



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Cadena de valor para utilización de hidrógeno verde en camiones
mineros

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTORES:

Chunga Villegas, Carlos Fabián (orcid.org/0000-0003-1325-2066)

Huatay Gonzáles, Roger (orcid.org/0000-0002-8007-8582)

ASESOR:

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

Dr. Castro Anticona, Walter (orcid.org/0000-0002-8127-4040)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Generación, Trasmisión y Distribución

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo Sostenible y Adaptación al Cambio Climático

TRUJILLO – PERÚ

2022

DEDICATORIA

A mi familia por su constante apoyo en todo momento de mi vida universitaria, ahora con su profundo cariño y admiración para terminar mi formación y titularme en mi alma mater la Universidad Cesar Vallejo.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida, por permitirme estar con familia acompañados con buena salud, a mis padres por ser guía y consejeros de la experiencia de vida. A mis compañeros de la universidad que con el apoyo grupal y calidad profesional hemos llegado a este momento de la titulación. A mi asesor del proyecto de tesis para concretar el desarrollo con la experiencia académica.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|--|-----|
| DEDICATORIA | ii |
| AGRADECIMIENTO | iii |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS..... | ii |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | iii |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | ii |
| RESUMEN..... | ii |
| ABSTRACT..... | ii |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. MARCO TEÓRICO | 6 |
| III. METODOLOGÍA..... | 13 |
| 3.1. Tipo y diseño de investigación..... | 13 |
| 3.2. Variables y operacionalización | 13 |
| 3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis..... | 13 |
| 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos | 14 |
| 3.5. Procedimientos..... | 14 |
| 3.6. Método de análisis de datos | 14 |
| 3.7. Aspectos éticos..... | 14 |
| IV. RESULTADOS | 16 |
| 4.1. Esquema de la cadena de valor | 16 |
| 4.2. Consumo de diesel | 16 |
| 4.3. Cantidad de hidrógeno requerido | 17 |
| 4.4. Diseño de las características del sistema Fotovoltaico..... | 18 |
| 4.5. Descripción del equipo de electrólisis..... | 21 |
| 4.6. Presupuesto:..... | 25 |
| V. DISCUSIÓN | 27 |
| VI. CONCLUSIONES..... | 28 |
| VII. RECOMENDACIONES | 29 |
| REFERENCIAS..... | 30 |
| ANEXOS | 32 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|----------------|--|----|
| Tabla 1 | Características del Tanque de Almacenamiento de H ₂ V | 18 |
| Tabla 2 | Datos Meteorológicos de Cajamarca | 19 |
| Tabla 3 | Radiación Promedio en Cajamarca (kWh/m ² /día) | 19 |
| Tabla 4 | Producción de Electrolizadores..... | 22 |
| Tabla 5 | Electrolizadores a Escala Media y Nivel de Producción..... | 22 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|-----------------|---|----|
| Figura 1 | Emisiones globales de gases de efecto invernadero por sector..... | 4 |
| Figura 2 | El momento del H2 Verde | 6 |
| Figura 3 | Consumo de Energía y Aporte al PBI..... | 8 |
| Figura 4 | Competitividad del H2 a Largo Plazo | 9 |
| Figura 5 | Plata de Electrólisis de Agua..... | 11 |
| Figura 6 | Esquema de la Cadena de Valor Hverde2 | 16 |
| Figura 7 | Demanda de Hidrógeno | 17 |
| Figura 8 | Diagrama de Utilización del H2V | 24 |

RESUMEN

La presente investigación tiene por objetivo general diseñar la cadena de valor para la utilización del hidrógeno verde en camiones mineros. Los objetivos específicos son: determinar la demanda de energía requerida, diseñar el sistema fotovoltaico para el proceso de obtención de hidrógeno verde, describir el proceso de la utilización del hidrógeno verde (comprende las etapas desde la generación fotovoltaica hasta el uso del consumidor final) y elaborar el presupuesto de implementación de la cadena de valor.

El consumo de diesel que cada camión diesel consume es de 102.23 litros por hora, lo que en una jornada de 16 horas equivale a 432 galones por día. La demanda de energía necesaria para atender a los camiones CAEX, fue de 133.249.0 kWh lo que implica una demanda de hidrógeno de 4.002 kg por día para atender a los 20 camiones CAEX.

Los cálculos para el sistema FV han determinado la cantidad de 176 paneles solares, 2416 baterías solares, accesorios y servicios para instalación y gastos operativos. El monto del presupuesto alcanza 1'045,036 soles. Este presupuesto comparado con el valor estimado del consumo de diesel que es de 39'780,000 podría explicar la inversión en el proyecto basado en la cadena de valor del h₂V.

Palabras clave: “Hidrógeno verde”, “Generación fotovoltaica”, “Energía”, “Consumo energético”

ABSTRACT

The general objective of this research is to design the value chain for the use of green hydrogen in mining trucks. The specific objectives are determining the required energy demand, design the photovoltaic system for the process of obtaining green hydrogen, describe the process of using green hydrogen (includes the stages from photovoltaic generation to use by the final consumer) and prepare the value chain implementation budget.

The consumption of diesel that each diesel truck consumes is 102.23 liters per hour, which in a 16-hour shift is equivalent to 432 gallons per day. The energy demand necessary to serve the CAEX trucks was 133,249.0 kWh, which implies a hydrogen demand of 4,002 kg per day to serve the 20 CAEX trucks.

Calculations for the PV system have determined the number of 176 solar panels, 2416 solar batteries, accessories and services for installation and operating expenses. The amount of the budget reaches 1,045,036 soles.

Keywords: "Green hydrogen", "Photovoltaic generation", "Energy", "Energy consumption"

I. INTRODUCCIÓN

Según el artículo de (Naciones, 2022) se proyecta que las sequías afectarían a más del 75% de la población global; que a la fecha son 3600 millones de personas que están siendo afectadas; pero la proyección estima que en el 2050 serían entre 4800 a 5700 millones de personal los afectados por la escasez de agua. Esto nos indica que actualmente existe una crisis climática en el mundo; por lo que, se hace necesario o indispensable encontrar oportunidades de mejora que contribuyan a reducir el impacto en el medio ambiente de las grandes cantidades de emisión de gases de efecto invernadero. Una de las alternativas, en esta investigación que se van a evaluar es la utilización del hidrógeno verde en camiones mineros.

Asimismo, considerando el artículo de (CEPAL, 2021), manifiesta que, en América Latina, el rol que cumplirá la producción y uso del hidrógeno verde será fundamental. Los países de Latinoamérica y el Caribe tienen la oportunidad de aprovechar su gran potencial de recursos renovables, produciendo hidrógeno verde mientras al mismo tiempo descarbonizan sus economías.

Actualmente, según lo indicado por Vera, (2021) el hidrógeno tiene muchas aplicaciones como insumo en la elaboración de petróleo, amoníaco, metanol y acero. También tiene un gran potencial como combustible en el sector transporte. Además, es considerado como el combustible del futuro y sabemos que es el principal driver para sustituir el uso de combustibles fósiles como un factor clave de esta transición ecológica.

En tanto se manifiesta que Latinoamérica avanza en la regulación, planificación e implementación del hidrógeno verde. La evidencia se destaca por lo que cada país trabaja en la implementación a un ritmo diferente, ya sea con la implementación de rutas a menor escala, o con el desarrollo de proyectos piloto considerando el marco normativo del país, en este contexto, en los últimos tres años, existe una tendencia positiva hacia este importante valor energético y la descarbonización de la matriz energética.

Como antecedente internacional, Reyes, (2020) en su investigación Hidrógeno verde piedra angular del futuro energético, Los principales desafíos y oportunidades que tiene Chile para desarrollar una economía del hidrógeno,

considera los siguientes elementos claves: Conocimiento tecnológico; avanzar en estándares y regulaciones aplicadas a toda la cadena de valor de la producción; atraer inversiones que permitan desarrollar el potencial renovable del país, usando el hidrógeno verde como vector energético clave para el almacenamiento, distribución y uso de la energía; transformarlo en una alternativa real para sectores claves en el país, por ejemplo, en aplicaciones en la industria minera y otros sectores productivos que tengan impacto en el PIB nacional; y, el desarrollo de capacidades técnicas asociadas al uso, desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías, procesos y certificaciones necesarias para la generación de hidrógeno verde.

