada y es muy caliente y opresivo durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 22 °C a 35 °C y rara vez baja a menos de 21 °C o sube a más de 37 °C (ver figuras 17 y 18).

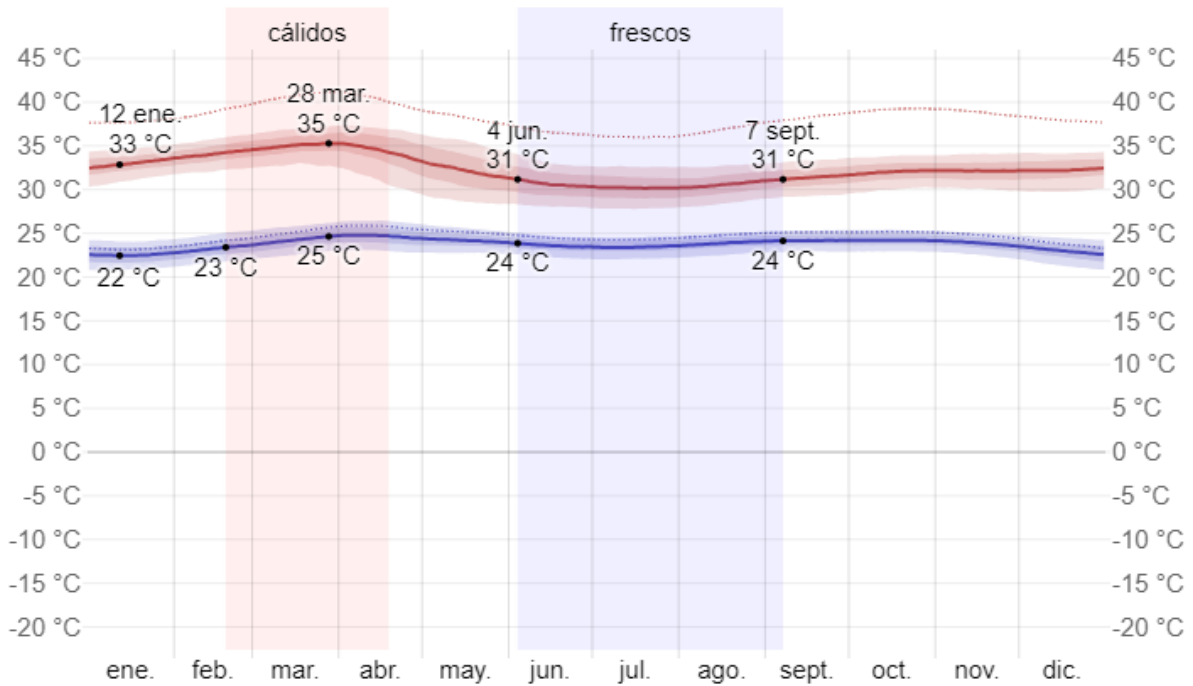


Figura 17: Temperatura máxima y mínima promedio en el Estado Apure
Fuente: es.weatherspark.com (2023)

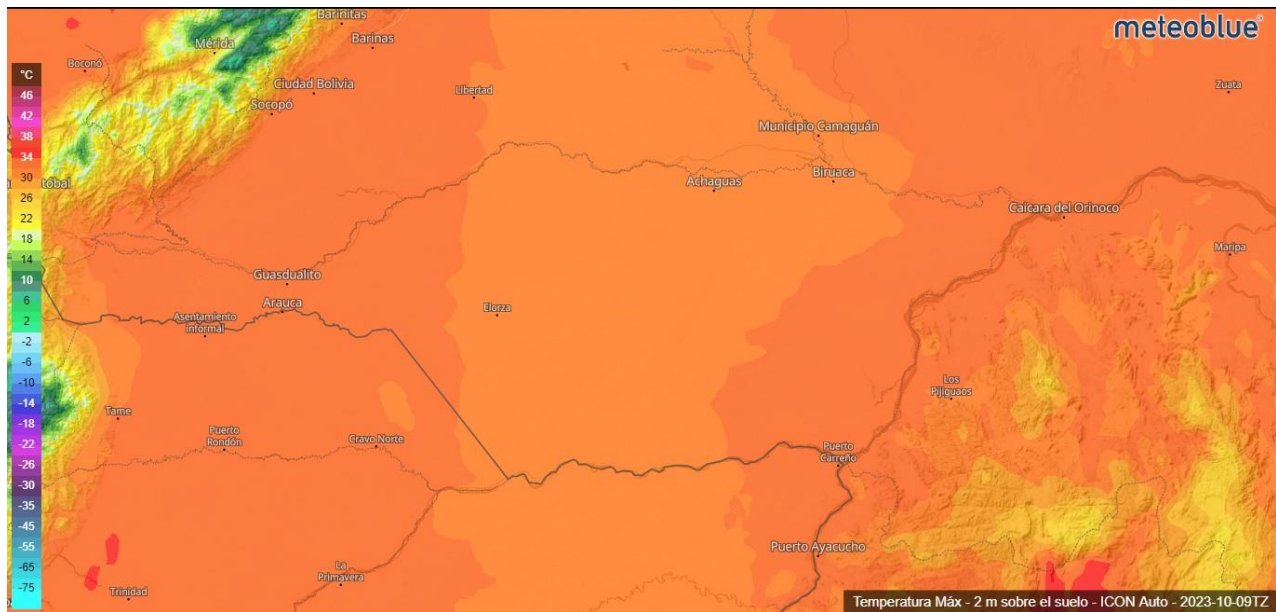


Figura 18: Mapa de temperatura sobre el Estado Apure
Fuente: www.meteoblue.com (2023)

Tras una cuidadosa evaluación de las condiciones específicas en la zona de interés, puede aprobarse la implementación de la energía solar fotovoltaica como método de producción de energía eléctrica. Esta decisión se basa en el cumplimiento sobresaliente de los estándares clave, incluyendo la temperatura adecuada, las horas de sol y el espacio disponible en la región.

Las condiciones climáticas en la zona se encuentran dentro del rango óptimo para el funcionamiento eficiente de los paneles solares. Con una temperatura media que se mantiene en el rango de 20 a 25 grados Celsius, los paneles solares operarán en su punto máximo de rendimiento, garantizando una producción de energía óptima durante todo el año.

La región disfruta de una abundancia significativa de horas de sol a lo largo del año. Con una exposición solar adecuada durante la mayor parte del día, la energía solar fotovoltaica será altamente productiva y confiable, generando electricidad de manera constante para satisfacer las necesidades energéticas de la zona.

Se cuenta también con un espacio adecuado para la instalación de los paneles solares. Las grandes extensiones de terreno despejado y los techos de la infraestructura a diseñar para el proyecto proporcionarán el espacio necesario para albergar el sistema solar fotovoltaico, asegurando una disposición eficiente y una exposición óptima al sol para maximizar la captación de energía solar.

4.3.4 Elementos Presentes en la Producción de Energía Solar Fotovoltaica

Como se mencionó anteriormente, un sistema de producción de energía solar fotovoltaica requiere tres elementos, los paneles solares, el inversor solar y la conexión a la red o sistema de almacenamiento. Para el diseño de este sistema de producción de energía, hay que tomar en consideración las partes que conforman el sistema y hallar la configuración más eficiente en este caso particular, tomando en cuenta la disponibilidad en el mercado, los costos, la eficiencia, el espacio entre otras condiciones. El instrumento utilizado para la selección del mejor diseño, será la asignación de restricciones y la ponderación de criterios.

Primeramente, se va a realizar el proceso de selección de posibles soluciones para determinar el tipo de panel solar que será utilizado (ver cuadro 5).

4.3.4.1 Posibles Soluciones para el Panel Solar

- **(PS1):** Panel de Silicio Monocristalino
- **(PS2):** Panel de Silicio Policristalino
- **(PS3):** Panel de Telururo de Cadmio
- **(PS4):** Panel de Silicio Amorfo
- Las restricciones serán R_n :
- **R1:** Rendimiento en condiciones de baja luz
- **R2:** Flexibilidad
- **R3:** Poco espacio ocupado

- **R4:** Resistencia a las condiciones ambientales
- **R5:** Poco mantenimiento
- **R6:** Costo reducido
- **R7:** Eficiencia por metro cuadrado
- **R8:** Estética

Cuadro 5: Posibles soluciones según restricciones para los paneles solares

		POSIBLES SOLUCIONES			
		PS1	PS2	PS3	PS4
RESTRICCIONES	R1	NO	NO	SI	SI
	R2	NO	NO	SI	SI
	R3	SI	NO	SI	NO
	R4	SI	SI	NO	NO
	R5	SI	SI	NO	NO
	R6	NO	SI	SI	SI
	R7	SI	NO	SI	NO
	R8	SI	NO	SI	SI

Fuente: Bolívar, J. (2023)

Se puede observar como la tercera posible solución es la que cumple con más restricciones de las cuatro y la segunda posible solución es la que menos restricciones cumple.

4.3.4.2 Ponderación de Criterios

Los criterios se utilizan para poder dar relevancia a los aspectos que caracterizan al dispositivo, estos criterios se toman en cuenta por medio de una escala numérica donde se le asigna un valor a cada criterio. Para este proyecto se utilizará una escala del 1 al 8, siendo 1 un criterio con poca importancia y 8 con mucha importancia (ver cuadro 6). Para este proyecto los criterios escogidos (C_n) y sus ponderaciones (PC)_n serán:

- | | |
|---|-----------------|
| C1: Costo reducido | (PC)1: 6 |
| C2: Estética | (PC)2: 1 |
| C3: Eficiencia (fuera del rango 20°C-25°C) | (PC)3: 4 |
| C4: Montaje | (PC)4: 2 |
| C5: Rendimiento (funcionamiento poca luz) | (PC)5: 7 |

C6: Mantenimiento (PC)6: 5

C7: Versatilidad (PC)7: 3

C8: Resistencia (PC)8: 8

Cuadro 6: Comprobación lógica de los criterios

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	N de veces	(PC)x
C1									5	6
C2	C1								0	1
C3	C1	C3							3	4
C4	C1	C4	C3						1	2
C5	C5	C5	C5	C5					6	7
C6	C1	C6	C6	C6	C5				4	5
C7	C1	C7	C3	C7	C5	C6			2	3
C8	C8	C8	C8	C8	C8	C8	C8		7	8
Orden de importancia	3ro	8vo	5to	7mo	2do	4to	6to	1ro		

Fuente: Bolívar, J. (2023)

4.3.4.3 Ponderación de Soluciones Respecto a Cada Criterio

En este inciso se relacionan los dos anteriores para así poder obtener valores numéricos para cada solución (ver cuadros del 7 al 14). De acuerdo al punto 4.3.4.1 las posibles soluciones (PSn) descartando la opción que menos restricciones cumplió (Panel de Silicio Policristalino) quedarían de la siguiente manera.

- S1: Panel de Silicio Monocristalino
- S2: Panel de Teluro de Cadmio
- S3: Panel de Silicio Amorfo

Para obtener la mejor solución (ver cuadro 15) se procede a ponderar respecto a cada criterio:

Cuadro 7: Soluciones respecto a criterio 1

C1	S1	S2	S3	N de veces	Px1= N
S1				1	P11=2
S2	S1			0	P21=1
S3	S3	S3		2	P31=3
Orden de Aceptación	2do	3ro	1ro		

Fuente: Bolívar, J. (2023)

Cuadro 8: Soluciones respecto a criterio 2

C2	S1	S2	S3	N de veces	Px2= N
S1				0	P12=1
S2	S2			2	P22=3
S3	S3	S2		1	P32=2
Orden de Aceptación	3ro	1ro	2do		

Fuente: Bolívar, J. (2023)

Cuadro 9: Soluciones respecto a criterio 3

C3	S1	S2	S3	N de veces	Px3= N
S1				2	P13=3
S2	S1			1	P23=2
S3	S1	S2		0	P33=1
Orden de Aceptación	1ro	2do	3ro		

Fuente: Bolívar, J. (2023)

Cuadro 10: Soluciones respecto a criterio 4

C4	S1	S2	S3	N de veces	Px4= N
S1				2	P14=3
S2	S1			1	P24=2
S3	S1	S2		0	P34=1
Orden de Aceptación	1ro	2do	3ro		

Fuente: Bolívar, J. (2023)

Cuadro 11: Soluciones respecto a criterio 5

C5	S1	S2	S3	N de veces	Px5= N
S1				1	P15=2
S2	S2			2	P25=3
S3	S1	S2		0	P35=1
Orden de Aceptación	2do	1ro	3ro		

Fuente: Bolívar, J. (2023)

Cuadro 12: Soluciones respecto a criterio 6

C6	S1	S2	S3	N de veces	Px6= N
S1				2	P16=3
S2	S1			1	P26=2
S3	S1	S2		0	P36=1
Orden de Aceptación	1ro	2do	3ro		

Fuente: Bolívar, J. (2023)

Cuadro 13: Soluciones respecto a criterio 7

C7	S1	S2	S3	N de veces	Px7= N
S1				0	P17=1
S2	S2			1	P27=2
S3	S3	S3		2	P37=3
Orden de Aceptación	3ro	2do	1ro		

Fuente: Bolívar, J. (2023)

Cuadro 14: Soluciones respecto a criterio 8

C8	S1	S2	S3	N de veces	Px8= N
S1				2	P18=3
S2	S1			1	P28=2
S3	S1	S2		0	P38=1
Orden de Aceptación	1ro	2do	3ro		

Fuente: Bolívar, J. (2023)

4.3.4.4 Ponderación Final

Cuadro 15: Valor final de cada solución

PCx	P1x	PCx . P1x	P2x	PCx . P2x	P3x	PCx . P3x
PC1	P11	6x2=12	P21	6x1=6	P31	6x3=18
PC2	P12	1x1=1	P22	1x3=3	P32	1x2=2
PC3	P13	4x3=12	P23	4x2=8	P33	4x1=4
PC4	P14	2x3=6	P24	2x2=4	P34	2x1=2
PC5	P15	7x2=14	P25	7x3=21	P35	7x1=7
PC6	P16	5x3=15	P26	5x2=10	P36	5x1=5
PC7	P17	3x1=3	P27	3x2=6	P37	3x3=9
PC8	P18	8x3=24	P28	8x2=16	P38	8x1=8
	$\Sigma(PCx . P1x) = 87$		$\Sigma(PCx . P2x) = 74$		$\Sigma(PCx . P3x) = 55$	

Fuente: Bolívar, J. (2023)

Observando los resultados obtenidos, se concluye que la solución que más conviene implementar es la solución 1 del panel solar de silicio monocristalino.

