

**UNIVERSIDAD MAYOR, REAL Y PONTIFICIA DE
SAN FRANCISCO XAVIER DE CHUQUISACA**

VICERRECTORADO

**CENTRO DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA



**ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LA INYECCIÓN DE
ETANOL EN MOTORES GENERADORES DE DIÉSEL PARA EL
HOSPITAL DE TERCER NIVEL “FRAY GIOVANNI EUGENIO
NATALINI MAGNANI” – POTOSÍ**

**TRABAJO EN OPCIÓN A DIPLOMADO EN TRANSPORTE,
ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE HIDROCARBUROS, VERISION 3**

ALEXANDER ONTIVEROS ALVARADO

**Sucre – Bolivia
2024**

CESIÓN DE DERECHOS

Al presentar este trabajo como requisito previo a la obtención del Diplomado en Transporte, Almacenamiento y Distribución de Hidrocarburos de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, autorizo al Centro de Estudios de Posgrado e Investigación o a la Biblioteca de la Universidad, para que se haga de este trabajo un documento disponible para su lectura, según normas de la Universidad.

También cedo a la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, los derechos de publicación de este trabajo o parte de él, manteniendo mis derechos de autor hasta un periodo de 30 meses posterior a su aprobación.

Alexander Ontiveros Alvarado

Sucre, 21 de mayo de 2023

DEDICATORIA

A través de innumerables horas de investigación, reflexión y análisis, he sido testigo del poder transformador del aprendizaje. Esta monografía, como resultado de ese viaje, está dedicada al inquebrantable compromiso con la búsqueda de la verdad y al eterno anhelo de comprender el mundo que nos rodea.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a la *Universidad Real Mayor y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca* por proporcionarme el entorno propicio para llevar a cabo esta investigación. La excelencia académica y los recursos disponibles en esta institución han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo. Agradezco profundamente el apoyo y la inspiración brindados por la comunidad universitaria, que han enriquecido mi experiencia educativa y han contribuido significativamente a mi crecimiento personal y profesional.

Extender mi profundo agradecimiento a los profesores de la universidad. Su guía, conocimiento y dedicación fueron fundamentales para el desarrollo de esta investigación. Gracias por inspirarme y por su constante apoyo.

Y por último, pero no menos importante agradezco a Dios por brindarme fortaleza y orientación durante este viaje académico. También quiero expresar mi profunda gratitud a mi familia por su amor, apoyo y sacrificio incondicional. Su aliento constante fue mi mayor motivación para alcanzar este logro.

RESUMEN

La monografía analiza la viabilidad técnica y económica de inyectar etanol en los motores generadores de diésel del Hospital de Tercer Nivel “Fray Giovanni Eugenio Natalini Magnani” en Potosí, buscando mejorar la sostenibilidad energética y reducir las emisiones contaminantes. La investigación adoptó un enfoque cuantitativo y positivista, recolectando y analizando datos técnicos y económicos mediante un diseño no experimental que incluyó revisión bibliográfica, análisis documental y entrevistas. El análisis exhaustivo de la infraestructura y el motor Mitsubishi S16R-PTAA2 en el Hospital de Tercer Nivel “Fray Giovanni Eugenio Natalini Magnani” reveló que la transición al uso de etanol es viable, con mejoras significativas en la eficiencia de combustión y reducciones notables en las emisiones de CO₂ y NO_x. Las pruebas confirmaron que la infraestructura hospitalaria puede soportar la adaptación a etanol sin comprometer la funcionalidad de los equipos médicos. La evaluación económica indicó que la conversión a etanol podría resultar en ahorros considerables en costos de combustible y mantenimiento, además de beneficios adicionales gracias a incentivos fiscales y subsidios. Una comparación técnica y económica con el motor Cummins C66D5-18507-S destacó la superioridad del sistema de inyección de etanol en términos de eficiencia operativa y reducción de emisiones, proporcionando una base sólida para la implementación de esta tecnología en el hospital. Esta alternativa no solo disminuye las emisiones contaminantes, mejorando la calidad del aire y la salud pública. De la misma manera ofrece beneficios económicos sostenibles. con normativas ambientales y promueve prácticas ecológicas, fortaleciendo el compromiso del hospital con la sostenibilidad y el bienestar de la comunidad.

INDICE DE CONTENIDO

1	CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	ANTECEDENTES.....	1
1.1.1	Planteamiento del problema.....	3
1.1.2	Formulación del problema.....	4
1.2	OBJETIVOS.....	5
1.2.1	OBJETIVO GENERAL.....	5
1.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.3	JUSTIFICACIÓN.....	5
1.3.1	Justificación técnica.....	5
1.3.2	Justificación económica.....	6
1.3.3	Justificación ambiental.....	6
1.3.4	Justificación social.....	7
1.4	METODOLOGÍA.....	7
1.4.1	Paradigma.....	7
1.4.2	Enfoque.....	7
1.4.3	Tipo de Investigación.....	8
1.4.3.1	Longitudinal.....	8
1.4.4	Diseño de la Investigación.....	8
1.4.5	Técnicas e Instrumentos.....	9
2	CAPÍTULO II: DESARROLLO.....	10
2.1	MARCO TEÓRICO.....	10
2.1.1	MARCO CONCEPTUAL.....	10
2.1.1.1	Motores.....	10
➤	Tipos de Motores.....	11
➤	Emisiones.....	11

➤	Enfermedades causadas por emisiones.....	12
2.1.1.2	Generador Eléctrico	13
➤	Los Generadores.....	13
➤	Principio de funcionamiento de un generador eléctrico: Ley de Faraday.....	14
2.1.1.3	El Generador Diesel.....	14
➤	Funcionamiento.....	15
2.1.1.4	Combustibles	15
➤	Clasificación de los Combustibles	15
➤	Limitantes de los Combustibles Fósiles	17
➤	Propiedades Fisicoquímicas de los Combustibles	17
➤	Aditivos de los Combustibles	18
2.1.1.5	Etanol	19
➤	Usos y Aplicaciones	19
➤	Producción de Etanol.....	20
➤	Etanol en Bolivia.....	20
2.1.1.6	Inyección de Etanol al Diesel.....	21
➤	Ventajas.....	21
➤	Desventajas	22
➤	Aplicaciones.....	22
2.1.2	MARCO CONTEXTUAL.....	23
2.1.2.1	Espacio de Estudio	23
2.1.2.2	Población de Estudio	24
➤	Características del Motor Mitsubishi S16R-PTAA2	24
➤	Motor Generador Cummins C66D5 -18507-S.....	27
➤	Características del Motor Generador Cummins puesto a prueba	28
2.1.2.3	Características del Analizador de Gases de escape	29
➤	Funcionamiento del Analizador de Gases Kane EGA4/S	29
➤	Seguridad y Mantenimiento	31
2.1.3	Evaluación Sistemática de Problemas y Desafíos Operacionales	31
2.1.3.1	Problemática Ambiental	31
2.1.3.2	Problemática Económica	31
2.1.3.3	Problemática Social	32

2.2	INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS	33
2.2.1	Análisis de la infraestructura existente y los sistemas de generación de energía en las instalaciones hospitalarias.....	33
2.2.1.1	Equipación del Hospital	33
2.2.2	Estimación de las emisiones de CO2 y NOx del motor generador Mitsubishi S16R-PTAA2 a diésel y del motor Cummins C66D5-18507-S	36
2.2.2.1	Procedimiento de Medición para el Analizador de Gases de Escape Kane Modelo EGA4/S	36
2.2.2.2	Resultados de las lecturas de las emisiones de ambos generadores.....	37
➤	Emisiones de CO2 y NOx del motor generador Mitsubishi S16R-PTAA2	38
➤	Emisiones de CO2 y NOx del motor generador Cummins.....	38
2.2.3	Producción de CO2 en la Combustión del Motor Generador Mitsubishi S16R-PTAA2.....	39
2.2.3.1	Cálculo de Emisiones para Mezcla Molar Etanol-Diésel	40
2.2.4	Cálculos de la eficiencia de trabajo del motor generador Mitsubishi S16R-PTAA2	41
2.2.4.1	Datos Iniciales:.....	41
2.2.4.2	Desarrollo	42
2.2.4.3	Cálculos de la Eficiencia Energética	42
2.2.5	Evaluación comparativa entre el motor generador S16R-PTAA2 y el motor Cummins C66D5-18507-S.....	44
2.2.6	Análisis de los costos	46
2.2.6.1	Datos Iniciales.....	47
2.2.6.2	Cálculos de Costos Anuales.....	47
2.2.6.3	Análisis de Costos.....	48
2.3	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	49
3	CAPÍTULO III: CONCLUSIONES	50
3.1	Recomendaciones	51
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
5	ANEXOS	61

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Hospital Eugenio Natalini.....	23
Ilustración 3 Motor S16R-PTAA2	25
Ilustración 4 Motor Generador “Cummins”	27
Ilustración 5 Analizador de Gases de escape.....	29
Ilustración 2 Equipos del Hospital Eugenio Natalini	34
Ilustración 6 Resultados para la prueba de Emisiones.....	38
Ilustración 7 Resultados de la eficiencia del Motor.....	43

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Consumo promedio diario de energía para diferentes equipos.....	34
Tabla 2.2 Características del Motor.....	25
Tabla 2.3 Características del Motor Generador Cummins.....	28
Tabla 2.4 Resultados para la prueba de Emisiones	38
Tabla 2.5 Evaluación comparativa en forma de tabla entre el motor generador S16R-PTAA2 y el motor Cummins C66D5-18507-S	44
Tabla 2.6 Tabla de calificación del 1 al 5 para cada aspecto	45

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A MARCO NORMATIVO

ANEXO B VISTA SATELITAL DE LOS HOSPITALES DE ESTUDIO

ANEXO C CARTA DE SOLICITUD PARA EL INGRESO AL HOSPITAL

ANEXO D GUÍA PARA CONSIDERAR EN LA CONVERSIÓN DE COMBUSTIBLE
PARA EL MOTOR GENERADOR MITSUBISHI S16R-PTAA2

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.

1.1 ANTECEDENTES.

Históricamente, las instalaciones hospitalarias de tercer nivel han dependido en gran medida de los motores de combustión interna que funcionan con diésel para garantizar un suministro ininterrumpido de energía eléctrica y potencia mecánica. Sin embargo, esta dependencia de combustibles fósiles ha planteado desafíos importantes en términos de sostenibilidad ambiental y eficiencia operativa.

En los últimos años, ha habido avances significativos en la tecnología de biocombustibles, incluido el etanol, que se produce a partir de materias primas renovables como maíz, caña de azúcar o biomasa lignocelulósica. El etanol se considera una alternativa prometedora al diésel debido a su menor huella de carbono y su capacidad para reducir las emisiones contaminantes.

Aunque la conversión de motores diésel a etanol en hospitales aún no es ampliamente adoptada, existen precedentes de proyectos piloto y estudios de casos que han demostrado la viabilidad técnica y económica de esta transición en otros sectores industriales y regiones geográficas.

En unos estudios se realizaron pruebas de miscibilidad, densidad relativa, relación estequiométrica A/F, olor y aspecto físico para crear mezclas de gasolina y etanol hidratado y anhidro (0-40%v/v). Estas mezclas se utilizaron en un motor monocilíndrico de ignición por chispa para pruebas de rendimiento y análisis de gases de escape. Las pruebas se realizaron a 2000 rpm con variaciones en el indicador lambda dentro de los parámetros normales de un motor. Se midieron variables como los consumos específicos y de combustible, temperatura del aire de admisión, gases de escape (CO, CO₂, HC y NO_x) y la potencia indicada. Los resultados mostraron un efecto de empobrecimiento del combustible al aumentar el contenido de etanol anhidro e hidratado, lo que causó una pequeña reducción de potencia y un aumento significativo del consumo de combustible. Las mezclas E20 y HE20 presentaron los mejores resultados en el análisis de los gases de escape, reduciendo notablemente las emisiones de CO, HC y NO_x y manteniendo el

CO₂. También se observó una mayor tolerancia al agua por parte de la gasolina al aumentar el contenido de etanol en la mezcla, y que las mezclas de gasolina y etanol hidratado no se separan a temperaturas mayores a 10°C, mientras que con etanol anhidro no se presenta este problema a bajas temperaturas. (Camilo Montero, 2011)

En 2013, Guzmán Beckmann planteó la posibilidad de utilizar gasolina extra con un 3%, 5% y 10% de etanol anhidro para su distribución en Quito. Se realizaron estudios de la producción de etanol a partir de la caña de azúcar en Ecuador y simulaciones en motores de Ciclo Otto con diferentes contenidos de etanol para evaluar los cambios en las emisiones. La investigación concluyó que debido a factores climáticos, económicos y sociales, junto con la reducción de emisiones de los motores, es factible el uso del etanol hasta en un 10% en mezcla con gasolina Extra en el Distrito Metropolitano de Quito. Los proyectos de biocombustible son factibles, pero se debe trabajar más en la producción de materia prima, como la caña de azúcar, para evitar afectar la seguridad alimentaria de la población.

En 2018, Rubio Gómez señaló que, si bien los combustibles fósiles han sido motores del desarrollo, su uso ha generado crecimiento de gases de efecto invernadero perjudiciales para el planeta y la salud. Ante la limitación y la alta demanda de estos combustibles, ha surgido la necesidad de buscar alternativas, como los biocombustibles, que reducen las emisiones de CO₂ y permiten una combustión más limpia debido a su contenido de oxígeno. Dentro de los biocombustibles, los bioalcoholes, como el metanol y etanol, han sido probados en mezclas con gasolina e incluso de manera pura. En su investigación, Rubio Gómez estudió la combustión de mezclas de gasolina con cada uno de estos tres alcoholes hasta una proporción del 20% en volumen, comparándolas con la gasolina pura en un motor monocilíndrico de compresión variable tipo CFR. Los resultados ofrecen información valiosa sobre el comportamiento de estas mezclas y sugieren futuras investigaciones considerando otros aspectos. Además, se menciona que el etanol aumenta el número de octano de la gasolina, lo que mejora su capacidad antidetonante en motores de combustión interna.