Según Porto, (2021), indica definiciones del hidrógeno, Hidrógeno verde: Es el generado por electricidad renovable, con el agua como materia prima mediante la electrólisis. Dentro de este grupo también se incluye el obtenido a través de una adecuada planificación del cambio del biogás y la correspondiente transformación bioquímica que se le daría a la biomasa, considerando los principios que direccionen la sostenibilidad necesarios. En la actualidad representa el 2% de la producción de hidrógeno en el mundo. Hidrógeno azul: este es el resultado de la aplicación del proceso de reformado a partir del gas natural, CH₄ y otros gases licuados del petróleo, a los que se le aplican técnicas de captura, uso y almacenamiento del carbono para reducir las emisiones de CO₂ hasta en un 95%. Hidrógeno gris: Se produce con los mismos métodos que el hidrógeno azul solo que sin las técnicas para reducir las emisiones de CO₂. Actualmente es el consumido casi en exclusividad en España.

El país del sur, Chile fue uno de los primeros países en destacar una publicación importante como la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, en diciembre del 2021. La estrategia publicada tiene como alcance una oportunidad de producción de hasta 25 GW de H₂V proyectado al año 2030, cuyo precio estimado sería de 1,5 dólares el kilo y, de esta manera, ser líder absoluto de la exportación global de dicho vector energético y sus derivados. Según la información de (Energía , 2021), indica que Colombia ya siguió los pasos de Chile y en el mes de octubre del 2021 ha logrado disponer de su Hoja de Ruta que le permite posicionarse como uno de los países que produzcan este combustible ecológico a uno de los precios más competitivos del mundo, con la alta oportunidad de

exportarlo, a los países de Asia y Europa.

El hidrógeno verde cada vez más es una de las primeras opciones de las fuentes principales de energía que va a sobreponerse como la principal fuente energética y la descarbonización a nivel mundial. “En el existe la alta oportunidad y mucha ventaja para producir el H₂V; dado que tiene la ventaja para cubrir la demanda en diversos sectores industriales y direccionando la producción no solo local sino también para exportación”. (Rosas, 2021)

Para el caso de Perú, “en el que se perfila sosteniendo que el mundo tiene que doblar esfuerzos para brindar soluciones energéticas sostenibles como el hidrógeno, puesto que se demuestra que el hidrógeno es uno de los elementos más abundante en el mundo”. (Cámac, 2021).

La **formulación del problema** de investigación se planteó mediante la siguiente pregunta: ¿cuál sería el diseño de la cadena de valor para la utilización del hidrógeno verde en camiones mineros?

Se justifica, puesto que, según el análisis del presidente de asociación peruana de hidrógeno, H₂ Perú, y según Cámac, (2021), se determinó que el Perú cuenta con dos escenarios que los hace competitivos, el hecho de tener un alto potencial para la producción de hidrógeno verde y la capacidad de producirlo a precios competitivos como consecuencia de disponibilidad de generación de energía renovables.

Según un reporte de la Asociación Peruana de Energías Renovables (SPR), el potencial entre eólico, solar, geotermia, biomasa, hidroeléctrica, supera los 100 GW. “El consumo estimado del mercado energético asciende a un promedio de 7 GW que consume el país; y tal como indica a SPR, que el requerimiento necesario para el hidrógeno no va a superar siquiera estos 100 GW, se estima un valor mucho mejor, por lo que se estaría proyectado la promoción para exportación el hidrógeno verde”. (Energía , 2021)

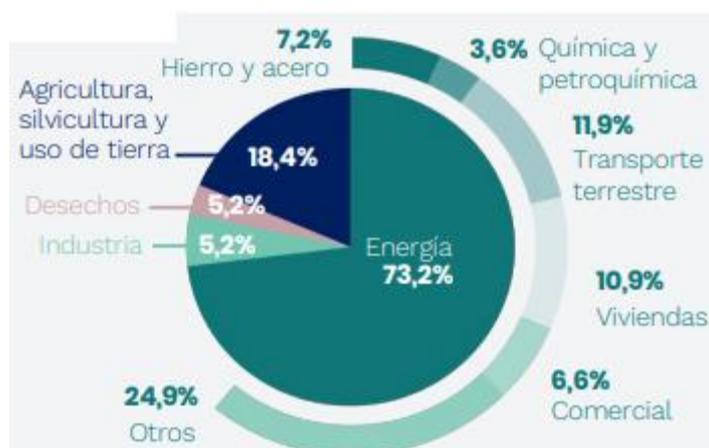
Por otra parte, según Jobet, (2020) en su artículo titulado Estrategia del hidrógeno verde, manifiesta que a la fecha ya vivimos una crisis climática y que los resultados científicos han puesto en alerta que el mundo tendría una crisis climática nunca soportado, y que es justamente a causa de la acción humana; y que se espera acciones que minimicen la crisis que la ciencia está advirtiendo, en este contexto Chile ya cuenta con ambiciosos proyectos y compromisos para la acción

climática.

Asimismo, las necesidades de contar con procesos que implementen energías limpias ponen en evidencia la preocupación por el planeta, dado que enfrentamos desde hace varios años las consecuencias del cambio climático; tal como lo muestra en la figura 1, en la cual se observa los niveles de emisiones en el mundo de los gases de efecto invernadero. A la fecha, se manifiesta que para el año 2030 se debería eliminar la emisión del carbón como generador de electricidad hasta cinco veces más rápido y acelerar el aumento de la proporción de combustibles en hasta ocho veces más rápido. Esto implica el cambio rápido a las energías renovables, electrificar el sector del transporte e introducir las buenas prácticas y sostenibles en el sector agrícola.

Figura 1

Emisiones globales de gases de efecto invernadero por sector



Fuente: Ritchie, H. (2020). Publicado en ourworldindata.org con datos de Climate Watch y el World Resources Institute

Asimismo, se proyecta que el Perú sería uno de los países, que para los años 2030, 2040 y 2050, más competitivos en la producción de hidrógeno, en función al costo nivelado del hidrógeno (costo al cual uno puede comparar la utilización del hidrogeno con respecto al uso de otros insumos que serían competidores del hidrógeno).

Para el año 2030, en el Perú, el precio del kilogramo de hidrógeno alcanzaría un valor estimado de 2.50 dólares, y con una proyección para el año 2040 esta cifra podría alcanzar los 2.0 dólares el kg de H₂, con una proyección a largo plazo, llegaría a bordear un valor de hasta 1.0 dólar por kg de H₂. (Cámac, 2021).

Sin embargo, en el Perú actualmente se observan viviendas con paneles solares que adquieren energías cercanas a 500W, también se observan a otras viviendas con potencias más inferiores cercanas a los 150 W.

Según la investigación de Cancino, (2021) considera un caudal de 0.1001 kg/s, con un sistema electrolizador que trabaja once horas efectivas, dependiendo de la luz solar, logrando un caudal diario de 3964 kg de H₂V por día. Utiliza almacenamiento con tanque cilindricos para una capacidad de 3600 kg/día.

La empresa minera en la cual se ejecutaría el proyecto es una de las empresas más importantes que aportan un porcentaje importante al PBI. Se considera una empresa minera moderna que a la fecha tienen operaciones automatizadas, cuentan con un activo de 27 camiones y 6 perforadoras La empresa cuenta con un sistema de transporte de camiones minero CAEX, es decir, aquellos camiones mineros de alto tonelaje. Estos camiones son impulsados por el tipo de motores eléctricos, su tren de fuerza consiste en un motor de combustión interna de diésel que logra generar la electricidad, siendo este último muy intensivos en el uso de combustible fósil (3.6 m³/día por camión), y el dato que obliga a la investigación, es porque estos camiones mineros son responsables de la emisión de unos 5.000 Gg de CO₂ anualmente e implica altos costos operacionales que van en crecimiento y asociados al consumo de diésel. (CORFO, 2017).

La empresa, sería una de las primeras en ser impulsadas por energía 100% renovables y que en la actualidad tiene un acuerdo importante con ENGIE para el abastecimiento de 187MW que proviene de la central eólica de Punta Lomitas en Ocucaje.

Por lo expuesto, **el objetivo general** es diseñar la cadena de valor para la utilización del hidrógeno verde en los camiones mineros. Los objetivos específicos son: determinar la demanda de energía requerida, diseñar el sistema fotovoltaico para el proceso de obtención de hidrógeno verde, describir el proceso de la utilización del hidrógeno verde (comprende las etapas desde la generación fotovoltaica hasta el uso del consumidor final) y elaborar el presupuesto de implementación de la cadena de valor.