4.3.5 Posibles Soluciones para el Inversor Solar

Ahora se procede a elegir entre las posibles soluciones para el inversor solar (ver cuadro 16), cabe destacar que no se cuentan aquellas opciones que cuentan con sistema de almacenamiento, ya que la investigación va dirigida a almacenar la energía excedente en aire comprimido. Por lo tanto, las opciones más convenientes son:

- **(PS1):** Inversor solar de cadena
- **(PS2):** Inversor solar centralizado
- **(PS3):** Inversor solar optimizado
- **(PS4):** Microinversor solar
- Las restricciones serán R_n :
- **R1:** Rendimiento
- **R2:** Optimo a media escala
- **R3:** Continuidad en la producción de energía
- **R4:** Monitoreo
- **R5:** Costo reducido

Cuadro 16: Posibles soluciones según restricciones para los inversores solares

		POSIBLES SOLUCIONES			
		PS1	PS2	PS3	PS4
RESTRICCIONES	R1	NO	SI	SI	SI
	R2	SI	SI	SI	SI
	R3	NO	NO	SI	SI
	R4	SI	SI	SI	SI
	R5	SI	SI	NO	NO

Fuente: Bolívar, J. (2023)

Se puede observar como la primera posible solución es la que menos restricciones cumple, por lo tanto se descarta.

4.3.5.1 Ponderación de Criterios

Para esta ponderación (ver cuadro 17) se utilizará una escala del 1 al 6, siendo 1 un criterio con poca importancia y 6 con mucha importancia. Para la elección del inversor los criterios escogidos (Cn) y sus ponderaciones (PC)n serán:

- C1:** Costo reducido **(PC)1:** 1
- C2:** Monitoreo **(PC)2:** 5
- C3:** Eficiencia (relación energía sale/entra) **(PC)3:** 6
- C4:** Disponibilidad en el mercado **(PC)4:** 2
- C5:** Rendimiento (funcionamiento poca luz) **(PC)5:** 3
- C6:** Baja complejidad **(PC)6:** 4

Cuadro 17: Comprobación lógica de los criterios

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	N de veces	(PC)x
C1							0	1
C2	C2						4	5
C3	C3	C3					5	6
C4	C4	C2	C3				1	2
C5	C5	C2	C3	C5			2	3
C6	C6	C2	C3	C6	C6		3	4
Orden de importancia	5to	2do	3ro	4to	1ro	6to		

Fuente: Bolívar, J. (2023)

4.3.5.2 Ponderación de Soluciones Respecto a Cada Criterio

En este inciso se relacionan los dos anteriores para así poder obtener valores numéricos para cada solución (ver cuadros del 18 al 23). De acuerdo al punto **4.3.5.1** las posibles soluciones (PSn) descartando la opción que menos restricciones cumplió (Inversor solar de cadena) quedarían de la siguiente manera.

- S1: Inversor solar centralizado
- S2: Inversor solar optimizado
- S3: Microinversor solar

Para obtener la mejor solución (ver cuadro 24) se procede a ponderar respecto a cada criterio:

Cuadro 18: Soluciones respecto a criterio 1

C1	S1	S2	S3	N de veces	Px1= N
S1				2	P11=3
S2	S1			1	P21=2
S3	S1	S2		0	P31=1
Orden de Aceptación					

Fuente: Bolívar, J. (2023)

Cuadro 19: Soluciones respecto a criterio 2

C2	S1	S2	S3	N de veces	Px2= N
S1				0	P12=1
S2	S2			2	P22=3
S3	S3	S2		1	P32=2
Orden de Aceptación					

Fuente: Bolívar, J. (2023)

Cuadro 20: Soluciones respecto a criterio 3

C3	S1	S2	S3	N de veces	Px3= N
S1				0	P13=1
S2	S2			1	P23=2
S3	S3	S3		2	P33=3
Orden de Aceptación					

Fuente: Bolívar, J. (2023)

Cuadro 21: Soluciones respecto a criterio 4

C4	S1	S2	S3	N de veces	Px4= N
S1				1	P14=2
S2	S2			2	P24=3
S3	S1	S2		0	P34=1
Orden de Aceptación					

Fuente: Bolívar, J. (2023)

Cuadro 22: Soluciones respecto a criterio 5

C5	S1	S2	S3	N de veces	Px5= N
S1				0	P15=1
S2	S2			1	P25=2
S3	S3	S3		2	P35=3
Orden de Aceptación					

Fuente: Bolívar, J. (2023)

Cuadro 23: Soluciones respecto a criterio 6

C6	S1	S2	S3	N de veces	Px6= N
S1				2	P16=3
S2	S1			1	P26=2
S3	S1	S2		0	P36=1
Orden de Aceptación					

Fuente: Bolívar, J. (2023)

4.3.5.3 Ponderación Final

Cuadro 24: Valor final de cada solución

PCx	P1x	PCx . P1x	P2x	PCx . P2x	P3x	PCx . P3x
PC1	P11	1 . 3= 3	P21	1 . 2= 2	P31	1 . 1= 1
PC2	P12	5 . 1= 5	P22	5 . 3= 15	P32	5 . 2= 10
PC3	P13	6 . 1= 6	P23	6 . 2= 12	P33	6 . 3= 18
PC4	P14	2 . 2= 4	P24	2 . 3= 6	P34	2 . 1= 2
PC5	P15	3 . 1= 3	P25	3 . 2= 6	P35	3 . 3= 9
PC6	P16	4 . 3= 12	P26	4 . 2= 8	P36	4 . 1= 4
		$\Sigma(PCx . P1x) = 33$	$\Sigma(PCx . P2x) = 49$		$\Sigma(PCx . P3x) = 44$	

Fuente: Bolívar, J. (2023)

Observando los resultados obtenidos, se concluye que la solución que más conviene implementar es la solución 2 del inversor solar optimizado.

Una vez se seleccionó el tipo de energía alternativa a utilizar para la obtención de la potencia requerida, se procede al diseño del sistema CAES de almacenamiento de energía en aire comprimido. Primeramente, se determina la cantidad de paneles solares monocristalinos que serán suficientes para cubrir la demanda de energía eléctrica en la comunidad. Dado que este proyecto es una propuesta para fomentar el desarrollo económico en la zona, aumentará la potencia requerida de 60kwh/día para crear una holgura que permita compensar la eficiencia del sistema de producción y el de almacenamiento, que no hayan cortes de luz durante el día y la expansión de la zona a nivel económico en los próximos 30 años (vida útil de un sistema CAES común). Por lo tanto, se prediseña para lograr una potencia de 200kwh/día de energía eléctrica.

4.3.6 Elección de Proveedor y Cantidad de Paneles Solares

Se propone tomando en cuenta el tipo de panel solar a utilizar y los precios existentes en el mercado, la elección de la empresa Jungsun, ubicada en China. Que ofrece paneles solares monocristalinos con una capacidad que va desde los 685W a los 710W y un precio de \$0.13 por W (ver figura 19). Las características del producto son las siguientes (ver figura 20):

- Eficiencia del panel: 21,9% (tomando en cuenta pérdidas por cableado, por conversión de energía, por efectos de la temperatura y suposiciones de polvo y sombreado).
- Garantía de 25 años

- Dimensiones del panel: 2384*1303*35mm
- Modelo: JAM66S
- Peso: 33,5kg

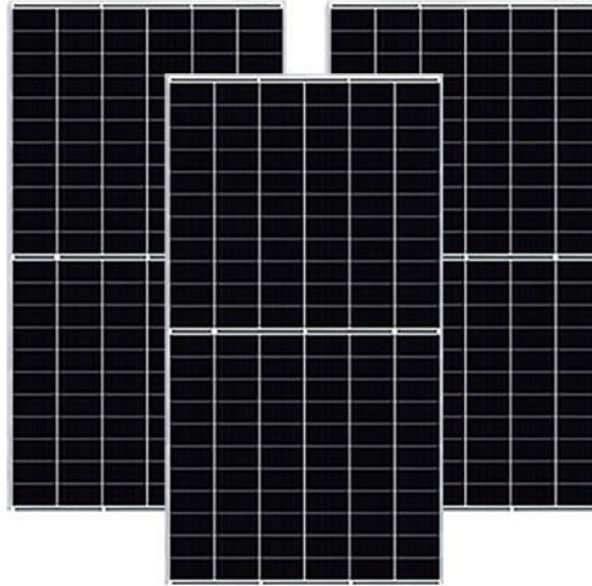


Figura 19: Paneles Solares Monocristalinos

Fuente: www.alibaba.com/ (2023)

TYPE	JAM132S-685	JAM66S-690	JAM66S-695	JAM66S-700	JAM66S-705	JAM66S-710
Maximum Power Pmax(W)	685	690	695	700	705	710
Maximum Power Voltage Vpm(V)	38.8	39	39.2	39.4	39.6	39.8
Maximum Power Current Imp(A)	17.66	17.7	17.74	17.78	17.82	17.86
Open Circuit Voltage Voc(V)	44.94	45.14	45.34	45.54	45.74	45.94
Short Circuit Voltage Isc(A)	18.74	18.76	18.79	18.81	18.83	18.85
Power Tolerance	0~+5W					
Dimensions	2384±2mmx1303±2mm×35mm ±1mm					
Cable&Connect or	4mm²,EVO2 or EVO2 compatible					
Modules Per Pallet	30/31pieces					
Modules Per 40HQ	558pieces					

Figura 20: Descripción del producto

Fuente: www.alibaba.com/ (2023)

Tomando en cuenta las pérdidas de 21,9% y usando el panel de 700W.

$$E_{real} = \left(\frac{0,3 \times 200.000Wh}{dia} \right) + \frac{200.000Wh}{dia} = \frac{260000Wh}{dia}$$

Luego según los datos de horas pico de sol al día en Venezuela se calcula la potencia que debe ser suministrada por los paneles, considerando un tiempo de 8 horas-pico/día en promedio (ver figura 21).

