



UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADOS

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN
OPCIÓN AL GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER EN
GESTIÓN DE ENERGÍAS**

TÍTULO:

INFLUENCIA DEL CAMBIO DE COMBUSTIBLE CRUDO A TECNOLOGÍA
GD SOBRE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL MOTOR WARTSILA
18V32 LNGD EN LA PLANTA DE GENERACIÓN DEL BLOQUE 12
PETROAMAZONAS EN EL CAMPO EDÉN – YUTURI EN EL AÑO 2014.

Autor:
CEVALLOS Viscaino, Álvaro Guillermo

Tutor:
PhD. Ángel Hernández Moreno

LATACUNGA – ECUADOR
Octubre-2017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO
Latacunga – Ecuador

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el maestrante: Cevallos Viscaíno Álvaro Guillermo, con el título de tesis: INFLUENCIA DEL CAMBIO DE COMBUSTIBLE CRUDO A TECNOLOGÍA GD SOBRE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL MOTOR WARTSILA 18V32 LNGD EN LA PLANTA DE GENERACIÓN DEL BLOQUE 12 PETROAMAZONAS EN EL CAMPO EDÉN – YUTURI EN EL AÑO 2014, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa de Tesis.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga Octubre 27, 2017.

Para constancia firman:

MSc. MANUEL ÁNGEL LEÓN SEGOVIA
0502041353
PRESIDENTE

MSc. LUIS ANTONIO FLORES ASIMBAYA
1715793269
MIEMBRO

MSc. LUIGI ORLANDO FREIREMARTINEZ
0502529589
MIEMBRO

PhD. HECTOR ALFONSO LAURENCIO
I712813
OPONENE



**UNIVERSIDAD TECNICA DE
COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADOS
Latacunga – Ecuador**

INFORME DEL AVANCE DE LA TESIS

Latacunga Octubre 20, 2017.

Lic. Msc.
Nelson Corrales
DIRECTOR DE POSGRADOS U.T.C.
Presente

De mi consideración:

Por medio de la presente, me dirijo a su autoridad, para informar el cumplimiento de la TUTORÍA de TESIS, correspondiente al desarrollo del Capítulo de Tesis No I del maestrante: Cevallos Viscaíno Álvaro Guillermo. con el Título: INFLUENCIA DEL CAMBIO DE COMBUSTIBLE CRUDO A TECNOLOGÍA GD SOBRE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL MOTOR WARTSILA 18V32 LNGD EN LA PLANTA DE GENERACIÓN DEL BLOQUE 12 PETROAMAZONAS EN EL CAMPO EDÉN – YUTURI EN EL AÑO 2014; de la Tesis en opción al grado académico de magister en GESTIÓN DE ENERGÍAS.

Particular que informo para los fines pertinentes.

Atentamente,

.....
PhD. Ángel Hernández Moreno

RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE LA TESIS

El proyecto de tesis de maestría denominado “INFLUENCIA DEL CAMBIO DE COMBUSTIBLE CRUDO A TECNOLOGÍA GD SOBRE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL MOTOR WARTSILA 18V32 LNGD EN LA PLANTA DE GENERACIÓN DEL BLOQUE 12 PETROAMAZONAS EN EL CAMPO EDÉN – YUTURI EN EL AÑO 2014”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en las páginas correspondientes, cuya fuente se incorpora en la bibliografía.

Consecuentemente, este trabajo es de mi autoría.

En virtud de la declaración de me responsabilizo del contenido, veracidad, alcance científico del proyecto de tesis, en mención.

Latacunga, Octubre 20, 2017.

.....
Cevallos Viscaino Álvaro Guillermo
0502957129

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a Dios, a mis padres y hermanos por todo el apoyo y confianza durante mi etapa estudiantil.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi por permitirme formarme profesionalmente.

Un agradecimiento especial a mi tutor PHD. Ángel Hernández, por transmitir sus conocimientos a mi persona, además por su interés, paciencia y enseñanza durante el desarrollo del proyecto.

Por último, agradezco a la empresa PETROAMAZONAS del bloque 12 por su colaboración y apertura para la realización del proyecto

DEDICATORIA

Dedico a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, a mis padres José Cevallos y Digna Viscaíno por su apoyo incondicional, cariño y paciencia durante mi formación estudiantil, me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos. A mis hermanos por estar siempre presente, en las buenas y en las malas durante mi vida estudiantil

INDICE GENERAL

	Pág.
CONTENIDO	
PORTADA	i
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	ii
INFORME DEL AVANCE DE LA TESIS	iii
RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE LA TESIS	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
INDICE GENERAL	vii
INDICE DE TABLAS	xi
INDICE DE GRÁFICOS	xiii
CERTIFICACIÓN DE LOS CRÉDITOS QUE AVALAN LA TESIS ..	¡Error!
Marcador no definido.	
RESUMEN	xii
INTRODUCCIÓN	xiv
INTRODUCCIÓN	
EL PROBLEMA	1
Situación problemática	1
Formulación del problema.....	4
Objeto de estudio y campo de acción	4
Justificación de la investigación.....	4
Hipótesis	5
Objetivos	6
Objetivo General	6
Objetivos Específicos.....	6
Visión epistemológica.	6
Factibilidad de la investigación	8
Fundamentación Legal	9
CAPÍTULO I	
CAPÍTULO I	12

MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO	12
1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	12
1.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	14
a. Modelo energético integrado	16
b. Conceptualización.....	18
1.2.1 Fundamentos de Motores de Combustión Interna y Gestión de la Eficiencia Energética.	22
a. Motores de Combustión Interna y Motogeneración.....	22
b. Gestión de Eficiencia Energética.	27
1.2.2 Los recursos energéticos fósiles.....	32
a. Características de los combustibles fósiles.....	32
b. El crudo. Características y Propiedades.....	34
c. El gas natural. Características y propiedades.....	36
d. Aplicabilidad del gas natural como combustible	37
1.2.3 Sistemas de Generación Termoeléctrica	37
a. Generalidades de la generación termoeléctrica	37
b. Generación eléctrica por Motores Reciprocantes (MCIA).....	40
c. Clasificación de Motogeneradores.....	42
d. La cogeneración en sistemas termoeléctricos crudo – CNG	44
1.2.4 El motor Wärtsila 18V32 LNGD	47
a. Balance energético	47
b. Especificaciones técnicas.....	51
c. Datos principales de funcionamiento y condiciones de referencia..	53
d. Diseño estructural general	54

CAPÍTULO II

MARCO METODOLÓGICO	60
2.1. Modalidad y métodos de la investigación.....	60
2.2. Tipo de investigación	62
2.3. Manejo de variables dependiente e independiente.....	63
2.3.1. Determinación de variable dependiente	64
2.3.2. Determinación de variable independiente.....	65

2.3.3. Operacionalización de las variables	66
2.4. Caracterización sectorial de estudio	69
2.4.1. Configuración característica sectorial	69
2.4.2. Población y muestra	72
2.4.3. Validación del proceso de medición y selección de muestras	72
2.5. Parametrización procedimental para el cambio de tecnología.....	73
2.6.1. Parámetros considerados en tecnología de producción solo crudo	74
2.6.2. Parámetros considerados en tecnología de producción gas – crudo ...	75
2.6.3. Cálculo de rendimiento térmico del motor Wärtsila 18V32LNGD	75
2.6. Ensayos característicos de los combustibles	78
2.7.1. Lineamientos de desarrollo de ensayos	78
2.7.2. Ensayo de análisis cualitativo de crudo	80
2.7.3. Ensayo de análisis cualitativo del gas	81
2.7. Técnicas e instrumentos de la investigación	84
En esta sección se va a describir todas las técnicas e instrumentos utilizados para el desarrollo de nuestra investigación.....	84
2.8.1. Técnicas e instrumentos	84
CAPÍTULO III.....	89
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	89
3.1. Relación de aprovechamiento energético por actualización tecnológica. 89	
3.1.1. Producción energética y consumo de combustible del motor Wärtsila 18V32 – año 2010, modo solo crudo.....	89
3.1.2. Producción energética y consumo de combustible del motor ZAN 100 Wärtsila 18V32 LNGD – año 2014, modo gas crudo.....	91
3.1.3. Análisis comparativo de producción energética y consumo de combustible.....	95
3.1.4. Análisis de presiones pico en procesos de producción y Desempeño. 97	
3.1.5. Evaluación del rendimiento térmico del motor Wartsila 18V32LNGD	99
3.2. Conclusiones parciales	102

CAPÍTULO IV

MARCO PROPOSITIVO	105
4.1. Título de la propuesta.....	105
4.2. Justificación.....	105
4.3. Objetivo.....	106
4.4. Estructura de la propuesta.	106
4.4.1. Fundamento de concepción del marco propositivo.....	108
4.4.2. Proyección de producción energética estimada.	109
4.5. Análisis de factibilidad.....	111
4.5.1. Gastos de actualización.	111
4.5.2. Gastos de montaje e instalación.	113
4.5.3. Gastos de personal y estudio técnico de ingeniería.....	113
4.5.4. Gastos de mantenimiento.	115
4.5.5. Inversión total de la propuesta.	115
4.5.6. Tiempo de recuperación de la inversión total.	116
4.6. Comprobación de hipótesis.....	118
4.7. Evaluaciones de emisiones de CO ₂	118
CONCLUSIONES.....	119
RECOMENDACIONES.....	121
BIBLIOGRAFÍA.....	122
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	122
ANEXOS	123

INDICE DE TABLAS

TABLA	Pág.
Tabla 1.1. Conceptualización fuentes de energía.....	18
Tabla 1.2. Conceptualización oferta de energía.	19
Tabla 1.3. Conceptualización de centros de transformación.....	20
Tabla 1.4. Conceptualización de energía no aprovechada, pérdidas y ajuste	21
Tabla 1.5. Objetivos estratégicos e indicadores de la innovación tecnológica	30
Tabla 1.6. Propiedades físicas del petróleo crudo.....	35
Tabla 1.7. Metodologías de generación eléctrica por gas natural.	37
Tabla 1.8. Modos de operación motores sistemas GD.....	46
Tabla 1.9. Estudio técnico comparativo generador Wärtsila 18V32 – combustible líquido	49
Tabla 1.10. Estudio técnico comparativo generador Wärtsila 18V32 – combustible gas.....	50
Tabla 1.11. Especificaciones técnicas motor Wärtsila 18V32 LNGD.....	51
Tabla 1.11. Especificaciones técnicas motor Wärtsila 18V32 LNGD (continuación)	52
Tabla 1.12. Información específica estructural motor Wärtsila 18V32.....	55
Tabla 1.12. Información específica estructural motor Wärtsila 18V32 (continuación)	56
Tabla 1.12. Información específica estructural motor Wärtsila 18V32 (continuación)	57
Tabla 2.1. Operacionalización de la variable dependiente.....	67
Tabla 2.2. Operacionalización de la variable independiente.....	68
Tabla 2.4. Producción promedio Motores Wärtsila serie 18V32.....	74
Tabla 2.5. Reporte de ensayo cualitativo petróleo crudo – Petroamazonas.....	81
Tabla 2.6. Reporte de ensayo cualitativo gas – Petroamazonas.....	82
Tabla 2.7. Requisitos gas natural – Petroamazonas	83
Tabla 2.8. Técnicas e instrumentos de la investigación	86
Tabla 2.8. Técnicas e instrumentos de la investigación (continuación).....	87
Tabla 2.8. Técnicas e instrumentos de la investigación (continuación).....	88
Tabla 3.1. Registro potencia y energía Wärtsila 18V32 – año 2010.....	89

Tabla 3.2. Consumo de combustible Wärtsila 18V32 – año 2010.....	90
Tabla 3.3. Desempeño energético real y propuesto del motor Wärtsila 18V32 LNGD en el año 2010	91
Tabla 3.4. Potencia y energía producida por el motor Wärtsila 18V32 LNGD en el año 2014	92
Tabla 3.5. Consumo combustible Wärtsila 18V32 LNGD – Ene - Dic 2014.....	93
Tabla 3.6. Desempeño energético real y propuesto del motor Wärtsila 18V32 LNGD en el año 2014	94
Tabla 3.7. Comparativa de potencia y energía Wärtsila 18V32 - LNGD	95
Tabla 3.8. Consumo de combustible Wärtsila 18V32 – año 2010 – 2014.....	96
Tabla 3.9. Rendimiento térmico motor Wärtsila 18V32LNGD.....	100
Tabla 4.1. Proyección de producción potencia y energía Wärtsila 18V32	109
Tabla 4.2. Proyección de consumo de combustible crudo Wärtsila 18V32.....	110
Tabla 4.3. Proyección de consumo de combustible dual Wärtsila 18V32.....	111
Tabla 4.4. Gastos de actualización motor Wärtsila 18V32 LNGD.....	112
Tabla 4.5. Gastos de montaje e instalación Wärtsila 18V32 LNGD	113
Tabla 4.6. Gastos de personal y estudio técnico Wärtsila 18V32 LNGD.....	114
Tabla 4.7. Gastos de mantenimiento 18V32 LNGD	115
Tabla 4.8. Evaluación emisiones de CO2	119

INDICE DE FIGURAS

FIGURAS	Pág.
Figura 1.1. Modelo energético integrado.	16
Figura 1.2. Planificación energética para modelaciones a futuro.	17
Figura 1.3. Diagrama P-V del ciclo MEC de 4 tiempos	23
Figura 1.4. Ciclo Real en MEP	25
Figura 1.5. Pilares de la gestión de eficiencia energética en el desarrollo sostenible.....	28
Figura 1.6. Modelo de gestión de la innovación tecnológica y la eficiencia	30
Figura 1.7. Cadena energética del crudo y gas natural.	34
Figura 1.8. Sección de un yacimiento de gas natural.....	36
Figura 1.9. Metodología de generación termoeléctrica convencional.	38
Figura 1.10. Esquema básico de una planta térmica	39
Figura 1.11. Esquema comparativo de tecnologías de generación.	41
Figura 1.12. Esquema comparativo de tecnologías de generación.	42
Figura 1.13. GD-Fuel Sharing – Combustible Compartido en Ciclos	44
Figura 1.14. Ciclos combinados crudo - CNG.....	45
Figura 1.15. Balance energético motor Wärtsila 18V32 LNGD.....	47
Figura 1.16. Designación de cilindros y lados de transmisión.	53
Figura 1.17. Vista transversal motor Wartsila 18V32 LNGD	57
Figura 1.18. Unidad de control de Combustible Motor Wärtsila 18V32 LNGD.	59
Figura 2.1. Ubicación geográfica del Campo Edén Yuturi – bloque 12 Petroamazonas EP.....	71
Figura 2.2 Planta de Generación GD Petroamazonas EP Bloque 12.....	72
Figura 3.1. Presiones Pico – 18 cilindros Wärtsila 18V32 LNGD	97
Figura 3.2. Presión pico por cilindro Wärtsila 18V32 LNGD	98
Figura 3.3. Presión pico por cilindro Wärtsila 18V32 LNGD	98
Figura 3.4. Eficiencia del motor Wärtsila 18V32 LNGD	101
Figura 4.1. Resultado del análisis univariado utilizando la técnica test T de Student	118

UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI

UNIDAD DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS

TÍTULO:

“INFLUENCIA DEL CAMBIO DE COMBUSTIBLE CRUDO A TECNOLOGÍA GD SOBRE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL MOTOR WARTSILA 18V32 LNGD EN LA PLANTA DE GENERACIÓN DEL BLOQUE 12 PETROAMAZONAS EN EL CAMPO EDÉN – YUTURI EN EL AÑO 2014”

Autor: CEVALLOS Vicaino, Álvaro Guillermo

Tutor: HERNÁNDEZ Moreno, Ángel, PhD

RESUMEN

El presente trabajo de investigación trata concretamente sobre la influencia del cambio de combustible crudo utilizado anteriormente en los motores Wärtsila 18V32 a una mezcla dual entre crudo y gas natural, en el motor 1 de la planta de generación del bloque 12 Petroamazonas en el campo Edén – Yuturi en el año 2014. Para poder realizar esta actualización tecnológica fue necesario realizar una investigación bibliográfica exhaustiva sobre el acondicionamiento del manejo de dichos combustibles dentro del proceso, sus cualidades químicas y energéticas, así como seguir un proceso de validación con ensayos característicos de los combustibles. De forma adicional a los combustibles, se hizo un diagnóstico inicial del performance del motor Wärtsila, se midió la potencia, energía producida y el consumo de combustible para poder establecer el punto de partida comparativo hacia el registro de los mismos parámetros después de realizada la actualización. Como propuesta a la problemática presentada, una vez especificado de forma teórica y práctica los beneficios explícitos de la actualización de combustible crudo a dual crudo – gas natural, se estructura la proyección de producción energética estimada una vez implementada la actualización, con su respectivo análisis de factibilidad incluyendo gastos de actualización, montaje e instalación, personal técnico, estudio de ingeniería y gastos de mantenimiento del sistema.