II. MARCO TEÓRICO

En nuestro país, recién en marzo del 2021, la Asociación Peruana del Hidrógeno, logró el lanzamiento del H2 Perú, cuyo propósito fue la de incrementar la producción del hidrógeno verde en todo el país. Para analizar el potencial de dicho desarrollo, se presenta Engie Impact, e hizo el primer estudio del mercado del hidrógeno en sus dos tipos tanto verde como azul. En este contexto se inicia la versión de la cadena de valor del H2, el cual permitió que se identificaran y seleccionaran aquellas regiones del Perú que cuenten con un alto potencial para la producción, consumo interno y atender como producto de exportación. (H2 Engie, 2021)

Figura 2

El momento del H2 Verde



Fuente: Hydrogen Council (2020) & McKinsey. Adaptado por ENGIE Impact

Según lo explicado por (H2 Engie, 2021), manifiesta que los departamentos que tienen mejores potenciales para desarrollar el H2, corresponden a los departamentos que se encuentran en las regiones centro y sur del país, que serían para atender la demanda de diversas industrias, especialmente las del sector minero, cuya demanda concentra hasta el 90% del consumo energético del total de las industriales. En contra parte las regiones del norte y algunas del sur del país,

tienen una gran representatividad como centros potenciales para la producción del H₂, todo ello por la presencia de un alto potencial del recurso eólico, asociado a la disponibilidad del desarrollado en paneles fotovoltaicos y a los bajos precios de las tasas de electricidad en los sectores productividad en la zona norte y sur. Según los valores estimados para los costos nivelados de H₂V (LCOH) verde cuyos precios por kilogramo de H₂ van decayendo desde el 2.6, 1.9 hasta alcanzar los 1.3 dólares, en la proyección para los años 2030, 2040 y 2050, respectivamente. Se espera que la producción, para atender la demanda de H₂ serían aplicados a los camiones mineros del ato tonelaje más conocidos como camiones tipo de CAEX, también a la industria productora del amoníaco, producción del cemento, acero y diversos productos químicos; y por supuesto atender la demanda de los barcos.

Según H₂ Engie (2021), se proyecta para el año 2040, que el valor del LCOH, costo nivelado del H₂V en nuestro país incrementa la competitividad, dada la tendencia de una mejor oportunidad en tecnología, un avance de industrias que requieran consumir más H₂V, el acuerdo entre los sectores privados y el estado, y centros de producción que se unan al despegue del hidrógeno verde.

Según Salinas (2018) manifiesta que el H₂ es el elemento con un alto nivel de abundancia a nivel global, por ser ligero, altamente versátil, con capacidad de almacenamiento, con un alto poder de energía, y que finalmente tiene mayor densidad energética alcanzado un valor de 33 kWh/kg. El Hidrógeno es considerado como un portador de energía y “por el avance tecnológico de la actualidad, se logra una producción efectiva, que se almacene de manera eficiente, y se pueda utilizar de manera sostenible en diversas aplicaciones” (International Energy Agency, 2019).

Según el informe de (Agencia Efe, 2021) indica que el H₂ es considerado como el elemento químico más abundante del universo y tienen un alto grado de poder que la energía que puede producir es el triple de energía que puede producir la gasolina. Por ello, algunas tecnologías en países desarrollados tienen la oportunidad de utilizarlo como combustible.

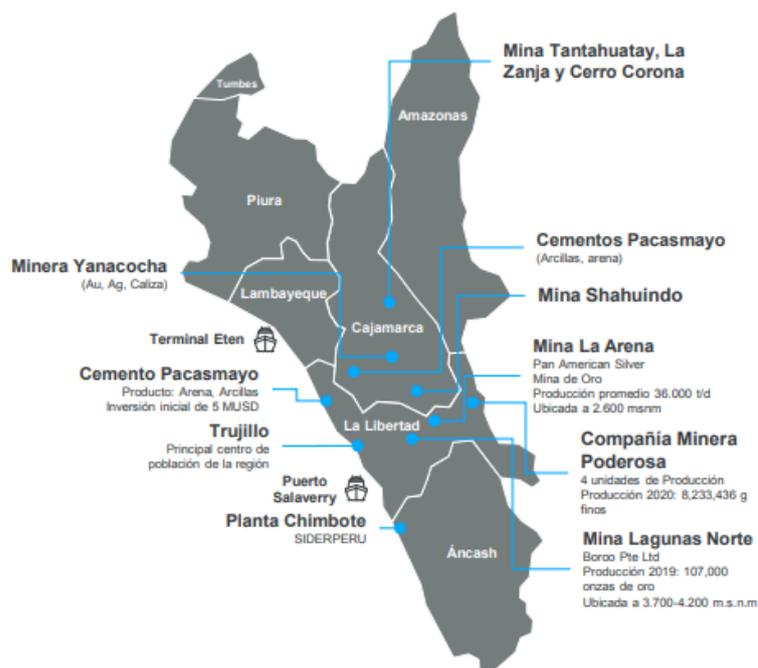
El hidrógeno ¿es un combustible o un químico?, un aspecto relevante es incorporar al hidrógeno como combustible, dentro de la regulación. Ello porque en la mayoría de los países lo consideran un químico, cuando debiera entrar en la

categoría de combustible y energético. “son los ministerios con competencia en energía y combustibles, los que tienen que empezar a regularlo”, (Belling, 2021)

Asimismo, se considera que la región norte representa al 1/3 del consumo energético total y tienen un 18% de aporte al PBI nacional.

Figura 3

Consumo de Energía y Aporte al PBI



Fuente: Osinergmin. Diseño del sistema de información energético nacional, (MINEN, 2016)

Según (H2 Engie, 2021) ha estimado una proyección para el 2030, que el consumo energético del norte peruano sería en un 35%, enfocado en leña y en GLP, en un 26% dedicado al sector de manufactura; electricidad y calor van por el 26%, dejando un 13% destinado para la minería.

El norte del Perú alcanzó a emitir 13 Millones de toneladas de dióxido de carbono en el año 2018 y que para el 2030 se tiene proyectado un incremento del 30%. Asimismo, se tiene un potencial de minero en la región, con diversos proyectos que ya se encuentran en fase de desarrollo.

- El caso de Cajamarca que tiene en su portafolio la cantidad de cinco proyectos.
- Áncash que tiene estimado la inversión en unidades mineras (Cu, Au, Ag, Mo), 2 en fase de aprobación / construcción, 2 proyectos de Au,

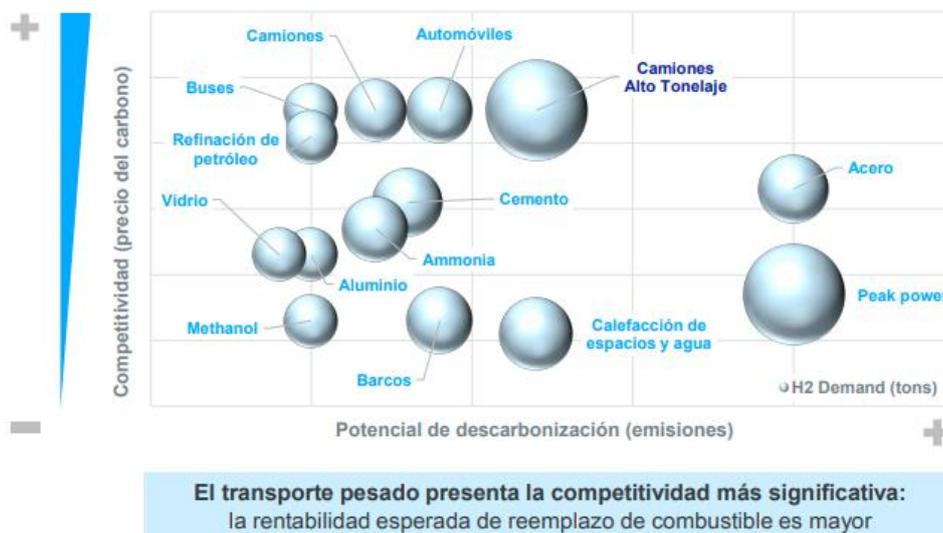
Ag y Cu en fase de aprobación / construcción y otro de Zn en exploración.

- Huánuco y Lambayeque proyectan dos inversiones cada uno en fase de exploración.