Proyecto “Evaluación de mezclas e-diésel y e-b-diésel mediante ensayos en laboratorio en banco motor y en banco de bombas”, contratado por ABNT, el cual ha posibilitado

todo el trabajo previo en condiciones de laboratorio de puesta a punto de los sistemas de medida, tanto en condiciones estacionarias como transitorias.

Proyecto “Monitorización de emisiones contaminantes en autobuses urbanos”. En este proyecto estuvieron vinculadas las empresas: ABNT y O2Diesel la cuales proporcionaron el combustible de estudio, en este caso diésel, y parte de la infraestructura necesaria para utilizarlo y la empresa Transportes Urbanos de Sevilla (en adelante, TUSSAM) que proporcionó la infraestructura y los autobuses urbanos para el estudio, encargándose también de todas las modificaciones que hubo que realizar en estos vehículos.

Debemos tomar en cuenta que el uso de diésel en hospitales ha contribuido a la emisión de gases contaminantes, incluidos óxidos de nitrógeno, partículas finas y dióxido de carbono (CO₂), que tienen efectos adversos en la calidad del aire y la salud humana. Esto ha generado una creciente preocupación por el impacto ambiental del sector salud y la necesidad de adoptar medidas más sostenibles. Por ende, la implementación de tecnologías de combustibles alternativos como el etanol está respaldada por un marco normativo cada vez más favorable, que incluye incentivos fiscales, subsidios gubernamentales y regulaciones ambientales más estrictas que fomentan la adopción de prácticas más sostenibles en el sector salud.

1.1.1 Planteamiento del problema.

Debido a la creciente problemática inherente a la crisis energética global derivada del gradual agotamiento de los recursos de combustibles fósiles, cuyos efectos proyectan una inminente escasez a mediano o largo plazo, se ha suscitado un imperativo en la promoción y adopción de alternativas energéticas sostenibles. En respuesta a este desafío, ha emergido la necesidad de fomentar y expandir la utilización de biocombustibles, provenientes de fuentes naturales y renovables, como una vía para mitigar la dependencia de los combustibles fósiles. Estos biocombustibles, tanto en su forma pura como en mezcla con los derivados de petróleo, se erigen como una alternativa prometedora en el contexto de los motores de combustión interna, ofreciendo una opción viable y eco-amigable para la movilidad y la generación de energía en el

futuro inmediato tanto para vehículos y/o motores que operan con este tipo de combustible.

Por otra parte, es importante señalar que el empleo extendido de combustibles fósiles conlleva inevitablemente a un deterioro ambiental continuo, derivado principalmente de las emisiones de gases de efecto invernadero que se liberan durante su combustión. Esta actividad genera un impacto significativo en la calidad del aire y contribuye al fenómeno del cambio climático, el cual repercute en la salud pública a nivel mundial, manifestándose especialmente a través del aumento de enfermedades respiratorias y otros trastornos relacionados. Conscientes de esta problemática, se han promulgado normativas internacionales de carácter estricto, con el objetivo de mitigar la contaminación ambiental y reducir las emisiones de gases nocivos.

En este contexto, es fundamental considerar el caso particular de la ciudad de Potosí, la cual enfrenta un grave problema de contaminación debido a la actividad minera y a la proximidad del hospital con zonas de extracción minera. Esta situación agrava la urgencia de implementar medidas efectivas para reducir los niveles de contaminación atmosférica, especialmente en entornos médicos donde la población vulnerable busca tratamiento para afecciones de salud que pueden estar relacionadas con la exposición a agentes contaminantes. En consecuencia, la necesidad de mitigar la emisión de gases contaminantes se vuelve aún más apremiante en este contexto, enfocando los esfuerzos hacia la protección de la salud pública y el bienestar de la población afectada.

1.1.2 Formulación del problema

¿De qué manera se podrá dar solución a los problemas asociados con el uso de motores diésel para el Hospital de Tercer Nivel “Fray Giovanni Eugenio Natalini Magnani” - Potosí?

1.2 OBJETIVOS.

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar de manera técnica y económica la inyección de etanol en motores generadores de diésel para el Hospital de Tercer Nivel “Fray Giovanni Eugenio Natalini Magnani” - Potosí

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la infraestructura existente y los sistemas de generación de energía en las instalaciones hospitalarias.
- Estimar las emisiones de CO₂ y NO_x del motor generador Mitsubishi S16R-PTAA2 a diésel en el Hospital de Tercer Nivel Fray Giovanni Eugenio Natalini Magnani y del motor Cummins C66D5-18507-S en el Hospital de Tercer Nivel Daniel Bracamonte, el cual utiliza una mezcla de etanol y diésel como combustible.
- Calcular la eficiencia de trabajo del motor generador Mitsubishi S16R-PTAA2 en el Hospital de Tercer Nivel Tercer Nivel Fray Giovanni Eugenio Natalini Magnani, teniendo en cuenta el uso de diésel y diésel/etanol como combustible.
- Realizar una evaluación comparativa en forma de tabla entre el motor generador S16R-PTAA2 y el motor Cummins C66D5-18507-S.
- Realizar los costos de ahorro en combustible y evaluar los beneficios financieros a largo plazo.

1.3 JUSTIFICACIÓN.

1.3.1 Justificación técnica

Se analiza el progreso tecnológico en el ámbito de los motores de combustión interna, el cual ha ofrecido soluciones viables y eficientes para la adaptación de motores diésel a sistemas que operan con etanol, ya sea de forma pura o en combinación. Este avance tecnológico ha demostrado la viabilidad técnica de dicho proceso, asegurando un desempeño apropiado y seguro de los motores en el entorno hospitalario. Así mismo, se examina la adecuación de los motores de etanol a las necesidades específicas de las

instalaciones hospitalarias de tercer nivel. Esto requiere tener en cuenta factores tales como la demanda de energía y potencia de los equipos médicos, la disponibilidad de espacio para la instalación de nuevos sistemas de combustible y la compatibilidad con la infraestructura preexistente. Es crucial garantizar que los motores de etanol sean capaces de cumplir con los requisitos operativos y de seguridad de los hospitales, lo que es esencial para asegurar la viabilidad técnica de la conversión.

1.3.2 Justificación económica

La transición hacia la incorporación del etanol como combustible dentro del ámbito hospitalario promete acarrear beneficios económicos sostenidos a lo largo del tiempo. La consideración de esta medida se fundamenta en la comparativa favorable entre los costos asociados al etanol y al diésel, donde el primero tiende a ostentar una posición de mayor accesibilidad financiera. La estabilidad en los precios del etanol en comparación con la volatilidad inherente al mercado del diésel confiere una previsibilidad y consistencia que resultan de suma relevancia en la planificación económica a largo plazo. Esta perspectiva augura la potencial materialización de considerables ahorros en los desembolsos destinados tanto al combustible mismo como a los trabajos de mantenimiento y operación de los equipos hospitalarios, consolidando así una gestión financiera más eficiente y sustentable en los centros de salud.

1.3.3 Justificación ambiental

La transición hacia el empleo de etanol como fuente de energía en los motores hospitalarios se vislumbra como un paso trascendental hacia la mitigación de las emisiones contaminantes, abarcando no solo la reducción de dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) y partículas finas, sino también el fortalecimiento de la calidad atmosférica en el ámbito hospitalario y en las áreas vecinas. Este cambio no solo tendrá un impacto tangible en la salud y el bienestar de los pacientes y el personal médico, sino que también reverberará en la población en general, al disminuir los riesgos asociados con afecciones respiratorias y otros problemas de salud derivados de la exposición a la contaminación ambiental. En este sentido, la adopción de esta medida no solo se alinea con los imperativos de la sostenibilidad ambiental, sino que también se erige como un compromiso tangible con la protección y promoción de la salud pública.

1.3.4 Justificación social

La ponderación del aspecto económico en un contexto macroeconómico revela la potencialidad de la utilización de etanol anhidro como complemento al diésel en volúmenes considerables, no solo en términos de diversificación y fortalecimiento del mercado laboral agrícola, en particular en relación con los ingenios sucroalcoholeros a nivel nacional, sino también en el contexto de una estrategia integral de reducción de la dependencia de importaciones masivas de gasolina. Este enfoque, además de mitigar la salida de divisas del país hacia el extranjero, donde estas pueden no retornar económicamente al territorio nacional, resalta la importancia de impulsar políticas y medidas que fomenten la autarquía energética y fortalezcan la economía interna, propiciando así un desarrollo sustentable y resiliente a nivel nacional.

1.4 METODOLOGÍA

1.4.1 Paradigma

El paradigma que tendremos en el proyecto se trata de un paradigma positivista debido a que buscamos confirmar que el cambio de combustible representa una mejora significativa, considerando todas las razones previamente mencionadas. Este análisis riguroso es fundamental para asegurar la efectividad del cambio propuesto y su beneficio para el proyecto en su conjunto.

1.4.2 Enfoque

El enfoque se clasifica de manera cuantitativa debido a que se buscaría obtener resultados cuantificables y verificables, centrándose en la medición de variables técnicas y económicas para determinar la viabilidad del proyecto. Se valoraría especialmente la objetividad en la recolección de información y la aplicación de análisis estadísticos para fundamentar las conclusiones. Además, se daría prioridad a la replicabilidad de los métodos utilizados, permitiendo que otros investigadores puedan verificar y validar los hallazgos obtenidos.

1.4.3 Tipo de Investigación

El tipo de investigación adoptado sería de manera descriptiva ya que se procederá a realizar una exhaustiva descripción de la modificación en el tipo de combustible empleado en los motores generadores del hospital, con la transición del uso de diésel al empleo de etanol o una combinación de ambos. Esta modificación conlleva una serie de consideraciones de índole técnica, económica y medioambiental, abordando aspectos como el rendimiento de los motores, los costos operativos y las emisiones contaminantes asociadas a esta transformación.

1.4.3.1 Longitudinal

La investigación adopta una clasificación longitudinal debido a que se compararán datos recolectados en múltiples ocasiones o momentos distintos dentro de una misma población, permitiendo así la evaluación de los cambios correspondientes a lo largo del tiempo.

1.4.4 Diseño de la Investigación

Tomamos en cuenta un diseño de investigación no experimental de manera que implica la recopilación y análisis de datos existentes sin manipulación o intervención directa por parte del investigador. En este caso, se emplearían métodos de recolección de información como revisión bibliográfica, análisis documental y entrevistas, sin realizar cambios deliberados en las variables del estudio. La investigación se centraría en la recopilación de datos técnicos y económicos relevantes para evaluar la viabilidad de la inyección de etanol en motores generadores, así como en el análisis de información financiera y normativa relacionada con el tema. Este enfoque permite obtener una comprensión profunda del problema y de los factores que influyen en la viabilidad del proyecto, sin la necesidad de manipular variables en un entorno controlado. Además, la investigación no experimental permite abordar preguntas de investigación complejas y contextualizadas, como la evaluación de la viabilidad técnica y económica de una iniciativa en un entorno específico como el hospital de tercer nivel en la localidad de Potosí.

1.4.5 Técnicas e Instrumentos

El proyecto se fundamentará en un estudio causal-comparativo con un enfoque prospectivo hacia los resultados. Se analizarán los datos recabados de los motores generadores de Diésel, con el propósito de realizar una evaluación prospectiva de los beneficios derivados de su conversión a etanol. Posteriormente, se procederá a comparar los resultados obtenidos en ambas condiciones, a fin de discernir posibles mejoras y repercusiones.

Se recopilarían datos tanto antes como después de la intervención para medir diversas variables, como consumo de combustible, costos operativos, emisiones contaminantes y eficiencia operativa. Estos datos se analizarían utilizando métodos estadísticos apropiados para determinar si existen diferencias significativas entre los grupos en las variables medidas después de la intervención. Si se observan diferencias estadísticamente significativas en favor del grupo experimental, esto sugeriría un efecto causal de la conversión de motores diésel a etanol en las instalaciones hospitalarias. Este enfoque permitiría evaluar de manera sistemática y rigurosa el impacto de la intervención, proporcionando evidencia sólida sobre la viabilidad y los beneficios de la conversión de motores.

CAPÍTULO II: DESARROLLO

2.1 MARCO TEÓRICO

Los generadores de energía se utilizan en hospitales por varias razones fundamentales. En primer lugar, garantizan la continuidad operativa del hospital en caso de cortes de energía, asegurando que los servicios médicos críticos no se vean interrumpidos y que los pacientes reciban la atención necesaria en todo momento. Además, en situaciones de emergencia, como desastres naturales o apagones prolongados, los generadores de energía proporcionan un respaldo esencial para mantener el funcionamiento de equipos médicos vitales, como respiradores, monitores cardíacos y sistemas de soporte vital. También protegen contra fluctuaciones de voltaje que podrían dañar equipos sensibles y garantizan un suministro eléctrico estable y constante, lo que contribuye a la seguridad y el bienestar de los pacientes

La restricción de energía eléctrica, con frecuencia, conlleva consigo una repercusión económica adversa. Sin embargo, en el contexto hospitalario, donde la electricidad alimenta dispositivos vitales, como es el caso de los grupos electrógenos de respaldo, la ausencia de suministro pone en grave riesgo la integridad de los pacientes.

Es importante destacar que la implementación de grupos electrógenos de alta calidad constituye un pilar fundamental en cualquier proyecto de infraestructura hospitalaria destinado a garantizar la continuidad del servicio ante interrupciones en la red eléctrica principal. No obstante, la concepción y ejecución de estos sistemas complejos requieren de un profundo conocimiento técnico y una vasta experiencia, así como de una estricta observancia de las normativas vigentes en la materia. (Anker, 2024)

2.1.1 MARCO CONCEPTUAL

2.1.1.1 Motores

Un motor es una máquina diseñada para convertir una forma de energía en movimiento mecánico. Estas máquinas son esenciales para una amplia gama de aplicaciones, desde automóviles hasta electrodomésticos y maquinaria industrial.