DESCRIPTORES: Producción energética, Crudo, Gas Natural, Performance, Consumo de Combustible.

**COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY
POST DEGREES UNIT**

ENERGY MANAGMENT MAESTRY

TITLE:

“POWER INFLUENCE OBTAINED FROM THE HEAVY FUEL OIL CHANGE TO GD TECHNOLOGY OVER THE ENERGY EFFICIENCY OF WARTSILA 18V32 LNGD ENGINES ON PETROAMAZONAS BLOCK 12 GENERATION PLANT IN EDEN – YUTURI IN 2014.”

**Author: CEVALLOS Vicaino, Álvaro Guillermo
Tuthor: HERNÁNDEZ Moreno, Ángel, PhD**

ABSTRACT

The present investigation approaches subjects mainly about the influence of changing the use of fuel oil in Wärtsila 18V32 engines to a dual mixture of fuel oil and natural gas. This change was produced at the beginning in the production group located at the generation plan in 12 block of Petroamazonas Eden Yuturi Field in 2014. In order to achieve this technology update, there was realized an initial bibliographic research about the conditioning management of this fuels inside the production processes, their chemical and energetic qualities, as well as following a validation process with specific fuel characteristic tests. In addition, there was realized an initial diagnosis of the Wärtsila Engine Performance, power, produced energy and fuel consumption to establish the comparative starting point toward to the registry of the same parameters once the update was conformed. As proposal to the problem observed, once that the benefits of this update of dual use of fuel oil and natural gas where exposed, theoretically and technically, is presented the estimated energetic production after the upgrade was implemented, with their respective feasibility analysis including upgrade expenses, mounting, installation, technical workers, engineering study and system maintenance costs.

DESCRIPTORS: Energy Production, Heavy Fuel Oil, Natural Gas, Performance, Fuel Consupmtion.

INTRODUCCIÓN

Desde la época de la Revolución Industrial, la humanidad ha venido experimentando un crecimiento exponencial en los procesos de construcción, fabricación y uso de sistemas de generación eléctrica complejos con utilización directa de fuentes de energía no renovables.

Con el transcurso del tiempo, la preocupación mundial se ha centrado en dos puntos, la disminución acelerada de las reservas energéticas de origen fósil a nivel galobal, y en el incremento de la contaminación ambiental al que se está exponiendo el planeta con el aumento de gases de efecto invernadero procedentes, fundamentalmente, de los procesos de transformación energética. Esta preocupación se acrecienta debido a que algunos procesos industriales todavía presentan una baja eficiencia energética.

Ante esta problemática existente, especialmente desde la crisis del petróleo de 1973, la ciencia y la tecnología han propulsado el uso de las fuentes de energía de tipo renovables, como la energía eólica, solar fotovoltaica, térmica, geotérmica, ., y han permitido el desarrollo de nuevas teconologías, más limpias y eficientes para la generación de energía eléctrica.

Una de estas tecnologías de generación de energía eléctrica la constituye las centrales eléctricas equipadas con motores de combustión interna alternativos. Esta tecnología es ampliamente utilizada en las zonas de obtención directa del crudo, principalmente en la región amazónica ecuatorial.

La tecnología empleada en estos sistemas de generación, como los desarrollados por la marca Wäertsilla, es ampliamente conocida pero, en mira de una evolución tecnológica del medio generador hacia el involucramiento de combustibles más eficientes y menos contaminantes, ha ocasionado que el uso del crudo quede relegado por planes de introducción de Gas Licuado de Petróleo, y en el mejor de los casos, la utilización de sistemas GD y gas natural.

En el presente proyecto se abordarán temas como eficiencia energética en los medios de generación por transformación de la fuente energética, las diferentes tecnologías de motogeneración empleadas, la medición de contaminación y comparación entre distintas tecnologías empleadas , terminando con una propuesta de Análisis de implementación de un Sistema de Motogeneración Energética a través del uso de Tecnología GD, para el cual se analizará el diseño en términos técnicos y económicos la factibilidad de la instalación del sistema en el bloque 12, campo Edén – Yuturi, Petroamazonas durante el año 2014.

La estructura de cada uno de los capítulos de los que está compuesta esta investigación se detallan de la siguiente manera:

En el Capítulo I, se recoge una serie de información bibliográfica, teórica y de antecedentes investigativo previos, los mismos que conformarán el marco teórico indicado dentro del análisis de comportamiento de los motores de combustión interna de gran envergadura, en base al tipo de combustible que utilizan.

En el Capítulo II, se estructura la metodología empleada para conseguir los objetivos planteados dentro del presente proyecto a través de lineamiento metodológicos propios del desarrollo del mismo, así como la parametrización de uso de la instrumentación así como la operacionalización adecuada de las variables dependiente e independiente.

En el Capítulo III, se presentan los resultados así como un análisis exhaustivo de los mismos, recabados a través de la aplicación de los lineamientos previamente establecidos en el marco metodológico. Estos resultados y su análisis son el soporte base fundamental de la propuesta posterior que el investigador enuncia con la finalidad de resolver la problemática inicial observada.

En el Capítulo IV, se describe el marco propositivo resultado de toda la investigación, incluyendo la relación específica de las mediciones con una planificación técnica concreta a desarrollarse como solución definitiva. Este

apartado adicionalmente contiene un estudio de factibilidad económico y de influencia de su aplicación en la afección directa e indirecta con el medio circundante.

La documentación concluye con la exposición de una serie de conclusiones finales obtenidas a lo largo de todo el desenvolvimiento teórico – práctico del proyecto investigativo, así como un conjunto de recomendaciones para la aplicación del proyecto en emplazamientos o situaciones características similares, proponiendo además la posibilidad de extender el tema en proyectos futuros.

1. EL PROBLEMA

Situación problemática

Durante las últimas décadas los requerimientos de energía eléctrica han ido aumentando exponencialmente, a medida que el desarrollo de la sociedad se mantiene en un nivel de crecimiento sostenido, con proyección a una mayor actuación de participación de esta fuente de energía tan requerida para la humanidad. Pero este incremento en la demanda ha sido el factor propicio para depender aún más de los combustibles fósiles, y en gran escala directamente del crudo y gas obtenidos de su refinamiento.

Desde una perspectiva global, el progreso constante de la necesidad por un recurso energético continuo ocasiona que se implemente más sistemas de gran envergadura que provean esta energía, siendo estos las plantas hidroeléctrica y las plantas con base a motogeneradores eléctricos de gran tamaño además de, en un pequeño porcentaje, estructuras auxiliares con uso de energías renovables no convencionales tales como la energía eólica, solar fotovoltaica, solar térmica, geotérmica, el biogás, entre otros.

La problemática a nivel global se centra en la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles como son el crudo y los gases residuales industriales que se obtienen de su procesamiento, ya que su origen se va desgastando con el tiempo, sin una medida exacta de la cantidad específica existente del mismo, así como la producción de gases contaminantes resultantes de su uso dentro de los procesos eléctricos de generación.

Tal como lo detalla Álvarez (2007), “con relación a la generación de electricidad, se ha registrado una tendencia hacia la instalación de grandes centrales de producción de energía. Plantas más grandes tienden a requerir menores inversiones específicas (usd / kW) y brindan una eficacia superior al convertir el combustible en electricidad. Las plantas más grandes también pueden negociar precios más bajos en sus combustibles debido a las inmensas cantidades

involucradas. Con respecto a la confiabilidad, se deben aplicar más esfuerzos para perfeccionar el comando y supervisión de los sistemas. Hoy en día, sin embargo, existe una tendencia, hacia una generación más descentralizada y distribuida, de producción de electricidad permaneciendo cerca de donde se halla la demanda.” (p.2)

Pero este análisis económico de inversión sobre cantidad de energía producida mantiene un compromiso entre la cantidad generada sobre el tipo de combustible utilizado, la calidad del mismo, sus cualidades técnicas y la cantidad de contaminación que produce al ambiente después de los procesos industriales. Este compromiso ha generalizado actualmente la búsqueda de implementación de sistemas que mantengan un nivel energético eficiente mediante el uso de fuentes alternativas más amigables con el ecosistema, sin perder la eficiencia con respecto a la demanda requerida.

En la prospección meso, en América Latina se ha venido introduciendo con mayor regularidad la implementación de sistemas de motogeneración, sobre todo en los países con altos niveles de extracción de crudo, debido a que les resulta más económico recursos nacionales. Es así que países como Venezuela, Perú, Ecuador, Brasil y Colombia se han instalado desde hace varios años plantas de generación eléctrica con esta tecnología para la utilización del crudo y el gas residual industrial.

Según Wärtsilä (2015), “el consumo eléctrico seguirá creciendo durante las siguientes décadas. Al mismo tiempo, la preocupación relacionada hacia el calentamiento global y la reducción en el uso de fuentes de combustible de tipo fósil, han creado la necesidad de reducir las emisiones de carbono a través de fuentes naturales de energía.” (p.4). Esto indica de manera implícita una relación vinculante entre la eficiencia energética, la flexibilidad de las fuentes de combustible y la dinámica operacional que se presentan en sus motores, en miras de una generación energética inteligente.

En el Ecuador los gobiernos locales han realizado una gran inversión, tanto de tipo económica como de formación y capacitación de profesionales, para poder sacarles el mayor provecho posible a las plantas de motogeneración implementadas en el territorio nacional, involucrando además el desarrollo de sistemas de actualización que poco a poco vayan reduciendo esta dependencia del crudo, mediante la aplicación de otras fuentes como el gas natural. El gas natural en la actualidad está siendo explotado en mayor cantidad en el territorio nacional, por lo que proveería la fuente necesaria para que estas planificaciones de mejora puedan llevarse a cabo.

En la planta de generación eléctrica del bloque 12 de Petroamazonas EP, ubicada en la comunidad EDEN-YUTURI perteneciente a la provincia amazónica de Francisco de Orellana. Esta planta suministra energía eléctrica para los pozos de extracción de crudo, bombas de reinyección de agua, bombeo de crudo y energía para todas las facilidades del bloque. La planta además suministra energía para el bloque Pañachocha y parte del bloque ITT. Esta planta fue construida en 5 fases, como se puede apreciar en la Tabla.

Fase	Año	Modelo Motor	Potencia	Potencia Total	Combustible
		Wartsila	Unitaria (Mw)	(Mw)	
1	2002	4 x 18V32 LN	6,3	25,2	Crudo
2	2005	3 x 18V34SG	5,7	17,1	Gas
3	2007	2 x 18V32	7,6	16,8	Crudo
4	2008	2 x 18V32	7,6	16,8	Crudo
5	2012	2 x 18V32	7,6	16,8	Crudo
			Potencia total	87 Mw	

Fuente Wartsila (2017)

Como se puede observar en la tabla la planta cuenta con 13 motores y una potencia total instalada de 87 Mw. En junio del 2017 la empresa Wartsila gano un contrato para convertir los 4 motores de la fase 1 a tecnología GD (18V32LNGD), que utilizan como combustible principal el gas asociado y el crudo como combustible piloto y auxiliar. El objetivo de la conversión fue mitigar el impacto

ambiental de la planta y aprovechar el gas asociado para la producción de energía eléctrica. (Wartsila 2017)

Por lo tanto se hace imprescindible realizar una evaluación sobre el efecto del cambio de combustible sobre la eficiencia energética del motor.

Formulación del problema

El problema de investigación que se pretende resolver con la realización del presente proyecto de tesis de maestría es el siguiente:

¿Cómo afectará el cambio de combustible, de crudo a tecnología GD, a la eficiencia energética del motor Wärtsila 18V32LNGD de la planta de Generación Petroamazonas del bloque 12, ubicado en el sector del Edén – Yuturi en el año 2014?

Objeto de estudio y campo de acción

El objeto de estudio y el campo de acción de la investigación se presentan a continuación:

- **Objeto de estudio:** Motor Wärtsila 18V32 LNGD.
- **Campo de acción:** Eficiencia Energética.

Justificación de la investigación

La realización del presente trabajo investigativo se justifica por su elevada importancia para la empresa Petroamazonas, en particular para la planta de Generación del bloque 12, ubicado en el sector de el Edén – Yuturi, por las siguientes razones:

- a) **Técnicas.** Desde el punto de vista técnico, la evaluación del cambio de combustible crudo a GD permitirá conocer:
 - Su influencia sobre la eficiencia energética del motor Wärtsila 18V32LNGD.

- Su influencia sobre los períodos de mantenimiento del mismo.
- b) **Económicas.** Desde el punto de vista económico, la evaluación del cambio de combustible crudo a GD permitirá conocer:
- El ahorro económico mediante el aprovechamiento del gas asociado de petróleo para la generación eléctrica.
 - Disminuir el consumo de crudo en los motores Wärtsila 18V32LNGD.
- c) **Medioambientales.** Desde el punto de vista medioambiental, la evaluación del cambio de combustible crudo a GD le permitirá a la empresa:
- Disminuir la emisión de gases de efecto invernadero al medioambiente.
 - Obtención de reconocimientos internacionales como son los bonos de carbono, por tener una reducción en la emisión de gases de efecto invernadero.
- d) **Sociales.** Desde el punto de vista social, la evaluación del cambio de combustible crudo a GD le permitirá a la empresa:
- Reducir la contaminación que afecta a las comunidades aledañas a la planta tanto en lo agrícola como en la salud.

Por todo lo anteriormente expuesto, la presente investigación pretende a través de la evaluación de la eficiencia energética de motores de combustión interna alternativos que utilizan combustibles fósiles, mediante la aplicación de procesos de actualización tecnológica, disminuir el consumo específico de combustible de las plantas de motogeneración de Petroamazonas.

Hipótesis

Hipótesis alternativa (H_1)

El cambio de combustible a tecnología GD afectará la eficiencia energética del motor Wärtsila 18V32LNGD del bloque 12 de la empresa Petroamazonas EP.

Hipótesis Nula (H_0)

El cambio de combustible a tecnología GD no afectará la eficiencia energética del motor Wärtsilä 18V32LNGD del bloque 12 de la empresa Petroamazonas EP.

Objetivos

Objetivo General

- Evaluar la influencia del cambio de combustible crudo a tecnología GD sobre la eficiencia energética del motor Wärtsilä 18V32 LNGD del bloque 12 de la Empresa Petroamazonas.

Objetivos Específicos

- Evaluar la eficiencia energética del motor Wärtsilä 18V32 LNGD, con el uso de combustible crudo.
- Evaluar la eficiencia energética del motor Wärtsilä 18V32 LNGD, con el uso de tecnología GD (crudo y gas asociado).
- Evaluar la factibilidad del cambio de combustible de crudo a tecnología GD sobre la eficiencia energética del motor.

Visión epistemológica

Desde una perspectiva epistemológica, se comprende prioritariamente el estudio del comportamiento de la aplicación de diferentes tecnologías de combustibles dentro de procesos de combustión interna en motores para generación eléctrica inicialmente de datos presentados por *World Energy Outlook (2008)*, los mismo que indican que el 80% del consumo energético del mundo proviene del consumo de combustibles fósiles.

En el caso específico de la electricidad, el análisis de consumo se disgrega a un 60% según los datos anteriores, existiendo un menor porcentaje de aplicación a nivel macro de la energía nuclear y la energía hidráulica. Uno de los factores principales de transformación que se ha ido experimentando en este medio de producción es la reducción del mismo en el mundo, primordialmente debido al alto cuestionamiento que propende su aplicación por los altos índices de producción de dióxido de carbono CO_2 a la atmósfera.

El uso del combustible ha experimentado esta reducción anteriormente señalada (González Santaló, 2009) debido en gran medida a la inestabilidad del precio del crudo en el mundo, adicional a la reconfiguración continua de las refinerías para la extracción de todos los ligeros posibles del crudo, dejando como residuo el coque de carbón.

En los último años, en contraparte a la reducción del uso del crudo como combustible, el gas natural ha aumentado su participación porcentual en el proceso de generación, tomando ventaja sobre el primero debido a las ventajas tecnológicas y económicas que simbolizan los ciclos combinados y los bajos precios del gas natural a principios del sigalo actual (Burgos & García, 2002).

La presente investigación a partir de este enfoque propone proveer un análisis comparativo de mejoramiento de la producción en motores Wärtsila mediante la transformación de la tecnología de combustible aplicada. Para llegar a la consecución de este fin el estudio se rige bajo argumentaciones de apoyo científico específicas como la evaluación de recursos y generación eléctrica, el estudio económico de implicación, el análisis de contaminación medioambiental, y la correlación de parámetros teórico – técnicos con el aumento de la eficiencia energética de motores de generación eléctrica.

Factibilidad de la investigación

La investigación es factible bajo cuatro parámetros de apoyo al desarrollo: la evaluación energética, el estudio económico de aplicación y la relación de costo – beneficio que significaría dicha transformación tecnológica.