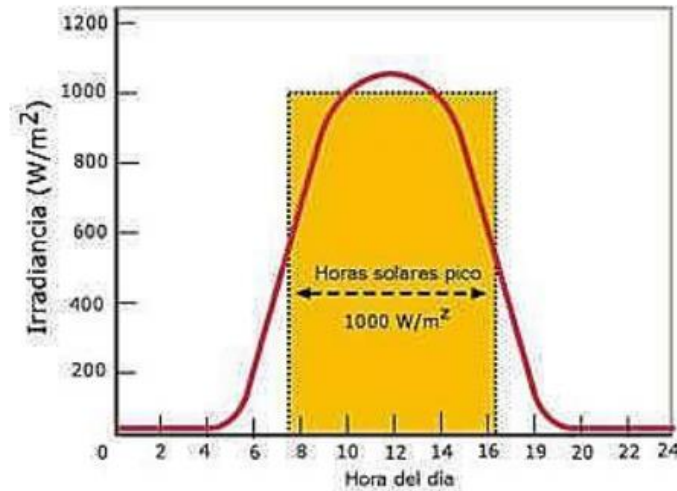


Figura 21: Horas Solares Pico en Venezuela

Fuente: Gomez, J. (NASA Surface meteorology and Solar Energy) (2016)

$$P_{FV} = \frac{E_{real}}{Horas - pico/dia} = \frac{260.000Wh}{8horas - pico/dia} = 32.500W$$

Ahora, tomando en cuenta que cada módulo PV es de 700W de potencia nominal, el número de paneles necesarios viene dado por la siguiente expresión:

$$N^{\circ} de Paneles = \frac{P_{FV}}{Potencia Nominal del Modulo} = \frac{32.500W}{700W} = 46.429 Paneles$$

Finalmente, se debe redondear el resultado obtenido al siguiente número entero, es decir, N° de paneles=47 y se multiplica por la potencia nominal del módulo.

$$P_{FV} = 47 \times 700W = 32.900W$$

4.3.6.1 Elección de Proveedor y del Inversor Solar

Para el inversor solar, el tamaño de su inversor de conexión a red puede ser mayor o menor que la potencia de CC de tu sistema solar, hasta cierto punto. La relación entre los paneles fotovoltaicos y el inversor es la potencia de CC del sistema solar dividida por la potencia máxima de CA del inversor. Por ejemplo, si tu instalación es de 6 kW con un inversor de 6000 W, la relación

entre la instalación y el inversor es de 1. En la misma instalación con un inversor de 5000, la relación es de 1,2. La mayoría de las instalaciones tendrán una relación entre 1,15 y 1,25; los fabricantes de inversores y los diseñadores de sistemas solares no suelen recomendar una relación superior a 1,55.

Una relación mayor entre el sistema solar y el inversor puede funcionar en tu sistema si tus paneles solares no producen la máxima potencia debido a los factores mencionados anteriormente. La ventaja de sobredimensionar el sistema solar en relación con la capacidad del inversor es que los inversores de menor potencia son más baratos que los de mayor tamaño. Sin embargo, no es aconsejable sobredimensionar el sistema solar en exceso, ya que puede producirse un “clipping”. El clipping se produce cuando los paneles solares producen demasiada CC para que el inversor pueda manejarla en un momento dado. Cuando esto ocurre, el inversor limitará la cantidad de energía que convierte, lo que provocará pérdidas de energía en tu sistema fotovoltaico.

Por otra parte, no es conveniente instalar un inversor solar demasiado grande (es decir, con una relación modulo-inversor inferior) porque el inversor será más eficiente si funciona cerca de su capacidad total. Si el inversor es demasiado grande en comparación con el conjunto, no producirá la cantidad de electricidad deseada. Por lo tanto, se procedió a realizar una búsqueda de los inversores optimizados que existen en el mercado y se halló el modelo HPS30 de la empresa China ATESS con un costo de \$8.996 por unidad (ver figuras de la 22 a la 24).



Figura 22: Inversor Solar ATESS 30KW

Fuente: www.alibaba.com (2023)

Other attributes

Place of Origin	Anhui, China
Brand Name	ATESS
Model Number	HPS30
Input Voltage	480-800v
Output Voltage	380v
Output Current	43A
Output Frequency	50/60HZ
Size	700W*1660H*600D
Certificate	CE/IEC/VDE/AS4777.2/MEA/NRS
Warranty	5years
Weight	355kg
Battery Type	Lead-acid or Lithium-ion
Battery Voltage Range (V)	352-600V
MPPT Range (V)	480-800v
PV Input Current (A)	43A
No. of MPPT Trackers	1
Max. AC Output Power (W)	33000W
OEM	Acceptable

Figura 23: Características del Inversor Solar ATESS**Fuente:** www.alibaba.com (2023)

Product Parameters

Model Type	HP S30	HP S50	HP S100	HP S150
AC (Grid-connected)				
Apparent power	33kVA	55kVA	110kVA	165kVA
Rated power	30KW	50KW	100KW	150KW
Rated voltage	400V			
Rated current	43A	72A	144A	217A
Voltage range	380V-440V			
Rated frequency	50/60Hz			
Frequency range	45-55/55-65Hz			
THDI	< 3%			
PF	0.8 lagging-0.8 leading			
AC connection	3/N/PE			
AC input	200kVA			
AC (Off-grid)				
Apparent power	33kVA	55kVA	110kVA	165kVA
Rated power	30KW	50KW	100KW	150KW
Rated voltage	400V			
Rated current	43A	72A	144A	217A
THDU	≤2% linear			
Rated frequency	50/60Hz			
Overload capability	110%-10mins, 120%-1min			

Figura 24: Hoja de Datos del Inversor Solar ATESS

Fuente: www.alibaba.com (2023)

4.4 Diseño con ayuda de programas CAD del sistema de producción y almacenamiento de energía por aire comprimido.

4.4.1 Elección del Compresor

Para el diseño de la planta de producción y almacenamiento de energía en aire comprimido primeramente se eligió un compresor que cumpliera con los requerimientos de potencia y presión que el sistema requiere, para ello se realizó una investigación de mercado en la cual se encontró el modelo de compresor de tornillo industrial de tres fases manufacturado por la empresa china SIEHE Group Co., Ltd. (ver figuras 25 y 27). Los compresores de tornillo son conocidos por su alta eficiencia y esto contribuirá a la optimización de todo el proceso. Esta empresa ofrece este modelo en varias presentaciones y para el sistema a diseñar, se utilizará el modelo SLY-40 (ver figura 26).



Figura 25: Compresor
Fuente: www.alibaba.com (2023)

Model	Ratio Power (KW)	Work Press (Bar)	Volume Flow (m ³ /min)	Noise (DB)	Dimension (MM)	Weight (kg)
SLY-10	7.5	8-13	0.8-1.2	66±2	800*720*950	240
SLY-15	11	8-13	1-2-1.6	68±2	950*800*1070	405
SLY-20	15	8-13	1.7-2.4	68±2	950*800*1070	430
SLY-25	18.5	8-13	2.2-2.9	68±2	950*1100*1110	510
SLY-30	22	8-13	2.9-3.5	69±2	1300*860*1135	540
SLY-40	30	8-13	3.7-5	69±2	1300*860*1135	690
SLY-50	37	8-13	5.1-6.1	70±2	1050*1050*1450	750
SLY-60	45	8-13	5.8-8	72±2	1300*1100*1350	920
SLY-75	55	8-13	7.3-10.05	73±2	1500*1150*1500	1500
SLY-100	75	8-13	9-13.3	75±2	1900*1200*1555	1800

Figura 26: Detalles Tecnicos del Compresor

Fuente: www.alibaba.com (2023)

Key attributes

Other attributes

Applicable Industries	Hotels, Garment Shops, Building Material Shops, Manufacturing Plant, Machinery Repair Shops, Food & Beverage Factory, Farms, Restaurant, Home Use, Retail, Food Shop, Printing Shops, Construction works , Energy & Mining, Food & Beverage Shops, Other, Advertising Company
Showroom Location	None
Place of Origin	Shanghai, China
Warranty	1 Year
Working Pressure	8 bar, 10 bar, 25 bar
Machinery Test Report	Provided
Video outgoing-inspection	Provided
Marketing Type	New Product 2022
Warranty of core components	1 Year
Core Components	PLC, Engine, Motor, Pump, Other
Gas Type	Air
Condition	New
Type	Screw
Configuration	Stationary

Power Source	AC POWER
Lubrication Style	Lubricated
Mute	Yes
Brand Name	SIEHE
Model Number	SLY series
Voltage	220V/380V/Customizable
Dimension(L*W*H)	1200*755*1130
Weight	400kg
Name	Oil free Screw air compressor
Feature	Oil free
Brand	SIEHE
Application	Air
Pressure	8-12.5bar
Power	AC power
Noise	Silent
Color	Optional

Figura 27: Atributos Clave del Compresor
Fuente: www.alibaba.com (2023)

4.4.2 Cálculo del Compresor en el Sistema

Posteriormente se realizan los cálculos que van a describir el funcionamiento de este compresor haciendo uso de las ecuaciones típicas de un ciclo Brayton ideal con aire ideal como fluido de trabajo (ver figura 28).

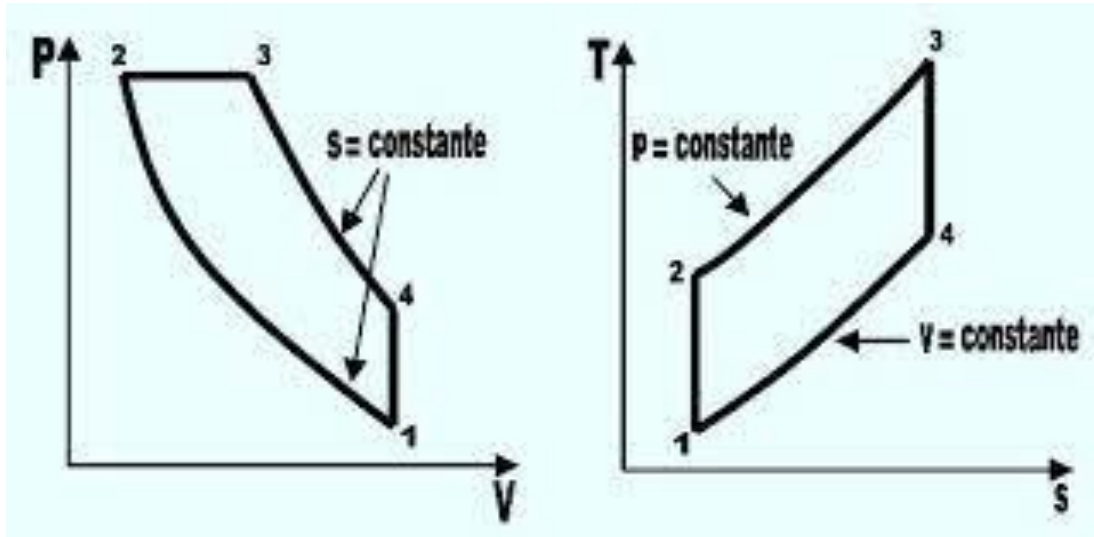


Figura 28: Ciclo Brayton Ideal

Fuente: unet.edu.ve (2023)

Se debe tomar en cuenta que cuando se trabaja con aire ideal como fluido de trabajo, los calores específicos C_p y C_v son variables y se hace uso de las tablas de gases correspondientes.

Como es conocida la presión máxima del proceso, se puede calcular la relación de presiones que será de ayuda para el desarrollo de los cálculos.

$$r_P = \frac{P_{MAX}}{P_{min}} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{13bar}{1atm} \times \frac{1atm}{1,01325bar} = 12,83 \quad \text{Ec. 1}$$

Para hallar la temperatura después de la compresión se hace uso de las siguientes relaciones entre presiones.

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{P_{R2}}{P_{R1}} = r_P \quad \text{Ec. 2}$$

Donde P_R son las presiones relativas de cada fase de la compresión, un dato característico que se encuentra en tablas. Ahora se despeja la presión relativa en el estado 2 para encontrar la temperatura.

$$P_{R2} = r_P \times P_{R1}$$

La presión relativa en el punto 1 antes de la compresión se obtiene por medio de la tabla del aire, usando como dato de entrada la temperatura ambiente de 300K.

Por lo tanto, $P_{R1} = 1,386$ siendo este un valor adimensional. Ahora con los valores de P_{R1} y r_p se calcula P_{R2} .

$$P_{R2} = 12,83 \times 1,386 = 17,7824$$

Y entrando con este valor a la tabla del aire e interpolando se obtiene (ver tabla 1):

Tabla 1: Interpolación para hallar temperatura 2

T (K)	Pr (adimensional)
610	17,30
T_2	17,7824
620	18.36

Fuente: Bolivar J. (2023)

$$\frac{620 - 610}{620 - X} = \frac{18,36 - 17,30}{18,36 - 17,7824}$$

$$T_2 = 614,551K$$

Calculando las entalpías:

Con los valores de la temperatura, se buscan en la tabla los valores de las entalpías (ver tabla 2).

$$h_1 = 300,19kJ/kg$$

Tabla 2: Interpolación para hallar entalpia 2

T (K)	h (kJ/kg)
610	617,53
614,551	h_2
620	628,07

Fuente: Bolivar J. (2023)

$$\frac{620 - 610}{620 - X} = \frac{628,07 - 617,53}{628,07 - h_2}$$

$$h_2 = 622,327kJ/kg$$

Finalmente obtenemos el trabajo consumido por el compresor en estas condiciones:

$$W_C = h_2 - h_1 = \frac{622,327kJ}{kg} - \frac{300,19kJ}{kg} = 322,137kJ/kg \quad \text{Ec. 3}$$

Este es el trabajo que debe realizar el compresor para comprimir cada kg de aire que entra desde una presión de 1,01325bar a una presión de 13bar.

4.4.3 Dimensionamiento del Depósito de Aire Comprimido

La presión de almacenamiento está determinada por la presión dentro del depósito al concluir la carga. Este valor está restringido por tres factores principales: la capacidad de volumen y la presión máxima que las paredes del depósito pueden soportar, junto con la relación de compresión del sistema de compresión. El volumen de almacenamiento variará en función de la presión de almacenamiento (ver figura 29).