➤ Tipos de Motores

El funcionamiento de un motor varía según su tipo, por lo general, todos operan mediante la conversión de energía en movimiento. Por ejemplo, los motores de combustión interna, como los que se encuentran en los automóviles, utilizan la energía química contenida en el combustible para generar movimiento. Esto se logra mediante la combustión controlada del combustible dentro de una cámara de combustión, que produce gases de alta presión que empujan un pistón, convirtiendo así la energía química en movimiento mecánico.

Por otro lado, los motores eléctricos convierten la energía eléctrica en movimiento. Estos motores funcionan mediante la interacción de campos magnéticos generados por corriente eléctrica, lo que produce un torque que hace girar un eje y genera movimiento. Son comunes en una variedad de dispositivos, desde ventiladores hasta vehículos eléctricos.

Otros tipos de motores incluyen los motores de vapor, que utilizan la energía térmica del vapor de agua para generar movimiento, y motores más especializados diseñados para aplicaciones específicas, como los motores lineales utilizados en sistemas de transporte de alta velocidad. (Smith, 2020)

➤ Emisiones

Los combustibles fósiles, que incluyen carbón, petróleo y gas natural, son actualmente la fuente principal de energía para la generación de electricidad, transporte y otras aplicaciones industriales a nivel global. Sin embargo, su uso presenta limitaciones significativas desde el punto de vista ambiental y de sostenibilidad. Principalmente, la combustión de estos combustibles produce grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂), un gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global y al cambio climático. Además, emiten otros contaminantes que afectan la calidad del aire, como óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos de azufre (SO_x), material particulado y compuestos orgánicos volátiles que pueden causar problemas respiratorios y otros problemas de salud en humanos. (McGraw-Hill, 1994)

➤ **Enfermedades causadas por emisiones**

Las emisiones provenientes de la combustión de combustibles fósiles están asociadas con una variedad de problemas de salud, especialmente porque contienen partículas y gases nocivos.

- **Enfermedades Respiratorias**

Asma: Las partículas y otros irritantes en el aire pueden provocar inflamación de las vías respiratorias, lo que puede desencadenar ataques de asma.

Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC): La exposición prolongada al smog y a otros contaminantes del aire puede causar o exacerbar la EPOC, que incluye enfermedades como el enfisema y la bronquitis crónica.

- **Enfermedades Cardiovasculares**

La exposición a largo plazo a partículas finas (PM2.5) y otros contaminantes puede aumentar el riesgo de enfermedades cardíacas isquémicas y ataques al corazón. Algunos estudios han vinculado la exposición a largo plazo al aire contaminado con un aumento en la presión arterial, un importante factor de riesgo para enfermedades cardiovasculares.

- **Problemas de Salud Infantil**

La exposición a contaminantes del aire durante la infancia puede afectar el desarrollo normal de los pulmones y aumentar la susceptibilidad a infecciones respiratorias.

La exposición a la contaminación del aire durante el embarazo se ha asociado con un mayor riesgo de bajo peso al nacer, lo que puede tener consecuencias a largo plazo para la salud del niño.

- **Cáncer de pulmón**

Existe una correlación bien establecida entre la exposición a ciertos contaminantes del aire, como el benceno y las partículas finas, y el aumento del riesgo de cáncer de pulmón.

- **Declive cognitivo y demencia**

Investigaciones recientes han sugerido que la exposición a partículas finas y contaminantes del aire podría estar relacionada con un aumento en el riesgo de problemas cognitivos, incluyendo demencia y Alzheimer.

- **Mortalidad prematura**

Diversos estudios han demostrado que la exposición a altos niveles de contaminación del aire aumenta la mortalidad prematura, no solo debido a enfermedades respiratorias y cardiovasculares, sino también a través de otras complicaciones de salud.

(Pope III, C.A., & Dockery, D.W., 2006)

2.1.1.2 Generador Eléctrico

Un generador es una máquina eléctrica rotativa que transforma energía mecánica en energía eléctrica. Lo consigue gracias a la interacción de sus componentes principales: el rotor (parte giratoria) y el estátor (parte estática). Cuando un generador eléctrico está en funcionamiento, una de las dos partes genera un flujo magnético (actúa como inductor) para que el otro lo transforme en electricidad (actúa como inducido). Los generadores eléctricos se diferencian según el tipo de corriente que producen, dando lugar a dos grandes grupos: los alternadores y las dinamos. Los alternadores generan electricidad en corriente alterna y las dinamos generan electricidad en corriente continua.

➤ **Los Generadores**

Las máquinas eléctricas son dispositivos capaces de transformar la energía eléctrica en cualquier otra forma de energía. Se dividen en los siguientes tipos:

➤ **Máquinas eléctricas rotativas**

Están compuestas de partes giratorias, son reversibles y pueden trabajar de dos maneras diferentes: como motor eléctrico (convirtiendo la energía eléctrica en mecánica) o como generador eléctrico (convirtiendo la energía mecánica en eléctrica).

➤ **Máquinas eléctricas estáticas**

No disponen de partes móviles, al igual que ocurre con los transformadores.

➤ **Principio de funcionamiento de un generador eléctrico: Ley de Faraday**

La Ley de Faraday está basada en los experimentos que Michael Faraday, físico británico, realizó en 1830. Establece que el voltaje inducido en un circuito es directamente proporcional al cambio del flujo magnético en un conductor o espira. Esto significa que si tenemos un campo magnético generando un flujo magnético, necesitamos una espira por donde circule una corriente para conseguir que se genere la fuerza electromotriz

2.1.1.3 El Generador Diesel

El generador diésel es un equipo cuyo uso está indicado para aplicaciones que requieren mayor potencia y/o funcionamiento continuo, ya que este combustible se quema a mayor temperatura, en comparación con otros tipos, como la gasolina, y por lo tanto es más eficiente y garantiza mayor potencia al generador.

Hay que tener en cuenta que los generadores diésel pueden tener un uso muy prolongado, pudiendo operar durante horas, semanas o simplemente hasta que se reanude la alimentación principal. Para ello, debes asegurarte de que tiene combustible suficiente para que pueda cumplir su función. Como este tipo de generador está en funcionamiento durante periodos más largos, implica necesariamente un mantenimiento regular para poder comprobar que todos los componentes están en pleno funcionamiento. Es importante prestar especial atención al motor del generador, para mantenerlo y lubricarlo, ya que trabajará ininterrumpidamente, durante horas y horas, y requerirá esos cuidados para mantener su eficiencia.

Los generadores diésel tienen la ventaja de ser más económicos y están indicados para casos en los que la premisa principal es asegurar el suministro de energía sin fallos y con un alto rendimiento para una gran potencia, como en el caso de las grandes industrias, por ejemplo. Por otro lado, el diesel también es una opción interesante, ya que es un combustible que garantiza un mayor rendimiento, lo que es muy importante en los casos en los que la eficiencia es un requisito.

➤ **Funcionamiento**

En términos simplificados, ¿cómo funciona un generador diesel?

1. En primer lugar, se impulsa el aire hacia el interior del generador hasta comprimirlo;
2. Posteriormente, se inyecta gasóleo;
3. La combinación de estos dos procesos, la compresión del aire y, posteriormente, la inyección del combustible contribuirá a generar el calor (intenso) que desencadena la inflamación del combustible.
4. La combustión del gasóleo pone en marcha el generador, haciendo que el eje central se mueva, y transformando la energía mecánica en energía eléctrica, con la ayuda del alternador;
5. Así, el generador empieza a producir la energía eléctrica necesaria para ser distribuida según las necesidades de los equipos conectados a él o del lugar/espacio que va a abastecer.

(Grupel Energy Everywhere, Generador Diesel, 2020)

2.1.1.4 Combustibles

Hoy día, la vida sin combustibles sería inimaginable, nos proporcionan electricidad y calor, permiten que nos desplazemos de un lugar a otro cómodamente, impulsan el transporte de mercancías y alimentan los procesos de fabricación de una enorme variedad de productos indispensables en nuestra sociedad, desde el acero hasta los productos sanitarios o los plásticos. Dada su enorme importancia, a continuación, veremos qué tipos de combustibles existen y cómo se clasifican.

➤ **Clasificación de los Combustibles**

Según su estado Físico

- **Sólidos:** Los cuales se presentan en forma compacta. Ejemplos de estos incluyen el carbón, la madera y la biomasa, esta última compuesta por residuos de industrias madereras, de pulpa y papel, así como desechos agrícolas. El carbón, en particular, tuvo un papel crucial en la Revolución Industrial,

alimentando las calderas de vapor que impulsaban locomotoras, barcos y maquinaria fabril.

- **Líquidos:** Se encuentran en estado líquido a temperatura ambiente y presión atmosférica. El petróleo es el más destacado entre ellos, aunque se refina para producir productos como gasolina, diésel o queroseno. Su utilización ha sido esencial en el desarrollo de medios de transporte, permitiendo la reducción de distancias entre ciudades y países, así como el transporte global de mercancías y viajes espaciales. Además, el petróleo es una materia prima fundamental en la industria química para la fabricación de numerosos productos de uso cotidiano.
- **Gaseosos:** Los combustibles gaseosos se encuentran en estado de gas, siendo el gas natural y el gas butano ejemplos destacados. El gas natural, compuesto principalmente de metano, y el gas butano son ampliamente utilizados en el hogar, la industria y el transporte debido a su versatilidad y facilidad de manejo. En particular, los vehículos que funcionan con gas licuado de petróleo (GLP) se benefician del uso de butano como combustible.

Según su Origen

- **Renovables:** Los combustibles renovables se derivan de materias primas renovables, como residuos orgánicos y CO₂ combinado con hidrógeno renovable. Estos incluyen aceites de cocina usados, restos agrícolas y ganaderos, así como residuos de la industria agroalimentaria. Su ventaja principal radica en la reducción de emisiones, ya que el CO₂ liberado al usarlos es equivalente al CO₂ previamente retirado de la atmósfera para su fabricación. Por ello, son una opción eficaz para reducir las emisiones del transporte, promoviendo la movilidad sostenible a corto plazo.
- **Fósiles:** Los combustibles fósiles son el resultado de la descomposición de materia orgánica a lo largo de millones de años. Los principales son el petróleo, el carbón y el gas natural. Al ser finitos y no renovables, su disponibilidad es limitada y no está distribuida equitativamente en el planeta.

(Repsol: Energía para nuestro día a día, 2024)

➤ **Limitantes de los Combustibles Fósiles**

Desde una perspectiva de sostenibilidad y seguridad energética, los combustibles fósiles también son problemáticos debido a su naturaleza finita. Las reservas de combustibles fósiles están concentradas geográficamente, lo que conduce a vulnerabilidades políticas y económicas, incluyendo fluctuaciones de precios y dependencia de importaciones para muchos países. A medida que la demanda mundial de energía continúa creciendo, la dependencia de estas fuentes no renovables genera preocupaciones sobre la seguridad energética futura. Por lo tanto, es crucial acelerar la transición hacia fuentes de energía más limpias y renovables, como la solar, eólica, hidroeléctrica y biomasa, para mitigar los efectos adversos asociados con los combustibles fósiles y asegurar un suministro energético sostenible a largo plazo. (Smith, J., 2020)

➤ **Propiedades Físicoquímicas de los Combustibles**

Los combustibles son sustancias que se utilizan para producir energía a través de la combustión. Tienen propiedades físicas y químicas que determinan su utilidad y eficiencia en diversos procesos energéticos. Algunas propiedades fisicoquímicas importantes de los combustibles incluyen:

- ❖ **Poder calorífico:** Es la cantidad de energía liberada por unidad de masa de combustible durante su combustión completa. Se expresa típicamente en unidades de energía por unidad de masa, como julios por gramo o kilojulios por kilogramo.
- ❖ **Volatilidad:** Es la capacidad de un combustible para vaporizarse y formar una mezcla inflamable con el aire. Los combustibles más volátiles tienden a encenderse más fácilmente, lo que puede ser útil en ciertas aplicaciones.
- ❖ **Punto de inflamación y punto de ignición:** El punto de inflamación es la temperatura más baja a la que un combustible libera suficientes vapores para formar una mezcla inflamable. El punto de ignición es la temperatura a la que esa mezcla inflamable se enciende. Estas propiedades son importantes para la seguridad y la manipulación de los combustibles.
- ❖ **Viscosidad:** Es la resistencia de un combustible a fluir. Una viscosidad alta puede dificultar su manejo y su uso en sistemas de combustión.

- ❖ **Densidad:** La densidad de un combustible afecta su almacenamiento, transporte y eficiencia energética. Los combustibles más densos pueden contener más energía por unidad de volumen.

(Levenspiel, O., 1999).

➤ **Aditivos de los Combustibles**

Los aditivos de combustible son sustancias químicas que se agregan a los combustibles para mejorar o modificar ciertas propiedades. Estas sustancias pueden tener una variedad de funciones y objetivos, y se utilizan en una amplia gama de aplicaciones. Aquí hay algunos tipos comunes de aditivos de combustible y sus conceptos:

- ❖ **Aditivos mejoradores del índice de octano:** Se agregan a la gasolina para aumentar su índice de octano, lo que reduce la tendencia a la detonación o el golpeteo del motor. Esto permite que los motores de alta compresión funcionen de manera más eficiente y con menos riesgo de daño.
- ❖ **Aditivos limpiadores de inyectores y válvulas:** Estos aditivos están diseñados para mantener limpios los inyectores de combustible y las válvulas de admisión, previniendo la acumulación de depósitos que pueden afectar la atomización del combustible y la eficiencia del motor.
- ❖ **Aditivos antioxidantes:** Ayudan a prevenir la oxidación del combustible, lo que puede causar la formación de sedimentos y la degradación de la calidad del combustible con el tiempo.
- ❖ **Aditivos antiespumantes:** Reducen la formación de espuma durante el almacenamiento, manipulación o dispensación del combustible, lo que facilita su manejo y reduce el riesgo de derrames.
- ❖ **Aditivos mejoradores de la lubricidad:** A menudo se agregan a los combustibles diesel para mejorar la lubricación del sistema de combustible y reducir el desgaste de los componentes del motor, especialmente en sistemas de inyección de alta presión.
- ❖ **Aditivos biocidas:** Ayudan a prevenir el crecimiento de microorganismos como bacterias y hongos en los tanques de almacenamiento de combustible, evitando problemas de obstrucción y contaminación microbiana.