Dentro de la evaluación energética, para el análisis de influencia del cambio de combustible crudo a tecnología GD en los motores de generación Wärtsilä 18V32 LNGD es necesario realizar un estudio de la eficiencia energética de la tecnología actualmente aplicada, para posteriormente realizar una proyección técnica estimada del incremento de la eficiencia si se aplica una evolución hacia el uso de tecnología GD. Esto demostrará las diferencias tanto de producción, como de contaminación y uso del combustible en ambos casos.

La argumentación económica del presente estudio se basa bajo dos parámetros principales, el valor de la actualización, y la relación costo beneficio del proyecto. Por un lado es necesario observar el costo de la implementación de la nueva tecnología a ser aplicada en parámetros de costo de herramientas, material humano de instalación y transformación, capacitación y costos de mantenimiento, por nombrar algunos de los parámetros

De manera concluyente a este análisis se indica la relación de costo beneficio, donde se expone la recuperación de la inversión, el ahorro económico a partir de la reducción de consumo y mejora de sistema, así como el Valor Actual Neto propio del sistema, lo que además indicaría de forma directa la factibilidad del estudio de implementación, corroborando la hipótesis planteada.

Finalmente, la factibilidad dentro de la afección medioambiental se ve detallada bajo nexo directo con el consumo y expulsión de los gases de contaminación al ambiente, lo que detallaría en gran medida cuán eficiente se desarrolla el motor de combustión interna dentro de todos los parámetros del ciclo de funcionamiento. Si bien la obtención de la medida exacta de la afección

medioambiental no está indicada dentro de los objetivos específicos planteados, la proyección presentada tendrá una aproximación considerablemente importante, lo que validará el nivel de aplicación de la metodología de la investigación.

Fundamentación Legal

El presente estudio técnico de análisis de influencia del cambio de combustible crudo a tecnología GD sobre la eficiencia energética del motor Wärtsila 18V32 LNGD en la planta de generación del bloque 12 Petroamazonas en el campo Edén – Yuturi se fundamenta legalmente con auspicio de la Constitución de la República, así como la Ley del Régimen del Sector Eléctrico especificados de forma resumida a continuación:

CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR

“**Artículo 15.-** El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.”

“**Artículo 413.-** El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua”.

La Constitución de la República del Ecuador en su Art. 314 señala que el Estado será responsable de la provisión de ciertos servicios públicos, entre los que se cita la energía eléctrica. Según el texto constitucional (Art. 315) el Estado constituirá empresas públicas para la prestación de tales servicios.

El Art. 2 de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico (LRSE) indica que el Estado es el titular de la propiedad inalienable e imprescriptible de los recursos naturales que permiten la generación de energía eléctrica. Por tanto, solo él, por intermedio del Consejo Nacional de Electricidad como ente público competente, puede concesionar o delegar a otros sectores de la economía la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica.

En el Art. 5 de la LRSE se fijan los objetivos fundamentales de la política nacional en materia de generación, transmisión y distribución de electricidad, siendo entre otros:

- Proporcionar al país un servicio eléctrico de alta calidad y confiabilidad que garantice su desarrollo económico y social.
- Asegurar la confiabilidad, igualdad y uso generalizado de los servicios e instalaciones de transmisión y distribución de electricidad.
- Proteger los derechos de los consumidores y garantizar la aplicación de tarifas preferenciales para los sectores de escasos recursos económicos.
- Reglamentar y regular la operación técnica y económica del sistema, así como garantizar el libre acceso de los actores del servicio a las instalaciones de transmisión y distribución.
- Regular la transmisión y distribución de electricidad, asegurando que las tarifas que se apliquen sean justas.
- Establecer sistemas tarifarios que estimulen la conservación y el uso racional de la energía.
- Promover la realización de inversiones públicas en transmisión.
- Desarrollar la electrificación en el sector rural; y.

- Fomentar el desarrollo y uso de los recursos energéticos no convencionales a través de los organismos públicos, las universidades y las instituciones privadas.

CAPÍTULO I

MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Los antecedentes científicos, al corresponder a investigaciones previas realizadas para comprensión del fenómeno, desde un nivel general para el presente estudio, cabe señalar la influencia inicial propuesta por el proyecto realizado por (Dvornik & Dvornik, 2014), donde realizan una comparación inicial del comportamiento de maquinaria dentro de motores de generación eléctrica de gran envergadura, con el uso de LNG, propulsión por Diesel, quedando establecido así los parámetros de funcionamiento de un Dual – Fuel engine, teniendo como resultados que este concepto dual alcanza una eficiencia térmica de cerca del 43%, y aún mejor esta comparación es aún más favorable con respecto a la eficiencia térmica completa de sistema de control de la turbina de generación que es un poco menor al 30%, sobrepasando en campos de costo eficiencia, seguridad, confiabilidad y reducción de mantenimiento a los esquemas de generación actuales.

A lo presentado por (Dvornik & Dvornik, 2014), se agrega lo expuesto por (Casarrubios, 2015), quien va más allá de la comprensión general del fenómeno, sino que establece un marco modelo de difusión y entendimiento técnico de la distribución CNG para un motor con uso del gas Natural y el Diesel dentro de motores de características de funcionamiento duales. Esta presentación científico – técnica es de gran aporte teórico inicial ya que no solamente se mantiene en el aspecto de desarrollo teórico, sino que agrega el modelamiento de combustible, la forma de combustión, la simulación y calibración de procesos entre otros.

Siguiendo esta ideología con tintes más específicos en el área de la generación y ocupación en centrales energéticas de gran envergadura, (Arango, Sierra, & Pérez, 2013) mediante una serie de comprobaciones técnicas describen esencialmente la sustitución del combustible crudo con gas natural u otro

combustible gaseoso. Además, de acorde a sus resultados, el sistema permite un ahorro significativo de combustible diesel de acuerdo al porcentaje de carga, pudiendo citar por ejemplo que estando el motor a 25% de carga se pasa de consumir 11,9 gal/h de Diesel en modo solo Diesel a consumir 9,5 gal/h en modo dual-fuel, así como en un 75% de carga pasa a una tasa de reemplazo de 20,8% de modo Diesel (34,1 gal/h) a el modo dual-fuel (27 gal/h), tomando en cuenta además una reducción económica por la disponibilidad adicional del gas natural y la disminución en la emisión de gases contaminantes de la atmósfera debido a las bondades que presenta el gas natural frente al diesel.

A nivel local, la tesis validada por (Pozo L. , 2012) pone especial énfasis en la metodología de tratamiento del gas en las inmediaciones de motogeneración eléctrica , con un correspondiente estudio inicial del área de estudio, los medios de producción de Crudo y Gas para concluir con un marco propositivo conceptual del Diseño de una Planta de tratamiento de Gas Asociado de Petróleo con fines de generación eléctrica.

Finalmente, es importante apuntar desde el aspecto de eficiencia y costos energéticos la información expuesta por (González, 2004), quien hace un compendio específico de las tecnologías de generación eléctrica distribuida, pre visualizando los factores tecnológicos, financieros y ambientales en cuanto a protección del medio ambiente se refiere.

1.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Dentro de una sociedad enteramente productiva y desarrollada en medios de fabricación continuos y cada vez más exigentes, la energía ha venido manteniendo un rol primordial en el crecimiento sostenido de esta evolución. En términos generales, sin el calor y la electricidad obtenidos de medios de captación como la quema de combustibles, los medios económicos de la población serían muchos menores que los presentes en la actualidad.

Dentro de este aspecto, según lo explica (Agencia Internacional de Energía, 2007), al hablar a energía cotidianamente se piensa en esta, en función del combustible para el transporte, o la red eléctrica para la iluminación o el funcionamiento de los aparatos. Sin embargo, es necesario establecer una diferencia entre combustible y energía, definiendo un combustible como toda sustancia que se quema para producir calor o electricidad.

El calor se deriva del proceso de combustión en el cual el carbono e hidrógeno contenidos en la sustancia combustible se combinan con el oxígeno, liberando calor. La provisión de calor o electricidad, ya sea en forma mecánica o eléctrica, es la principal razón para quemar los combustibles. El término energía, según lo especifica la (Agencia Internacional de Energía, 2007), cuando se utiliza correctamente en las estadísticas energéticas, se refiere únicamente al calor y la electricidad, aunque muchas personas también incluyen los combustibles.

Es así que, debido a esta nueva concepción del término energía, ésta es una propiedad asociada a los objetos y sustancias que se manifiesta en las transformaciones que ocurren en la naturaleza. De esta forma, los tipos de energía disponibles en el planeta pueden ser de dos tipos, energías convencionales o también llamadas no renovables que son aquellas que proporcionan la parte más importante de la energía consumida en los países industrializados, teniendo la desventaja que una vez usados no se pueden restituir; y las energías alternativas,

que se encuentran directamente en la naturaleza y son inagotables, aunque en estos momentos muchas de estas son escasas.

La aplicación general de la generación eléctrica limita la utilización de una fuente u otra, por lo que, para aplicaciones de pequeño y mediano alcance los medios renovables han tenido un gran desarrollo e impacto sustancial en la industria, pero para aquellas necesidades mayoritarias de electricidad para suplir al medio energético interconectado, la energía renovable se mantiene como un medio auxiliar complementario, siendo los combustibles fósiles los de mayor utilización en estos momentos.

Es necesario adicionalmente la comprensión de varios aspectos que intervienen en el medio de generación por consumo de combustible fósil, los mismos que ayudarán a la concepción del fenómeno de eficiencia de la generación eléctrica, que son la energía cinética, la energía potencial y la energía eléctrica propiamente dicha.

(Alvear Quezada, 2012) explica en términos específicos a la energía cinética como la energía asociada al movimiento de un objeto. Un objeto que esté en reposo en un sistema referencial en reposo, tendrá una energía cinética cero. Posteriormente, la energía potencial es la energía asociada a la posición de un objeto. Puede pensarse como la energía almacenada, o como la medida de trabajo que un objeto puede entregar; y finalmente la energía eléctrica es la forma de energía resultante de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos.

Cada vez que se acciona un interruptor, se cierra un circuito eléctrico y se genera el movimiento de electrones a través del cable conductor. Las cargas que se desplazan forman parte de los átomos del conductor moviendo electrones que se van a utilizar, mediante las correspondientes transformaciones.

Dentro de las características determinadas por el estudio del emplazamiento, debido a la gran cantidad de yacimientos de petróleo y gas natural disponibles en el Ecuador, el país ha seleccionado como principales medios de generación de energía eléctrica los provenientes de grandes planta termoeléctricas, con uso de medios combustibles fósiles a base de crudo inicialmente, con transformación al ingreso del gas natural, y a la producción de luz eléctrica por medio de Hidroeléctricas, debido a su variada hidrografía con obtención potencial alta del medio energético.

a. Modelo energético integrado

El proceso de transformación de tecnologías en metodologías de producción energética de largo alcance proviene de un estudio exhaustivo que parte de la planificación energética integral en conjunto con otros sistemas del sistema económico nacional.

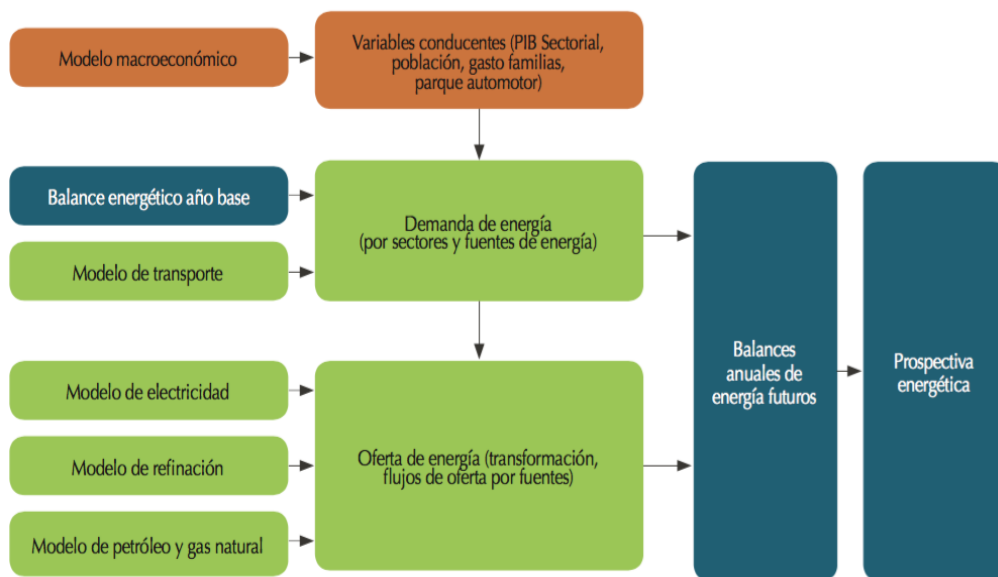


Figura 1.1. Modelo energético integrado.

Fuente: (Carvajal, 2013)

A partir de la concepción nacional, según lo indica (Carvajal, 2013), la integración de las diferentes partes del modelo energético integrado en miras de la búsqueda de la renovación tecnológica de las formas de producción energética, se

consigue en base a un modelo de estimación e involucramiento de las variables conducentes que determinan la demanda del sector de igual forma que la oferta de la misma, tal como se señala en la Figura 1.1.

Dentro de este enfoque, el balance energético obtenido de forma anual por las plantas de generación es la base de la estimación de la perspectiva de proyección anual energética en el sector productivo.

De forma específica, dentro de la generación por termoeléctricas, la planificación energética en base a modelaciones a futuro se compone de 4 fases principales: el análisis macro (Variables macro, indicadores sociales, financiamiento), el modelo de análisis integrado (políticas, demanda, oferta, capacidades de transformación, recursos); los modelos y análisis de optimización sectorial (generación – transmisión eléctrica, refinación y transporte, energías renovables y biocombustible), finalizando por los modelos de recursos primarios (estimación de recursos primarios, evaluación de recursos renovables y modelo de agotamiento de reservas de petróleo y gas).

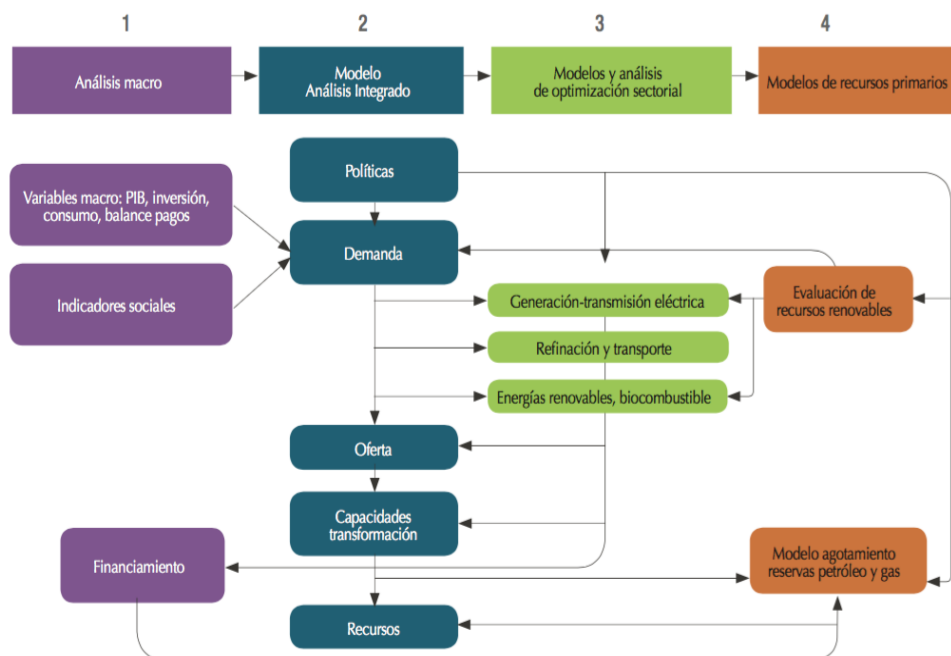


Figura 1.2. Planificación energética para modelaciones a futuro.

Fuente: (Carvajal, 2013)

b. Conceptualización

En medida de comprensión general de recurso energético, la determinación de una serie de conceptos y definiciones es primordial. La subdivisión de conceptos se realiza dentro de 5 grupos importantes, detallados dentro de la Tabla 1.1, 1.2, 1.3 y 1.4 respectivamente.

Tabla 1.1. Conceptualización fuentes de energía

TIPO	DEFINICIÓN
ENERGÍA PRIMARIA	Son las fuentes de energía en estado propio que se extraen de los recursos naturales de manera directa, como en el caso de las energías hidráulica, geotérmica, eólica, solar, o mediante un proceso de prospección, exploración, explotación y recolección (petróleo, gas natural, leña).
ENERGÍA SECUNDARIA	Las formas de energía secundaria pueden resumirse en electricidad (producida de fuentes primarias o secundarias), gas natural seco, gas licuado de petróleo (GALP), gasolinas, diesel, kerosene y combustible jet, fuel oil y productos no energéticos (asfaltos y lubricantes derivados del petróleo)

Fuente: (Carvajal, 2013)

Tabla 1.2. Conceptualización oferta de energía.