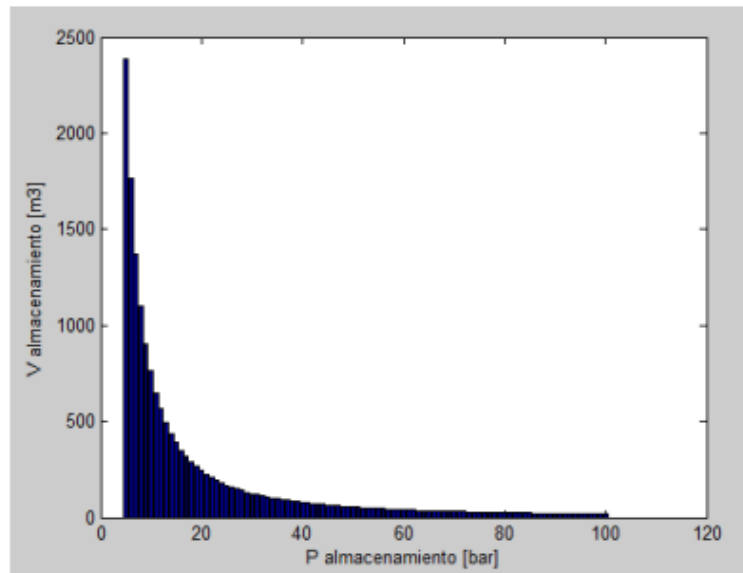


Figura 29: Influencia de la presión de almacenamiento en el volumen del depósito

Fuente: unet.edu.ve (2023)

Se selecciona una relación entre la presión máxima y el volumen almacenado óptima para las condiciones de trabajo, manufactura y material. En este caso, para una presión de 13bar, el volumen de aire comprimido se ubica en el orden de los $500m^3$.

Debido a las condiciones de temperatura en las que se encuentra el aire, se puede decir que el entorno dentro del depósito es altamente corrosivo, por lo que se elige el acero inoxidable como material para la fabricación de este.

En cuanto a las dimensiones del depósito, se recurre a un depósito cilíndrico con bombeado en los extremos con un volumen interno de $500m^3$, el diámetro de este cilindro será de 2,5m y para

la elección del espesor, se realizan los siguientes cálculos según las normas ASME de construcción de recipientes a presión (ver figura 30).

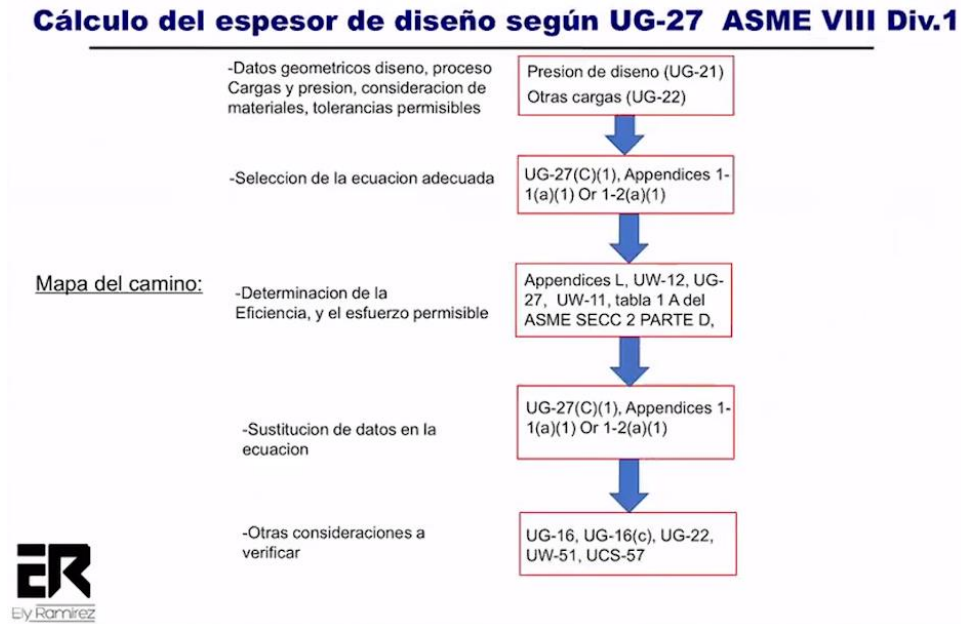


Figura 30: Pasos a seguir para cálculo de espesor de diseño según ASME VIII div. 1

Fuente: Ramirez, E. (2023)

El tipo de junta soldada será la numero 1, doblemente soldada a tope. La categoria de juntas en el cuerpo es A y B, como indica en la norma.

Se adopta un diámetro interno de 5metros y se dimensiona a partir de alli.

$$V = L\pi r^2 \tag{Ec. 4}$$

Donde $r = 2,5m$ y $V = 500m^3$, despejamos L:

$$L = \frac{500m^3}{\pi(2,5m)^2} = 25,465m$$

Para este tipo de cilindros se recomienda asumir una eficiencia de junta $E=1$ y una corrosión permisible de 0,0625pulg/año

Se debe hallar el tipo de acero inoxidable que mejor se adapte al sistema. Las dos opciones posibles son el acero inoxidable AISI 304 y el AISI 316.

El acero inoxidable AISI 304 es un acero inoxidable austenítico y es uno de los más comunes y versátiles. Tiene una excelente resistencia a la corrosión en una amplia variedad de entornos, incluyendo ambientes marinos y atmosféricos. El AISI 304 es adecuado para aplicaciones de aire comprimido en condiciones moderadamente corrosivas y a temperaturas ambiente.

El acero inoxidable AISI 316, es otro miembro de la serie 300 de aceros inoxidables austeníticos. Tiene una mayor resistencia a la corrosión que el AISI 304, especialmente en ambientes con cloruros, como las zonas costeras o aplicaciones marinas. El AISI 316 es adecuado para aplicaciones de aire comprimido en entornos más corrosivos.

Debido a que el sistema no esta pensado para un entorno altamente corrosivo con cloruros o alta humedad, se utiliza el acero inoxidable AISI 304 para la elaboración del deposito.

El esfuerzo permisible de este tipo de acero se busca en la tabla 3:

Tabla 3: Esfuerzo maximo permisible para distintos metales según ASME VIII div.1

STANDARD ALLOWABLE STRESS TABLE																		
Material	P No.	UNS No.	ALLOWABLE STRESS, ksi								MIN. YIELD STRESS, ksi							
			100°	200°	300°	400°	500°	600°	700°	800°	100°	200°	300°	400°	500°	600°	700°	800°
SA 516-70 Carbon Steel	1	K02700	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	19.4	18.1	12.0	38.0	34.8	33.6	32.5	31.0	29.1	27.2	25.5
Type 304 Stainless Steel	8	S30400	20.0	20.0	18.9	18.3	17.5	16.6	15.8	15.2	30.0	25.0	22.4	20.7	19.4	18.4	17.6	16.9
Type 304L Stainless Steel	8	S30403	16.7	16.7	16.7	15.8	14.7	14.0	13.5	13.0	25.0	21.4	19.2	17.5	16.4	15.5	15.0	14.5
Type 309S Stainless Steel	8	S30908	20.0	20.0	20.0	20.0	19.4	18.8	18.2	17.7	30.0	26.3	24.2	22.7	21.6	20.8	20.32	19.7
Type 310 Stainless Steel	8	S31008	20.0	20.0	20.0	19.9	19.3	18.5	17.9	17.4	30.0	26.5	24.2	22.6	21.4	20.6	19.9	19.4
Type 316 Stainless Steel	8	S31600	20.0	20.0	20.0	19.3	18.0	17.0	16.3	15.9	30.0	25.9	23.4	21.4	20.0	18.9	18.2	17.7
Type 316L Stainless Steel	8	S31603	16.7	16.7	16.7	15.7	14.8	14.0	13.5	12.9	25.0	21.3	19.0	17.5	16.4	15.6	15.0	14.4
Type 317L Stainless Steel	8	S31703	20.0	20.0	19.6	18.9	17.7	16.9	16.2	15.5	30.0	25.5	22.8	21.0	19.7	18.7	18.0	17.2
Type 347 Stainless Steel	8	S34700	20.0	20.0	18.8	17.8	17.2	16.9	16.8	16.8	30.0	27.6	25.7	24.0	22.6	21.5	20.7	20.3
Alloy 200	41	N02200	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	NP	NP	20.0	20.0	20.0	20.0	18.9	17.2	---	---
Alloy 201	41	N02201	8.0	7.7	7.5	7.5	7.5	7.5	7.4	7.2	12.0	11.5	11.3	11.2	11.2	11.1	10.8	10.8
Alloy 400	42	N04400	18.7	16.4	15.2	14.7	14.7	14.7	14.6	14.3	28.0	24.5	22.8	22.1	22.0	21.9	21.4	21.4
Alloy 600	43	N06600	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	35.0	32.0	31.2	30.7	30.3	29.9	29.4	28.7
Alloy 625	43	N06625	34.3	34.3	34.3	33.6	32.9	32.4	31.8	31.2	55.0	53.0	51.4	49.9	48.5	47.2	46.1	45.2
C-22(c) Alloy	44	N06022	28.6	28.6	28.2	27.2	26.5	26.0	25.6	25.3	45.0	40.1	36.9	34.3	32.2	30.6	29.4	28.6
Alloy C-276	44	N10276	27.3	27.3	27.3	27.3	26.9	25.2	24.0	23.1	41.0	37.3	34.5	32.0	29.8	28.0	26.7	25.7
B-3(c) Alloy	44	N10665	31.4	31.4	31.4	31.4	31.4	31.2	30.9	30.6	51.0	47.9	45.4	43.4	41.9	40.8	39.8	38.7
Alloy 20	45	N08020	22.9	22.9	22.6	22.2	22.1	22.1	21.9	21.8	35.0	30.9	29.6	28.4	27.3	26.5	26.0	25.2
Alloy 800	45	N08800	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	30.0	27.7	26.6	25.8	25.1	24.5	23.8	23.2
Alloy 825	45	N08825	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.0	35.0	32.1	30.5	29.1	27.8	26.7	26.0	25.6
AL-6XN(c) Alloy 3/16" to 3/4"	45	N08367	27.1	27.1	25.7	24.6	23.8	23.3	22.9	22.6	45.0	39.3	35.7	32.9	30.8	29.1	27.9	27.0
Alloy 904L	45	N08904	20.3	16.7	15.1	13.8	12.7	11.9	11.4	NP	31.0	25.1	22.7	20.8	19.0	17.8	17.1	---

Fuente:ASME VIII div. 1 (2023)

Para un acero inoxidable tipo AISI 304 a una temperatura maxima de 614,551K se tiene:

Primeramente se cambia la unidad de temperatura a Fahrenheit:

$$(614.551 K - 273.15) \times 9/5 + 32 = 646.522 \text{ } ^\circ F$$

Interpolamos y buscamos en la tabla (ver tabla 4):

Tabla 4: Interpolación para hallar esfuerzo maximo permisible

T (°F)	Esfuerzo máximo permisible
600	16,6
646,522°F	S
700	15,8

Fuente: Bolivar J. (2023)

$$\frac{700 - 600}{700 - 646,522} = \frac{15,8 - 16,6}{15,8 - S}$$

$$S = 16,228ksi$$

Ahora para la eleccion de las ecuaciones se hace uso de la siguiente tabla que nos redirige a los apendices que contienen las ecuaciones necesarias (ver tabla 5).

Tabla 5: Tabla de ecuaciones para el calculo de espesor según ASME VIII div.1

Cálculo del espesor de diseño UG-27 ASME VIII Div.1

Definición de la formula:

Ecuaciones para calcular el espesor del cuerpo bajo presión interna			
		t ≤ R/2	t > R/2
Esfuerzos circunferenciales	P ≤ 0.385 * S * E	UG-27(C)(1), Appendices 1-1(a)(1) Or 1-2(a)(1)	Apéndice 1-2(a)(1)
	P > 0.385 * S * E	Apéndices 1-2(a)(1)	Apéndice 1-2(a)(1)
Esfuerzos longitudinales	P ≤ 1.25 * S * E	UG-27(C)(2)	--
	P > 1.25 * S * E	Apéndice 1-2(b)(3)	Apéndice 1-2(b)(3)

Fuente: ASME VIII div.1 (2023)

La presión debe ser menor a 0,385*S*E para los esfuerzos circunferenciales y para los longitudinales se debe cumplir que la presión sea menor que 1,25*S*E.

Primero pasamos el valor de presión en el depósito a psi:

$$13bar \times 14,504 \frac{psi}{bar} = 188,552psi$$

Luego verificamos si se cumplen las condiciones:

$$Cir: 188,552 < 0,385 \times 16228psi \times 1 = 6247,78 \text{ si cumple}$$

$$Lon: 188,552 < 1,25 \times 16228psi \times 1 = 20285 \text{ si cumple}$$

Finalmente utilizamos las ecuaciones correspondientes para hallar los posibles espesores (ver figura 31).