- ❖ **Aditivos emulsionantes/desemulsionantes:** Se utilizan para facilitar la separación de agua y combustible en sistemas donde puede haber problemas de emulsión, como en el caso del agua presente en los tanques de almacenamiento.

2.1.1.5 Etanol

El etanol es un compuesto químico perteneciente a la clase de los alcoholes. Su fórmula química es C_2H_5OH , lo que significa que está compuesto por dos átomos de carbono, seis átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno. Es un líquido incoloro, inflamable y con un olor característico, que se disuelve en agua en cualquier proporción.

El etanol es un combustible renovable producido a partir de la fermentación y destilación de azúcares y almidones presentes en granos como maíz y sorgo, desechos de alimentos y bebidas, y biomasa celulósica. Al igual que la producción de gasolina, las biorrefinerías de etanol utilizan técnicas de destilación y deshidratación para obtener etanol apto para combustible. Antes de su transporte, el etanol se desnaturaliza con un 2-5% de gasolina u otro hidrocarburo similar, lo que tiene efectos mínimos en sus características generales, salvo en la reducción del punto de inflamabilidad. Este programa de capacitación se enfoca en el uso de etanol desnaturalizado como combustible.

➤ Usos y Aplicaciones

El etanol es ampliamente conocido por ser el principal componente del alcohol etílico, que se utiliza en una variedad de aplicaciones, incluyendo:

- **Combustible:** El etanol se mezcla con gasolina en diversas proporciones para producir combustibles como la gasolina con un contenido de etanol del 10%, conocida como E10, o mezclas más altas como E85 (85% de etanol y 15% de gasolina). Estas mezclas se utilizan en vehículos como combustible alternativo o complementario.
- **Industria química:** Se utiliza como disolvente en la fabricación de productos químicos, como pinturas, lacas, perfumes y productos farmacéuticos.
- **Bebidas alcohólicas:** Es el componente principal de muchas bebidas alcohólicas, como la cerveza, el vino y los licores destilados.

- **Desinfectante y antiséptico:** Se utiliza como agente desinfectante y antiséptico en productos para el cuidado de la salud y la limpieza.
- **Biocombustible:** Se produce etanol a partir de fuentes renovables, como el maíz, la caña de azúcar, la remolacha y otros cultivos ricos en almidón o azúcares, para su uso como biocombustible en lugar de los combustibles fósiles.

(Shapouri, H., Duffield, J. A., & Wang, M, 2002).

➤ **Producción de Etanol**

La producción de etanol se realiza principalmente a través del proceso de molienda en seco, aunque una fracción menor se lleva a cabo en molinos húmedos. La distinción principal entre ambos procesos radica en el tratamiento inicial del grano. En la molienda en seco, el grano se muele en harina y se suspende en agua para formar un puré, al que se le añaden enzimas para convertir el almidón en azúcares simples. Tras el cocimiento y enfriamiento del puré, se procede a la fermentación, donde la levadura convierte los azúcares en alcohol y dióxido de carbono. Posteriormente, la cerveza resultante se somete a destilación para concentrar el etanol, seguido de un proceso de deshidratación para obtener etanol anhidro.

Una vez obtenido el etanol anhidro, se mezcla con un 2-5% de desnaturizante, como gasolina, para evitar su consumo humano y así no estar sujeto a impuestos sobre bebidas alcohólicas. Luego de este paso, el etanol está listo para ser enviado a terminales de gasolina o minoristas. Los subproductos de este proceso, denominados coproductos, incluyen granos secos de destilería con solubles (DDGS), que se producen secando el residuo de grano grueso y jarabe, los cuales son utilizados como alimento nutritivo para ganado. Además, durante el proceso se libera CO₂ biogénico de alta calidad, el cual puede ser aprovechado para diversos fines.

(Rajagopalan, S., Ponnampalam, E., McCalla, D., & Stowers, M, 2005).

➤ **Etanol en Bolivia**

Bolivia entró en la producción de biocombustibles en 2018, con la generación de etanol. El también llamado alcohol anhidro es un aditivo para la gasolina y/o diésel, que se produce a partir de la caña de azúcar. En marzo de 2017, el entonces presidente Evo

Morales lanzó un programa para su producción, el cual todavía está vigente en alianza con la empresa privada de Santa Cruz.

Este preveía la producción de 80 millones de litros en 2018 y 380 millones de litros en 2025. En 2021, el gobierno se comprometía a comprar 110 millones de litros, y en 2022, 160 millones. Hasta ahora, “ha funcionado muy bien”, declaró a Diálogo Chino Álvaro Ríos, ex ministro de Hidrocarburos.

De acuerdo a Ríos, Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) compra al sector cañero su producción de biocombustible y este, a su vez, “se encarga de las inversiones necesarias para la instalación de plantas, entre otros recursos”. En el caso del biodiesel será distinto. El propio Estado se hará cargo incluso de la producción de materia prima.

(Rocío Lloret Céspedes, Dialogo Chino, 2023)

2.1.1.6 Inyección de Etanol al Diesel

La inyección de etanol en motores diésel es una técnica utilizada para mejorar la eficiencia del combustible y reducir las emisiones de gases nocivos. Al mezclar etanol con diésel, el objetivo es aprovechar las propiedades del etanol, como su alto contenido de oxígeno y su capacidad para quemar a temperaturas más bajas, para mejorar la eficiencia de la combustión del diésel. El etanol ayuda a reducir la temperatura de combustión y a mejorar la atomización del combustible, lo que resulta en una combustión más completa y menos formación de hollín.

➤ Ventajas

- **Reducción de Emisiones:** La incorporación de etanol puede reducir la formación de óxidos de nitrógeno y partículas, dos de los principales contaminantes en las emisiones de los motores diésel. Esto se debe a la temperatura de combustión más baja y al contenido de oxígeno del etanol, que facilita una combustión más limpia.
- **Mejora de la Combustión:** El etanol dispersa mejor las moléculas de diésel durante la inyección, lo que lleva a una combustión más eficiente. Esto puede traducirse en un mejor rendimiento del motor y una reducción en el consumo de combustible bajo ciertas condiciones.

- **Sostenibilidad:** El etanol es un combustible renovable que se puede producir a partir de biomasa. Su uso en motores diésel reduce la dependencia de los combustibles
- **Desventajas**
 - **Compatibilidad del Motor:** Muchos motores diésel no están diseñados para operar con combustibles que contienen alcohol. El etanol puede ser corrosivo para los componentes del motor y los sistemas de combustible que no están diseñados para su uso. Esto puede requerir modificaciones costosas o el uso de aditivos específicos para proteger el motor.
 - **Corrosión:** Además de la corrosión de componentes metálicos, el etanol puede degradar los sellos y las mangueras de goma en el sistema de combustible, lo que requiere el uso de materiales compatibles con etanol.
 - **Disponibilidad y Costo:** Aunque el etanol es relativamente económico de producir, la infraestructura necesaria para su distribución y almacenamiento no está tan desarrollada como la del diésel. Esto puede limitar su disponibilidad y aumentar los costos para los usuarios finales.
- **Aplicaciones**
 - **Transporte Comercial:** Flotas de camiones, autobuses y otros vehículos comerciales están experimentando con la inyección de etanol para aprovechar sus beneficios ambientales. Algunos sistemas de transporte público en ciudades grandes han adoptado esta tecnología para cumplir con las normativas ambientales más estrictas.
 - **Generación de Energía:** En áreas remotas o en aplicaciones industriales donde la reducción de emisiones es crítica, el etanol se utiliza en generadores diésel para proporcionar una fuente de energía más limpia.

(Folkson, R. (Ed.), 2014).

2.1.2 MARCO CONTEXTUAL

2.1.2.1 Espacio de Estudio

El Hospital Eugenio Natalini como se muestra en la Ilustración 1, un centro de salud de vital importancia situado en la histórica ciudad de Potosí, emerge en la zona de Villa Paraíso, donde se alza a una altitud de 3500 metros sobre el nivel del mar.

Ilustración 1

Hospital Eugenio Natalini



Fuente: Luis Zeballos Arcienega · El Potosí (2023)

Desde su inauguración el 9 de noviembre de 2023, este hospital se ha convertido en un pilar fundamental para la atención de la salud en la región, ofreciendo una amplia gama de servicios médicos de alta calidad que abarcan nada menos que 18 especialidades distintas, lo que lo convierte en un centro integral y completo para el diagnóstico, tratamiento y cuidado de pacientes de todas las edades y condiciones médicas. La presencia de este hospital no solo representa un avance significativo en el acceso a la atención médica en la región, sino que también simboliza un compromiso firme y continuo con el bienestar y la salud de la comunidad potosina y sus alrededores.

La ubicación del Hospital Eugenio Natalini presenta una serie de desafíos logísticos y operativos que deben ser considerados. Dada la diversidad de especialidades médicas ofrecidas por el hospital, se requiere un conjunto variado de equipos médicos, muchos de los cuales demandan un suministro constante y confiable de energía eléctrica para

su funcionamiento óptimo. Sin embargo, la infraestructura eléctrica local podría no ser suficiente para soportar la operación simultánea de estos equipos, especialmente en situaciones de emergencia que exijan un mayor consumo de energía.

2.1.2.2 Población de Estudio

El motor generador escogido para facilitar la generación de energía eléctrica en el hospital es el Mitsubishi S16R-PTAA2, el cual ha sido meticulosamente seleccionado por su capacidad de abastecer de manera óptima y fiable durante cualquier contingencia. Este motor, perteneciente a la renombrada serie S16R de Mitsubishi, destaca por su robustez y eficiencia energética, características esenciales para garantizar la continuidad de los servicios críticos del hospital. Su diseño avanzado permite una operación continua bajo demandas intensivas, asegurando así que todas las áreas vitales del hospital mantengan su funcionalidad en situaciones de emergencia.

➤ Características del Motor Mitsubishi S16R-PTAA2

El motor S16R-PTAA2 está diseñado en Japón y fabricado en Francia, ofreciendo niveles superiores de rendimiento, durabilidad y confiabilidad como se muestra en la ilustración. El motor utiliza un sistema de combustible mecánico y tecnología de turbocompresor patentados por MHIET, lo que garantiza un consumo económico de combustible y una potencia de salida maximizada para un espacio de instalación mínimo. A pesar de su tamaño compacto, la disposición del motor ha sido diseñada para facilitar la inspección y el mantenimiento. Esta solidez y confiabilidad son ideales para centros de datos, edificios comerciales y municipales, plantas de fabricación y aplicaciones de energía distribuida, En la tabla 2.1 se muestra sobre las características generales más importantes del motor.

Ilustración 2

Motor S16R-PTAA2



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2.1

Características del Motor

Característica	Detalles
Tipo de motor	4 tiempos, diésel
Configuración del cilindro	16/60°V
Diámetro x carrera (mm)	170 x 180
Desplazamiento total (l)	65,37
Peso seco (kg)	6750
Dimensiones: largo x ancho x alto (mm)	3075 x 1401 x 1861
Aspiración	Turboalimentado
Sistema de refrigeración	Refrigerado por agua con enfriador de aire de sobrealimentación separado (integrado en el radiador; radiador como opción)
Sistema de combustión	Inyección directa
Sistema de inyección de combustible	Boquilla de línea de bomba (2 bombas en línea)

Sistema eléctrico (V)	24
Rotación (ISO 1204)	En sentido anti-horario
Volante y carcasa	SAE 21"/SAE #00
Configuración del cilindro	16/60°V

Nota. Las especificaciones técnicas del motor generador incluyen detalles sobre su configuración, sistema de refrigeración, sistema de inyección de combustible y otras características clave. Fuente: Mitsubishi Heavy Industries, Ltd (2023)

➤ **Beneficios**

- De tamaño compacto
- Consumo económico de combustible
- Sistema de combustible y turbocompresor diseñados y fabricados por MHI-ET
- El diseño del motor y la disposición de los componentes permiten una fácil inspección y mantenimiento.
- Las actividades de mantenimiento requieren una pequeña cantidad de herramientas especializadas.
- La similitud de piezas en todos los modelos de motor MHIET simplifica la gestión de piezas de repuesto.

➤ **Precauciones básicas y seguridad**

Operar y mantener un motor como el Mitsubishi S16R-PTAA2 requiere seguir una serie de precauciones básicas y medidas de seguridad para asegurar un funcionamiento seguro y eficiente. Antes de comenzar a operar el motor, es crucial que todos los operadores y personal de mantenimiento lean y comprendan completamente el manual del usuario proporcionado por Mitsubishi. Este manual contiene información esencial sobre las especificaciones operativas, los procedimientos de mantenimiento y las medidas de seguridad específicas para este modelo. Además, es vital asegurarse de que todos los operadores y técnicos estén adecuadamente capacitados para manejar el motor y responder a emergencias.

Antes de operar el motor, se deben realizar inspecciones pre-operativas para verificar que no haya fugas de combustible o aceite, que todos los sistemas de seguridad estén funcionales y que el área alrededor del motor esté libre de materiales inflamables.

Durante la operación, es importante usar el equipo de protección personal adecuado, incluyendo gafas de seguridad, protectores auditivos, guantes resistentes al aceite y calzado de seguridad, para protegerse contra los riesgos del ruido y las piezas móviles del motor.

➤ **Motor Generador Cummins C66D5 -18507-S**

Para el exhaustivo análisis de comparación, se seleccionó como caso de estudio al “Hospital de Tercer Nivel Daniel Bracamonte”, ubicado en la ciudad de Potosí en la villa Venezuela, que dispone de un motor generador de la marca Cummins, modelo C66D5 -18507-S, como se ilustra en la Ilustración 4. El motor Cummins se está tomando como objeto de estudio en este proyecto debido a que originalmente era un motor Mitsubishi. Para permitir el uso de una mezcla de combustible diésel-etanol, se modificó con partes de un motor Cummins. Este reacondicionamiento incluyó la sustitución y adaptación de varios componentes críticos para asegurar la compatibilidad y eficiencia en el uso del nuevo tipo de combustible. Las modificaciones específicas permitieron que el motor pudiera aprovechar las ventajas del bio-diésel, reduciendo significativamente las emisiones contaminantes y los costos operativos. Este proceso de adaptación es fundamental para evaluar la viabilidad técnica y económica de la transición hacia combustibles más sostenibles en entornos hospitalarios.