Las Aplicaciones con mayor potencial para el Hidrógeno: Competitividad en el largo plazo (ver figura 4)

Figura 4

Competitividad del H2 a Largo Plazo



Fuente: Elaborado por ENGIE Impact con datos de BNEF – Hydrogen Economy Outlook

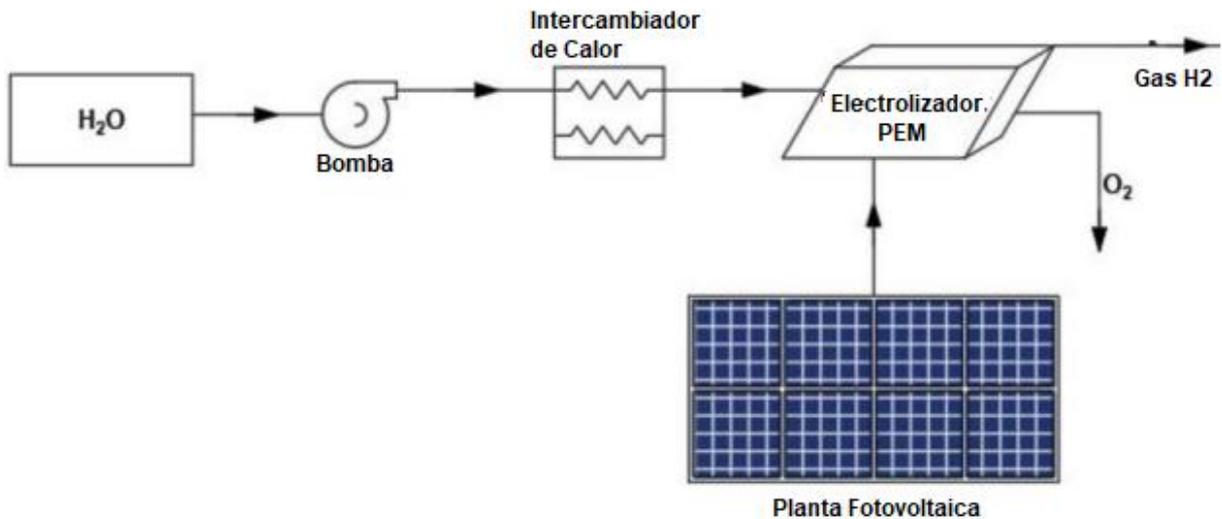
De otra parte, en el artículo de Giménez, (2021) la descarbonización del planeta es uno de los objetivos que se han marcado países de todo el mundo de cara a 2050. Para lograrlo, la descarbonización de un elemento como el hidrógeno -responsable en la actualidad de más del 2 % de las emisiones totales de CO2 en el mundo-, que da lugar al hidrógeno verde, se revela como una de las claves. A continuación, descubre cómo se obtiene y cuál será su impacto en las próximas décadas. El hidrógeno verde es eficiente y 100 % sostenible, y algunos expertos auguran que será el combustible del futuro.

La Cadena de valor del hidrógeno verde, según Giménez, (2021), manifiesta que el hidrógeno debe ser tratado como vector energético y no como una fuente de energía primaria, dado que es un producto que requiere el impulso de energía para lograr su obtención y que el H2 tiene la característica o capacidad de almacenar

energía para que cuando sea requerido se libere en forma sistemática y gradual. El hidrógeno se clasifica según la materia prima y las emisiones de dióxido de carbono, siendo los siguientes tipos: 1) Hidrógeno renovable o hidrógeno verde: corresponde al tipo de hidrógeno que es obtenido a partir de electricidad renovable, cuya materia prima es el agua, y se aplica el proceso de electrólisis. Así mismo, el hidrógeno obtenido mediante el cambio planificado del biogás o la transformación bioquímica aplicada a la biomasa, siempre que se cumplan los requisitos para lograr la sostenibilidad en los periodos que se puedan establecer, y logra el carácter renovable. 2) Hidrógeno azul: cuyo proceso de obtención es muy parecido al del H₂ gris, sin embargo, se usa la metodología de la captura, uso y almacenamiento de carbono (CCUS), composición que ha permitido la reducción de las emisiones de dióxido de carbono en un 95%. 3) Hidrógeno gris: es un hidrógeno que se logra producto en base al gas natural y con la adición de otros hidrocarburos tales como el metano o gases GLP mediante los procesos del reformado. Este H₂, a la fecha representa al 99% de lo que se consume en España. Asimismo, el consumo de H₂ en España tiene un promedio que bordea las 500.000 toneladas por año, siendo el más consumido el H₂ gris,

El hidrógeno se caracteriza además por su alto poder calorífico con un valor superior de 142 [MJ/kg], que, comparado con el gas natural (52 MJ/kg) o el petróleo crudo (45 MJ/Kg), es tres veces mayor. (Calise, 2020). Si se aplica a la densidad energética, para el H₂ (33 [kWh/kg]) la proporción es la misma. (Linares, 2007). Pero es importante aclarar que en un estado de temperatura ambiente la densidad energética resulta es muy baja por unidad de volumen, y eso implica la implementación de métodos avanzados para los cambios de estado. (Salinas, 2018).

Figura 5
Planta de Electrólisis de Agua



En la figura 5, se presenta el diagrama de la planta de electrólisis que se utilizará en el presente proyecto.

La fórmula con la que se puede ilustrar el proceso de electrólisis del agua está descrita en la reacción siguiente, evidenciándose los valores de energía termodinámica necesarios para que el proceso se pueda producir:



La electrólisis se aplica ya desde hace más de veinte años y paulatinamente la eficiencia ha ido mejorando en cuando a la energía producida en unidades de megavatios que se producen a la fecha, pero que aún queda oportunidades de mejora para dicho proceso. Las oportunidades de mejora del proceso se refieren a la variación de algunos parámetros, entre estos la cantidad de voltaje aplicado, el nivel de concentración de los electrolitos y su porcentaje de composición, la cantidad de corriente o amperaje, con el propósito de incrementar la eficiencia de la electrólisis. (Burton, 2021)

Panel fotovoltaico: está constituida por la disposición de varias celdas fotovoltaicas, cuya funcionabilidad logran transformar la energía solar en energía eléctrica.

Cuadros de distribución. Es un componente que se sitúa en los paneles del generados fotovoltaico, para conectarse y extraer la energía y la dirige a un solo

cable del inversor.

Inversor de red: dispositivo que cambia la corriente continua en corriente alterna, siendo la corriente continua la que se genera en el sistema fotovoltaico.

Regulador de carga: controla el estado de las cargas de las baterías, y controla la velocidad de la corriente eléctrica.

Baterías: componente que permite el almacenamiento temporal de energía producida por las placas solares, y esta energía almacenada es utilizada cuando el sol tiene una óptima irradiación.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

En la presente investigación por su finalidad, es de tipo aplicada. Este tipo de investigación se caracteriza porque aplica y utiliza los conocimientos adquiridos para resolver una problemática práctica. (Ortega, 2017). En la presente investigación se resuelve una problemática relacionada con los requerimientos de energía y la cadena de valor H2V aplicada a los camiones mineros. Asimismo, por su enfoque es cuantitativo; es decir se efectúa la recolección de datos para luego ser analizados estadísticamente (Hernández, 2018).

El diseño de la investigación es no experimental, la única variable no ha tenido un control y no fue manipulada, es de tipo transversal, porque la variable cadena de valor del hidrógeno verde en camiones mineros será utilizado en un solo momento. Por su alcance es descriptiva, dado que al recolectar la información la investigación permitirá describir de manera válida la cadena de valor del hidrógeno verde en los camiones mineros. (Hernández, 2018).

3.2. Variables y operacionalización

Variable: Cadena de Valor

Es la variable de categoría cualitativa. Contempla Se trata de un concepto de negocios muy importante, el cual puede aumentar las posibilidades de rentabilidad de una empresa (CERTUS, 2020).

3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis

Población: La población estaba constituida por 20 camiones tipo CAEX, los cuales consumen combustible diesel, y servirán para determinar la cantidad de energía que se demanda.

Muestra: 20 camiones

Unidad de análisis: un camión minero de carga pesada tipo CAEX

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas de recolección de datos

Técnica análisis documental

Formato de registro de datos

Instrumentos de recolección de datos

Ficha de registros de datos

3.5. Procedimientos

Para la investigación se solicitó los permisos para tomar datos de la flota de camiones de carga pesada tipo CAEX. Con la aprobación se procedió a revisar las fichas técnicas para obtener la capacidad de consumo de energía. Finalmente, se realiza el desarrollo del proyecto con el uso de los instrumentos de acuerdo con el tamaño de la población y muestra establecida, siguiendo la ruta de los objetivos específicos.

3.6. Método de análisis de datos

Con los datos registrados en la ficha de registros de datos, para los consumos de diesel por cada camión, se calculó el valor mínimo, para un régimen normal del motor (1549rpm) y para un régimen excesivo del motor (1917rpm),

Haciendo uso de las fuentes de conversión del diesel y del hidrógeno se calcularon los valores de la cantidad de energía que demandan los equipos diesel y luego se convierta a la demanda energética del hidrógeno verde.

Se hizo una descripción del almacenamiento de hidrógeno y luego se estima las dimensiones del sistema fotovoltaico con la cantidad de masa del hidrógeno obtenido como requerimiento.