Cálculo del espesor de diseño según UG-27 ASME VIII Div.1

ASME BPVC.VIII.1-2019
UG-25 - UG-28

UG-27 THICKNESS OF SHELLS UNDER INTERNAL PRESSURE

(a) The minimum required thickness of shells under internal pressure shall not be less than that computed by the following formulas,¹⁸ except as permitted by Mandatory Appendix 1 or Mandatory Appendix 32. In addition, provision shall be made for any of the loadings listed in UG-22, when such loadings are expected. The provided thickness of the shells shall also meet the requirements of UG-16, except as permitted in Mandatory Appendix 32.

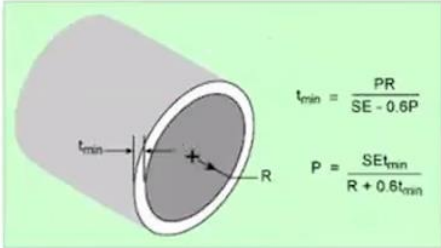
(c) *Cylindrical Shells.* The minimum thickness or maximum allowable working pressure of cylindrical shells shall be the greater thickness or lesser pressure as given by (1) or (2) below.

(1) *Circumferential Stress (Longitudinal Joints).*
When the thickness does not exceed one-half of the inside radius, or P does not exceed $0.385SE$, the following formulas shall apply:

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} \quad \text{or} \quad P = \frac{SEt}{R + 0.6t} \quad (1)$$


(2) *Longitudinal Stress (Circumferential Joints).*²⁰
When the thickness does not exceed one-half of the inside radius, or P does not exceed $1.25SE$, the following formulas shall apply:

$$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P} \quad \text{or} \quad P = \frac{2SEt}{R - 0.4t} \quad (2)$$



$t_{min} = \frac{PR}{SE - 0.6P}$

$P = \frac{SEt_{min}}{R + 0.6t_{min}}$



Ely Ramirez

Figura 31: Ecuaciones de espesor de diseño según ASME VIII div. 1
Fuente: Ramirez, E. (2023)

Utilizando las expresiones del espesor para cada esfuerzo y convirtiendo los valores al sistema inglés:

$$r = 2,5m \times \frac{39,37pulg}{1m} = 98,425pulg$$

$$Cir: t = \frac{PR}{SE - 0,6P} = \frac{188,552psi \times (98,425pulg + 0,0625pulg/año)}{16228psi \times 1 - 0,6 \times 188,552psi} = 1,16pulg \quad \text{Ec. 5}$$

$$Lon: t = \frac{PR}{2SE + 0,4P} = \frac{188,552psi \times (98,425pulg + 0,0625pulg/año)}{2 \times 16228psi \times 1 + 0,4 \times 188,552psi} = 0,57pulg \quad \text{Ec. 6}$$

Finalmente se elige el espesor más grande y multiplicamos por un factor de diseño de 2 y lo llevamos al espesor de lámina comercial superior más próximo.

$$1,16pulg \times 2 = 2,32pulg \rightarrow t = 2,5pulg$$

Ahora se procede a calcular el tiempo de llenado del deposito con la capacidad del compresor.

El modelo SLY-40 tiene un flujo volumetrico de $8m^3/min$ para la configuración de 13bar. Pero para el llenado de un deposito de aire comprimido se debe considerar la masa de aire dentro

del deposito y el flujo másico que es capaz de entregar el compresor. Por lo tanto, si queremos que se llene nuestro deposito de $500m^3$:

Para calcular la masa de aire en un depósito, primero, necesitamos saber la densidad del aire a la presión y temperatura dadas. La densidad del aire (ρ) se puede calcular utilizando la ecuación del gas ideal:

$$PV = nRT \quad \text{Ec. 7}$$

- P es la presión en pascales (Pa),
- V es el volumen en metros cúbicos (m^3),
- n es la cantidad de sustancia en moles,
- R es la constante del gas ideal ($8.314 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$),
- T es la temperatura en kelvins (K).

Primero convertimos 13 bar a pascales:

$$13bar \times \frac{100.000Pa}{1bar} = 1.300.000Pa$$

Para la temperatura después de la compresión de 614,551K

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{1.300.000Pa \times 500m^3}{(8.314 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})) \times (614,551K)} = 127.217,1moles$$

$$masa = n \times MasaMolar = 127.217,1moles \times \frac{0,029kg}{mol} = 3689,3kg$$

Si en $500m^3$ hay 3689,3kg, ¿cuántos kg hay en $8m^3$?

$$masa_{8m^3} = \frac{8m^3 \times 3689,3kg}{500m^3} = 59,03kg$$

El compresor tiene un flujo másico de $59,03kg/\text{min}$ o $0,984kg/s$.

El tiempo de llenado del deposito se obtiene de la siguiente manera:

$$t_{llenado} = \frac{masa}{flujo \text{ másico}} = \frac{3689,3kg}{0,984kg/s} = \frac{3749,29s}{3600s/hora} = 1,04horas \quad \text{Ec. 8}$$

4.4.4 Cálculo de Turbina Generadora en el Sistema

La turbina generadora se comprende de dos partes, el ventilador centrífugo y el generador eléctrico. Se elige el ventilador centrífugo Design 53 Pressure Blower de la empresa estadounidense Chicago Blower Corporation (ver figura 32). Este es un ventilador bastante versátil y es capaz de resistir altas presiones. Se piensa acoplar por medio de su eje a un generador eléctrico de la empresa Qingdao UNIVERSAL International Trade Co., Ltd. Ubicada en China, se elige un generador eléctrico de 200kW y 3500rpm (ver figuras de la 33 a la 35).



Figura 32: Ventilador centrífugo Design 53
Pressure Blower
Fuente: Chicago Blower Corporation (2023)



Figura 33: Generadores Eléctricos de la Empresa Qingdao
Fuente: uintltrade.en.made-in-china.com (2023)

Basic Info.

Model NO.	UITG	Magnet Material	NdFeB
Bearing Brand	SKF	Wire Material	100% Copper
Design Life Time	20 Years	Voltage	12-1140VAC Customized
Rated Rpm	20-3600rpm Customized	Protection Degree	IP54, IP68
Transport Package	Plywood Packaging	Trademark	UIT
Origin	China Mainland	HS Code	85016200
Production Capacity	10000 Units/Year		

Figura 34: Información Básica de Generadores Eléctricos de la Empresa Qingdao

Fuente: uintltrade.en.made-in-china.com (2023)

PRODUCTION DESCRIPTION

UITG series 3 phase AC synchronous permanent magnet generator(PMG) is our main selling product. They are widely used in new energy field, like hydro, ocean, wind generation system.

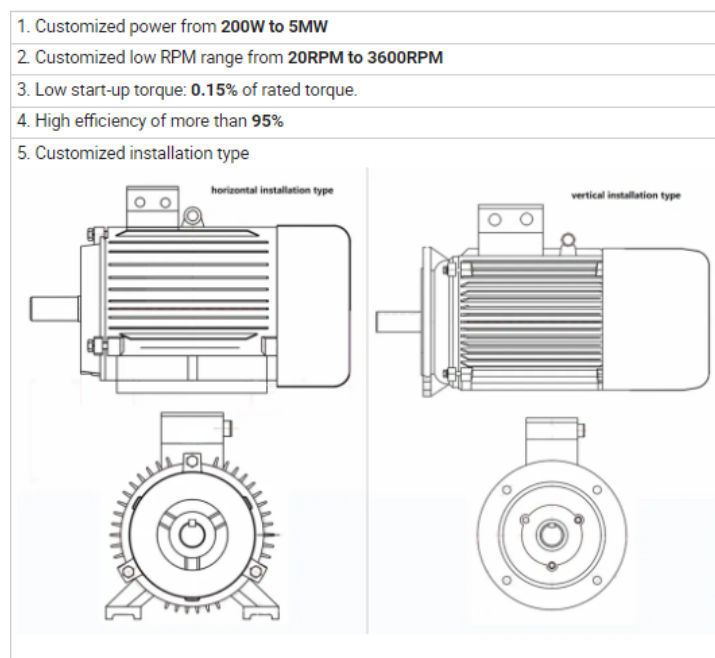


Figura 35: Descripción del Producto, Generadores Eléctricos de la Empresa Qingdao

Fuente: uintltrade.en.made-in-china.com (2023)

Para proceder con los cálculos se requiere regular el flujo másico del depósito hacia el ventilador centrífugo con ayuda de una valvula de control hasta llegar a los $4m^3$.

Suponiendo que el aire dentro del depósito este a presión atmosférica (condición de salida):

$$V_{atm} = \frac{masa_{dep}}{densidad_{atm}} = \frac{3689,3kg}{1,204kg/m^3} = 3064,2m^3 \quad \text{Ec. 9}$$

Luego se determina el caudal de aire para un vaciado en 12 horas y se lleva a las tablas del ventilador centrífugo en cfm:

$$Q = \frac{3064,2m^3}{(60 \times 12)min} = 4,26m^3/min$$

$$Q = \frac{4,26m^3}{1min} \times \frac{35,315cfm}{1m^3/min} = 150,442cfm$$

Con estos datos, vamos a la tabla de ventiladores (ver figura 36) y elegimos el que mejor se adapte al diseño.

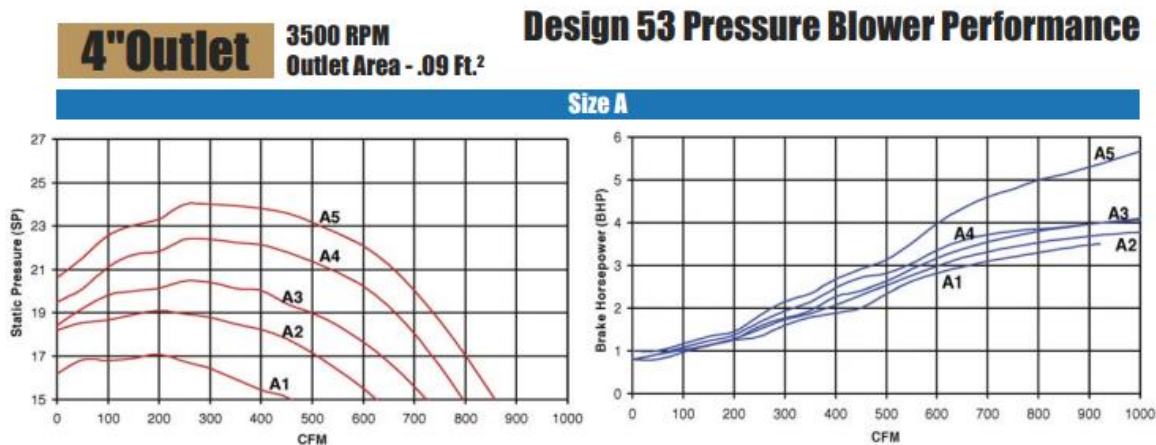


Figura 36: Gráfico CFM/Presión Estática para modelo 53 con salida de 4 pulgadas de ventilador a presión
Fuente: Chicago Blower Corporation (2023)

El modelo que ofrece una mayor presión estática es el A5, que a 150cfm ofrece 23pulgH2O de presión y es capaz de hacer girar el eje del generador eléctrico a una velocidad de 3500rpm y por su eficiencia del 95%, logre una producción de energía de 190kW.

Debido a que el sistema va a llenarse durante el día y funcionar durante la noche, la manera de luchar contra las pérdidas de eficiencia por calentamiento del compresor es sobrediseñando el sistema a nivel de producción de energía eléctrica, puesto que los sistemas CAES tienen de por sí una baja eficiencia y esta disminuye aún más a medida que se reduce el tamaño de este. Para elevar un poco la eficiencia también se pueden colocar calentadores para el aire que va a entrar en la turbina, lo cual aumentaría la energía necesaria para poner el sistema en funcionamiento. Como el sistema funciona gracias a la presencia de energías renovables, esto no representa un gran problema al principio, pero luego, el deterioro de los equipos de producción y almacenamiento generarían un gasto superior.

Para evaluar la eficiencia del sistema CAES, es fundamental considerar las pérdidas energéticas durante la compresión y expansión del aire, así como las posibles pérdidas por fricción y calor. La eficiencia de compresión, la eficiencia de expansión y las pérdidas en las tuberías y componentes son factores clave para determinar qué cantidad de energía se puede recuperar durante el proceso de expansión y, por ende, qué tan eficiente es el sistema en general.

La viabilidad del proyecto dependerá de varios factores, incluyendo las eficiencias del compresor y la turbina, las pérdidas en el sistema de tuberías y válvulas, así como las eficiencias del proceso de almacenamiento y liberación de energía. También es importante considerar las condiciones del ambiente y el clima, ya que estas pueden afectar la densidad del aire y, por lo tanto, la eficiencia del sistema.