Ilustración 3

Motor Generador “Cummins”



Fuente: Elaboración propia

➤ **Características del Motor Generador Cummins puesto a prueba**

Los generadores Cummins genuinos están diseñados, producidos y probados con los más altos estándares, lo que garantiza sistemas de generación de energía totalmente confiables e integrados. Este grupo electrógeno diésel Cummins de reserva de 66 kVA (primario de 60 kVA) está certificado según ISO8528 y está cubierto por la garantía de Cummins para el motor, el alternador y el sistema de control.

Este juego está construido con un motor Cummins de 4 tiempos, en línea, turboalimentado, pos enfriado y complementado por un alternador Stamford de campo giratorio, de 4 polos, sin escobillas y con un solo cojinete. Puede integrarse en un recinto con atenuación de sonido y protección contra la intemperie. Su diseño robusto ofrece energía confiable, bajas emisiones y una respuesta rápida a los cambios de carga.

Tabla 2.2
Características del Motor Generador Cummins

	Especificaciones
Motor	4BTAA3.3-G13
Configuración	4 ciclos, en línea, turboalimentado, después de enfriado
Alternador	Campo giratorio, sin escobillas, de un solo rodamiento.
Sistema de control	PCC1.2
Dimensiones (LWH)	Abierto: 2050 x 967 x 1510 mm Cerrado: 2270 x 975 x 1920 mm
Peso abierto	Seco: 1019 kg Húmedo: 1423 kg
Peso incluido	Seco: 1107 kg Húmedo: 1511 kg
Tamaño del tanque de combustible	323 doble piel

Nota. Este grupo electrógeno comercial Cummins® es un sistema de generación de energía totalmente integrado. Fuente: Macfarlane Generators (2024)

El motor generador Cummins C66D5-18507-S, ha demostrado un funcionamiento óptimo durante un periodo de 4 años. Una de las ventajas más significativas de este motor es su uso de Bio-diesel, que consiste en una mezcla de diésel con etanol, en contraste con el motor de estudio que opera con etanol puro.

Esta particularidad del motor Cummins no solo contribuye a un mejor perfil ambiental gracias a la reducción de emisiones nocivas, sino que también implica una integración más sostenible con las políticas de energía renovable.

2.1.2.3 Características del Analizador de Gases de escape

Se fue a realizar las pruebas correspondientes en cuanto a las emisiones contaminantes con ayuda de un Analizador de Gases de escape marca Kane modelo EGA4/S como se muestra en la Ilustración 5.

Ilustración 4

Analizador de Gases de escape



Fuente: Elaboración propia

➤ Funcionamiento del Analizador de Gases Kane EGA4/S

El Kane EGA4/S opera mediante la detección y análisis de los gases de combustión a través de sensores electroquímicos y ópticos. Aquí se explica su funcionamiento en detalle:

1. Muestreo de Gases

La sonda de muestreo toma una muestra de los gases de escape del motor. Esta muestra es transportada al interior del analizador a través de una bomba interna.

2. Filtración y Condensación

Antes de llegar a los sensores, los gases pasan a través de filtros para eliminar partículas y condensadores para eliminar el exceso de humedad que podría afectar la precisión de las mediciones.

3. Medición de Gases

- **Sensores Electroquímicos:** Estos sensores detectan gases como CO (monóxido de carbono), NO (óxidos de nitrógeno), y O₂ (oxígeno). Funcionan mediante la generación de una corriente eléctrica proporcional a la concentración del gas presente.
- **Sensores Infrarrojos (IR):** Utilizados para medir gases como CO₂ (dióxido de carbono). Estos sensores funcionan mediante la absorción de luz infrarroja a ciertas longitudes de onda específicas de los gases que se miden.

4. Procesamiento de Señales:

Las señales generadas por los sensores son procesadas por el microcontrolador del dispositivo. Este cálculo convierte las señales en concentraciones de gas, que son presentadas en la pantalla del analizador en unidades como ppm (partes por millón) o % (porcentaje).

5. Calibración y Ajustes:

El analizador tiene funciones de autocalibración que aseguran la precisión de las mediciones. Además, puede ser recalibrado periódicamente usando gases de referencia según las especificaciones del fabricante.

➤ **Seguridad y Mantenimiento**

- **Seguridad:** Utilice el analizador de gases en un área bien ventilada para evitar la acumulación de gases tóxicos. Use equipos de protección personal según sea necesario.
- **Mantenimiento:** Realice un mantenimiento regular del dispositivo, incluyendo la limpieza de filtros, verificación de sondas, y recalibración según las instrucciones del fabricante para asegurar mediciones precisas y consistentes.

El uso adecuado del analizador Kane EGA4/S proporciona datos precisos sobre las emisiones de los motores, permitiendo la identificación y reducción de contaminantes para cumplir con las normativas ambientales.

2.1.3 Evaluación Sistemática de Problemas y Desafíos Operacionales

2.1.3.1 Problemática Ambiental

Cuando el motor entra en funcionamiento, se generan diversos contaminantes atmosféricos, especialmente debido a la utilización de diésel como combustible. Un estudio realizado por la empresa constructora del hospital ha documentado que el motor emite 3.73 gramos de óxidos de nitrógeno (NOx) por cada kilovatio hora de energía producida y 2.85 kilogramos de dióxido de carbono (CO₂) por cada litro de diésel consumido. Además, es esencial considerar otros contaminantes que, aunque no fueron objeto del estudio mencionado, como las partículas de hollín, los metales pesados y los óxidos de azufre, también contribuyen significativamente a la contaminación ambiental. Estos elementos tienen un impacto directo y perjudicial sobre la salud de los pacientes, exacerbando problemas respiratorios y cardiovasculares, entre otros. Por lo tanto, es imprescindible abordar de manera integral la emisión de estos contaminantes para minimizar sus efectos adversos en la salud pública y el medio ambiente.

2.1.3.2 Problemática Económica

El motor actualmente seleccionado para la operación requiere el uso exclusivo de diésel puro como combustible. No obstante, en el mercado general, el diésel disponible a nivel nacional incluye habitualmente un aditivo de etanol al 20%. En respuesta a esta situación, se ha establecido un acuerdo especial con Yacimientos Petrolíferos Fiscales

Bolivianos (Y.P.F.B.). Mediante este contrato, la empresa estatal suministra al hospital diésel con las especificaciones técnicas exactas requeridas. El costo asociado a este combustible especializado es de 7,50 bolivianos por litro, implicando que el llenado completo del tanque del motor, que posee una capacidad de 400 litros, asciende a un total de 3000 bolivianos. Sin embargo, es importante considerar que este costo podría disminuir significativamente si se exploran alternativas en la selección del tipo de combustible, lo cual podría representar una oportunidad para la optimización de recursos en el mantenimiento y operación del equipo.

2.1.3.3 Problemática Social

Por otra parte, resulta importante considerar la necesidad de preservar los combustibles fósiles no renovables, especialmente aquellos que no se producen en abundancia dentro del territorio nacional, como es el caso del diésel. De acuerdo con información provista por el Instituto Nacional de Estadística (INE), la importación de este combustible representa una erogación significativa para el país, ascendiendo a aproximadamente 1.335,3 millones de dólares estadounidenses. Paralelamente, es crucial subrayar la relevancia del desarrollo de la industria del etanol, que se proyecta alcanzará una producción de 380 millones de litros para el año 2025. Este aumento en la producción no solo contribuye a la diversificación energética, sino que también impulsa la creación de numerosos empleos en el sector agrícola, representando una oportunidad valiosa que debe ser aprovechada al máximo para fomentar un desarrollo sostenible y reducir la dependencia de los combustibles importados.

2.2 INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS

2.2.1 Análisis de la infraestructura existente y los sistemas de generación de energía en las instalaciones hospitalarias.

2.2.1.1 Equipación del Hospital

Estos equipos no solo requieren energía para su funcionamiento básico, sino también para mantener las condiciones ambientales necesarias, como la refrigeración y el mantenimiento de la presión, lo que contribuye a su alto consumo energético en hospitales de tercer nivel. Según el inventario del Hospital Eugenio Natalini, los equipos que consumen más energía en el establecimiento son los siguientes:

- **Tomógrafo Computarizado:** Utilizado para obtener imágenes detalladas del interior del cuerpo, requiere una cantidad significativa de energía para operar los escáneres y los sistemas de refrigeración.
- **Resonancia Magnética:** Similar al tomógrafo computarizado, utiliza campos magnéticos y ondas de radio para generar imágenes del cuerpo. Este equipo es uno de los mayores consumidores de energía debido a su necesidad de mantener los imanes superconductores a temperaturas extremadamente bajas.
- **Aparatos de Radioterapia:** Utilizados en el tratamiento del cáncer, estos dispositivos emplean radiación de alta energía y requieren una considerable cantidad de energía para su funcionamiento.
- **Equipos de Ventilación Mecánica:** Utilizados en unidades de cuidados intensivos, los ventiladores mecánicos funcionan de manera continua para asistir la respiración de los pacientes críticos.
- **Sistemas de Iluminación Quirúrgica:** Las luces utilizadas en los quirófanos para proporcionar una iluminación intensa y precisa durante las cirugías también tienen un alto consumo energético.
- **Sistemas de Esterilización y Autoclaves:** Estos equipos son esenciales para la esterilización de instrumentos médicos y consumen una gran cantidad de energía para generar el calor y la presión necesarios.
- **Sistemas de Diálisis:** Utilizados para filtrar los desechos y el exceso de agua de la sangre de los pacientes con insuficiencia renal, estos sistemas requieren un suministro constante de energía.

- **Refrigeradores y Congeladores Médicos:** Utilizados para almacenar sangre, medicamentos y muestras biológicas, deben mantener temperaturas específicas de manera constante, lo que resulta en un alto consumo energético.

Ilustración 5

Equipos del Hospital Eugenio Natalini



Fuente: Rocio Ruiz · El Potosí (2023)

El consumo de energía de los equipos médicos en un hospital de tercer nivel puede variar considerablemente dependiendo del tipo de equipo, su uso y la duración de su funcionamiento. A continuación, se proporciona un estimado del consumo diario de energía para algunos de los equipos médicos más energéticamente intensivos:

Tabla 2.3

Consumo promedio diario de energía para diferentes equipos

Equipo Médico	Consumo Promedio Diario (kW)	Factores
Tomógrafo Computarizado (CT)	200-300	Utilizado durante varias horas al día, requiere energía para escaneo y refrigeración
Resonancia Magnética (MRI)	200-400	Alta energía para operar imanes superconductores y sistemas de refrigeración
Aparatos de Radioterapia	150-250	Utilizados para tratamientos de cáncer, requieren energía para generar radiación

Equipos de Ventilación Mecánica	20-40 por ventilador	Funcionan continuamente en unidades de cuidados intensivos
Sistemas de Iluminación Quirúrgica	10-20 por quirófano	Iluminación intensa y precisa durante cirugías
Sistemas de Esterilización y Autoclaves	30-50	Necesitan energía para generar calor y presión para la esterilización
Sistemas de Diálisis	15-30 por máquina	Operan varias horas al día para tratamientos de diálisis
Refrigeradores y Congeladores Médicos	5-10 por unidad	Mantienen temperaturas constantes para almacenamiento seguro de sangre, medicamentos y muestras biológicas

Nota. Esta tabla proporciona una estimación del consumo energético diario y los factores que influyen en el consumo de los principales equipos médicos en un hospital de tercer nivel. Fuente: U.S. Department of Energy. (2017)

Teniendo en cuenta que en un día la potencia requerida para todos los aparatos médicos es de 1100 Kwatt/día basándonos en solo una hora de trabajo del motor llegamos a una estimación de 45 Kwatt/ por hora del combustible para los motores.

Conscientes de esta problemática, se ha tomado la decisión por norma de integrar un motor generador alimentado por combustible diésel como una solución efectiva para garantizar la continuidad operativa del hospital. Este motor generador no solo proporcionará un respaldo esencial en casos de cortes de energía, que son relativamente comunes en la zona debido a su proximidad a complejos mineros, sino que también optimizará la eficiencia energética del hospital al permitir una gestión más controlada y autónoma de su suministro eléctrico. Esta medida no solo asegura la operatividad ininterrumpida del hospital en situaciones adversas, sino que también refuerza su capacidad para brindar atención médica de calidad a la comunidad, incluso en condiciones desafiantes.

2.2.2 Estimación de las emisiones de CO₂ y NO_x del motor generador Mitsubishi S16R-PTAA2 a diésel y del motor Cummins C66D5-18507-S

2.2.2.1 Procedimiento de Medición para el Analizador de Gases de Escape Kane Modelo EGA4/S del motor generador Mitsubishi S16R-PTAA2 a diésel y del motor Cummins C66D5-18507-S

Se realizó las pruebas para medir las emisiones contaminantes, utilizando el Analizador de Gases de escape Kane modelo EGA4/S.