TIPO	DEFINICIÓN
OFERTA TOTAL DE ENERGÍA PRIMARIA	Sumatoria de la producción local, importación y variación de inventario de energía primaria.
OFERTA TOTAL DE ENERGÍA SECUNDARIA	Es la sumatoria de la producción local, importación y variación de inventario de energía secundaria. La producción es el total producido técnica y económicamente utilizable.
OFERTA INTERNA DE ENERGÍA PRIMARIA	Es la oferta total de energía primaria menos la exportación, menos la energía no aprovechada (por ejemplo, gas asociado quemado en la antorcha), más el ajuste o diferencia estadística (puede ser positivo o negativo).
OFERTA INTERNA DE ENERGÍA SECUNDARIA	Es la oferta total de energía secundaria menos la exportación, menos las pérdidas y energía no aprovechada más el ajuste o diferencia estadística.

Fuente: (Carvajal, 2013)

A partir de las tablas anteriormente señaladas, el proceso de transformación comprende la cantidad de energía de fuentes primarias y secundarias que entra a los centros de transformación, para convertirse en energía secundaria. Según lo indica (Carvajal, 2013), el consumo propio es la energía consumida por el propio sector energético, mientras que el consumo final de fuentes primarias y secundarias es la cantidad de energía que consume el sistema socioeconómico para atender las necesidades de los hogares y de las actividades productivas y de servicios de la economía.

Tabla 1.3. Conceptualización de centros de transformación

TIPO	DEFINICIÓN
CENTRALES ELÉCTRICAS DE SERVICIO PÚBLICO Y AUTOPRODUCCIÓN.	Son plantas de generación hidroeléctrica, geotérmica, turbinas a vapor, turbinas de gas, ciclo combinado (CC) y motores de combustión interna (MCI) (diesel de media velocidad y de alta velocidad), paneles fotovoltaicos y centrales de biomasa.
CENTROS DE TRATAMIENTO DE GAS	Son las plantas de tratamiento de gas natural asociado o libre que se procesa para secado, remoción de impurezas, y también para recuperar etanol (materia prima para la petroquímica), y líquidos livianos como propano, butano (componentes ambos del GALP), y gasolinas.
PLANTAS DE REGASIFICACIÓN	Son plantas para re gasificar el gas natural importado en forma de GNL (gas natural licuado).
REFINERÍAS DE PETRÓLEO	Son plantas industriales en las que el petróleo crudo cargado se separa físicamente en sus distintos componentes, y estos a su vez sufren una conversión química en otros diferentes en los procesos internos dentro de las refinerías.
CARBONERAS	Centros de transformación para la combustión incompleta de la leña para producir carbón vegetal.

Fuente: (Carvajal, 2013)

Tabla 1.4. Conceptualización de energía no aprovechada, pérdidas y ajuste

TIPO	DEFINICIÓN
NO APROVECHADO	Es la cantidad de energía que, por razones técnicas y/o económicas o falta de valorización del recurso, no está siendo utilizada, por ejemplo, gas asociado no aprovechado, agua de represa no turbinada que sale por el vertedero.
PERDIDAS DE TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN	Es la energía perdida en las actividades de transporte, distribución y almacenamiento de los distintos productos energéticos, tanto primarios como secundarios.
PÉRDIDAS DE TRANSFORMACIÓN	Son las pérdidas en los centros de transformación que no pueden asignarse a una determinada fuente energética, sino que son consecuencia natural de los procesos de transformación.
AJUSTE O DIFERENCIA ESTADÍSTICA	Es la diferencia entre el destino y el origen de la oferta interna de una fuente energética como consecuencia de errores estadísticos. Su valor debe ser naturalmente muy bajo: si es mayor a 5% indica que debe efectuarse una cuidadosa revisión de datos básicos de los cuales se calcularon las variables que componen la oferta interna de dicha fuente.

Fuente: (Carvajal, 2013)

Cabe recalcar como punto final dentro de la presente conceptualización que, toda la concepción energética del Ecuador ha sido tradicionalmente enfocada desde el lado de la oferta, es decir desde el lado de los productos o distribuidores de la energía, en el cual como define (Carvajal, 2013), la demanda era un hecho externo que había que intuir, estimando escenarios en función de tendencias históricas.

1.2.1 Fundamentos de Motores de Combustión Interna y Gestión de la Eficiencia Energética.

Inicial al desarrollo de la metodología propia de la presente investigación, es indicado poder relacionar los fundamentos técnico de desarrollo tecnológico que se llevan a cabo dentro de los Motores de Combustión Interna del tipo Wäertsila y cómo se procede dentro del plan de gestión de la eficiencia energética.

Hay que tomar en cuenta que, tal como se establece dentro de los parámetros de funcionamiento y producción de Petroamazonas E.P., la eficiencia energética es el instrumento fundamental para dar respuesta a los cuatro grande retos del sector eenergético en la región: el cambio climático, la calidad y seguridad del suministro, la evolución de los mercados y sobre todo la disponibilidad de las fuentes de energía dentro del plazo futuro.

a. Motores de Combustión Interna y Motogeneración.

Haciendo referencia a lo indicado por (Arango, Sierra, & Pérez, 2013), los motores de combustión interna (MCI) son máquinas térmicas que producen energía mecánica en el eje a partir de la transformación de la energía química de un combustible, en un proceso de combustión dentro de sus cámaras. A partir de la energía obtenida en el eje se genera electricidad o se mueven bombas y/o compresores; donde adicionalmente, la energía residual liberada en forma de calor se puede utilizar para cogeneración.

El proceso de combustión es la reacción química exotérmica de una sustancia llamada combustible, con un comburente que generalmente es el oxígeno del aire. (Arango, Sierra, & Pérez, 2013). Para que se desencadene la reacción es necesario que co-existan tres elementos: Combustible (material que arde), comburente (material que hace arder) y un desencadenante (suministra la energía requerida para alcanzar la temperatura de inicio.

En MCI de encendido por compresión (MEC), como el diseñado por (Wärtsila, 2015), la combustión se produce por auto-ignición del combustible en la medida en que es inyectado en el aire comprimido, al ir formándose una mezcla heterogénea en la cámara de combustión. Comúnmente el combustible utilizado en MEC es diesel puro, pero es posible inyectar fracciones de diesel en una mezcla comprimida de aire y gas combustible.

Desde un punto de vista generalizado, para que ocurra esa auto-ignición, hace falta un proceso de admisión para que el carburante (aire y combustible) entre en el cilindro.. También para poder realizar el ciclo hace falta un proceso de escape , para poder vaciar el cilindro y que pueda volver a entrar el carburante..

Con estos procesos ya se puede seguir un ciclo (admisión, compresión, expansión y escape). (Martínez, 2007) explica que, con el proceso de compresión se consigue que el aumento de presión en el momento de la explosión sea mucho mayor, ya que antes de explotar,, los gases reactivos ya están presionados. Representando el ciclo MEC en un diagrama de Presión – Volumen (P-V) el funcionamiento teórico queda determinado como se muestra en la figura No. 1.3.

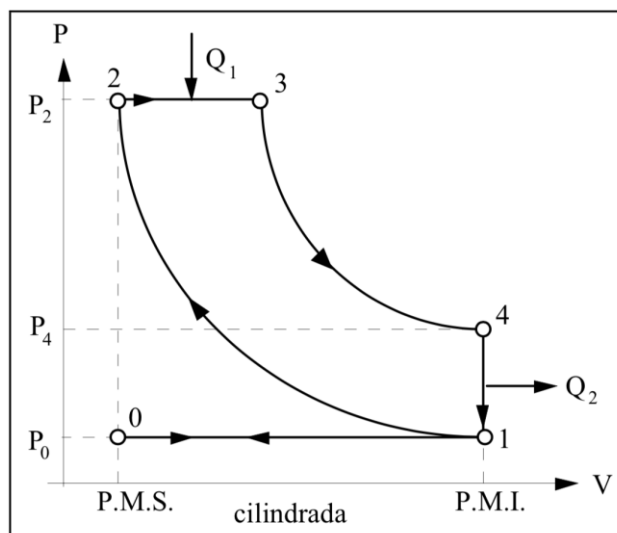


Figura 1.3. Diagrama P-V del ciclo MEC de 4 tiempos

Fuente: (Martínez, 2007)

- **Admisión (Isóbara) (0-1):** Durante la admisión se supone que el cilindro se llena totalmente de aire que circula sin rozamiento por los conductos de admisión, por lo que se puede considerar que la presión se mantiene constante e igual a la presión atmosférica. (Martínez, 2007) expone que por esta razón esta carrera puede ser representada por una transformación isóbara. ($P=K$).
- **Compresión (Adiabática) (1-2):** Durante esta carrera el aire es comprimido hasta ocupar el volumen correspondiente a la cámara de combustión y alcanza en el punto (2) presiones del orden de 50 kp/cm^2 . Se supone que por hacerse muy rápidamente no hay que considerar pérdidas de calor, por lo que esta transformación puede considerarse adiabática. La temperatura alcanzada al finalizar la compresión supera los $600 \text{ }^\circ\text{C}$, que es la temperatura necesaria para producir la autoinflamación del combustible sin necesidad de chispa eléctrica. (Martínez, 2007).
- **Inyección y combustión (Isóbara) (2-3):** Durante el tiempo que dura la inyección, el pistón inicia su descenso, pero la presión del interior del cilindro se supone que se mantiene constante, transformación isóbara, debido a que el combustible que entra se quema progresivamente a medida que entra en el cilindro, compensando el aumento de volumen que genera el desplazamiento del pistón. Esto se conoce como retraso de combustión.
- **Transformación adiabática (3-4):** (Martínez, 2007) enuncia que, terminada la inyección se produce una expansión (3-4), la cual como la compresión se supone que se realiza sin intercambio de calor con el medio exterior, por lo que se considera una transformación adiabática. La presión interna desciende a medida que el cilindro aumenta de volumen.

- **Primera fase del escape (Isócora) (4-1):** En el punto (4) se supone que se abre instantáneamente la válvula de escape y se supone que los gases quemados salen tan rápidamente al exterior, que el pistón no se mueve, por lo que se puede considerar que la transformación que experimentan es una isócora (Martínez, 2007). La presión en el cilindro baja hasta la presión atmosférica y una cantidad de calor Q_2 no transformado en trabajo es cedido a la atmósfera.
- **Segunda fase del escape (Isóbara) (1-0):** Los gases residuales que quedan en el interior del cilindro son expulsados al exterior por el pistón durante su recorrido (1-0) hasta el PMS. (Martínez, 2007) finaliza que al llegar a él se supone que de forma instantánea se cierra la válvula de escape y se abre la de admisión para iniciar un nuevo ciclo. Como se supone que no hay pérdida de carga debida al rozamiento de los gases quemados al circular por los conductos de escape, la transformación (1-0) puede ser considerada como isóbara.

Si bien es cierto, en las viñetas mencionadas anteriormente se explica el ciclo teórico MEC en MCIA, el ciclo real difiere en gran medida debido a una serie de parámetros propios de la naturaleza de la combustión y el proceso mecánico involucrado, tal como se verifica en la Figura No. 1.4.

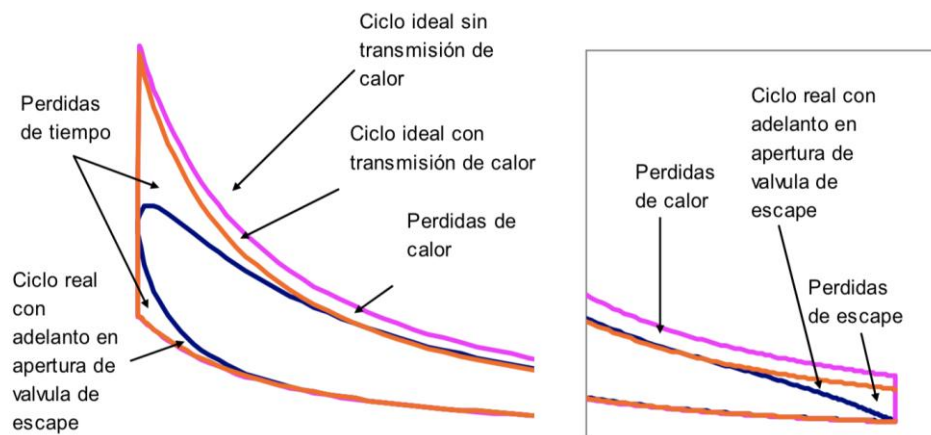


Figura 1.4. Ciclo Real en MEP

Fuente: (Taylor, 1982)

Las principales causas de las diferencias con respecto al ciclo teórico, de donde parte bastante la disminución de eficiencia del motor térmico son:

- **Fugas:** En motores nuevos y puestos a punto son muy bajas.
- **Combustión incompleta:** Retención de Hidrocarburos en huecos, depósitos y lubricante. Apagado de llama.
- **Pérdidas de tiempo:** En el proceso de combustión existe un frente de llama que tiene que recorrer toda la cámara de combustión para que el proceso se complete. (Taylor, 1982) expone que el tiempo que tarda en recorrerse toda la cámara depende fundamentalmente de: naturaleza del combustible y dosado, forma y tamaño de la cámara de combustión, condiciones operativas del motor.
- **Combustión progresiva:** Debido a que las condiciones de presión y temperatura a lo largo del período de combustión varían, el rendimiento del proceso también varía, dando lugar a una pérdida.
- **Pérdidas de calor:** Es necesario refrigerar la cámara de combustión y esto provoca las pérdidas de calor.
- **Pérdidas de escape:** La válvula de escape se abre antes del PMI intencionadamente para mejorar el proceso de renovación de la carga. Lo que se pierde en el proceso de expansión se recupera en el proceso de renovación de la carga, por lo que en cierto modo no se pueden considerar como pérdidas.
- **Punto de encendido:** tiene una gran influencia sobre la potencia y el rendimiento, para que la combustión se mantenga centrada al aumentar el régimen de giro es necesario aumentar el avance.

- **Régimen de giro:** A regímenes bajos las pérdidas de calor y por fugas aumentan. Para la misma velocidad de combustión, al aumentar el régimen de giro la combustión dura más angularmente por lo que hay que avanzar el inicio de la combustión para que esta permanezca centrada.
- **Presión de admisión:** Al aumentar la presión de admisión, aumentan la presión media indicada y por tanto la potencia
- **Presión de escape:** Influye en el proceso de renovación de la carga de manera que al aumentar la presión de escape se aumentan los residuales y esto hace que la combustión se desarrolle más lentamente.
- **Relación combustible aire (dosado):** Mejora la potencia hasta valores del dosado relativo del orden de 1.15 y el rendimiento es mejor para valores del orden de 0.9.

b. Gestión de Eficiencia Energética.

La gestión de la eficiencia energética (GEE), dentro del aspecto industrial y productivo eléctrico a partir de motogeneradores térmicos con base en funcionamiento de MCI con ciclo MEP, se especifica como el proceso metodológico para la optimización técnica y económica de una planta o parte de ella. Es decir, la reducción de los costes técnicos y económicos de explotación.

(CIRCUTOR, 2009) especifica que, la gestión de la eficiencia energética comporta tres puntos básicos:

- Ayudar a la sostenibilidad del sistema y medio ambiente mediante la reducción de emisiones contaminantes al reducir el consumo de medios fósiles de alto contenido de carbono.

- Mejorar la gestión técnica de las instalaciones, aumentando su rendimiento y evitando paradas de procesos y averías.
- Reducción, tanto del coste económico de la energía como del de explotación de las instalaciones.

Uno de los principales pilares de la gestión energética en las empresas de servicios y producción energética, como lo es la Petroamazonas EP, se radica en la innovación tecnológica continua de sus instalaciones y procesos. (Salcedo, 2014) identifica que todo proceso de gestión energética en la industria debe regirse de acuerdo a los pilares estratégicos del desarrollo sostenible. Aclara que el desarrollo y el bienestar social están limitados por el nivel tecnológico, los recursos del medio ambiente, y la capacidad del medio ambiente para absorber los efectos de la actividad humana. De aquí se desprende el planteamiento que propone mejorar la tecnología y la organización social, de forma que el medio ambiente pueda recuperarse al mismo ritmo que es afectado por la actividad humana, para de tal forma evitar un déficit de recursos.