4.4.5 Diseño del Sistema en Solidworks

Una vez contamos con todos los componentes del sistema se procede a realizar los diseños de cada uno en el programa Solidworks y luego acoplarlos para obtener la disposición final del sistema (ver figuras de la 37 a la 44).

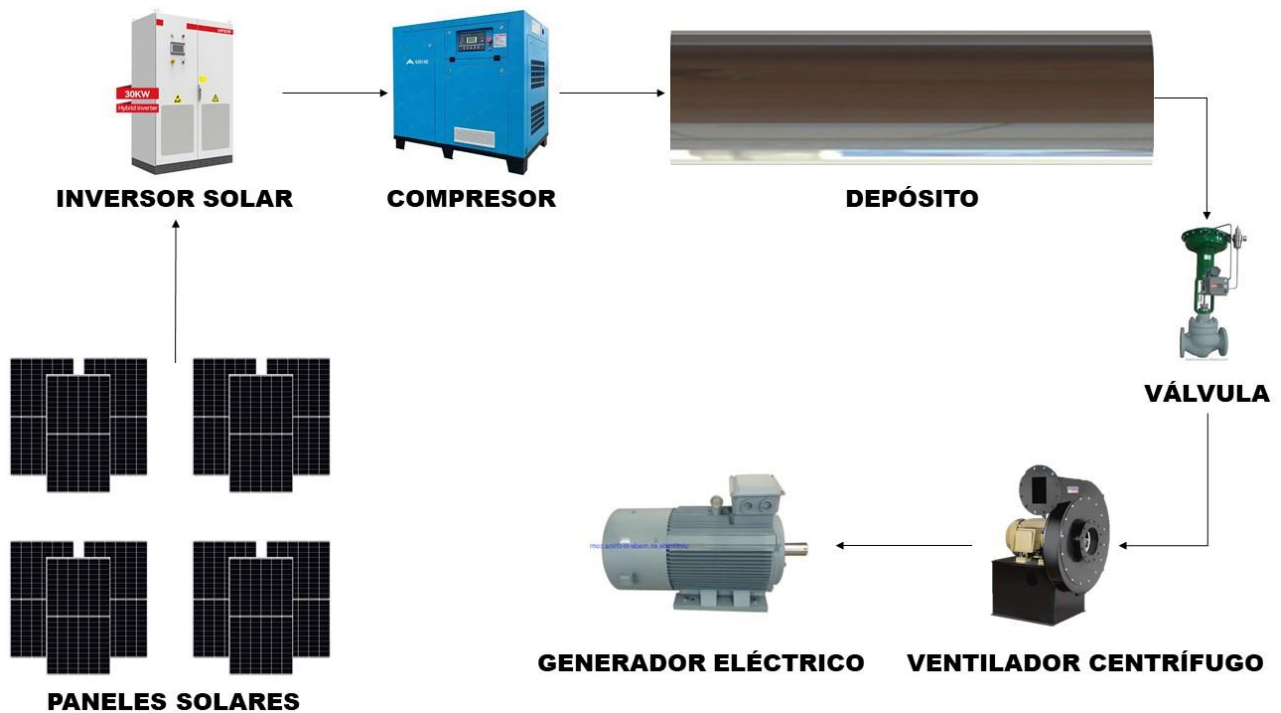


Figura 37: Esquema de Funcionamiento del Sistema

Fuente: Bolívar J. (2023)



Figura 38: Disposición Final del Sistema
Fuente: Bolívar J. (2023)

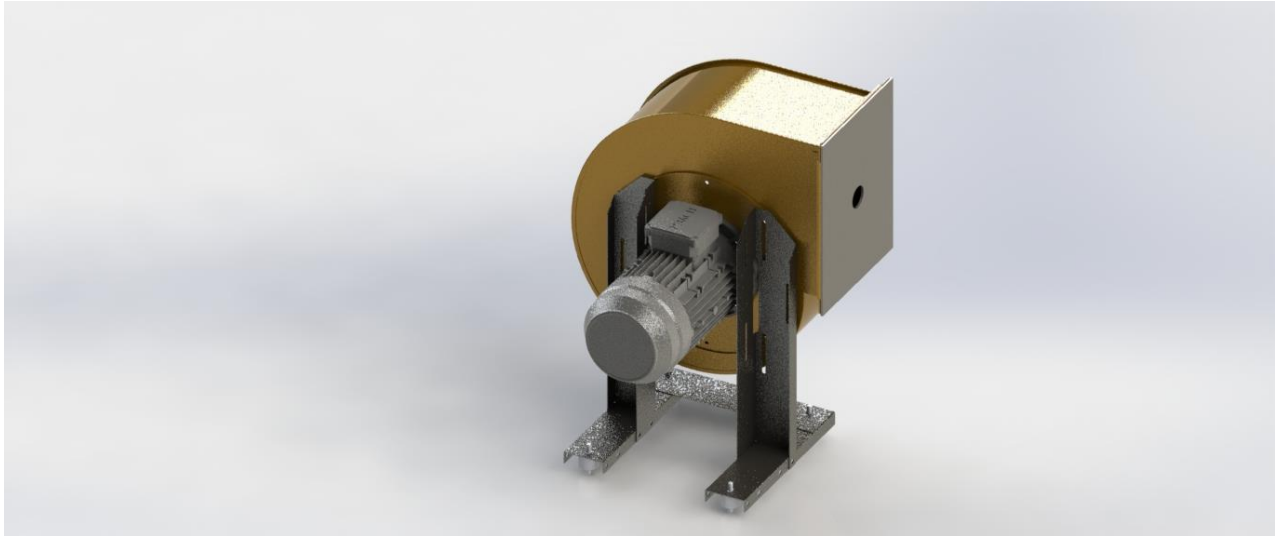


Figura 39: Diseño de Turbina Generadora
Fuente: Bolívar J. (2023)

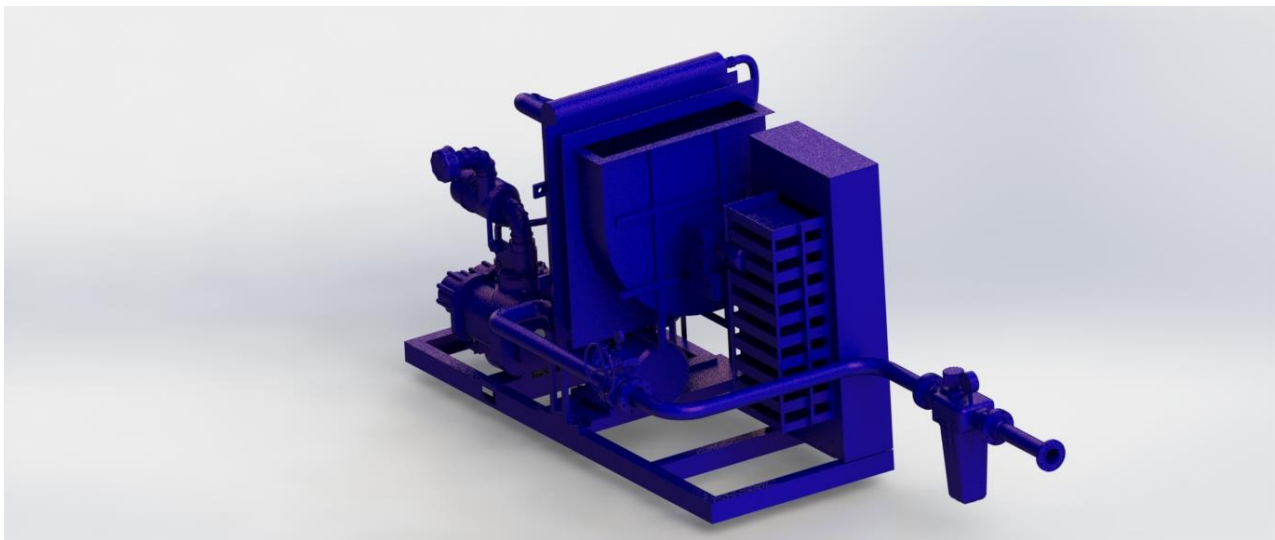


Figura 40: Diseño de Compresor
Fuente: Bolívar J. (2023)

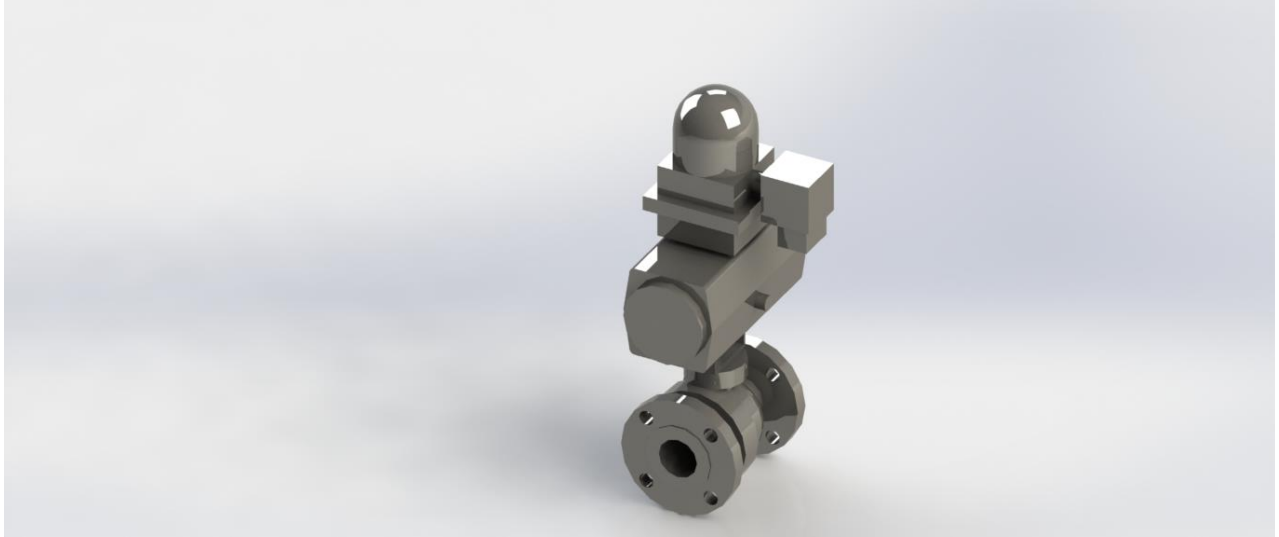


Figura 41: Diseño de Válvula de Control de Presión
Fuente: Bolívar J. (2023)

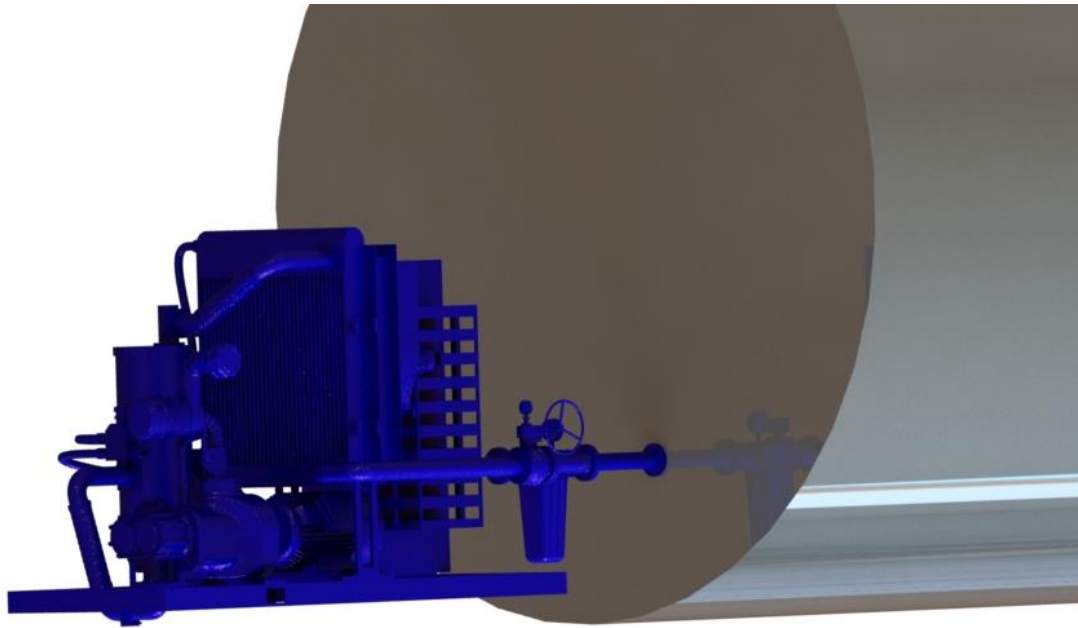


Figura 42: Acople Compresor-Depósito
Fuente: Bolívar J. (2023)