3.7. Aspectos éticos

La investigación cumple en la práctica con principios sólidos y conductas adecuadas en la investigación, haciendo uso de la Norma 690, en

las citas en toda la estructura del trabajo de investigación, tanto en la realidad problemática, antecedentes y en el marco teórico. Asimismo, se ha considerado la normatividad vigente de la Universidad César Vallejo.

IV. RESULTADOS

4.1. Esquema de la cadena de valor

En la figura se observa el esquema de la cadena de valor. Con la unidad de análisis se estima el valor del consumo de energía para convertirla en requerimiento de H₂V en kilogramos. Con esta información se describe el almacenamiento del H₂V. con los datos del requerimiento del H₂V en kilogramos se calcula las necesidades de agua para la electrólisis. Finalmente se determina la cantidad de celdas fotovoltaicas y sus componentes.

Figura 6

Esquema de la Cadena de Valor Hverde2



4.2. Consumo de diesel

En el anexo 2, se presentan los consumos de los camiones CAEX, según el tipo de régimen del motor en rpm. Para un promedio de 1549 rpm el consumo es de 69.36 l/h, y para un régimen promedio de 1925 rpm el consumo es de 135.09 l/h. En este caso tenemos un valor máximo y un valor mínimo, tomando el criterio para un consumo promedio, se va a trabajar con un consumo de diesel de 102.23 l/h por camión.

La jornada de trabajo en la empresa es de 16 horas y con 20 camiones tipo CAEX, durante los 365 días del año.

Considerando que la densidad del diesel es de 0.846 kg/l, se obtienen el valor del consumo en kg.

$$Kg Diesel = 0.846 \frac{kg}{Litro} \times 102.23 \frac{Litros}{hora} \times 16 \frac{horas}{día} \times 20 camiones$$

$$kg Diesel = 27676 \frac{kg}{día}$$

El valor superior calorífico del diesel (HHV_D) es de 12.67 [kWh/Kg_D] y la eficiencia $\eta_{directo} = 0.38$. (Masip, 2021)

Entonces la cantidad de energía, [Y], que demandan los camiones diesel es:

$$Y = 12.67 \left[\frac{kWh}{KgD} \right] \times 0.38 * 27676 KgD = 133249 kWh$$

4.3. Cantidad de hidrógeno requerido

Según Yunesky, (2021), la densidad energética para el hidrógeno es de 33.30 [kWh/kgH₂]. Por lo que, la cantidad en kg de hidrógeno para los 20 camiones CAEX, se calcula como se indica:

$$m = \frac{133249 kWh}{33.30 \frac{kWh}{kgH_2}} = 4002 kgH_2$$

Figura 7

Demanda de Hidrógeno



En la figura 7, se muestra la conversión de la cantidad de energía de los equipos diesel, 133.249,0 kWh para los 20 camiones y la cantidad de kilogramos de H₂V. necesarios para atender la demanda de los veinte camiones mineros.

Para cumplir con el requerimiento de la demanda de H₂V para los 20 camiones mineros, es necesario evaluar el almacenamiento. Por lo

que, en la tabla 1, se observa las características de un tanque tipo cilindro para el almacenamiento de H2V. Con el caudal se estima el valor diario de almacenamiento:

$$A = 0.1001 \frac{kg}{s} \times 3600 \frac{s}{h} \times 12 \frac{h}{día} = 4324 \frac{kg}{día} \text{ de H2V}$$

Según la demanda de H2V para atender a los camiones mineros es de 4002 kg/día. Por lo que, se determina que con un tanque de las características indicadas por Cancino, (2021) sería suficiente para el trabajo en la mina.

Tabla 1
Características del Tanque de Almacenamiento de H2V

| Dimensiones | Unidades | Valor |
|---------------------|-----------------|--------------|
| Caudal | kg/s | 0.1001 |
| Presión | Bar | 700 |
| Temperatura | K | 446.4 |
| Volumen | m ³ | 153.65 |
| Cantidad de tanques | | 1 |
| Radio (cilíndrico) | m | 2.718 |
| Altura | m | 3 |
| Espesor | m | 0.0494 |

Fuente: Cancino, (2021)

4.4. Diseño de las características del sistema Fotovoltaico.

Conociendo la demanda de la cantidad de hidrógeno necesario, equivalente a 4.002 kgH₂, se va a dimensionar las características del sistema fotovoltaico. El rendimiento para la conversión es del 65%, por lo que la cantidad de energía por día se calcula así:

$$Y_{FV} = \frac{4002 \text{ kgH}_2 \times 33.33 \frac{kWh}{kgH_2}}{0.65} = 205026 \text{ kWh} = 205 \text{ MWh}$$

La energía requerida mínima necesaria por día de operación que debe producir el sistema fotovoltaico es de 205 MWh.

Tabla 2*Datos Meteorológicos de Cajamarca*

| | | |
|-------------|-----------------------|--------------------|
| Ubicación | Latitud | -7.16064165971914 |
| | Longitud | -78.51522617788497 |
| Período | Año 2022 | |
| Temporada 1 | Lluvias: nov. - abril | |
| Temporada 2 | Sequía mayo – octubre | |

Tabla 3*Radiación Promedio en Cajamarca (kWh/m2/día)*

| Gdm | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago. | Set | Oct | Nov | Dic | Prom. año |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------|
| 0°C | 4.09 | 3.7 | 4.19 | 4.19 | 4.26 | 4.18 | 4.3 | 4.6 | 4.91 | 4.88 | 5.1 | 4.56 | 4.41 |
| 5°C | 4.13 | 3.71 | 4.19 | 4.23 | 4.37 | 4.32 | 4.43 | 4.69 | 4.93 | 4.89 | 5.16 | 4.62 | 4.47 |
| 20°C | 4.13 | 3.64 | 4.05 | 4.25 | 4.55 | 4.58 | 4.67 | 4.79 | 4.84 | 4.77 | 5.15 | 4.65 | 4.51 |
| 90°C | 2.1 | 1.72 | 1.58 | 2.07 | 2.64 | 2.91 | 2.83 | 2.47 | 1.87 | 1.78 | 5.33 | 2.4 | 2.23 |

Ángulo de inclinación. Se considera la fórmula

$$\beta_{\text{óptimo}} = 3.7 + 0.69 * \phi$$

$$\beta_{\text{óptimo}} = 3.7 + 0.69 * (7.1606) = 8.64^\circ$$

Este valor corresponde al ángulo de inclinación óptimo del panel solar. Para efectos del diseño del sistema FV, se consideró la radiación más cercana a los 5°C, lo que nos da como valor adecuado una radiación solar del 3.71 kWh/m²/día

Estimación de la carga. Se consideró el valor el valor de la potencia mínima necesaria para atender la demanda en el sistema de electrólisis, que es una cantidad de 205MWh (57kW). Según el anexo 3, se requiere de una tensión nominal de 120V.

Estimación del consumo. El consumo promedio diario es de 205MWh, cantidad de energía para atender a una demanda de 4.002 kg H₂ por día.

Dimensionamiento del generador FV. Con la información del Consumo

medio en corriente continua y en corriente alterna; y considerando las eficiencias de las baterías, del inversor y de los conductores, que son en promedio, 90%, 90% y 97%. Entonces el consumo medio diario se obtiene:

$$E_{md} = \frac{Ed(CD) + \frac{Ed(AC)}{\eta_{inve}}}{\eta_{bat}\eta_{cond}} = \frac{0 + \frac{205}{0.90}}{0.90 * 0.97} = 261MWh$$

Carga corregida. Se consideró el consumo medio diario y el voltaje nominal del sistema generador:

$$Q = \frac{261000 KWh}{48V} = 5437 Ah$$

Corriente para el sistema:

Se considera la cantidad mínima de horas promedio de sol por día y la carga corregida. Para el ángulo de 5°, la cantidad de horas de sol es de 3.71

$$I_{sistema} = \frac{5437 Ah}{3.71h} = 1466A$$

Cálculo del número de paneles.