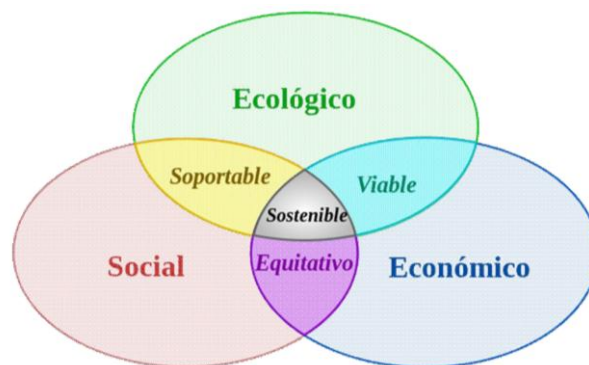


Figura 1.5. Pilares de la gestión de eficiencia energética en el desarrollo sostenible

Fuente: (Salcedo, 2014)

Por tanto, (Salcedo, 2014) aclara que el concepto de sostenibilidad dentro de la eficiencia energética integra de forma estable y necesaria, los de sostenibilidad económica (si la actividad es financieramente posible y rentable), sostenibilidad

social (basada en la consolidación de la cohesión y el bienestar sociales) y sostenibilidad ambiental (si la actividad es compatible con la preservación de la biodiversidad y de los ecosistemas, en términos del impacto que produce en términos de flujos, consumo de recursos, o generación de residuos y emisiones)

En el caso de la presente investigación, tomando en cuenta los pilares de la gestión en el desarrollo sostenible, se requiere involucrar la eficiencia energética desde el campo de la innovación tecnológica y la capacitación del personal, verificando que este proceso sea soportable, viable, equitativo y por tanto sostenible en el tiempo.

(Ortiz, 2006) enuncia que, en orden hacia la obtención de una eficiencia energética en la industria como el requerido en Petroamazonas EP, es necesaria la construcción de un modelo de gestión de la innovación tecnológica adaptado a la realidad establecida en países en desarrollo, específicamente en Latinoamérica, el cual describa el proceso y sugiera las acciones que desde el interior de la empresa se deben emprender a objeto de fortalecer la competitividad basada en la capacidad de innovación.

Tomando en cuenta la premisa anterior, la innovación de procesos es la primera fuente de innovación que, unido a la complejidad del manejo simultáneo de las innovaciones de producto y de proceso por responder las mismas a distintas estrategias de innovación, ha sido el criterio para delimitar el modelo hacia la gestión de las innovaciones de proceso. Por lo tanto, se seleccionan aquellas variables determinantes en la ocurrencia de las actividades de innovación en ingeniería y diseño, organización de la producción y desarrollo de procesos, indicados en la Tabla 1.5

Tabla 1.5. Objetivos estratégicos e indicadores de la innovación tecnológica

Objetivos estratégicos	Indicadores de Efecto	Indicadores causales
Financiero F1. Incrementar los ingresos F2. Reducir la estructura de costos F3. Mejorar el proceso de inversión	Porcentaje de los ingresos producto de las innovaciones de proceso Costos Ingresos/empleados Inversiones en RH/Ventas Inversiones en proceso/ventas	Innovaciones de proceso Disponibilidad para inversiones
Clientes C1. Incrementar la satisfacción de los clientes	Defectos Devoluciones Reclamos	Calidad de producto y proceso
Procesos internos I1. Mejorar los procesos	Capacidad de proceso (indicadores de tiempo y calidad)	Innovación de proceso
Aprendizaje y crecimiento L1. Incrementar la capacidad de innovación del recurso humano	Productividad de la mano de obra	Entrenamiento Educación de los empleados

Fuente: (Ortiz, 2006)

Con base en los objetivos estratégicos dentro del plan de gestión de la eficiencia energética, para una estrategia de innovación tecnológica se propone la estructura general del modelo en la Figura 1.6 , la cual muestra los principales elementos y sus relaciones básicas, que constituyen la esencia de la gestión de la innovación en este sector.

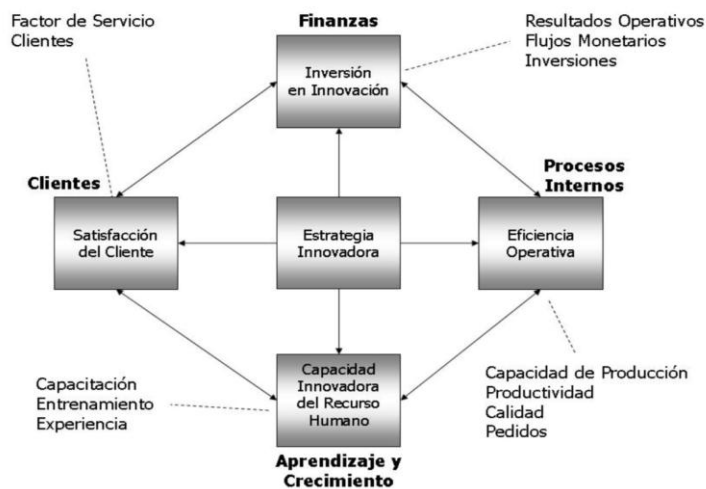


Figura 1.6. Modelo de gestión de la innovación tecnológica y la eficiencia

Fuente: (Ortiz, 2006)

El punto central del modelo que establece (Ortiz, 2006) es la estrategia innovadora a nivel operativo, la cual forma parte de una estrategia general de innovación de la empresa como vía para alcanzar la competitividad. Esta estrategia consiste en alcanzar una alta eficiencia operativa, a partir de inversiones en procesos y en los recursos humanos, que permitan lograr los niveles de calidad exigidos por los clientes y competir, con base en mejores precios y tiempos de entrega.

El modelo está concebido atendiendo las cuatro perspectivas fundamentales del Cuadro de Mando Integral, política de manejo administrativo implementada en el área de producción de Petroamazonas EP, y en cada una de ellas se ha elegido una variable clave, de control o decisión, para focalizar la acción de la empresa.

- En la **perspectiva financiera**, la variable de decisión seleccionada es la *inversión en innovación de procesos*, tanto en activos fijos (principalmente adquisición o mejoras de equipos, herramientas y otros) como en recursos humanos (capacitación y entrenamiento). El monto a invertir es función del resto de los flujos monetarios de la organización: ventas, costos, capital de trabajo, margen operativo, impuestos, entre otros flujos que determinan los resultados financieros de la organización.
- Respecto a la **perspectiva de procesos internos**, se considera como principal variable de control la *eficiencia operativa de la planta*, la cual mide la capacidad de alcanzar en la práctica los resultados esperados a nivel de producción, en función a la capacidad del proceso y sus equipos, la calidad obtenida y la productividad de su fuerza laboral.
- En cuanto a la **perspectiva del cliente**, la satisfacción del cliente está en función del nivel de servicio obtenido, medido éste como el tiempo

en el cual son atendidos los requerimientos. Esta satisfacción a su vez depende de otras variables, tales como la calidad y regularidad de la producción eléctrica de la planta.

- Finalmente, en la **perspectiva del aprendizaje y crecimiento**, la variable crítica es la capacidad del recurso humano de la organización, la cual es proporcional a la experiencia del personal tanto por la capacitación y entrenamiento que se da a dicho recurso, como por la adquisición de personal capacitado para realizar las tareas.

1.2.2 Los recursos energéticos fósiles

a. Características de los combustibles fósiles

La base de la industrialización de los países ricos fue el uso masivo de combustibles fósiles y hoy sigue siendo un elemento principal de los procesos de cambio económico que caracterizan a los países más poblados del mundo.

Tal como lo define Roca (2010), desde hace mucho tiempo, en términos cuantitativos los combustibles fósiles aportan el grueso de la energía exosomática¹ utilizada por los humanos (y la propia obtención de la energía endosomática², la de los alimentos, se ha hecho más y más dependiente del uso de combustibles fósiles). En las últimas décadas (con una ligera inflexión debida a la crisis actual) se ha utilizado más petróleo, más carbón y más gas natural que nunca en la historia.

Los combustibles fósiles, son sustancias ricas en energía que se han formado a partir de plantas y microorganismos enterrados durante mucho tiempo. Los combustibles fósiles, que incluyen el petróleo, el carbón y el gas natural,

proporcionan la mayor parte de la energía que mueve la moderna sociedad industrial.

La gasolina o el gasóleo que utilizan nuestros automóviles, el carbón que se usa en muchas plantas termoeléctricas para el generación de energía eléctrica y el gas natural que se utiliza en la industria hornos cerámicos, centrales de ciclo combinado y que calienta nuestras casas son todos combustibles fósiles.

De las premisas anteriormente expuestas, y en referencia a lo expuesto por (Santos, 2002), se desprende que la propiedad fundamental de las sustancias combustibles es su poder calorífico, es decir, la cantidad de energía liberada en forma de calor que puede desarrollarse por la combustión de la unidad de combustible (1 kg, 1 m³, .).

Precisamente esta propiedad permite expresar las cantidades de energía en unidades equivalentes de combustible. Dado que normalmente los combustibles se compran de acuerdo con unas especificaciones que limitan sus propiedades, es necesario conocer al detalle éstas, con objeto de comprobar que se cumplen las especificaciones indicadas por el suministrador.

De forma concluyente, (Santos, 2002) expresa que, las propiedades más relevantes de los combustibles son:

- La composición (y contenido de impurezas).
- La entalpía estándar de reacción (usualmente llamada poder calorífico en valor absoluto).
- La densidad, viscosidad y coeficiente de dilatación (para almacenamiento y transporte).
- La entalpía de vaporización (conviene que sea baja);
- La presión de vapor (conviene que sea alta para que no haya que gasificar artificialmente).
- Los límites de ignición (por chispa).

- Auto inflamación y extinción, la toxicidad y la compatibilidad con otros materiales (tubos, juntas, válvulas, bombas, .).

De forma específica a continuación se especificarán las características principales del crudo y del gas naturales, objetos indicados del presente estudio, partiendo del análisis de las cadenas energéticas del crudo y el gas natural (Figura 1.7), que de acuerdo a (Carvajal, 2013), muestran los flujos desde la producción primaria de petróleo y gas, pasando por centros de transformación y llegando hasta los sectores consumidores.

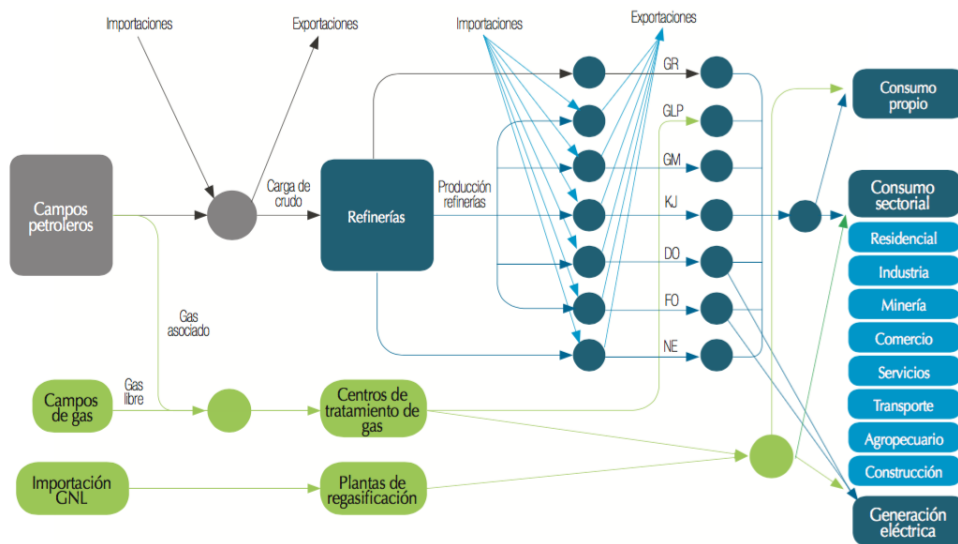


Figura 1.7. Cadena energética del crudo y gas natural.

Fuente: (Carvajal, 2013)

b. El crudo. Características y Propiedades

El crudo es un líquido combustible fósil que se forma por los restos de microorganismos marinos depositados en el fondo del mar el mismo que, después de millones de años los depósitos acaban en rocas y sedimentos donde el petróleo es atrapado en ciertos espacios y se extrae mediante plataformas de explotación.

En la actualidad el petróleo es el combustible mas usado. El petróleo crudo, según lo indican (McKinney & Schoch, 2003) y (Miller, 1999), consiste en

muchos compuestos orgánicos diferentes que se transforman en productos en un proceso de refinamiento, con la desventaja que el petróleo no puede encontrarse de manera constante en cualquier parte de la tierra y consecuentemente es un recurso limitado a ciertas áreas geográficas.

El crudo como tal necesita para por un proceso de refinación para su posterior uso, dependiendo la utilidad posterior a la cual va direccionado. El Concejo Internacional para el Transporte Limpio (ICCT, 2011) señala que, la refinación de petróleo es un eslabón único y fundamental de la cadena de suministro de petróleo, del pozo a la bomba.

Cada tipo de crudo es único y es una mezcla compleja de miles de componentes. La mayoría de los componentes presentes en el petróleo crudo son hidrocarburos (componentes orgánicos compuestos por átomos de hidrógeno y carbono). Asimismo, se pueden encontrar no sólo carbono e hidrógeno, sino también pequeñas (pero importantes) cantidades de otros (“hétero”) elementos, en particular azufre, nitrógeno y ciertos metales (por ejemplo, níquel, vanadio).

El petróleo crudo está compuesto por la molécula de hidrocarburo más pequeña y simple – CH₄ (metano) – hasta las moléculas más grandes y complejas que contienen 50 o más átomos de carbono (además de hidrógeno y heteroelementos). Otras propiedades físicas indicadas del crudo están expuesta en la Tabla 1.6.

Tabla 1.6. Propiedades físicas del petróleo crudo

PROPIEDAD	VALOR (UNIDAD)
Poder calorífico	44.000 (kJ/kg)
Densidad	17° API
Índice de refracción	1,39 – 1,49
Coefficiente de Expansión	0,00036 – 0,00096
Punto de Ebullición	> 300°C
Punto de Quema	2°C hasta 155°C
Calor Específico	0,40 – 0,52
Calor Latente de vaporización	70 – 90 kCal/kg

Fuente: (ICCT, 2011)

c. El gas natural. Características y propiedades

El gas natural es un compuesto no tóxico, incoloro e inodoro, constituido por una mezcla de hidrocarburos en la que su principal componente es el metano (CH_4), una molécula sencilla formada por 1 átomo de carbono y 4 átomos de hidrógeno.

Bajo este concepto, (Burgos & García, 2002) adicionan que, su composición química, no obstante, varía sensiblemente según su procedencia, ya que acostumbra a ir asociada a otras moléculas o elementos como el ácido sulfhídrico (H_2S), el anhídrido carbónico (CO_2), el nitrógeno (N_2) o el helio (He) que se extrae cuando el gas natural se destina a usos industriales y domésticos

El origen del gas natural, como el del petróleo, lo debemos buscar en los procesos de descomposición de la materia orgánica, que tuvieron lugar entre 240 y 70 millones de años atrás, durante la época en la que los grandes reptiles y los dinosaurios habitaban el planeta (Era del Mesozoico). Esta materia orgánica provenía de organismos planctónicos que se fueron acumulando en el fondo marino de plataformas costeras o en las cuencas poco profundas de estanques, y que fueron enterradas bajo sucesivas capas de tierra por la acción de los fenómenos naturales, tal como se observa en la Figura No. 1.8, además de otras propiedades físicas expuestas en la Tabla 1.7.

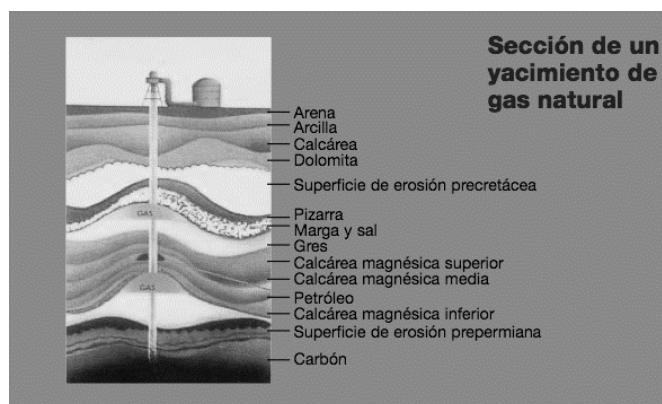


Figura 1.8. Sección de un yacimiento de gas natural.

Fuente: (Burgos & García, 2002)

d. Aplicabilidad del gas natural como combustible

El gas natural ha sido un combustible atractivo para la obtención de electricidad, ya que tiene un mejor rendimiento energético y un menor impacto ambiental que otros combustibles fósiles. El desarrollo y mejora de las turbinas de gas permite conseguir ahorros de hasta un 40%. Hay tres sistemas de producción de energía eléctrica que tienen el gas natural como combustible, especificados dentro de la Tabla 1.7.

Tabla 1.7. Metodologías de generación eléctrica por gas natural.

METODOLOGÍA	CARACTERÍSTICAS
Centrales Térmicas Convencionales	Las centrales térmicas convencionales, que generan electricidad mediante un sistema caldera-turbina de vapor con un rendimiento global de un 33%.
Centrales de cogeneración termoeléctrica	Las centrales de cogeneración termoeléctrica, en las que se obtiene calor y electricidad aprovechando el calor residual de los motores y las turbinas. Su rendimiento eléctrico depende de la tecnología utilizada, pero puede oscilar entre el 30 y el 40%, mientras que el rendimiento térmico está alrededor del 55%.
Centrales de ciclo combinado (CCGT)	Las centrales de ciclo combinado (CCGT), que combinan una turbina de gas y una turbina de vapor, y tienen un rendimiento global de un 57% respecto a la energía primaria.