Figura 43: Acople Tuberías-Válvula de Control de Presión
Fuente: Bolívar J. (2023)

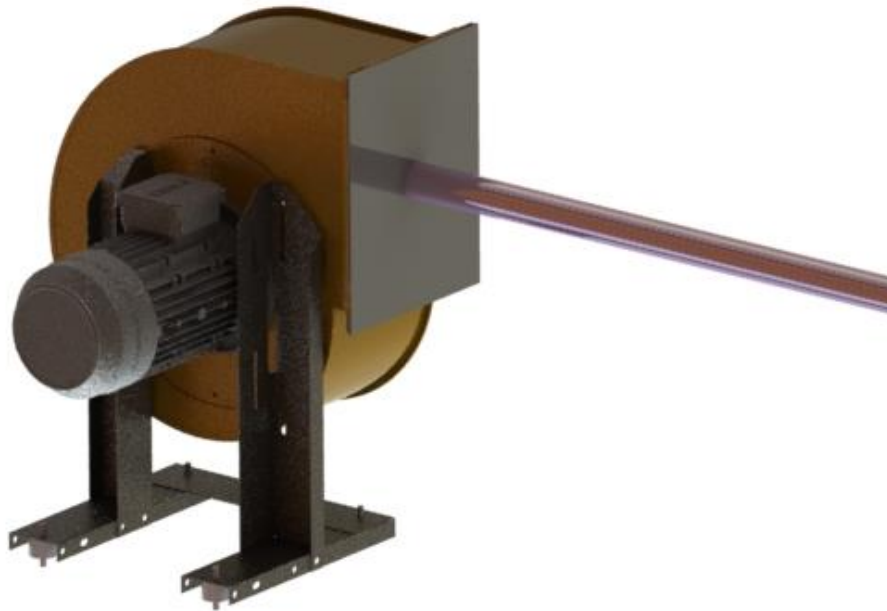


Figura 44: Acople Tubería-Ventilador Centrífugo
Fuente: Bolívar J. (2023)

4.5 Evaluación de la viabilidad técnica, operativa, ambiental y económica del sistema diseñado.

4.5.1 Viabilidad técnica.

Viabilidad técnica se refiere a los recursos técnicos necesarios, incluyendo personal capacitado con conocimientos, habilidades, experiencia y herramientas adecuadas para la instalación de sistemas solares fotovoltaicos y de almacenamiento neumático. Una vez establecida esta viabilidad técnica, se confirma que existe personal capacitado en el país para llevar a cabo estas actividades, sin embargo, implicaría el traslado de personal hasta el área e incluso la estadía definitiva en la localidad y aunque la mayoría de los materiales pueden ser adquiridos en el país, igualmente requeriría de un traslado o importación que añadiría costos adicionales al proyecto y una reducción de su viabilidad económica.

4.5.2 Viabilidad operativa.

Se refiere a la capacidad de un proyecto o una iniciativa para ser ejecutada, implementada y mantenida de manera eficaz y eficiente una vez que está en funcionamiento. Implica evaluar si existen los recursos, habilidades y procesos necesarios para llevar a cabo las operaciones del proyecto de manera efectiva y sostenible a largo plazo. Se concluye entonces que a nivel operativo la adquisición de recursos y personal y capacidad de producción es óptima para la ejecución del proyecto. Se pueden diseñar sistemas de gestión de riesgos y de mantenimiento para su correcto funcionamiento y los procesos y procedimientos se pueden optimizar con mejoras en la tecnología implicada para elevar la eficiencia del equipo.

La evaluación de la factibilidad operativa es esencial para determinar si un proyecto no solo puede comenzar, sino también si puede continuar operando de manera efectiva y sostenible en el futuro.

4.5.3 Viabilidad ambiental.

La evaluación ambiental es un aspecto fundamental en cualquier proyecto desde sus etapas iniciales. Esta evaluación implica considerar las características naturales del lugar, así como las regulaciones y restricciones ambientales y de uso del suelo. Todos estos factores influyen en la selección del sitio y en las especificaciones del proyecto. En el contexto de propuestas relacionadas con energías alternativas, limpias y renovables, la factibilidad ambiental está intrínseca en la propuesta. Los sistemas solares, ya sean fotovoltaicos, térmicos o mixtos, ofrecen beneficios ambientales y ecológicos para el área donde se instalan. Algunos de estos beneficios incluyen la generación de energía térmica a partir de una fuente inagotable y gratuita: el sol. Además, estos

sistemas otorgan a los usuarios autonomía energética y la capacidad de contribuir al ahorro energético. Son considerados energía verde y limpia, ya que ayudan a contrarrestar el daño ambiental y son sostenibles y sustentables. Los sistemas solares reducen significativamente las emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero, lo que es crucial para la conservación del planeta. Los sistemas de almacenamiento de energía mediante Aire Comprimido (CAES) por su parte, ofrecen beneficios ambientales significativos. Al no depender de combustibles fósiles, los CAES reducen las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo a la mitigación del cambio climático. Además, al integrarse con fuentes de energía renovable, como la solar ayudan a estabilizar las redes eléctricas, facilitando una transición más fluida hacia energías más limpias. Al minimizar el impacto ambiental y alentar una mayor adopción de energías renovables, los CAES juegan un papel crucial en la construcción de un futuro energético más sostenible y ecológico.

4.5.4 Viabilidad económica.

Este término se refiere a los recursos financieros y económicos necesarios para adquirir los materiales, equipos y todos los elementos del sistema solar térmico, así como los componentes adicionales, la instalación, la mano de obra y otros gastos relacionados. En otras palabras, la viabilidad económica es de suma importancia, ya que al lograrla, se pueden abordar las demás áreas de viabilidad. Para establecerla, se deben llevar a cabo diversas actividades, que incluyen calcular el costo del tiempo del analista, el costo del estudio, el costo del tiempo del personal y el costo del desarrollo/adquisición e instalación. La viabilidad económica se evalúa mediante la relación entre beneficios y costos. Para realizar esta evaluación, se lleva a cabo un estudio de mercado para determinar los precios de los equipos y materiales necesarios para la propuesta (ver tabla 6).

Tabla 6: Presupuesto del Proyecto

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	P. UNITARIO	P. TOTAL
1	Compresor Industrial	1	\$1.200,00	\$1.200,00
2	Generador Eléctrico	1	\$23.000,00	\$23.000,00
3	Panel Solar Monocristalino	32.900W	\$0,13/W	\$4.277,00
4	Inversor Solar	1	\$8.996,00	\$8.996,00
5	Tanque de Acero Inoxidable 500m3	1	\$20.000,00	\$20.000,00
6	Ventilador Centrífugo	1	\$3.000,00	\$3.000,00
7	Brida Acero Inoxidable AISI-304, 300psi 4pulg	4	\$440	\$1.760,00
8	Tubería Acero Inoxidable AISI-304	2	\$250	\$500,00
9	Válvula de Control de Flujo	1	\$450	\$450,00
				\$63.183,00

Fuente. Bolívar, J. (2023)

El presupuesto del sistema no es tan alto a nivel de funcionamiento básico, por lo que puede resultar conveniente la realización un análisis con la instrumentación adecuada para el control de procesos, las pruebas en el campo y la mano de obra de instalación.

Tomando en cuenta estos datos que costo de KWh en Venezuela por parte de la empresa CORPOELEC (ver figura 44), se calcula el tiempo en el cual se alcanza el costo de construcción de la planta de producción y almacenamiento.

Más datos de la facturación

Para 1998 Edelca facturó aproximadamente	→	Bs. 550.000 millones
A un precio promedio de	→	Bs 18/KWh (US\$0.03/KWh)
De los cuales aproximadamente	→	Bs 400.000
Fueron facturados a empresas del SIN a un precio promedio de	→	Bs 7/KWh (US\$0.013/KWh)
Y unos fueron facturados a la región de Guayana	→	Bs. 150.000 millones
Estos últimos a un precio promedio de	→	Bs 8,5/KWh (US\$0.015/KWh)

Figura 45: Datos de Facturación CORPOELEC

Fuente: www.transparenciave.org (2017)

$$Tiempo = \frac{Costo Proyecto}{CostoKWh} = \frac{\$63.183,00}{\$0,03/h} = 2106100horas = 240,42años \quad Ec. 10$$

Por tanto, ya que el retorno de la inversión ocurriría en un tiempo de 240,42 años y el sistema se diseñó para una duración promedio de 30 años, a nivel de costos, se ve afectada la viabilidad del proyecto debido al bajo precio de KWh en Venezuela.

CONCLUSIONES

El desarrollo de sistemas de producción de energía solar fotovoltaica combinados con tecnologías de almacenamiento como el Almacenamiento de Energía mediante Aire Comprimido (CAES) no solo representa un paso significativo hacia la sostenibilidad energética, sino también un compromiso fundamental para conservar nuestro medio ambiente. La urgente necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero se ha vuelto una prioridad global para mitigar el cambio climático y sus impactos devastadores. La energía solar fotovoltaica, al ser una fuente limpia y renovable, juega un papel crucial en este esfuerzo al proporcionar una alternativa ecológica a las fuentes de energía convencionales basadas en combustibles fósiles.

Sin embargo, el desafío radica no solo en producir energía limpia, sino también en almacenarla de manera eficiente y efectiva para su uso constante y confiable. En este contexto, el desarrollo y mejora continua de tecnologías de almacenamiento como el CAES son esenciales. La eficiencia de estos sistemas es clave para maximizar la cantidad de energía almacenada y liberada, asegurando así que la energía solar capturada se utilice de manera óptima, incluso cuando el sol no brilla.

En la ejecución del presente proyecto de investigación se realizó el diagnóstico a nivel energético y ambiental de San José de Capanaparo, arrojando datos de requerimientos energéticos, temperatura, posibles fuentes de producción de energía, velocidad del viento, entre otros, lo cual sirvió con base para la ejecución del resto de la investigación y podría ser de ayuda para la ejecución o evaluación de proyectos futuros.

Posteriormente, se realizó un análisis de estos resultados y se determinaron las condiciones necesarias para que este proyecto fuese aplicado así como también se determinó de qué manera debería ser ejecutado para asegurar un funcionamiento apropiado.

Gracias a la ejecución de las fases iniciales se logró determinar que el tipo de producción de energía que mejor se adapta a las condiciones ambientales de la localidad es la energía solar fotovoltaica y se procedió a calcular la cantidad de paneles solares necesarios para cubrir la necesidad eléctrica de la zona, así como también para el funcionamiento del sistema de almacenamiento de energía.

Finalmente, se ejecutó una investigación para hallar en el mercado los elementos necesarios para el funcionamiento de la planta de generación y almacenamiento de energía tomando en cuenta

las variables requeridas para el correcto funcionamiento de los mismos. Cuando se logró determinar cuáles eran estos elementos se realizó el diseño del prototipo de la planta en el programa Solidworks.

Una vez terminada la investigación se realizó el análisis de la viabilidad del proyecto, que con los datos proporcionados por toda la investigación previa, permitiría averiguar si la ejecución del sistema es conveniente o no. Aunque económicamente no parece viable la ejecución del proyecto, tratándose del beneficio de personas que no cuentan con energía eléctrica ni los servicios básicos que esta permite y también una base para el desarrollo de energías alternativas en el país, podría ser una buena inversión a largo plazo.

RECOMENDACIONES

Debido a que este proyecto de investigación se centra en la obtención del aire comprimido para la alimentación de la turbina generadora y a la amplitud del estudio, se recomienda la realización de posteriores trabajos de investigación que sirvan de complemento para este a nivel de instrumentación, pérdidas por accesorios o tuberías, ideas para el aumento de la eficiencia del sistema o incluso el diseño de cada elemento para garantizar la adaptación más óptima de lo que se plantea a la realidad.

Se recomienda realizar un análisis detallado de las eficiencias en cada etapa del sistema CAES y compararlas con las eficiencias típicas de sistemas similares para determinar la viabilidad del proyecto. Además, consultar con expertos en el campo y realizar simulaciones computacionales detalladas pueden proporcionar una evaluación más precisa de la eficiencia del sistema que permitan tomar decisiones informadas sobre su ejecución.

Debido a la cantidad de espacio disponible en la zona y las condiciones ambientales óptimas, esto no representó un problema en la elección del tipo de energía a producir, sin embargo, se recomienda prestar especial atención a estos factores para el diseño de futuros proyectos ya que son determinantes para el correcto funcionamiento de los sistemas.