1. Se comenzó por preparar el equipo, asegurándonos de que el analizador de gases estuviera completamente cargado y en óptimas condiciones de funcionamiento.
2. Se verifico que todos los filtros estuvieran limpios y que no hubiera obstrucciones en las mangueras y sondas de muestreo. Posteriormente, se calibro el equipo según las instrucciones del fabricante para asegurar mediciones precisas.
3. Encendimos el analizador de gases y esperamos unos minutos para que se estabilizara, permitiendo que el equipo realizara sus autopruebas y ajustes iniciales.
4. Se seleccionó el tipo de combustible utilizado en el motor, en este caso diésel o mezcla de etanol-diésel, en la configuración del analizador.
5. Se instaló la sonda de muestreo en el tubo de escape del motor, asegurándome de que estuviera firmemente colocada y no hubiera fugas de gases durante el muestreo. La sonda se introdujo lo suficientemente profunda en el tubo de escape para captar una muestra representativa de los gases emitidos.
6. Se inició el motor y lo dejé funcionar durante un período de tiempo adecuado para que alcanzara su temperatura de operación normal. En el analizador de gases, inicié la secuencia de muestreo presionando el botón correspondiente para comenzar la captura de datos.
7. Se permitió que el analizador de gases capturara y registrara los datos de las emisiones durante un período de tiempo suficiente para obtener una muestra representativa y estable de las emisiones. El analizador midió y registró

concentraciones de diferentes contaminantes, como CO, CO₂, NO_x, HC y partículas finas.

8. Una vez completada la medición, se revisó los datos obtenidos en la pantalla del analizador para verificar que todos los valores fueran consistentes y no hubiera anomalías. Si fue necesario, realicé mediciones adicionales para asegurar la precisión y consistencia de los resultados.
9. Guardé los datos de las mediciones en la memoria del analizador y los transferí a una computadora para un análisis más detallado.
10. Se analizó los datos obtenidos para evaluar las emisiones contaminantes del motor, comparando los resultados con las normativas ambientales y los objetivos del estudio.
11. Finalmente, después de completar las mediciones, se limpió la sonda de muestreo y otros componentes utilizados durante el proceso. Se realizó una revisión del analizador de gases para asegurar que estuviera listo para futuras mediciones, reemplazando filtros y otros consumibles según fuera necesario. Este procedimiento me permitió realizar el levantamiento de emisiones contaminantes de manera sistemática y precisa, utilizando el Analizador de Gases de escape Kane modelo EGA4/S.

Estas pruebas se llevaron a cabo de manera meticulosa, siguiendo los protocolos establecidos para garantizar la precisión y fiabilidad de los resultados. El uso de este equipo permitió obtener datos detallados sobre la composición de los gases de escape, proporcionando información esencial para el análisis de las emisiones de los motores evaluados. La metodología empleada aseguró que las mediciones reflejaran con exactitud las condiciones operativas reales de los motores, permitiendo así una evaluación precisa de su impacto ambiental.

2.2.2.2 Resultados de las lecturas de las emisiones por el Analizador de Gases de Escape Kane Modelo EGA4/S de ambos generadores

➤ **Emisiones de CO2 y NOx del motor generador Mitsubishi S16R-PTAA2**

Tabla 2.1

Resultados para la prueba de Emisiones para el motor generador Mitsubishi S16R-PTAA2

Motor	Combustible	NOx (gr/Kwtt)	CO ₂ (Kg/L)
Mitsubishi S16R - PTAA2	Diésel	3,73	2,85

Nota. La tabla muestra las emisiones de NOx y CO2 de diferentes motores generadores utilizando diésel. Fuente: Elaboración propia

➤ **Emisiones de CO2 y NOx del motor generador Cummins**

Tabla 2.5

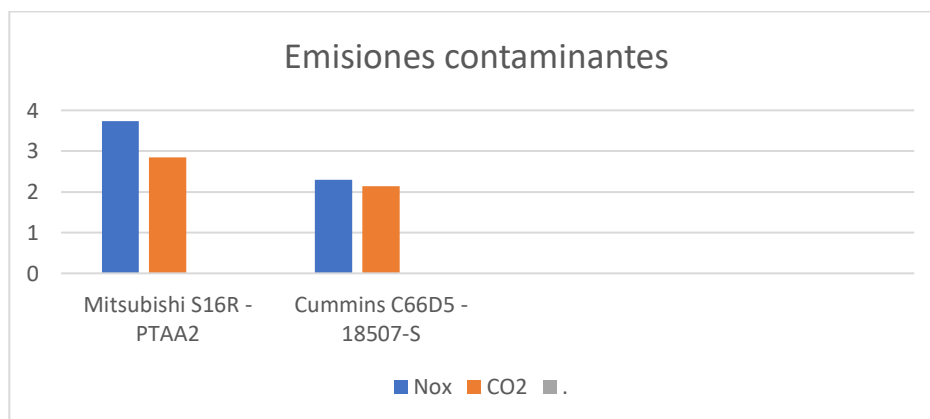
Resultados para la prueba de Emisiones

Motor	Combustible	NOx (gr/Kwtt)	CO ₂ (Kg/L)
Cummins C66D5 - 18507-S	Etanol - Diésel	2,3	2,14

Nota. La tabla muestra las emisiones de NOx y CO2 de diferentes motores generadores utilizando diésel y bio-diésel como combustible. Fuente: Elaboración propia

Ilustración 6

Resultados para la prueba de Emisiones



Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos han sido notablemente positivos, destacando una reducción sustancial en la contaminación cuando se utiliza una mezcla de etanol y diésel. Específicamente, el motor Mitsubishi S16R-PTAA2, utilizando diésel puro, emite 3.73 gramos de NOx por kilovatio-hora producido y 2.85 kilogramos de CO2 por litro de diésel consumido, como se detalla en la Tabla 2.4.

En comparación, el motor Cummins C66D5-18507-S, utilizando una mezcla de etanol y diésel, emite solo 2.3 gramos de NOx por kilovatio-hora y 2.14 kilogramos de CO2 por litro de mezcla consumida, como se muestra en la Tabla 2.5. Esto representa una reducción significativa en las emisiones de NOx y CO2, que se debe tanto a las propiedades químicas del etanol como a su capacidad para mejorar la eficiencia de la combustión. Estos beneficios ambientales son visualizados en la Ilustración 6, que facilita una comparación directa entre los diferentes sistemas evaluados.

2.2.3 Producción de CO2 en la Combustión del Motor Generador Mitsubishi S16R-PTAA2

Diésel:

$$\frac{32 \text{ mol de } CO_2}{2 \text{ mol de } C_{16}H_{34}} = \frac{32}{2} = 16 \text{ mol de } CO_2 \text{ por mol de } C_{16}H_{34} \quad (1)$$

Etanol:

$$\frac{2 \text{ mol de } CO_2}{1 \text{ mol de } C_2H_5OH} = 2 \text{ mol de } CO_2 \text{ por mol de } C_2H_5OH \quad (2)$$

Al mezclar etanol con diésel, la producción total de CO2 por unidad de energía se reduce debido a la menor cantidad de carbono en el etanol.

2.2.3.1 Cálculo de Emisiones para Mezcla Molar Etanol-Diésel

Se usa una mezcla de 20% etanol y 80% diésel en masa.

✚ Masa Molar:

- Masa molar de $C_{16}H_{34}$ (diésel): 226.44 g/mol
- Masa molar de C_2H_5OH (etanol): 46.07 g/mol

✚ Consumo de Combustible:

1 kg de mezcla (20% etanol y 80% diésel) contiene

$$0.2 \text{ kg} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ mol}}{46.07 \text{ g}} \approx 4.34 \text{ mol de } C_2H_5OH$$

$$0.8 \text{ kg} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ mol}}{226.44 \text{ g}} \approx 3.53 \text{ mol de } C_{16}H_{34}$$

✚ Emisiones Totales de CO₂ para la Mezcla:

Produccion de CO₂:

$$CO_2 \text{ del diesel: } 3.53 \text{ mol de } C_{16}H_{34} \times \frac{16 \text{ mol de } CO_2}{\text{mol de } C_{16}H_{34}} = 56.48 \text{ mol de } CO_2$$

$$CO_2 \text{ del etanol: } 4.34 \text{ mol de } C_2H_5OH \times \frac{2 \text{ mol de } CO_2}{\text{mol de } C_2H_5OH} = 8.68 \text{ mol de } CO_2$$

✚ Emisiones Totales de CO₂ para la Mezcla:

$$56.48 \text{ mol de } CO_2(\text{diésel}) + 8.68 \text{ ml de } CO_2(\text{etanol}) = 65.16 \text{ mol de } CO_2$$

✚ Comparación con Diésel Puro:

Si se utilizara 1 kg de Diésel puro (aproximadamente 4.42 mol de $C_{16}H_{34}$):

$$4.42 \text{ mol de } C_{16}H_{34} \times 16 \text{ mol de } CO_2 / \text{mol de } C_{16}H_{34} = 70.72 \text{ mol de } CO_2$$

La mezcla de etanol y diésel no solo reduce las emisiones de NO_x debido a la temperatura de llama más baja y la mejor atomización del combustible, sino que también disminuye significativamente las emisiones de CO₂. Al utilizar una mezcla de 20% etanol y 80% diésel, se obtienen 65.16 mol de CO₂ por cada kilogramo de mezcla. Esto

representa una reducción significativa en comparación con las 70.72 mol de CO₂ producidas por el uso de 1 kg de diésel puro. Este cálculo demuestra que la mezcla de combustibles reduce las emisiones de CO₂ en aproximadamente 5.56 mol por kilogramo de combustible, lo cual se traduce en una disminución del 7.9%. Esta reducción es considerable, teniendo en cuenta el menor contenido de carbono del etanol y su capacidad para mejorar la eficiencia de combustión.

Además, la menor temperatura de llama de la mezcla etanol-diésel contribuye a una reducción en la formación de NO_x, debido a la menor formación de zonas de alta temperatura en la combustión. Esto no solo mejora la calidad del aire en los entornos hospitalarios, sino que también se alinea con las regulaciones ambientales más estrictas, promoviendo un ambiente más seguro y saludable. Estos beneficios ambientales hacen que la mezcla de etanol y diésel sea una opción más sostenible y eficiente para la generación de energía en entornos críticos como los hospitales, donde la reducción de emisiones es crucial para la salud y el bienestar de los pacientes y el personal.

2.2.4 Cálculos de la eficiencia de trabajo del motor generador Mitsubishi S16R-PTAA2

2.2.4.1 Datos Iniciales:

Motor Mitsubishi S16R-PTAA2:

- Potencia requerida: 45 kW/h (información calculada en las especificaciones de la infraestructura del hospital)
- Consumo de Etanol-diésel: 12.33 L/h (información recabada en base a datos proporcionados por el hospital)
- Consumo de Diésel: 8.75 L/h (información recabada en base a datos proporcionados por el hospital)

2.2.4.2 Desarrollo

✚ **Eficiencia Térmica del Motor (η):**

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

- P_{out} = Potencia de salida del motor (kW)
- P_{in} = Potencia de entrada del combustible (kW)

✚ **Potencia de Entrada del Combustible (P_{in}):**

$$P_{in} = \frac{m \times LHV}{3600} \quad (4)$$

Donde:

- m = Flujo másico de combustible (kg/s)
- **LHV**= Valor Calorífico Inferior del combustible (kJ/kg)

2.2.4.3 Cálculos de la Eficiencia Energética

a) **Motor Mitsubishi S16R-PTAA2 consumo Diésel**

- Consumo de diésel: 8.75 L/h
- Densidad del diésel: 0.832 kg/L
- Valor Calorífico Inferior del diésel (LHV): 42,500 kJ/kg

$$\dot{m} = \text{Consumo de diesel} \times \text{Densidad del Diesel} = 8,75 \frac{L}{h} \times 0,832 \frac{kg}{L} = 7,28 \frac{kg}{h}$$

$$P_{in} = \frac{\dot{m} \times LHV}{3600} = \frac{7,28 \frac{kg}{h} \times 42,500 \frac{kJ}{kg}}{3600 \frac{s}{h}} = 86.02 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 = \frac{45 \text{ kW}}{86,02 \text{ kW}} \times 100 = 52,31\%$$

b) Motor Mitsubishi S16R-PTAA2 consumo Etanol-Diésel

- Consumo de Etanol-Diésel: 12.33 L/h
- Densidad del Etanol-Diésel: 0.88 kg/L
- Valor Calorífico Inferior del Etanol-Diésel (LHV): 37,800 kJ/kg

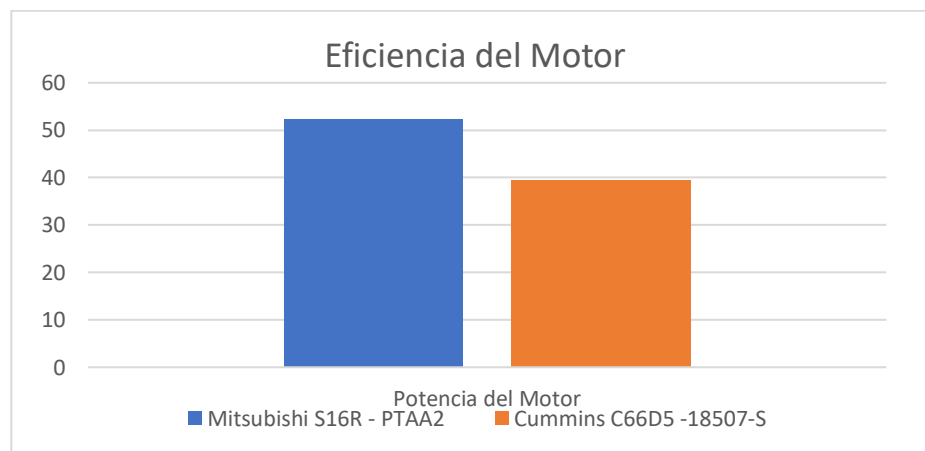
$$\dot{m} = \text{Consumo de diesel} \times \text{Densidad del Diesel} = 12.33 \frac{L}{h} \times 0.88 \frac{kg}{L} = 10.85 \frac{kg}{h}$$

$$P_{in} = \frac{\dot{m} \times LHV}{3600} = \frac{10.85 \frac{kg}{h} \times 37,800 \frac{kJ}{kg}}{3600 \frac{s}{h}} = 113.95 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 = \frac{45 \text{ kW}}{113.95 \text{ kW}} \times 100 = 39.49\%$$

Ilustración 7

Resultados de la eficiencia del Motor



Fuente: Elaboración propia

El motor Mitsubishi S16R-PTAA2 opera con una eficiencia energética del 52.31% en el caso de consumo por diésel y una eficiencia energética del 39.49% en caso del Etanol-diésel. Es importante destacar que la eficiencia obtenida se debe a que el motor no está siendo operado a su máxima capacidad. El motor está diseñado para manejar una mayor carga, y operarlo a menor capacidad reduce su eficiencia relativa. Sin embargo, esto no presenta problemas operativos y puede prolongar la vida útil del motor al reducir el desgaste.