Fuente: (Santos, 2002)

1.2.3 Sistemas de Generación Termoeléctrica

a. Generalidades de la generación termoeléctrica

Una de las principales formas de generación eléctrica, y de amplia aplicación por el extenso empleo de los combustibles fósiles, además de la madurez de

conocimientos físicos y científicos logrados actualmente, es la cogeneración por medio de plantas térmicas de generación eléctrica.

La (UIA, 2010) define a las plantas de este tipo como, una instalación empleada para la generación de energía eléctrica a partir de la energía liberada en forma de calor mediante la combustión de algún combustible fósil como petróleo, carbón, gas natural, fuel oil, gas oil en una caldera diseñada a tal efecto. Este calor es empleado por un ciclo termodinámico convencional para mover un alternador y producir energía eléctrica.

En otras palabras, según (Sánchez, 2008), este proceso consiste en la quema de un combustible para calentar un fluido hasta generar vapor, a continuación se transforma la energía cinética del vapor en energía mecánica haciéndolo pasar a través de una turbina, que a su vez está conectada a un generador eléctrico proporcionándole el par mecánico necesario para finalmente transformar esa energía mecánica en energía eléctrica (Figura 1.9) . La eficiencia de este tipo de plantas ronda alrededor del 39%.



Figura 1.9. Metodología de generación termoeléctrica convencional.

Fuente: (Sánchez, 2008)

Tal como se observa en la Figura 1.9, los elementos principales que conforman una planta de este tipo son la caldera o generador de vapor, la turbina, el generador eléctrico, el transformador y de existir, la torre de enfriamiento.

El esquema de funcionamiento de todas las centrales termoeléctricas es similar independientemente del combustible utilizado. Las únicas diferencias consisten en el distinto tratamiento previo que sufre el combustible antes de ser inyectado en la caldera y en el diseño de los quemadores de la misma, que varían según sea el tipo de combustible empleado. Una central termoeléctrica clásica posee, dentro del propio recinto de la planta, sistemas de almacenamiento del combustible que utiliza.

Si es una central termoeléctrica de fuel-oil, éste es precalentado para que fluidifique, siendo inyectado posteriormente en quemadores adecuados a este tipo de combustible. Si es una central termoeléctrica de gas los quemadores están asimismo concebidos especialmente para quemar dicho combustible.

Otros de los componentes indicados dentro del sistemas, como son las tuberías, las bases de cimentación, el motor específico, el radiador, el tablero de control, entre otros se ven expuestos en la Figura 1.10.

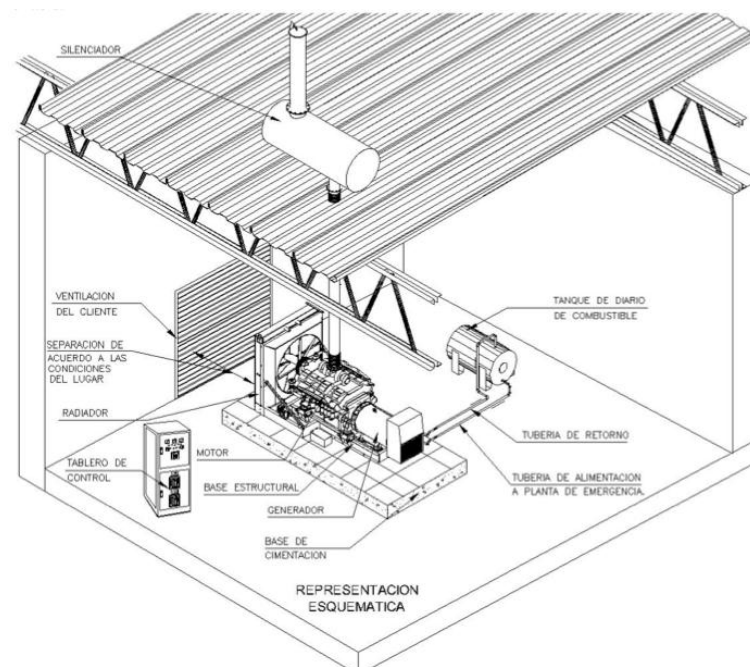


Figura 1.10. Esquema básico de una planta térmica

Fuente: (IGSA, 2012)

b. Generación eléctrica por Motores Reciprocantes (MCIA)

Como todas las maquinas cíclicas su propósito es transformar la energía proveniente del combustible en un movimiento circular en un eje. Los motores cuentan con cilindros los cuales encierran un volumen variable debido al recorrido del pistón, el cual es solidario a un conjunto manivela biela para que se complete un ciclo de funcionamiento.

Estos motores, según lo especifica (Pozo L. , 2012), la detonación de la mezcla de aire y combustible al interior del cilindro puede hacerse de dos formas:

- Mediante una chispa eléctrica que inicie la explosión, en este caso este será un ciclo Otto.
- Llegando a ejercer una presión tal que la mezcla detone espontáneamente, entonces se trata de un ciclo Diesel.

Dentro de este campo específico, (Pozo L. , 2012) además agrega que, para potencias menores de 10 kW, se emplea más frecuentemente el motor a gasolina, y para potencias medias y grandes se utiliza motores ciclo Diesel. Desde una perspectiva comparativa, Chamorro (2012) realiza una disgregación técnica, donde los motores de combustión interna, frente a otro tipo de accionamiento primario, ofrecen la ventaja de su mejor rendimiento.

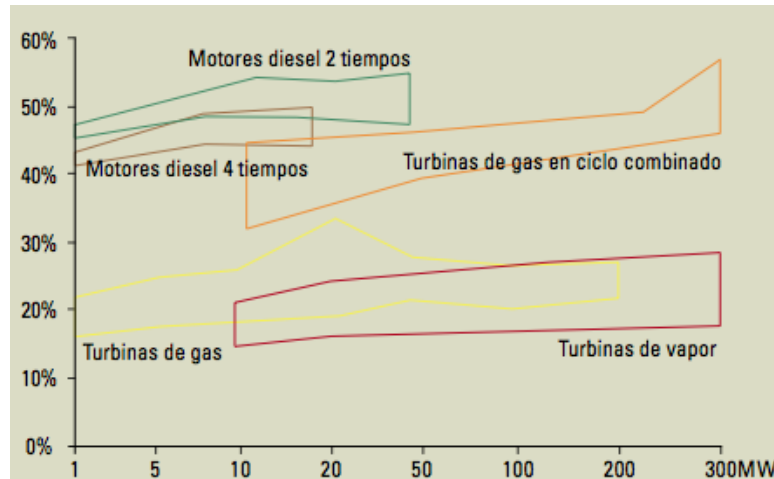


Figura 1.11. Esquema comparativo de tecnologías de generación.

Fuente: (Chamorro, 2000)

Según la Figura 1.11 sobre rendimientos, (Chamorro, 2000) expresa que se mantiene la tendencia natural en grandes instalaciones de generación hacia las instalaciones de turbinas de gas en ciclo combinado, donde se aprovecha el calor de los gases de escape para producir vapor, que se utiliza a su vez para generar energía eléctrica en una turbina, obteniendo un rendimiento muy elevado en la instalación.

Finalmente un aspecto importante a señalar es el consumo que presenta la tecnología dentro de los parámetros de generación y el nivel de carga parcial al que se ve expuesto, tal como se puede verificar en la Figura 1.12., donde nuevamente se presenta un comportamiento superior por parte de los motores con ciclo Diesel. Estos ciclos son capaces de mantener un mejor rendimiento trabajando a baja carga, que los que pueden ofrecer otras tecnologías, pero si a este parámetro positivo le agregamos la inclusión de gas natural, las ventajas son aún mayores.

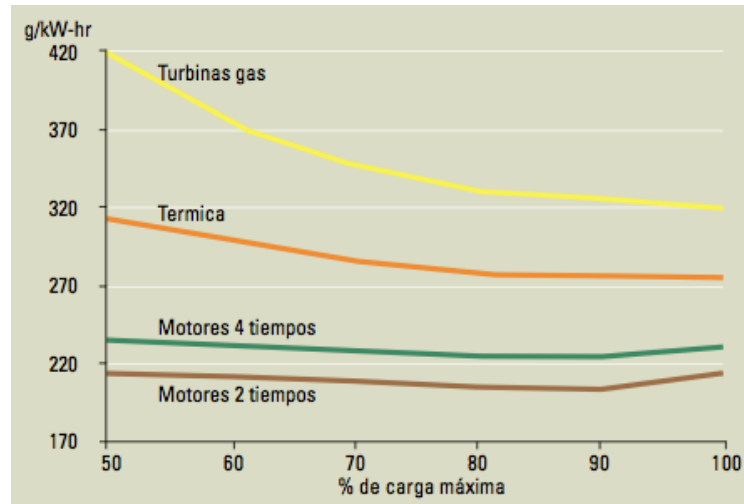


Figura 1.12. Esquema comparativo de tecnologías de generación.

Fuente: (Chamorro, 2000)

c. Clasificación de Motogeneradores

Acorde a la característica principal del medio combustible a ser utilizado para la generación térmica a partir de la producción energética de los motores reciprocantes MCIA, los motogeneradores pueden ser de dos tipos, Motor Diesel, Motor a Gas y Motores Compartidos.

(Chamorro, 2000) especifica al Motor Diesel como un motor de combustión interna en el cual se consigue la ignición del combustible por el calor desarrollado al comprimir el aire hasta un grado muy elevado de compresión, presiones de hasta 40 kg/cm^2 , de esta compresión dependerá el rendimiento del motor.

Los motores Diesel utilizan combustibles más pesados que los motores de explosión, por lo tanto son más económicos, siendo los más usados el gas-oil (diesel) y el fuel-oil. También se puede usar el petróleo, en instalaciones de gran potencia para servicio continuo, para usar este combustible de forma que se consiga una combustión completa, es preciso de un calentamiento previo y llevar a la compresión a valores más altos que con los anteriores combustibles, esta tecnología se llama “de mezcla pobre”.

Esos son los principales combustibles pero tiene gran flexibilidad y además con ligeras adaptaciones constructivas también se puede usar combustibles gaseosos, e inclusive se puede optar como una máquina de combustible dual en la cual se trabaja con combustibles líquidos o gaseosos.

En el caso de los motores a Gas, (Chamorro, 2000) enuncia que, el motor a gas es un motor reciprocante en el que la transformación de calor se hace mediante la inflamación de una mezcla de gas-aire que previamente ha sido comprimida por el émbolo, el gas es el combustible y el aire es el comburente. Su campo de aplicación es en aquellos lugares donde el gas resulta económico, por lo que en la industria petrolera puede ser una aplicación por disponer de él, en el mismo lugar.

El ciclo de funcionamiento de un motor gas es similar al motor Diesel, la diferencia es la mezcla de combustible con el aire necesario para la combustión. Estos motores pueden usar todos los combustibles gaseosos como: gas de alumbrado, gas pobre, gas de altos hornos, gas natural, gas asociado de petróleo, GALP, biogás, entre otros.

En tercer lugar, pero no por eso menos importante, se detallan los Motores con funcionamiento compartido, que acorde a lo expuesto por (Chamorro, 2000), el principio general de funcionamiento es el mismo que usan los motores Diesel, la diferencia es que estos motores pueden operar compartiendo simultáneamente el combustible gaseoso con líquido sin afectar a la potencia de salida del motor. Esta versatilidad que presentan estos motores ha hecho que sea de gran aplicabilidad en la industria petrolera para operar usando como combustible gas asociado y petróleo, sin que las variaciones del suministro de gas sea un problema.

El sistema de combustible compartido permite operar al motor con combustible gaseoso y líquido en diferentes proporciones de acuerdo a la disponibilidad de los mismos, siempre que se encuentren dentro de la ventana de operación específica de cada motor, caso especial usado en los motores Wärtsila de generación

eléctrica, con la introducción de la ventana de operación de combustible compartido, o GD-Fuel Sharing, detallado en la Figura 1.13.

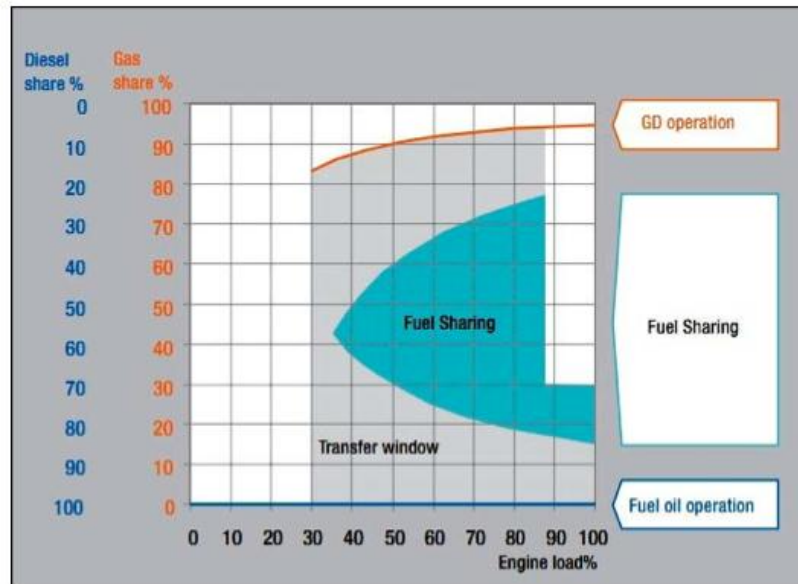


Figura 1.13. GD-Fuel Sharing – Combustible Compartido en Ciclos

Fuente: (Wärtsila, 2015)

d. La cogeneración en sistemas termoelectrónicos crudo – CNG

La definición de cogeneración dentro de los sistemas termoelectrónico de crudo – CNG parte de la producción en secuencia de energía eléctrica y/o mecánica y de energía térmica aprovechable en los procesos industriales con origen de fuentes energéticas primarias, como una alternativa a la conservación energética industrial.

Según lo establece (SINERGIA, 2012), en una planta de generación termoelectrónica se quema normalmente un combustible fósil para producir vapor a alta temperatura y presión, el cual se hace pasar por una turbina para generar energía eléctrica. Dentro de este concepto, para aplicación específica dentro del

presente proyecto investigativo, se direcciona la cogeneración a una planta de ciclo combinado.

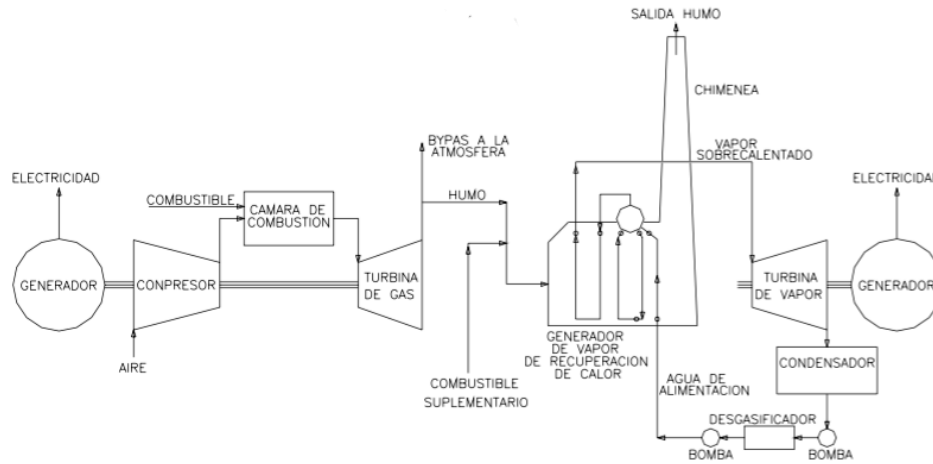


Figura 1.14. Ciclos combinados crudo - CNG

Fuente: (Wärtsilä, 2015)

Bajo el enfoque de ciclo combinado, haciendo referencia a (Prieto, 2006), consiste en la integración de dos o más ciclos termodinámicos energéticos, para lograr una conversión más completa y eficiente de la energía aportada en trabajo o potencia. Dentro de esta estructura productiva, el mayor reto consiste en el grado de integración que se necesita para la maximización de la eficiencia a un coste económico razonable. En la Figura 1.14 se demuestra un esquema simplificado de un ciclo combinado.

La justificación de los ciclos combinados reside en que, desde el punto de vista tecnológico provisto por (Inmaculada & Robles, 2008), resulta difícil conseguir un único ciclo termodinámico que trabaje entre las temperaturas medias de los focos caliente y frío usuales. Es por ello que, como solución se acude al acoplamiento de dos ciclos: uno especializado en la producción de trabajo con alta eficiencia en rangos altos de temperatura de trabajo y otro para temperaturas medias – bajas.