Los paneles en paralelo se calculan considerando la corriente del sistema, la corriente de operación del panel ($I_{típica}=9.28A$) y un factor de envejecimiento (90%)

$$N_{p,p} = \frac{1466A}{0.90 * 9.28 \frac{A}{panel}} = 176 \text{ paneles}$$

La cantidad de paneles en serie se calcula dividiendo el voltaje del generador (48V) sobre el voltaje del panel (24V).

$$N_{p,s} = \frac{48}{24} = 2 \text{ paneles}$$

Por lo que, la **cantidad total de paneles** se calculan como el producto de los paneles en serie y paralelo.

$$N_{total \text{ paneles}} = N_{pp} \times N_{ps} = 176 \times 2 = 352 \text{ paneles}$$

Potencia del sistema generador, conociendo la potencia máxima del panel (340W), la potencia del sistema está dado por:

$$P_{SG} = 352 \text{ paneles} \times 340 \frac{W}{panel} = 120,000 [Wp]$$

Dimensionamiento del **sistema de acumulación**. Se refiere a la capacidad nominal del banco de baterías

$$C_{bat} = \frac{Q \times N \text{ (días autonomía)}}{FP_{m\acute{a}x} \times F_{Correcc,T^{\circ}}} = \frac{5437Ah}{d\acute{a}a} * \frac{2}{80\% \times 90\%} = 15103 Ah$$

Cantidad de baterías en paralelo

$$N_{Bp} = \frac{C_{bat}}{C_{nominal \ 1 \ Bat}} = \frac{15103}{250} = 61 \text{ baterías paralelo}$$

Cantidad de baterías en serie

$$N_{Bs} = \frac{V_{sg}}{V_{nominal \ 1 \ Bat}} = \frac{48}{24} = 2 \text{ baterías serie}$$

Número total de baterías = $61 * 2 = 122$ baterías.

4.5. Descripción del equipo de electrólisis

a. Costo de electricidad.

Según (Cancino Silva, 2021), nos indica que el costo de energía en el proceso de electrólisis es de 1.48 dólares por cada kilogramo de hidrógeno.

b. Costo del agua.

El costo del agua está relacionado con el consumo promedio por la producción del hidrógeno. Se tiene un valor equivalente de 8.9 litros de consumo de agua por cada kilogramo de hidrógeno y un valor de 0.266 litros/kWh de H₂. Asimismo, se debe considera el costo del agua desalinizada que es equivalente a 0.05 soles por cada kilogramo de hidrógeno. El costo de H₂O por día es de 200 soles/día.

c. Electrolizador

En la tabla 4, se muestra la capacidad de electrolizadores por tamaño. La demanda de hidrógeno mínimo para atender a la flota de 20 camiones CAEX en la mina es de 4002.0kg por día. Según la tabla, se haría necesario un electrolizador grande. La cantidad necesaria para cumplir con la demanda sería de 5 electrolizadores grandes.

Tabla 4
Producción de Electrolizadores

| Escala | Producción diaria de H2 (Kg/día) | Cap. Promedio, kg/día |
|---------------|---|------------------------------|
| Pequeña | 1.08 - 4.31 | 2.7 |
| Mediana | 21.68 - 136.58 | 80.0 |
| Grande | 215 – 1290 | 780.0 |

Los electrolizadores tienen un sistema efectivo que permite una salida de H₂V con el 99.999% en calidad de pureza y con cinco partes por millón (5pp) en contenido de O₂ y H₂O. La característica principal es que todos los electrolizadores disponen de un sistema de purificación alcanzando el nivel de pureza en un 99.999% y las 5ppm de O₂ y H₂O.

Tabla 5
Electrolizadores a Escala Media y Nivel de Producción

| Electrolizador | Producción diaria de H2 (Kg/día) |
|-----------------------|---|
| EL10 | 21.68 |
| EL20 | 43.00 |
| EL30 | 68.40 |
| EL60 | 136.58 |

En el caso del electrolizador EL60N, tiene una capacidad para producir 136.58Kg Hidrógeno diariamente, considerando un régimen de máximo servicio.

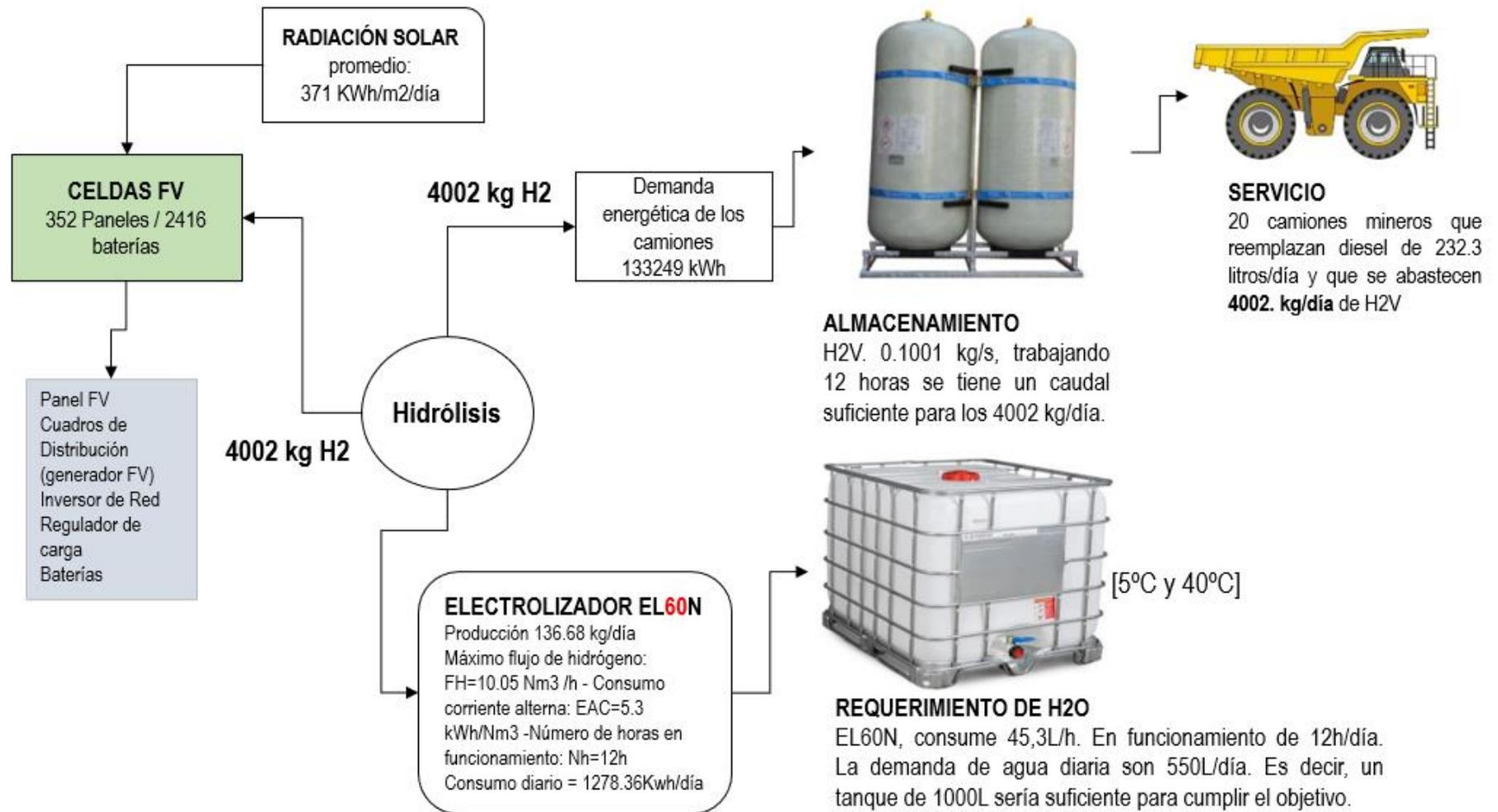
El cálculo del consumo del electrolizador se hace con base al máximo flujo de H₂, (F_H), el consumo de corriente alterna, (E_{AC}) y la cantidad de horas de funcionamiento (N_h) que para el proyecto se requiere para dos turnos acumulando las 16 horas. Considerando los siguientes valores:

- $F_H = 31.7 \text{ Nm}^3/\text{h}$
- $E_{AC} = 5.2 \text{ kWh/Nm}^3$
- $N_h = 16\text{h}$