2.2.5 Evaluación comparativa entre el motor generador S16R-PTAA2 y el motor Cummins C66D5-18507-S.

Tabla 2.6
Evaluación comparativa en forma de tabla entre el combustible

Aspecto	Motor PTAA2 (Diésel)	Motor Cummins C66D5-18507-S (Diésel-Etanol)
Emisiones de Gases	Cumple con las regulaciones de emisiones de CO ₂ y NO _x .	Emplea tecnologías de reducción de emisiones para minimizar la producción de CO ₂ y NO _x .
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Amplia experiencia de uso en aplicaciones industriales pesadas. • Diseño robusto y confiable. • Alta eficiencia en el consumo de diésel. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción significativa de emisiones contaminantes como CO₂ y NO_x. • Posible menor dependencia del petróleo. • Flexibilidad en la utilización de biocombustibles como el etanol.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mayor producción de gases contaminantes como CO₂ y NO_x en comparación con tecnologías más modernas. ➤ Dependencia del petróleo como fuente de combustible. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Posible menor eficiencia energética debido a la mezcla diésel-etanol. ➤ Necesidad de ajustes en el mantenimiento y posible corrosión por el uso de etanol.
Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> ○ Mantenimiento periódico estándar según las 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Mantenimiento similar al diésel estándar, pero con consideraciones adicionales para el

	especificaciones del fabricante.	tratamiento del sistema de combustible con etanol.
	○ Puede requerir filtros avanzados para controlar las emisiones.	○ Posible necesidad de reemplazo de componentes debido a la corrosión.
Rendimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Rendimiento comprobado en la generación de energía continua. • Potencia nominal estable y consistente 	<ul style="list-style-type: none"> • Rendimiento aceptable en la generación de energía, aunque puede verse ligeramente afectado por la composición diésel-etanol.
Eficiencia	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Alta eficiencia en la conversión de combustible en energía eléctrica. ❖ Baja tasa de consumo de diésel por unidad de energía producida. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Eficiencia razonable en la conversión de combustible en energía eléctrica, con una posible reducción en comparación con el diésel puro debido al etanol.

Nota. La Tabla recopila la información tomando en cuenta todos los aspectos ya citados.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.2
Tabla de calificación del 1 al 5 para cada aspecto

Aspecto	Motor Generador S16R-PTAA2 (Diésel)	Motor Cummins C66D5-18507-S (Diésel-Etanol)
Emisiones de Gases	3	5
Ventajas	4	5
Desventajas	3	3
Mantenimiento	4	3
Rendimiento	4	3
Eficiencia	5	4

Nota. La Tabla fue calificada según la utilidad para las funciones del Hospital

Fuente: Elaboración propia

Donde:

- **Calificación 1 (Malo):** Desempeño deficiente, necesita mejoras inmediatas.
- **Calificación 2 (Regular):** Desempeño por debajo del promedio, requiere mejoras importantes.
- **Calificación 3 (Aceptable):** Desempeño promedio, cumple con los requisitos mínimos.
- **Calificación 4 (Bueno):** Desempeño por encima del promedio, destacan aspectos positivos.
- **Calificación 5 (Excelente):** Desempeño excepcional, supera las expectativas en todos los aspectos

La evaluación comparativa y la posterior calificación de los motores generadores S16R-PTAA2 y Cummins C66D5-18507-S revelaron importantes diferencias en términos de emisiones de gases, ventajas operativas, desventajas, mantenimiento, rendimiento y eficiencia. En la tabla de calificación del 1 al 5, el motor Cummins, que utiliza una mezcla de diésel y etanol, obtuvo una puntuación máxima en la reducción de emisiones de gases (5), destacando su superioridad en este aspecto crucial. Sin embargo, en términos de mantenimiento y eficiencia, el motor Mitsubishi superó ligeramente al Cummins, obteniendo calificaciones de 4 y 5 respectivamente, en comparación con 3 y 4 del Cummins. El rendimiento del motor Mitsubishi también fue superior, con una calificación de 4 frente a 3 del Cummins. No obstante, el motor Cummins mostró una clara ventaja en la reducción de emisiones y flexibilidad en el uso de biocombustibles, lo cual es significativo para la sostenibilidad ambiental. Esta comparación exhaustiva proporcionó una visión equilibrada de los puntos fuertes y las áreas de mejora de cada motor, informando de manera efectiva la toma de decisiones respecto a la implementación de tecnologías de biocombustibles en el hospital.

2.2.6 Análisis de los costos

En este análisis, se proyectará la comparación de costos anuales de combustible entre el motor generador Mitsubishi S16R-PTAA2, que utiliza diésel, y el motor Cummins C66D5-18507-S, que opera con bio-diésel, utilizando información de precios de 2024 obtenida de la ANH. Se calculará el consumo y el costo por llenado de ambos motores, considerando la capacidad del tanque de 400 litros y la frecuencia de llenado de seis

veces al año. Esta comparación permitirá determinar los beneficios económicos de utilizar bio-diésel en lugar de diésel, evaluando así la viabilidad económica de la conversión de combustible.

2.2.6.1 Datos Iniciales

Motor Mitsubishi S16R-PTAA2

- **Precio del diésel:** 7.50 BOB/L
- **Capacidad del tanque:** 400 L
- **Consumo de diésel:** 8.75 L/h
- **Llenado del tanque:** cada dos meses (6 veces al año)

Motor Cummins C66D5-18507-S

- **Precio del Etanol-diésel:** 3.40 BOB/L
- **Capacidad del tanque:** 400 L
- **Consumo de bio-diésel:** 12.33 L/h
- **Llenado del tanque:** cada dos meses (6 veces al año)

2.2.6.2 Cálculos de Costos Anuales

Motor Mitsubishi S16R-PTAA2

Consumo por llenado:

$$\textit{Capacidad del Tanque} = 400 \textit{ L}$$

Costo por llenado:

$$\textit{Costo por Llenado} = \textit{Capacidad del Tanque} \times \textit{Precio por Litro}$$

$$\textit{Costo por Llenado} = 400 \textit{ L} \times 7.50 \frac{\textit{BOB}}{\textit{L}} = 3000 \textit{ BOB}$$

Costo anual (6 llenados al año):

$$\textit{Costo Anual} = \textit{Costo por Llenado} \times 6$$

$$\textit{Costo Anual} = 3000 \textit{ BOB} \times 6 = 18000 \textit{ BOB}$$

🚦 Motor Cummins C66D5-18507-S

Consumo por llenado:

$$\text{Capacidad del Tanque} = 400 \text{ L}$$

Costo por llenado:

$$\text{Costo por Llenado} = \text{Capacidad del Tanque} \times \text{Precio por Litro}$$

$$\text{Costo por Llenado} = 400 \text{ L} \times 3.40 \frac{\text{BOB}}{\text{L}} = 1360 \text{ BOB}$$

Costo anual (6 llenados al año):

$$\text{Costo Anual} = \text{Costo por Llenado} \times 6$$

$$\text{Costo Anual} = 1360 \text{ BOB} \times 6 = 8160 \text{ BOB}$$

2.2.6.3 Análisis de Costos

🚦 Comparación de costos anuales:

1. Motor Mitsubishi S16R-PTAA2:

Costo anual de diésel: 18,000 BOB/año

2. Motor Cummins C66D5-18507-S:

Costo anual de bio-diésel: 8,160 BOB/año

🚦 Ahorro anual al usar etanol-diésel en lugar de diésel:

$$\text{Ahorro anual} = \text{Costo anual de Diesel} - \text{Costo anual de etanol. diesel}$$

$$\text{Ahorro anual} = 18000 \frac{\text{BOB}}{\text{año}} - 8160 \frac{\text{BOB}}{\text{año}} = 9840 \frac{\text{BOB}}{\text{año}}$$

El análisis de costos de los motores generadores Mitsubishi S16R-PTAA2 y Cummins C66D5-18507-S revela que el uso de bio-diésel es significativamente más económico que el diésel convencional. El motor Cummins, que utiliza una mezcla de bio-diésel y etanol, incurre en un costo anual de 8160 BOB, comparado con los 18000 BOB del motor Mitsubishi que opera con diésel, resultando en un ahorro anual de 9840 BOB. Este ahorro, basado en datos de la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) para 2024,

demuestra la viabilidad económica y ambiental del bio-diésel en aplicaciones hospitalarias.

2.3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

La evaluación del motor generador Cummins C66D5 -18507-S en el Hospital de Tercer Nivel Daniel Bracamonte revela varios puntos críticos en términos de eficiencia energética y sostenibilidad ambiental. Utilizando un análisis de hoja de cálculo y datos obtenidos mediante un analizador de gases, se observa que este motor, que emplea Bio-diesel (una mezcla de diésel con etanol), presenta emisiones significativamente más bajas de óxidos de nitrógeno y CO₂ en comparación con otros combustibles tradicionales. Esta reducción de emisiones es vital para minimizar el impacto ambiental del hospital, especialmente en una ubicación como Potosí, donde la calidad del aire puede ser una preocupación debido a actividades industriales y mineras cercanas

Desde el punto de vista de la eficiencia operativa, aunque el motor Cummins tiene una capacidad ligeramente menor (2150 Kw) en comparación con el motor Mitsubishi S16R - PTAA2 (2303 Kw), la diferencia en la producción de energía es marginal en relación con los beneficios en costo y emisiones. El uso de bio-diésel en el motor Cummins C66D5-18507-S resulta en un ahorro significativo en costos de combustible en comparación con el uso de diésel en el motor Mitsubishi S16R-PTAA2. Específicamente, se logra un ahorro anual de 9,840 BOB. Este ahorro no solo representa una reducción en los costos operativos, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental debido a las menores emisiones contaminantes asociadas con el bio-diésel. Por lo tanto, la transición hacia el uso de etanol-diésel es tanto económicamente viable como ambientalmente beneficiosa para el hospital.

De la misma manera se realizó una guía de consideraciones de conversión de combustibles, la cual se encuentra en los anexos del documento.

CAPÍTULO III: CONCLUSIONES

El análisis técnico y económico de la inyección de etanol en motores generadores de diésel realizado para el Hospital de Tercer Nivel "Fray Giovanni Eugenio Natalini Magnani" permitió cumplir con los objetivos específicos planteados de manera satisfactoria. Se logró analizar la infraestructura existente y los sistemas de generación de energía en las instalaciones hospitalarias, verificando que el motor Mitsubishi S16R-PTAA2, después de una revisión exhaustiva de sus componentes críticos, se encontraba en condiciones adecuadas para la transición al uso de etanol como combustible. Este análisis confirmó que el hospital cuenta con la infraestructura necesaria para soportar la implementación de nuevas tecnologías de combustión más limpia.

La investigación de las tecnologías disponibles para la inyección de etanol en motores diésel permitió identificar varias opciones viables, incluyendo los sistemas de inyección directa de etanol (EDIS), sistemas de mezcla de etanol-diésel (E-Diesel) y sistemas dual-fuel. Estas tecnologías demostraron ser técnicamente factibles y compatibles con la infraestructura existente, proporcionando una base sólida para la implementación de etanol en motores hospitalarios. Se concluyó que la adopción de estas tecnologías no solo es posible, sino también beneficiosa en términos de eficiencia y reducción de emisiones.

Las pruebas de emisiones realizadas mostraron una mejora significativa en la eficiencia de combustión y una reducción considerable de las emisiones de CO₂ y NO_x al utilizar una mezcla de etanol y diésel. Estos resultados confirman que la inyección de etanol no solo es una solución viable para reducir el impacto ambiental de las operaciones hospitalarias sino también una opción que no compromete la funcionalidad de los equipos médicos críticos. La disminución de las emisiones contaminantes contribuye directamente a mejorar la calidad del aire en las instalaciones hospitalarias, lo cual es crucial para la salud de los pacientes y el personal.

Los resultados obtenidos al comparar los costos entre el motor Mitsubishi S16R-PTAA2 y el motor Cummins C66D5-18507-S indican un ahorro significativo al utilizar una mezcla de diésel-etanol en lugar del diésel puro. El análisis mostró que el costo anual de

operación del motor Mitsubishi con diésel es considerablemente más alto en comparación con el motor Cummins modificado para utilizar bio-diésel. Específicamente, el ahorro anual al utilizar el motor Cummins es de 9,840 BOB, lo cual representa una reducción del 54.67% en los costos de combustible.

Esta diferencia en costos se debe principalmente al menor precio del bio-diésel en comparación con el diésel puro, así como a la mayor eficiencia del motor modificado en términos de consumo de combustible.

La evaluación comparativa entre el motor Mitsubishi S16R-PTAA2 y el motor Cummins C66D5-18507-S reveló importantes diferencias y consideraciones clave para la implementación de una mezcla de etanol y diésel en motores generadores. Aunque ambos motores presentan ventajas y desventajas específicas, la inclusión de etanol en el combustible del motor Cummins ofrece beneficios significativos, particularmente en la reducción de emisiones contaminantes y en la disminución de los costos operativos.

En esta comparación se observó que, a pesar de una ligera reducción en la eficiencia energética del motor Cummins debido a la mezcla de combustibles, los beneficios ambientales y económicos resultantes compensan ampliamente esta desventaja. La mezcla de etanol y diésel no solo contribuye a una notable disminución de emisiones de CO₂ y NO_x, sino que también reduce considerablemente los gastos en combustible, resultando en un ahorro significativo a largo plazo.

3.1 Recomendaciones

En términos de recomendaciones, se sugiere continuar con la implementación gradual de la tecnología de inyección de etanol en otros motores y sistemas dentro del hospital, monitoreando de cerca el rendimiento y las emisiones para ajustar los procesos según sea necesario. Además, se recomienda explorar la posibilidad de alianzas estratégicas con proveedores de etanol y tecnologías de inyección para asegurar un suministro constante y a precios competitivos. La capacitación continua del personal técnico también es esencial para asegurar un manejo adecuado y eficiente de los nuevos sistemas de combustible. Estas acciones no solo contribuirán a la sostenibilidad operativa del hospital, sino que también servirán como modelo para otras instituciones que buscan reducir su huella ambiental y mejorar su eficiencia energética.