Se recomienda también iniciar la búsqueda de soluciones sostenibles para garantizar la llegada de la energía eléctrica a todos los sectores del país e iniciar una nueva época de desarrollo y divulgación de las energías alternativas y su importancia para el futuro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias F. (2016). **“El proyecto de investigación”**. 7ma edición. Caracas. Episteme.
- Arredondo H. Navarro J. Vizcaino M. (2008). **“Proyecto de electrificación rural vereda Bella ena, pivijay magdena”**. Tesis de Ingeniería. Corporación Universitaria de la Costa.
- Bristol C. et al. (2022). **“Diseño de Sistema de Almacenamiento de Aire Comprimido para la Generación Distribuida en Zonas Residenciales de México”** Propuesta para la organización INVURNUS publicado por Revistas UNISON
- Çengel Y. Boles M. (2009). **“Termodinámica”**. 6ta Edición. Mc Graw Hill Educación, México.
- Cruz E. (2022). **“Estudio de la hibridación de ciclos combinados con sistemas de almacenamiento de energía por aire comprimido (compressed air energy storage, caes). Aplicación en Canarias”**. Trabajo Fin de Grado, Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología, Universidad de la Laguna, España.
- Del Corte J. (2019) **“Análisis almacenamiento de energía de aire comprimido”**. Trabajo Fin de Grado, Universidad de Zaragoza, España.
- Figueredo O. González Y. Martínez E. Moreno J. Jiménez E. Weffer E. (2020). **“Manual para la elaboración y presentación de los anteproyectos, proyectos de trabajos de grado, trabajos de grado, tesis doctoral e informe de pasantía y extramuros de la universidad José Antonio Páez”** Universidad José Antonio Páez, Carabobo, Venezuela.
- Hurtado J. (2010). **“Metodología de la investigación: guía para la comprensión holística de la ciencia”**. 4ta Edición. Caracas, Venezuela: Quirón Ediciones.
- Lladó A. (2015)**“Estudio Del Almacenamiento De Energía Mediante Aire Comprimido.”** Grau en Enginyeria de Recursos Energètics i Miners. Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Manresa (EPSEM)
- Martínez, M. (2006). **“La investigación cualitativa: síntesis conceptual”**. Revista IIPSI, Facultad de Psicología, UNMSM, Caracas, Venezuela.
- Mataix C. (2011) **“Turbomáquinas térmicas”** 3ra Edición. CIE-DOSSAT, España.
- Ramírez F. (2020). **“Estudio de factibilidad técnico económico para la implementación de un sistema complementario de suministro eléctrico basado en energías verdes para el conjunto residencial “La Arboleda” en Ciudad Guayana”**. Trabajo Especial de Grado, Universidad Católica Andrés Bello, Venezuela.

- Romero R. (2021). **“Propuesta de mejora al sistema de aire comprimido de la planta de aire de servicio/instrumentación de la empresa mixta Petromonagas ubicada en el complejo industrial petrolero José Antonio Anzoátegui, Barcelona”** Propuesta de Trabajo de Grado, Instituto Universitario Politécnico “Santiago Mariño”, Barcelona, Venezuela.
- Tamayo y Tamayo M. (2000). **“El proceso de la investigación científica”**. 3ra Edición. México: Limusa.
- Torralba M. **“Almacenamiento De Energía Mediante Aire Comprimido: Sistemas Micro-Caes.”** Trabajo de fin de grado, Ingeniería de las Tecnologías Industriales
- Vega R. (2007). **“Influencia del paradigma tecnológico en la organización de la información”**. Revista Tecnológica Acimed.

APÉNDICES

APÉNDICE A
GUIÓN DE ENTREVISTA



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

INSTRUCCIONES PARA LA GUIA DE ENTREVISTA

- **Indique su función dentro de la empresa**
- **Proceda a leer detenidamente cada una de las preguntas**
- **Responda de manera objetiva**
- **En caso de dudas, consulte con la persona encargada de aplicar el cuestionario**

N°	Guion de entrevista
1	¿Cuál es la potencia promedio consumida por persona en un día para cubrir sus necesidades básicas y la variabilidad con respecto al consumo internacional?
2	En función a su experiencia en el ramo eléctrico, ¿podría indicarnos en función a la estadística, cual es el mes de mayor consumo eléctrico y si cumple con los estándares de consumo internacional?
3	Desde su óptica, ¿puede describir las ventajas y desventajas entre la energía solar, eólica e hidráulica? y en función a ello, ¿Cuál considera que sea la más eficiente?
4	Entre la energía solar, eólica e hidráulica ¿Cuál considera usted que es la menos fluctuante?
5	Entre la energía solar, eólica e hidráulica ¿Cuál de estas alternativas considera usted que representa un menor costo de diseño y construcción?
6	¿Cómo afectan las altas temperaturas al desempeño de equipos neumáticos?
7	En función a su vivencia como habitante de Achaguas, considera usted posible generar electricidad a través del caudal del río Capanaparo a la altura de la comunidad de San José de Capanaparo?

Fuente: Bolívar J.

APÉNDICE B



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUION DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados, anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Tendenciosa	Pertinente	No pertinente	
1	/			/		
2	/			/		
3	/			/		
4	/			/		
5	/			/		
6	/			/		
7	/			/		

Fecha: 02/06/2022


 Firma del Especialista:

Breve descripción del perfil académico del Especialista:	<i>Maestro en Perencia y Tecnología de la Inf. Ingeniero en Informática.</i>
--	--



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUIÓN DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados, anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Tendenciosa	Pertinente	No pertinente	
1	✓			✓		
2	✓			✓		
3	✓			✓		
4	✓			✓		
5	✓			✓		
6	✓			✓		
7	✓			✓		

Fecha: 02/06/2022


Firma del Especialista:

Breve descripción del perfil académico del Especialista:	INGENIERO Metalúrgico Dr. en Ingeniería
--	--



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUION DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados, anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Tendenciosa	Pertinente	No pertinente	
1	✓			✓		
2	✓			✓		
3	✓			✓		
4	✓			✓		
5	✓			✓		
6	✓			✓		
7	✓			✓		

Fecha: 02/06/2022


Firma del Especialista:

Breve descripción del perfil académico del Especialista:	Ingeniero Mecánico Dra. en Ciencias de la Educación
--	--

ANEXOS

ANEXO 1: Tabla de Propiedades del Aire Ideal

Sistema Internacional					
Calores Específicos (Cp y Cv) VARIABLES				Cp y Cv VARIABLES en Proceso ISOENTRÓPICO	
$T_{ABS} = T(K) = T(^{\circ}C) + 273$				Pr	Vr
T	u	h	S°	Adimensional	
K	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg K		
200	142,56	199,97	1,29559	0,3363	1707
210	149,69	209,97	1,34444	0,3987	1512
220	156,82	219,97	1,39105	0,469	1346
230	164	230,02	1,43557	0,5477	1205
240	171,13	240,02	1,47824	0,6355	1084
250	178,28	250,05	1,51917	0,7329	979
260	185,45	260,09	1,55848	0,8405	887,8
270	192,6	270,11	1,59634	0,959	808
280	199,75	280,13	1,63279	1,0889	738
285	203,33	285,14	1,65055	1,1584	706,1
290	206,91	290,16	1,66802	1,2311	676,1
295	210,49	295,17	1,68515	1,3068	647,9
298	212,64	299,18	1,69528	1,3543	631,9
Tamb 300	214,07	300,19	1,70203	1,386	621,2
305	217,67	305,22	1,71865	1,4686	596
310	221,25	310,24	1,73498	1,5546	572,3
315	224,85	315,27	1,75106	1,6442	549,8
320	228,42	320,29	1,7669	1,7375	528,6
325	232,02	325,31	1,78249	1,8345	508,4
330	235,61	330,34	1,79783	1,9352	489,4
340	242,82	340,42	1,8279	2,149	454,1
350	250,02	350,49	1,85708	2,379	422,2
360	257,24	360,58	1,88543	2,626	393,4
370	264,46	370,67	1,91313	2,892	367,2
380	271,69	380,77	1,94001	3,176	343,4
390	278,93	390,88	1,96633	3,481	321,5
400	286,16	400,98	1,99194	3,806	301,6
410	293,43	411,12	2,01699	4,153	283,3
420	300,69	421,26	2,04142	4,522	266,6
440	315,3	441,61	2,0887	5,332	236,8
450	322,62	451,8	2,11161	5,775	223,6
460	329,97	462,02	2,13407	6,245	211,4
470	337,32	472,24	2,15604	6,742	200,1
480	344,7	482,49	2,1776	7,268	189,5
490	352,08	492,74	2,19876	7,824	179,7
500	359,49	503,02	2,21952	8,411	170,6
510	366,92	513,32	2,23993	9,031	162,1
520	374,36	523,63	2,25997	9,684	154,1
530	381,84	533,98	2,27967	10,37	146,7
540	389,34	544,35	2,29906	11,1	139,7
550	396,86	555,74	2,31809	11,86	133,1
560	404,42	565,17	2,33685	12,65	127
570	411,97	575,59	2,35531	13,5	121,2
580	419,55	586,04	2,37348	14,38	115,7
590	427,15	596,52	2,3914	15,31	110,6
600	434,78	607,02	2,40902	16,28	105,8
610	442,42	617,53	2,42644	17,3	101,2
620	450,09	628,07	2,44356	18,36	96,92
630	457,78	638,63	2,46048	19,84	92,84
640	465,5	649,22	2,47716	20,64	88,99
650	473,25	659,84	2,49364	21,86	85,34
660	481,01	670,47	2,50985	23,13	81,89
670	488,81	681,14	2,52589	24,46	78,61
680	496,62	691,82	2,54175	25,85	75,5
690	504,45	702,52	2,55731	27,29	72,56

Sistema Ingles					
Calores Específicos (Cp y Cv) VARIABLES				Cp y Cv VARIABLES en Proceso ISOENTRÓPICO	
$T_{ABS} = T(R) = T(^{\circ}F) + 460$				Pr	Vr
T	u	h	S°	Adimensional	
R	Btu/lbm	Btu/lbm	Btu/lbm		
360	61,29	85,97	0,50369	0,3363	396,6
380	64,7	90,75	0,51663	0,4061	346,6
400	68,11	95,53	0,5289	0,4858	305
420	71,52	100,32	0,54058	0,576	270,1
440	74,93	105,11	0,55172	0,6776	240,6
460	78,36	109,9	0,56235	0,7913	215,33
480	81,77	114,69	0,57255	0,9182	193,65
500	85,2	119,48	0,58233	1,059	174,9
520	88,62	124,27	0,59173	1,2147	158,58
537	91,53	128,1	0,59945	1,3593	146,34
Tamb 540	92,04	129,06	0,60078	1,386	144,32
560	95,47	133,86	0,6095	1,5742	131,78
580	98,9	138,66	0,61793	1,78	120,7
600	102,34	143,47	0,62607	2,005	110,88
620	105,78	148,28	0,63395	2,249	102,12
640	109,21	153,09	0,64159	2,514	94,3
660	112,67	157,92	0,64902	2,801	87,27
680	116,12	162,73	0,65621	3,111	80,96
700	119,58	167,56	0,66321	3,446	75,25
720	123,04	172,39	0,67002	3,806	70,07
740	126,51	177,23	0,67665	4,193	65,38
760	129,99	182,08	0,68312	4,607	61,1
780	133,47	186,94	0,68942	5,051	57,2
800	136,97	191,81	0,69558	5,526	53,63
820	140,47	196,69	0,7016	6,033	50,35
840	143,98	201,56	0,70747	6,573	47,34
860	147,5	206,46	0,71323	7,149	44,57
880	151,02	211,35	0,71886	7,761	42,01
900	154,57	216,26	0,72438	8,411	39,64
940	161,68	226,11	0,73509	9,834	35,41
960	165,26	231,06	0,7403	10,61	33,52
980	168,83	236,02	0,7454	11,43	31,76
1000	172,43	240,98	0,75042	12,3	30,12
1040	179,66	250,95	0,76019	14,18	27,17
1080	186,93	260,97	0,76964	16,28	24,58
1120	194,25	271,03	0,7788	18,6	22,3
1160	201,63	281,14	0,78767	21,18	20,29
1200	209,05	291,3	0,79628	24,01	18,51
1240	216,53	301,52	0,80466	27,13	16,93
1280	224,05	311,79	0,8128	30,55	15,52
1320	231,63	322,11	0,82075	34,31	14,25
1360	239,25	332,48	0,82848	38,41	13,12
1400	246,93	342,9	0,83604	42,88	12,1
1440	254,66	353,37	0,84341	47,75	11,17
1480	262,44	363,89	0,85062	53,04	10,34
1520	270,26	374,47	0,85767	58,78	9,578
1560	278,13	385,08	0,86456	65	8,89
1600	286,06	395,74	0,8713	71,13	8,263
1650	296,03	409,13	0,87954	80,89	7,556
1700	306,06	422,59	0,88758	90,95	6,924
1750	316,16	436,12	0,89542	101,98	6,357
1800	326,32	449,71	0,90308	114	5,847
1850	336,55	463,37	0,91056	127,2	5,388
1900	346,85	477,09	0,91788	141,5	4,974
1950	357,2	490,88	0,92504	157,1	4,598

Fuente: www.youtube.com/watch?v=nJKsIV_XgOM (2022)