El Consumo diario Cd del electrolizador sería:

$$Cd = 31.7 \times 5.2 \times 16 = 2638 \frac{kWh}{día}$$

Figura 8
Diagrama de Utilización del H2V



4.6. Presupuesto:

| ítem | Detalle | Unid | Cant | Precio U | Sub Total |
|--|---|----------|------|------------|---------------------|
| 1 | Materiales y Equipos del Sistema | | | | |
| 1.1 | Panel solar | Unid | 176 | S/ 925 | S/ 162,800 |
| 1.2 | Batería solar | Unid | 122 | S/ 317 | S/ 38,674 |
| 1.3 | Reguladores de carga | Unid | 7 | S/ 2,700 | S/ 18,900 |
| 1.4 | Inversor | Unid | 3 | S/ 8,000 | S/ 24,000 |
| 1.5 | Conductores | M | 2000 | S/ 3 | S/ 6,000 |
| 1.6 | Sistema para protección | Kit | 1 | S/ 3,400 | S/ 3,400 |
| 1.7 | Base para soporte | Unid | 1 | S/ 23,200 | S/ 23,200 |
| 2 | Instalación o montaje | | | | |
| 2.1 | Montaje | Servicio | 1 | S/ 42,500 | S/ 42,500 |
| 2.2 | Mantenimiento | Servicio | 1 | S/ 15,600 | S/ 15,600 |
| 3 | Planta Electrólisis | | | | |
| 3.1 | Electrolizador | Unid | 1 | S/ 390,200 | S/ 390,200 |
| 3.2 | Intercambiador de calor | Unid | 1 | S/ 12,630 | S/ 12,630 |
| 3.3 | Bomba | Unid | 1 | S/ 12,500 | S/ 12,500 |
| 3.4 | Accesorios | Kit | 1 | S/ 7,650 | S/ 7,650 |
| 3.5 | Tratamiento del H2 | Kit | 1 | S/ 72500 | S/ 72,500 |
| 4 | Equipos de potencia | | | | |
| 4.1 | Equipos de potencia | Kit | 1 | S/ 86452 | S/ 85,452 |
| Subtotal | | | | | S/ 926,006 |
| Gastos extras (electricidad, seguros y otros) | | | | 10% | S/ 92,601 |
| Total | | | | | S/ 1'018,607 |

El presupuesto para el sistema fotovoltaico es de S/. 1'018.607, el cual consiste en los materiales y equipos, y los servicios de montaje para la puesta en marcha.

El consumo de diesel es de 102.23 litros/hora por camión. El consumo diario para los 20 camiones es de 6500 galones de diesel por día. El costo anual el diesel, considerando un valor promedio 17 sol/galón, es de S/. 39'780,000.

V. DISCUSIÓN

Según el objetivo específico para determinar la demanda energética de los camiones CAEX, en el texto citado de Camac (2021) manifiesta que el consumo energético en el mundo es de 100GW. En el proyecto se estima un valor de 4.002 kgH₂ con un valor energético de 133.3 kWh; este resultado es representativo para el funcionamiento de sistema fotovoltaico que tendrá un requerimiento de energía para el proceso de electrólisis y obtener 4.002 kg de hidrógeno verde.

Para el dimensionamiento del sistema FV, según Cancino, (2021) indica que los sistemas FV para atender una demanda de 125MWh se hace necesario la implementación de 152 paneles y la selección de hasta cuatro equipos electrolizadores. Con respecto al dimensionamiento del presente proyecto, para una demanda de 205kWh, casi el doble del texto citado, son necesarios 176 paneles con 2416 baterías. Sin embargo quedaría pendiente el análisis para el dimensionamiento del cableado y otros servicios.

Asimismo, se calcula el tanque de almacenamiento, que corresponde a un flujo continuo de 0.1001 kg/s para una jornada diaria de 12 horas. En comparación con Cancino (2021) se encontró que para un intervalo de 11 horas el almacenamiento correspondía a un tanque para una capacidad de 3960 kg/día. El resultado es similar para el proyecto, dado que se trabajan 12 horas y el requerimiento mínimo es de 4002.kg/día de H₂V.

VI. CONCLUSIONES

- Se logró determinar la demanda de energía requerida, basado en el consumo de diesel de los 20 camiones CAEX. El consumo de diesel fue analizado con los reportes de consumo de combustible de los camiones, considerando el régimen normal y en exceso, teniendo un promedio de consumo diario de 102.23 litros/horas de diesel.
- Se logró realizar el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, el cual implementaría a unos 176 paneles solares, 122 baterías solares.
- Se realizó la descripción de los equipos del proceso de electrólisis, la cantidad necesaria para cumplir con la demanda sería de 5 electrolizadores grandes.
- Se logró determinar el presupuesto para el sistema FV, que asciende a un promedio de 1'018'600 de soles.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer una descripción del proceso de almacenamiento del H₂V, como son los sistemas de conexión, flujo, presión, temperatura, y dimensionar los tipos de tanque.
- Se recomienda determinar los costos de los dispositivos para el almacenamiento de H₂V, para el tanque de almacenamiento de H₂O necesarios para la hidrólisis.
- Se recomienda determinar las dimensiones del terreno de operación de las celdas FV y del sistema de cableado.

REFERENCIAS

- Agencia Efe. (24 de agosto de 2021). *Hidrógeno verde: ¿cómo contribuye en el transporte y la minería?* Obtenido de www.gestion.pe:
<https://gestion.pe/tecnologia/hidrogeno-verde-cual-es-su-aporte-en-la-industria-minera-noticia/>
- Alset , G. G. (2021). Sustainable Healthy Living System.
<https://www.alsetehomeintl.com/>.
- Autosolar. (20 de enero de 2022). www.autosolar.pe. Obtenido de
<https://autosolar.pe/aspectos-tecnicos/cuantos-kwh-puede-producir-un-panel-solar>
- Belling, M. (3 de noviembre de 2021). El hidrógeno verde, la energía del futuro que Perú puede producir (Exclusivo). Lima, Perú: Proactivo.com.pe.
- Burton N, A. (2021). *Increasing the efficiency of hydrogen production from solar powered water electrolysis*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 135 (2021) 110255.
- Calise, F. (2020). *Solar Hydrogen Production: Processes, Systems and Technologies*.
- Cámac, D. (18 de junio de 2021). *Asociación Peruana de Hidrógeno (H2 Perú)*. Lima, Perú: América Económica.
- Cancino Silva, R. B. (2021). *Producción y almacenamiento de hidrógeno verde para aplicaciones energéticas en Chile*. Santiago, Chile:
<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/181631/Produccion-y-almacenamiento-hidrogeno-verde-para-aplicaciones-energeticas-en-Chile.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- CAT. (2012). Camión Minero 797F. Perú: CAT, CATERPILLAR, SAFETY.CAT.COM.
- CEPAL. (30 de noviembre de 2021). *Lanzamiento de la Plataforma H2LAC: el Poder del Hidrógeno Verde de Latinoamérica para la Transición Energética Mundial*. Santiago de Chile, Chile:
<https://www.cepal.org/es/eventos/lanzamiento-la-plataforma-h2lac-poder-hidrogeno-verde-latinoamerica-la-transicion-energetica>.
- CERTUS. (24 de abril de 2020). ¿Qué es una cadena de valor y para qué sirve? *Administración de Empresas Elaborado por CERTUS*. Lima, Perú:
www.certus.edu.pe.
- CORFO. (2017). Desarrollo de sistema de combustión dual hidrógeno – diesel para camiones de extracción mineros (CAEX). Chile: Gobierno de Chile.
- Energía , E. (21 de diciembre de 2021). www.energiaestrategica.com. Obtenido de <https://www.energiaestrategica.com/asi-avanzaron-los-paises-de-latinoamerica-en-materia-de-hidrogeno-verde-durante-el-2021/>
- Giménez Zuriaga, I. (2021). Retos del hidrógeno verde. *Economía Aragonesa*. España: ECONOMIA ARAGONESA revista 73.
- H2 Engie, I. (agosto de 2021). Potencial del Hidrógeno Verde. Impulsando la transición energética del Perú 2021. Perú: Engie Impact.
- Jobet E., J. (Noviembre de 2020). Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde. Chile, fuente energética para un planeta cero emisiones. *Publicado por el Ministerio de Energía, Gobierno de Chile*. Santiago de Chile, Chile: Max Correa A. – Carlos Barría Q. – Benjamín Maluenda P.
- Linares, J. (2007). *"El hidrógeno y la energía"*. Madrid, España: Colección:

- Avances de Ingeniería Análisis de situación y prospectiva de nuevas tecnologías energéticas. Madrid.
- Martín Encuentra, M. (2020). Diseño de una planta de generación solar fotovoltaica. Barcelona, España: ETSEIB Barcelona.
- Masip Maciél, Y. (2021). *Cadena de Valor del Hidrógeno Verde en la Sostenibilidad de las Operaciones Portuarias: Estudio de Caso en la Región de Valparaíso, Chile*. Valparaiso, Chile: <https://orcid.org/0000-0003-4455-1819>.
- MINEN, M. (2016). *Sistema de Planificación Energética*. Lima, Perú: https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Sistema%20de%20Planificacion%20Energetica%20Nacional2_0.pdf.
- Naciones, U. (12 de mayo de 2022). <https://news.un.org/es/story/2022/05/1508622>. Obtenido de www.un.org: <https://news.un.org/es/story/2022/05/1508622>
- Porto Mato, P. (septiembre de 2021). Descarbonización del sector del transporte en España con hidrógeno verde. Madrid, España: Repositorio de la Universidad Politécnica de Madrid.
- Reyes-Bozo, L. (2020). Hidrógeno verde piedra angular del futuro energético. <https://ciencias.uautonoma.cl/noticias/hidrogeno-verde-piedra-angular-del-futuro-energetico/>. Chile: Repositorio, Autónoma de Chile, ciencias.uautonoma.cl.
- Rosas, C. (15 de noviembre de 2021). *Perú Energía 2022*. Obtenido de peruenergia.com: <https://peruenergia.com.pe/peru-tiene-potencial-de-producir-hidrogeno-verde-para-darse-el-lujo-de-exportar/>
- Salinas, F. (2018). Tecnologías del hidrógeno y perspectivas para Chile. Chile: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ).
- Vera Ramírez, N. (18 de junio de 2021). *Los primeros pasos del hidrógeno verde en América Latina*. Santiago, Chile: América Economía.
- Yunesky Masip, M. (7 de noviembre de 2021). *Cadena de Valor del Hidrógeno Verde en la Sostenibilidad de las Operaciones Portuarias: Estudio de Caso en la Región de Valparaíso, Chile*. Valparaiso, Chile: MDPI Sostenibilidad.