Direccionado el análisis hacia el modo de operación de motores en sistemas de combustible compartido GD, se mantiene tres modos de operación, el modo compartido Gas – Diesel propiamente dicho, el modo combustible compartido y el modo de combustible líquido, especificados dentro de la Tabla 1.8.

Tabla 1.8. Modos de operación motores sistemas GD.

MODO DE OPERACIÓN	CARACTERÍSTICAS
Gas - Diesel	En donde el gas es la principal fuente de energía, pero se requiere un pequeño porcentaje de combustible piloto líquido (5%), para encender la combustión. Con este modo trabaja desde un 30% hasta un 100% de la carga del motor.
Combustible Compartido	Este modo de operación utiliza combustibles gaseosos y líquidos al mismo tiempo, y esta relación entre combustibles puede ajustarse flexiblemente de acuerdo a la disponibilidad de los mismos. Con este modo el motor trabaja entre un 35% y un 87,5% de la carga total del motor.
Combustible Líquido	Opera solo con combustible líquido, pudiendo trabajar entre el 0% y 100% de la carga.

Fuente: (Chamorro, 2000)

Así se concluye que, de acuerdo a la perspectiva de (Inmaculada & Robles, 2008), la utilización de ciclos de turbinas de vapor en ciclos combinados gas-vapor se deriva del excelente acoplamiento térmico existente con el ciclo de las turbinas de gas en los rangos actuales de temperatura de trabajo y los altos rendimientos que el empleo conjunto de dichas tecnologías posibilita.

1.2.4 El motor Wärtsilä 18V32 LNGD

a. Balance energético

Dentro de los planes de cogeneración en el emplazamiento correspondiente a Edén – Yuturí, Petroamazonas, se toma en cuenta únicamente las características técnicas del motor Wärtsilä 18V32 LNGD.

Tal como lo indica (Álvarez, 2008), con relación a la generación de electricidad, se ha registrado una tendencia hacia la instalación de grandes centrales de producción de energía. Las unidades generadoras menores y modernas de (Wärtsilä, 2015) se ubican en el rango de potencia de 4 a 25 MW por unidad, representando así una actuación excelente y una muy buena confiabilidad.

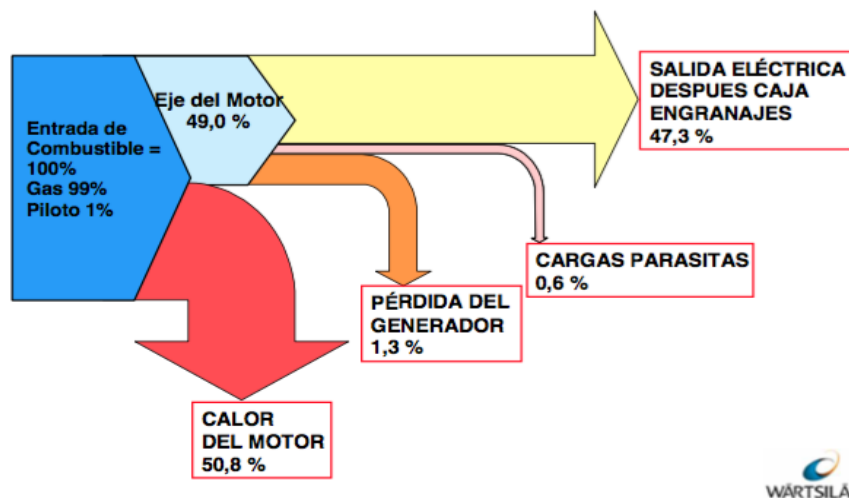


Figura 1.15. Balance energético motor Wärtsilä 18V32 LNGD

Fuente: (Wärtsilä, 2015)

Como se analiza en la Figura 1.15, a la entrada del motor Wärtsilä existe una entrada de combustible del 100%, de la cual teóricamente se debería extraer el 100% de su poder calorífico, pero en la realidad en los primeros procesos dentro del motor existe una pérdida del 51% aproximadamente por procesos de transferencia de calor en los cilindros, pérdida típica de un proceso de combustión

interna alternativo por lo que a la salida del motor térmico hay solo un aprovechamiento energético del 49% del cual, por razón del generador eléctrico y la participación de cargas eléctricas parásitas se pierde un 1,9%, por lo que el aprovechamiento del combustible a la salida del motor es solamente del 47% aproximadamente.

Como especifica (Wärtsila, 2015), bajo la determinación de eficiencia energética en ciclo simple, dicha eficiencia calórica de cada generador individual debe ser alta para que la eficiencia combinada también lo sea, siendo esta la razón principal por la cual los motogeneradores recíprocos turboalimentados resultan ser la opción primaria impulsora más conveniente.

En búsqueda de mejorar la potencia y la eficiencia de los motores de generación eléctrica desarrollado por Wärtsila, los desarrolladores técnicos proponen el funcionamiento de los mismos con mezclas precisas de gas, combustible líquido y aire. (Álvarez, 2008) indica que este concepto asegura que la eficiencia sea constante en el rango de carga superior, obteniendo una ventaja comprada a la generación centralizada. Como dato adicional el autor indica que si pudiera provecharse el calor liberado, la eficiencia combinada podría llegar hasta el 90%.

Dentro de los lineamientos de performance basados en la generación mediante utilización de combustible líquido, dentro de la Tabla 1.9 se presenta el estudio comparativo del motor Wärtsila 18V32 con respecto a versiones de similares características, mientras que en la tabla No. 1.10 se especifica el mismo estudio comparativo con respecto a el uso del gas como combustible dentro del proceso de combustión.

Tabla 1.9. Estudio técnico comparativo generador Wärtsilä 18V32 – combustible líquido

Performance data as guidelines for CHP calculations – Wärtsilä liquid fuelled generating sets at 50 and 60 Hz

Performance data		Wärtsilä diesel engines at frequency 50 Hz						Wärtsilä diesel engines at frequency 60 Hz					
Engine		9L20	12V32	16V32	18V32	20V32	18V46	9L20	12V32	16V32	18V32	20V32	18V46
Engine optimization: NO _x (dry @ 15 vol-% O ₂)	ppm-vol	710*-780	710*-970	710*-970	710*-970	710*-970	900*-970	710*-780	710*-970	710*-970	710*-970	710*-970	900*-970
Electric power	kW	1539	5327	7124	8032	8924	17076	1454	5211	6970	7841	8730	17076
Heat rate ¹⁾	kJ/kWh	8604	7880	7856	7840	7840	7698	8561	7880	7856	7861	7840	7698
Efficiency ¹⁾	%	41.8	45.7	45.8	45.9	45.9	46.8	42.0	45.7	45.8	45.8	45.9	46.8
High temperature circuit inlet/outlet	°C	84/91	79/96	80/96	80/96	80/96	80/91	84/91	80/96	80/96	80/96	80/96	80/91
– HTCAC temperature inlet/outlet	°C		87/96	87/96	88/96	87/96	83/91		87/96	87/96	88/96	88/96	83/91
– Cylinder temperature inlet/outlet	°C	84/91	79/87	80/87	80/88	80/87	80/83	84/91	80/87	80/87	80/88	80/88	80/83
Low temperature circuit inlet/outlet	°C	34/47	38/49	38/49	38/49	38/49	42/55	34/48	38/49	38/49	38/49	38/49	42/55
– Lubrication oil circuit inlet/outlet	°C	63/78	63/77	63/78	63/78	63/79	63/80	63/77	63/77	63/78	63/78	63/79	63/80
– LTCAC temperature inlet/outlet	°C	34/44	38/43	38/43	38/43	38/43	42/47	34/44	38/43	38/43	38/43	38/43	42/47
Charge air flow	± 5% kg/s	3.5	10.2	13.6	15.3	17.0	31.6	3.3	9.7	13.0	14.6	16.2	31.6
Exhaust gas flow	± 5% kg/s	3.6	10.5	14.0	15.7	17.5	32.5	3.4	10.0	13.3	15.0	16.7	32.7
Exhaust gas temperature	± 15 °C	303	347	348	349	349	346	302	352	352	354	354	344
Exhaust gas heat	± 10% kW	1052	3629	4849	5472	6082	11212	991	3515	4698	5306	5897	11222
High temperature circuit-energy	± 10% kW	371	1891	2453	2726	3030	5135	345	1805	2427	2654	2949	5141
– HTCAC energy	± 10% kW		1044	1319	1443	1604	3484		971	1309	1388	1543	3490
– Cylinder cooling energy	± 10% kW	371	847	1134	1283	1426	1651	345	834	1118	1266	1407	1651
Low temperature circuit-energy	± 10% kW	832	1246	1668	1885	2093	3750	776	1205	1623	1829	2032	3753
– Lubrication oil energy	± 10% kW	246	657	877	988	1097	2249	221	646	862	972	1080	2249
– LTCAC energy	± 10% kW	586	589	791	897	996	1501	556	559	761	857	951	1504
Heat losses by radiation	± 20% kW	68	185	247	278	308	451	68	180	240	270	300	451

Note: Heat and mass balances are dependent on ambient conditions and plant application, above given figures are for guidance only and calculated at ISO 3046 reference conditions; 25°C ambient temperature, 100m above sea level and 30% relative humidity.
 1) Electrical output at generator terminals, including engine-driven pumps at 100% load. ISO conditions and LHV (42700 kJ/kg). Tolerance 5 %. Power factor 0.8.

* Adjustable NO_x range according to local requirements. Heat rates given at the marked NO_x optimization level. Heat rates at other NO_x optimization levels to be checked case by case.
 Note! 1 ppm-v dry @ 15% O₂ ≈ 2.054 mg/Nm³ dry @ 15% O₂, NO_x calculated as NO₂, Nm³ defined at NTP (273.15 K and 101.3 kPa).

Fuente: (Wärtsilä, 2015)

Tabla 1.10. Estudio técnico comparativo generador Wärtsilä 18V32 – combustible gas

Performance data as guidelines for CHP calculations – Wärtsilä gas fuelled generating sets at 50 and 60 Hz

Performance data		Wärtsilä gas engines at frequency 50 Hz						Wärtsilä gas engines at frequency 60 Hz							
		9L34SG	16V34SG	20V34SG	20V34DF		18V50DF		9L34SG	16V34SG	20V34SG	20V34DF		18V50DF	
Engine					Gas mode	Liquid fuel mode	Gas mode	Liquid fuel mode				Gas mode	Liquid fuel mode	Gas mode	Liquid fuel mode
Engine optimization: NO _x (dry @ 15 vol-% O ₂)	mg/Nm ³	95–190*	95–190*	95–190*	190–380*	1460–2000* (LFO) 1600–2000 (HFO)	190–380*	2000*	95–190*	95–190*	95–190*	190–380*	1460–2000* (LFO) 1600–2000 (HFO)	190–380*	2000*
Electric power	kW	3888	6970	8730	8730	8730	16621	16621	3758	6737	8439	8439	8439	17076	17076
Heat rate ¹⁾	kJ/kWh	7817	7753	7737	8036	8127	7616	8185	7817	7753	7737	8036	8127	7616	8186
Efficiency ¹⁾	%	46.1	46.4	46.5	44.8	44.3	47.3	44.0	46.1	46.4	46.5	44.8	44.3	47.3	44.0
Cooling circuit inlet/outlet ²⁾	°C	36/59	36/66	36/67	36/69	36/77	36/68	42/83	36/58	36/65	36/66	36/68	36/75	36/68	42/85
– HTCAC temperature inlet/outlet	°C	42/52	45/57	46/58	47/59	49/65	45/59	54/72	42/52	45/56	45/57	46/58	48/64	45/59	55/73
– Cylinder temperature inlet/outlet	°C	84/91	82/91	82/91	81/91	83/91	80/85	79/85	84/91	83/91	82/91	81/91	83/91	80/85	78/85
– Lubrication oil circuit inlet/outlet	°C	63/74	63/76	63/77	63/78	63/80	63/74	63/78	63/74	63/76	63/76	63/78	63/79	63/74	63/78
– LTCAC temperature inlet/outlet	°C	36/37	36/38	36/39	36/39	36/41	36/38	42/46	36/37	36/38	36/38	36/39	36/40	36/38	42/46
Charge air flow ± 5%	kg/s	6.2	11.1	13.8	14.1	17.5	26.2	32.5	6.0	10.7	13.4	13.5	16.7	26.1	32.5
Exhaust gas flow ± 5%	kg/s	6.4	11.4	14.2	14.5	17.9	27.0	33.5	6.2	11.0	13.8	13.9	17.2	26.6	33.5
Exhaust gas temp. ± 15	°C	400	400	400	380	335	400	377	400	400	400	380	335	401	369
Exhaust gas energy ± 10%	kW	2657	4733	5924	5714	5975	11016	12705	2567	4572	5722	5486	5718	11379	12415
Cooling circuit-energy ± 10%	kW	1929	3436	4294	4595	5631	7403	9504	1868	3322	4147	4432	5404	7409	9991
– HTCAC energy ± 10%	kW	840	1405	1723	1710	2238	3237	4129	817	1369	1680	1659	2168	3219	4117
– Cylinder cooling energy ± 10%	kW	560	1005	1254	1404	1587	2101	2514	540	965	1214	1354	1517	2238	2925
– Lubrication oil energy ± 10%	kW	424	761	961	1065	1149	1528	1967	414	741	920	1035	1108	1538	2048
– LTCAC energy ± 10%	kW	105	265	357	416	662	542	884	97	247	333	384	611	539	901
Heat losses by radiation ± 20%	kW	130	230	290	350	350	630	670	120	220	280	340	340	640	670

Note: Heat and mass balances are dependent on ambient conditions and plant application, above given figures are for guidance only and calculated at ISO 3046 reference conditions; 25°C ambient temperature, 100m above sea level and 30% relative humidity.

1) Heat rate and electrical efficiency at generator terminals, including engine-driven pumps, ISO 3046 conditions and LHV. Tolerance 5%. Power factor 0.8. Gas Methane Number >80

2) Single-circuit cooling system.

* Adjustable NO_x range according to local requirements. Heat rates given at the marked NO_x optimization level. Heat rates at other NO_x optimization levels to be checked case by case.

Note! 1 ppm-v dry @ 15% O₂ ≈ 2.054 mg/Nm³ dry @ 15% O₂, NO_x calculated as NO₂, Nm³ defined at NTP (273.15 K and 101.3 kPa).

Fuente: (Wärtsilä, 2015)

b. Especificaciones técnicas

Dentro del campo de manejo de voltaje y estabilidad de la frecuencia, el motor Wärtsila posee algunas variaciones naturales que resultan en cambios instantáneos de potencia. (Álvarez, Generación Distribuida con motogeneradores Wärtsila operando en paralelo: Alta Eficiencia y Máxima Confiabilidad, 2008) indica que, la combinación de una máquina girando y un generador sincrónico conectado a la red eléctrica puede verse como un sistema “masa - resorte” con una frecuencia natural. Técnicamente, el motor Wärtsila 18V32 LNGD tiene las siguientes especificaciones constructivas, especificadas en la Tabla 1.11.

Tabla 1.11. Especificaciones técnicas motor Wärtsila 18V32 LNGD

MOTOR	
Desarrollador:	Wärtsila
Modelo del motor:	18V32
Año de producción	2004
Horas de servicio:	10666
kW por unidad	7770 kW
RPM	720
GENERADOR	
Desarrollador:	AVK
KVA:	9422
AMP:	394
Voltaje:	13,800
Frecuencia:	60 HZ
Plataforma	SI
SISTEMA MECÁNICO	
Sistema de arranque:	Sistema de aire comprimido
Módulo de recepción de aire:	8bar*1/30bar*4
Drenajes de aire recibido:	1 conjunto
SISTEMA DE CAMBIO DE AIRE	
Filtro de aire:	LEINOLAT DL-12-350

Tabla 1.11. Especificaciones técnicas motor Wärtsilä 18V32 LNGD
(continuación)

Silenciador:	Metalli-Jokela Oy, FIN-66600
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR AGUA	
Torre de enfriamiento:	3500RT*2
Tanque de compensación:	No necesaria
SISTEMA DE COMBUSTIBLE	
Tipo de sistema:	Sistema DFO
Tanque diario:	300 m ³
Sistema de medición:	Medidor de combustible
Sistema de presión	Bomba de pre presión DFO

Fuente: (Wärtsilä, 2015)

Para comprensión del funcionamiento de los motores de motogeneración Wärtsilä, dentro del marco teórico indicado se agrega una serie de terminología empleada, los mismos que son de uso extenso dentro del manual de funcionamiento (Anexo No. 1), anunciados a continuación:

- **Lado de Maniobra.** La parte longitudinal del motor en la que están situados los dispositivos de maniobra (arranque y parada, cuadro de instrumentos, limitador de velocidad).
- **Parte trasera.** La parte longitudinal del motor contrapuesta al lado de maniobra.
- **Lado de transmisión.** Parte del motor en la que se encuentra el volante.
- **Lado libre.** Lado opuesto al de transmisión.
- **Designación de los cilindros.** De acuerdo con las normas ISO 1204 y DIN 6265, la designación de los cilindros comienza por el lado de transmisión. En un motor en V, los cilindros del bloque izquierdo, vistos desde el lado

de transmisión, se denominan A1, A2, y los del bloque derecho B1, B2, tal y como se indica en la figura 1.16.