Además, se recomienda la realización de estudios adicionales para optimizar la mezcla de etanol y diésel, buscando maximizar la eficiencia energética y minimizar cualquier posible efecto negativo en el rendimiento del motor. La implementación de programas de mantenimiento específico para motores que utilicen mezclas de etanol también será crucial para prevenir problemas de corrosión y asegurar la longevidad de los equipos. Finalmente, se sugiere la difusión de los resultados de este estudio a través de publicaciones científicas y conferencias técnicas, con el objetivo de compartir el conocimiento adquirido y promover la adopción de tecnologías de combustibles alternativos en el sector de la salud y más allá.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Anker. (2024). Cómo elegir generadores de respaldo para hospitales. Anker US. Recuperado de <https://www.anker.com>
2. Camilo Montero. (2011). "Estudio de la combustión de un motor monocilíndrico de ignición alimentado con mezclas gasolina-etanol anhidro e hidratado a distintas concentraciones"
3. Endesa Fundación: El generador eléctrico, 2024. Recuperado de <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educacion/recursos/generador-electrico>
4. Folkson, R. (Ed.). (2014). *Alternative Fuels and Advanced Vehicle Technologies for Improved Environmental Performance: Towards Zero Carbon Transportation*. Elsevier.
5. Levenspiel, O. (1999). *Chemical Reaction Engineering* (3rd ed.). Wiley.
6. McGraw-Hill. (1994). "Motor", McGraw-Hill Enciclopedia Concisa de Ciencia y Tecnología (3rd ed.), Sybil P. Parker (Ed.), p. 714.
7. Pope III, C.A., & Dockery, D.W. (2006). Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 56(6), 709-742. <https://doi.org/10.1080/10473289.2006>
8. Rajagopalan, S., Ponnampalam, E., McCalla, D., & Stowers, M. (2005). Mejorando la rentabilidad de las plantas de etanol de molino seco. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 120(1), 37-50. doi:10.1385
9. Repsol. (2024). Energía para nuestro día a día. Recuperado de <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/movilidad-sostenible/tipos-de-combustibles/index.cshtml>
10. Rocío Lloret Céspedes. (2023). Biodiesel en Bolivia: Bueno para la economía u otra amenaza a la Amazonía. *Diálogo Chino*. Recuperado de <https://dialogochino.net/es/clima-y-energia-es/362547-biodiesel-en-bolivia-bueno-para-la-economia-u-otra-amenaza-a-la-amazonia/>
11. Shapouri, H., Duffield, J. A., & Wang, M. (2002). *The Energy Balance of Corn Ethanol: An Update*. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Economic Report No. 813.
12. Smith, J. (2020). *Introducción a la ingeniería mecánica: conceptos básicos y aplicaciones*. Editorial Tecnológica, pp. 45-68.

13. Gobierno de Bolivia. Ley actualizada. Recuperado de http://www.silep.gob.bo/norma/14009/ley_actualizada.
14. Gobierno de Bolivia. El gobierno amplía la importación de petróleo y diésel con arancel cero. La Razón. Recuperado de <https://www.la-razon.com/economia/2023/12/14/el-gobierno-amplia-la-importacion-de-petroleo-y-diesel-con-arancel-cero/>.
15. Spanish Version Instructor Manual Module 3-FINAL (Mar. 2022). Recuperado de <https://ethanolresponse.com/file/16/Spanish-Version-Instructor-Manual-Module-3-FINAL-Mar.2022.pdf>
16. Grupel Energy Everywhere. (2020). Cómo funciona un generador diésel. Recuperado de <https://grupel.eu/es/faqs/como-funciona-un-generador-diesel-grupel/#:~:text=El%20generador%20diesel%20es%20un,garantiza%20mayor%20potencia%20al%20generador.>

ANEXOS

5.1 Anexo A: Marco Normativo

5.1.1 Normativa acerca del Etanol

La legislación vigente en torno a la incorporación de etanol en combustibles fósiles se ha instaurado con el propósito de configurar un esquema regulatorio integral que facilite la producción, almacenamiento, transporte, comercialización y sinergia de Aditivos de Origen Vegetal. Este marco normativo aspira a fomentar una sustitución progresiva de la importación de insumos y aditivos químicos, así como de diésel, potenciando la autosuficiencia energética del país. Se busca promover un enfoque sostenible y autónomo en la gestión de recursos, al tiempo que se preserva la seguridad alimentaria y energética, subrayando el compromiso con la soberanía nacional y el desarrollo sostenible.

La LEY N° 1098: LEY DE 15 DE SEPTIEMBRE DE 2018 establece un marco legal para la integración de Aditivos de Origen Vegetal en el mercado energético de Bolivia. Se define a estos aditivos como productos derivados de fuentes vegetales, como el Etanol Anhidro y el Biodiesel, que se mezclan con combustibles fósiles tradicionales. La ley promueve la utilización de productos agrícolas para generar dichos aditivos, enfatizando la importancia de salvaguardar la soberanía alimentaria y energética. Se estipula que la producción de aditivos no debe comprometer los recursos alimentarios, alineándose con legislaciones ambientales y de desarrollo integral.

El desarrollo y la implementación de un Plan Multisectorial de Desarrollo Integral, que involucra a varios ministerios, se orientan hacia la maximización de los excedentes agrícolas para la producción de estos aditivos, promoviendo prácticas agrícolas sostenibles. Este plan también contempla la rehabilitación de suelos degradados, el control de la deforestación y el apoyo a productores agrícolas, con el objetivo de fomentar una producción eficiente y sustentable que respete los ecosistemas naturales. Además, la normativa establece que la producción y mezcla de estos aditivos se regirán por la ANH, garantizando que cumplan con los estándares de calidad técnicos y que la proporción en la mezcla de combustibles no exceda el 25%.

(Gaceta, 2018)

5.1.2 Reglamento de los Generadores

En Bolivia, la regulación del uso de máquinas generadoras está a cargo de la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). Esta normativa busca garantizar un manejo adecuado y seguro de estos equipos, estableciendo directrices claras sobre especificaciones técnicas, mantenimiento preventivo y normas de seguridad. El objetivo es optimizar el funcionamiento de las máquinas, promover la eficiencia energética y minimizar el impacto ambiental, asegurando que los operadores cumplan con estos estándares para una gestión energética sostenible en el país.

5.1.3 Resolución Administrativa RAR-ANH-DRC N° 017272019

5.1.3.1 Generadores Eléctricos Grupo Electrónico De Potencia Auxiliar De Emergencia

➤ De La Potencia

La potencia del Generador Eléctrico estará en función de la potencia Máxima instalada activa, calculada por un profesional del área y con un factor de seguridad mínimo igual al 20% más de la carga, debiendo tomar en cuenta todos los equipos necesarios el funcionamiento de todos los sistemas utilizados por la ANH para el control de ventas de hidrocarburos, así como los sistemas de facturación y video vigilancia.

➤ Del Tipo De Generador

Será del tipo Grupo Electrónico de Potencia Auxiliar de Emergencia, pudiendo ser del tipo móvil o estacionario, debiendo ser instalado cumplimiento distancias mínimas de seguridad y en un habiente específico para su funcionamiento, debiendo estar a un mínimo de 10 metros. de cualquier área de riesgo División y División II y cumplir con las normas NEC de instalaciones industriales, teniendo un tiempo de autonomía mínimo de 50 horas continuas, y garantizando el funcionamiento de todos los equipos eléctricos y electrónicos pertenecientes a la Estaciones de Servicio y los instalados por la Agencia Nacional de Hidrocarburos.

➤ **Del Tipo De Combustible**

Podrá usarse Generadores que requieran cualquier tipo de combustibles fósil para la transformación de energía térmica en energía eléctrica, no pudiendo existir o almacenarse ningún material inflamable en el ambiente destinado al funcionamiento.

➤ **Del Ambiente Y Distancias Mínimas De Seguridad**

El ambiente destinado al funcionamiento del Generador, deberá constar con una distancia mínima de 1 metro perimetral a cada lado del generador, con el objetivo de su fácil mantenimiento, debiendo contar con un sistema de ventilación suficiente para la circulación de los gases producto de la combustión. Deberá contar con un extintor de 10 kg y con la señalética preventiva y de seguridad correspondiente a sistemas eléctricos. (Agencia Nacional de Hidrocarburos, 2019)

5.2 Anexo B: Vista Satelital de los Hospitales de Estudio

5.2.1 Vista Satelital del Hospital Eugenio Natalini



5.2.2 Vista Satelital del Hospital Daniel Bracamonte



5.3 Anexo C: Carta de Solicitud para el ingreso al Hospital

5.3.1 Documento de la Solicitud

SOLICITUD DE INGRESO PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS SOBRE MOTORES GENERADORES PARA EL HOSPITAL DANIEL BRACAMONTE

Alexander Ontiveros Alvarado

Potosí – Tomas Frías

alex.usfx2@gmail.com

73853191

Fecha: 12 de Marzo de 2024

A la Atención de:

Director Antonio Guerra Arozemen

Hospital de Tercer Nivel Daniel Bracamonte

Estimado/a Director:

Por medio de la presente, solicito su colaboración para obtener datos relacionados con los motores generadores utilizados en el Hospital de Tercer Nivel Daniel Bracamonte. Esta información es crucial para la realización de una monografía académica enfocada en evaluar la viabilidad técnica y económica de la inyección de etanol en estos motores.

Datos Solicitados:

1. Especificaciones técnicas de los motores generadores.
2. Registros de mantenimiento y operatividad.
3. Datos sobre consumo de combustible y costos asociados.
4. Informes de emisiones contaminantes.
5. Estudios previos o documentación técnica relevante.

Justificación:

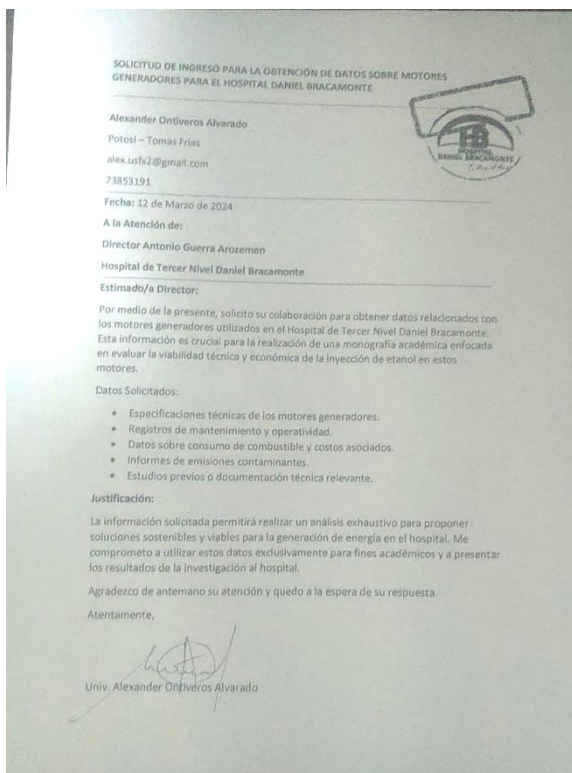
La información solicitada permitirá realizar un análisis exhaustivo para proponer soluciones sostenibles y viables para la generación de energía en el hospital. Me comprometo a utilizar estos datos exclusivamente para fines académicos y a presentar los resultados de la investigación al hospital.

Agradezco de antemano su atención y quedo a la espera de su respuesta.

Atentamente,

Univ. Alexander Ontiveros Alvarado

5.3.2 Foto de la Solicitud Aceptada



5.4 Anexo D: Guía para considerar en la Conversión de Combustible para el Motor Generador Mitsubishi S16R-PTAA2

5.4.1 Evaluación Inicial del Motor y Equipos Asociados

Inspección Técnica Detallada: Realizar una evaluación exhaustiva del motor generador Mitsubishi S16R-PTAA2 y otros equipos asociados para determinar su estado actual y compatibilidad con la inyección de etanol.

Diagnóstico de Componentes Críticos: Identificar los componentes que pueden verse afectados por el uso de etanol, como sellos, mangueras y componentes del sistema de inyección de combustible.

5.4.2 Modificación de Componentes

Sistemas de Combustible: Reemplazar los componentes del sistema de combustible que no sean compatibles con el etanol. Esto puede incluir mangueras, juntas y sellos, utilizando materiales resistentes a la corrosión.

Sistema de Inyección: Ajustar o reemplazar los inyectores y bombas de combustible para manejar la mezcla de diésel y etanol de manera eficiente.

Aditivos para Combustible: Considerar el uso de aditivos que mejoren la lubricidad y reduzcan la corrosión potencial causada por el etanol.

5.4.3 Capacitación del Personal

Entrenamiento Específico: Capacitar al personal técnico y de mantenimiento sobre los procedimientos específicos para operar y mantener motores que utilizan etanol como combustible.

Protocolos de Seguridad: Implementar protocolos de seguridad específicos para el manejo y almacenamiento de etanol, considerando sus propiedades químicas y riesgos asociados.

5.4.4 Instalación de Infraestructura Adicional

Tanques de Almacenamiento: Instalar tanques de almacenamiento dedicados para etanol y asegurar que estén debidamente etiquetados y protegidos contra incendios.

Sistemas de Mezcla: Implementar sistemas para mezclar etanol y diésel en las proporciones correctas antes de la inyección en el motor generador.

5.4.5 Monitoreo y Mantenimiento

Monitorización Continua: Instalar sistemas de monitoreo continuo para medir las emisiones de NO_x y CO₂, así como otros contaminantes, para asegurar que los beneficios ambientales se mantengan.

Mantenimiento Regular: Establecer un programa de mantenimiento regular para revisar el estado de los componentes modificados y realizar ajustes necesarios.