ANEXOS

Anexo 1

Especificaciones del Camión Minero 797F

| Motor | | |
|--|-------------|-------------------------|
| Modelo del motor | Cat C175-20 | |
| Potencia bruta: SAE J1995 | 2.983 kW | 4.000 hp |
| Potencia neta: SAE J1349 | 2.828 kW | 3.793 hp |
| Calibre | 175 mm | 6,9" |
| Carrera | 220 mm | 8,7" |
| Cilindrada | 106 L | 6.469 pulg ³ |
| <ul style="list-style-type: none"> • Las clasificaciones de potencia se aplican a 1.750 rpm cuando se prueban según las condiciones indicadas para la norma especificada. • Las clasificaciones están basadas en la norma SAE J1995 sobre las condiciones del aire a 25 °C (77 °F) y 99 kPa (29,32 Hg) de presión barométrica. La potencia está basada en el combustible con una densidad API de 35 a 16 °C (69 °F) y un poder calorífico de 42.780 kJ/kg (18.390 BTU/lb) con el motor a 30 °C (38 °F). • No se requiere una reducción de potencia del motor en una configuración de baja altitud (LAA) hasta 2.134 m (7.000'). • No se requiere reducción de potencia del motor en una configuración de altitud elevada (HAA) hasta 4.877 m (16.000'). • Cumple con los requisitos de la EPA. Según corresponda, el Motor Cat C175-20 cumple con los requisitos sobre emisiones de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. | | |

| Pesos: aproximados | | |
|--|----------------------|----------------------|
| Peso bruto de la máquina en orden de trabajo (GMW) | 623.690 kg | 1.375.000 lb |
| Gama de los pesos de las cajas | 41.368 a 61.235 kg | 91.200 a 135.000 lb |
| Gama de los pesos del chasis | 210.630 a 219.146 kg | 464.359 a 483.134 lb |

Fuente: (CAT, 2012)

Anexo 2

Consumo Diesel Camión CAEX (l/h)

| Camión Núm. | Régimen normal del motor al ralentí | | Régimen excesivo del motor | |
|----------------|-------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| | RPM del motor | Consumo Diesel Litros/hora | RPM del motor | Consumo Diesel Litros/hora |
| 1 | 1.515 | 74.63 | 1.916 | 147.56 |
| | 1.564 | 56.89 | 1.921 | 140.67 |
| | 1.554 | 72.67 | 1.905 | 128.96 |
| 2 | 1.544 | 68.84 | 1.917 | 140.86 |
| | 1.514 | 57.62 | 1.901 | 146.64 |
| | 1.508 | 51.74 | 1.905 | 127.09 |
| 3 | 1.563 | 92.76 | 1.924 | 120.99 |
| | 1.581 | 74.65 | 1.927 | 135.84 |
| | 1.561 | 55.52 | 1.915 | 131.06 |
| 4 | 1.554 | 60.89 | 1.906 | 144.34 |
| | 1.565 | 70.7 | 1.937 | 150.02 |
| | 1.577 | 51.76 | 1.916 | 146.26 |
| 5 | 1.550 | 77.57 | 1.935 | 146.79 |
| | 1.509 | 92.17 | 1.898 | 130.52 |
| | 1.534 | 86.02 | 1.909 | 135.12 |
| 6 | 1.590 | 68.38 | 1.947 | 125.60 |
| | 1.504 | 69.19 | 1.920 | 142.19 |
| | 1.561 | 43.48 | 1.909 | 150.79 |
| 7 | 1.536 | 49.47 | 1.900 | 139.07 |
| | 1.526 | 61.93 | 1.901 | 130.84 |
| | 1.548 | 95.41 | 1.909 | 125.89 |
| 8 | 1.517 | 78.98 | 1.911 | 147.74 |
| | 1.534 | 56.05 | 1.939 | 121.44 |
| | 1.594 | 53.72 | 1.922 | 127.58 |
| 9 | 1.516 | 92.14 | 1.922 | 150.60 |
| | 1.597 | 91.58 | 1.894 | 128.70 |
| | 1.522 | 76.47 | 1.933 | 132.49 |
| 10 | 1.554 | 79.59 | 1.901 | 121.63 |
| | 1.515 | 94.91 | 1.891 | 121.91 |
| | 1.563 | 54.6 | 1.936 | 145.62 |
| 11 | 1.549 | 68.54 | 1.915 | 138.08 |
| | 1.600 | 74.89 | 1.924 | 149.66 |
| | 1.562 | 86.89 | 1.923 | 136.36 |
| 12 | 1.581 | 75.59 | 1.933 | 119.60 |
| | 1.578 | 59.27 | 1.915 | 123.70 |
| | 1.533 | 43.02 | 1.892 | 146.39 |
| 13 | 1.550 | 59.56 | 1.892 | 150.81 |
| | 1.506 | 69.48 | 1.928 | 127.03 |
| | 1.585 | 89.94 | 1.935 | 147.61 |
| 14 | 1.521 | 63.9 | 1.920 | 122.14 |
| | 1.598 | 60.34 | 1.948 | 142.03 |
| | 1.503 | 86.16 | 1.892 | 129.06 |
| 15 | 1.527 | 54.93 | 1.939 | 133.84 |
| | 1.568 | 50.88 | 1.937 | 148.30 |
| | 1.520 | 44.33 | 1.943 | 136.96 |
| 16 | 1.552 | 62.91 | 1.890 | 122.28 |
| | 1.574 | 70.53 | 1.937 | 122.63 |
| | 1.549 | 58.51 | 1.898 | 121.97 |

| | | | | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| 17 | 1.536 | 68.85 | 1.897 | 127.19 |
| | 1.567 | 44.09 | 1.935 | 121.98 |
| | 1.575 | 80.73 | 1.917 | 137.84 |
| 18 | 1.518 | 91.71 | 1.906 | 134.95 |
| | 1.511 | 43.81 | 1.919 | 144.99 |
| | 1.506 | 91.55 | 1.937 | 138.00 |
| 19 | 1.570 | 87.82 | 1.893 | 131.78 |
| | 1.500 | 64.94 | 1.908 | 128.23 |
| | 1.526 | 94.57 | 1.928 | 141.33 |
| 20 | 1.596 | 83.33 | 1.925 | 138.07 |
| | 1.581 | 78.08 | 1.931 | 122.55 |
| | 1.598 | 42.1 | 1.917 | 135.01 |
| Promedio | 1.549 | 69.36 | 1.917 | 135.09 |

| | | |
|--------------|--------|-------------|
| Valor mínimo | 69.36 | litros/hora |
| Valor máximo | 135.09 | litros/hora |
| Promedio | 102.23 | litros/hora |

Anexo 3

Tensión Nominal del Sistema según Potencia Requerida

| Potencia instalada | Tensión nominal |
|---------------------------|------------------------|
| P < 1,5 kW | 12V |
| 1,5kW < P < 5kW | 24V o 48V |
| P > 5kW | 48V o 120V |

Fuente: Salamanca (2017)



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, CASTRO ANTICONA WALTER MIGUEL, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Cadena de valor para utilización de hidrogeno verde en camiones mineros", cuyos autores son CHUNGA VILLEGAS CARLOS FABIAN, HUATAY GONZALES ROGER, constato que la investigación cumple con el índice de similitud establecido, y verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

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

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

TRUJILLO, 09 de Julio del 2022

| Apellidos y Nombres del Asesor: | Firma |
|---|--|
| CASTRO ANTICONA WALTER MIGUEL DNI: 18173382 ORCID 0000-0002-8127-4040 | Firmado digitalmente por: CASTROA el 22-07-2022 17:47:29 |

Código documento Trilce: TRI - 0331305