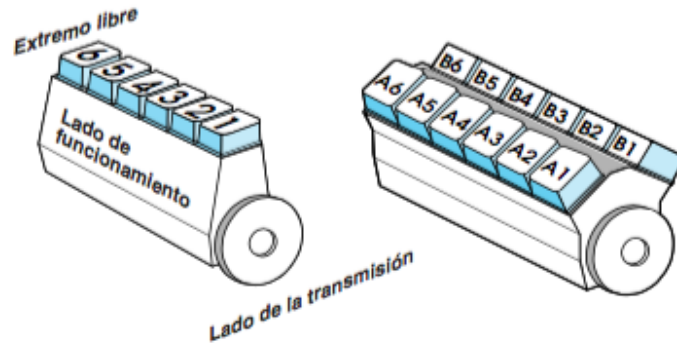


Figura 1.16. Designación de cilindros y lados de transmisión.

Fuente: (Wärtsilä, 2015)

c. Datos principales de funcionamiento y condiciones de referencia

El funcionamiento del motor Wärtsilä 18V32 se rige inicialmente en la denominación de una serie de datos principales de funcionamiento, entre los cuales se puede resumir:

- Diámetro del cilindro: 320 mm.
- Carrera: 350 mm.
- Cilindrada por cilindro: 28,15 lt.
- Volumen de aceite carter inf.: 2670 lt.
- Volumen de aceite carte prof.: 4020 lt.
- Volumen de aceite entre señales: 6,9 lt.
- Sentido de giro: En el sentido de las agujas del reloj.
- Volumen de agua refrigerante 1060 l. (sólo motor)
1360 l. (motor y sist. refrigeración).

A partir de los datos principales de funcionamiento del motor Wärtsilä se aplican una serie de condiciones de referencia sobre las cuales se mantendrá la

aplicación correcta de la producción energética del motogenerador. Dichas condiciones de referencia son:

- Presión atmosférica: 100 kPa.
- Temperatura ambiente: 298 K (25°C).
- Humedad relativa del aire: 30%.
- Temperatura agua de refrigeración: 298 K (25°C).

Para la utilización del motogenerador Wärtsilä 18V32 LNGD en condiciones ambientales más severas, según lo especifica (Wärtsilä, 2015), se debe seguir como orientación un factor de reducción adicional que se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Factor de reducción} = (a + b + c) \%$$

donde,

a = 0,5% por cada °C que aumente la temperatura ambiente con respecto al valor indicado en los documentos de venta.

b = 1% por cada 100m que suba el nivel con respecto al valor indicado en los documentos de venta.

c = 0,4% por cada °C que el agua de refrigeración del enfriador de aire de carga supere el valor establecido en el contrato de venta.

d. Diseño estructural general

Estructuralmente, el motor de generación de 4 tiempos, sobrealimentado y refrigerado con manejo de inyección directa. Para facilitar el establecimiento del diseño estructural general de los sistemas de producción de gran envergadura, (Wärtsilä, 2015) organiza la información de forma particular rigiéndose de acuerdo a la tabla No. 1.12, y bajo vistas transversales de su forma estructural (Figura No. 1.17).

Tabla 1.12. Información específica estructural motor Wärtsilä 18V32.

COMPONENTE	ESPECIFICACIÓN
Bloque motor	Está fundido en una pieza. El cigüeñal está montado en el bloque del motor a modo de eslinga baja. La tapa del cojinete principal está apoyada en dos tornillos de cojinete tensionados hidráulicamente y dos tornillos laterales horizontales.
Camisas de los cilindros	El receptor del aire de sobrealimentación va integrado en la pieza de fundición que constituye el bloque motor, al igual que el colector de agua refrigerante. Se diseñan con un cuello alto y con taladros de refrigeración cuyo efecto está optimizado para obtener la temperatura correcta en la superficie interior. La camisa lleva un anillo antidesgaste en su parte interna superior.
Cojinetes del cigüeñal	Son cojinetes bimetálicos o trimetálicos totalmente intercambiables, que pueden desmontarse bajando el sombrerete. Cada cojinete va provisto de un gato hidráulico que permite bajar y subir el sombrerete.
Cigüeñal	Es de una sola pieza de forja que se equilibra con los contrapesos necesarios.
Bielas	En los motores Vasa 32 Low NOX de Wärtsilä están fabricados en una aleación de acero y mecanizados con secciones redondas. Todos los vástagos se aprietan hidráulicamente. El cojinete del bulón es de tipo tri metálico.
Conjunto de anillos del pistón	Cuentan con dos anillos de compresión cromados y un resorte de aceite con bordes cromados. En los motores más antiguos, el conjunto de anillos de pistón consta de tres anillos de compresión cromados y un resorte de aceite cromado.

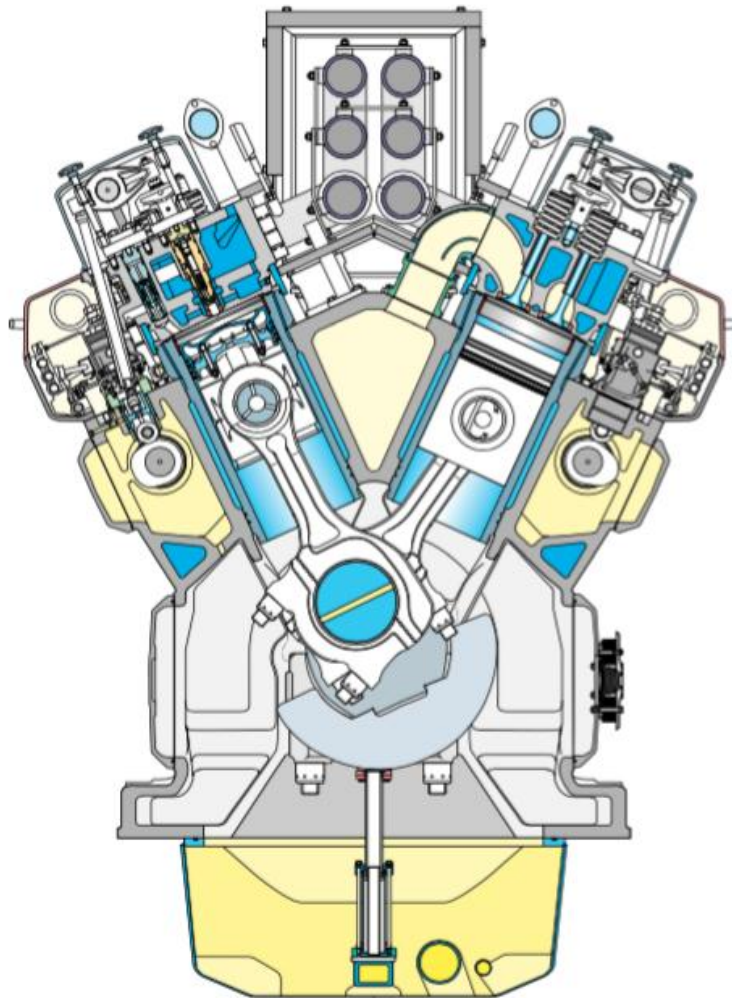
Tabla 1.12. Información específica estructural motor Wärtsilä 18V32
(continuación)

Pistones	Están provistos de un sistema de lubricación de la falda patentado por Wärtsilä. Las ranuras del segmento superior están endurecidas. El aceite refrigerante entra en el espacio de refrigeración a través de la biela. Los espacios de refrigeración están diseñados para lograr un efecto de agitación óptimo.
Culata	De acero fundido especial, va fijada por cuatro tornillos tensados por medios hidráulicos. La culata es de doble pared y el agua refrigerante es forzada desde la periferia hacia el centro, obteniéndose una refrigeración eficiente en las zonas más importantes.
Válvulas de admisión	Están recubiertas de estelita y sus vástagos son cromados. Los anillos de asiento de las válvulas son de una aleación especial de hierro fundido y recambiables.
Válvulas de escape	También con asientos de estelita y vástagos cromados, se acoplan directamente a los anillos del asiento de válvula refrigerado. En algunas aplicaciones, se utilizan válvulas Nimonic.
Árboles de levas	Constan de una pieza por cilindro con la leva integrada. Los apoyos son separadas, siendo posible extraer una pieza del árbol de levas lateralmente.
Bombas de Inyección	Disponen de poleas conducidas de rodillo y suelen poder cambiarse sin ningún ajuste. Las bombas y las tuberías están situadas en un espacio cerrado aislado del calor para el paso de combustible pesado.
Turbocompresores	Los motores en V llevan dos turboalimentadores, uno para cada bloque de cilindros.

Tabla 1.12. Información específica estructural motor Wärtsilä 18V32
(continuación)

Sistema de engrase	Incluye una bomba de engranajes, un filtro de aceite, un radiador con válvula termostática (no en los motores en V), un filtro centrífugo y una bomba de prelubricación de tracción eléctrica
Sistema de arranque.	El suministro de aire en los cilindros se controla mediante el distribuidor de aire de arranque impulsado por el árbol de levas.

Fuente: (Wärtsilä, 2015)



c

Figura 1.17. Vista transversal motor Wartsila 18V32 LNGD

Fuente: (Wärtsilä, 2015)

La información técnica del motor Wärtsila 18V32 LNGD, al ser un motogenerador de gran envergadura, es por ende muy extensa siendo expresada en su totalidad dentro del manual, pero para fines propios de la presente investigación se adjunta a continuación de manera concluyente el esquema de manejo de combustible del sistema de generación, el mismo que fue realizado a actualización para la utilización del gas natural en ciclo combinado, a diferencia del uso del crudo inicialmente implementado.

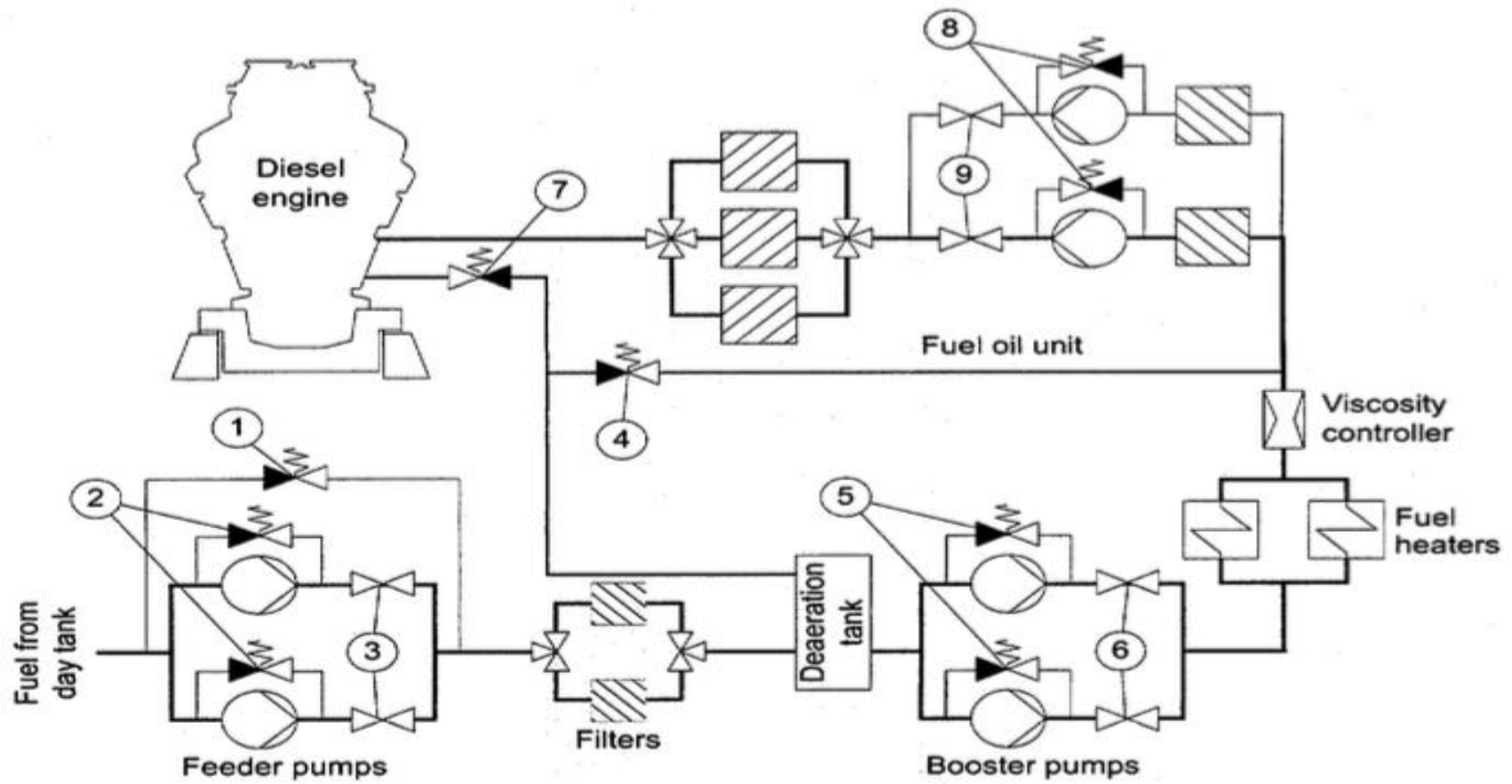


Figura 1.18. Unidad de control de Combustible Motor Wärtsilä 18V32 LNGD

Fuente: (Wärtsilä, 2015)

MARCO METODOLÓGICO

2.1. Modalidad y métodos de la investigación

La modalidad de la presente investigación permite en toda su extensión observar una realidad objetiva donde la producción energética ha venido experimentando un incremento en la demanda por una fuente de energía que provea una mayor eficiencia a los ciclos térmicos, además de tener un gran peso el efecto de contaminación y consumo que pueden tener las diferentes tecnologías, tan ligadas con la permanencia de ciertas metodologías de obtención del bien energético, o su transformación hacía nuevos horizontes de inclusión.

El análisis sobre la eficiencia energética del Motor Wärtsila 18v32 LNGD en las plantas de Generación de Petroamazonas se realizó bajo una modalidad de desarrollo de carácter deductiva - cuantitativo tanto en la medida de la producción energética y la reducción del consumo de combustible en el caso de uso directo de crudo, o en su contraparte con tecnología GD y gas natural en el primer campo de inspección, y de forma paralela la calidad de la producción provista a la red eléctrica general, la calidad dentro de la reducción de la contaminación y protección al ambiente circundante, concluyendo con las medidas de afección al ciclo propiamente dicho.

De forma adicional, para la obtención de la información a partir del presente marco procedimental y metodológico se hace uso de un estudio de tipo empírico . experimental, con base en bitácoras de registro anuales obtenidas dentro del proceso de producción del motor Motor Wärtsila 18v32 LNGD, tanto en su etapa de producción a crudo solamente, y su posterior producción mediante ciclo combinado gas crudo. La utilización de un estudio teórico técnico con base en la obtención empírica y experimental de información se basa en que su comprensión se encuentra vinculada directamente con el fenómeno, además que existen varios tipos de información que por sus características no pueden ser analizadas de otra forma posible.

Con base en las premisas anteriores sobre la modalidad de la investigación, el presente estudio pretende establecer el punto de partida hacia la transformación de la tecnología actual de producción termoeléctrica, del uso de un combustible fósil como es el crudo, hacia un medio más eficiente y menos contaminante como lo es la tecnología GD y la introducción del gas natural., a partir del análisis realizado mediante la observación comparativa del crecimiento eficaz en términos de producción, reducción de consumo, ahorro económico consiguiente y protección del medio ambiente.

Con respecto a los métodos de la investigación, es importante señalar que el método constituye el camino más idóneo y accesible para llegar al descubrimiento de conocimientos objetivos, seguros y confiables que permitirán abordar la problemática del tema de investigación, de esta forma y en concordancia con la modalidad de investigación seleccionada, los métodos a utilizar serán los siguientes:

- **Método deductivo.** Este método propone el planteamiento de hipótesis y preguntas directrices para la deducción directa y de forma explícita del fenómeno, para una posterior comprobación experimental dentro del medio, por lo que se obtiene una relación intrínseca entre la parte teórica y su contraparte realística.
- **Métodos empíricos.** En nuestro proyecto se hace importante la utilización de este método ya que al tratarse de una investigación de origen técnico su fundamento radica en la percepción directa del objeto de investigación y del problema este método a su vez se compone de las siguientes partes.
- **Observación científica.** La observación científica sugiere el conocimiento de un problema y objeto de investigación, para una inspección de su transcurso natural, sin degradación ni participación de medios de afección externos más que los participante por naturaleza en el fenómeno.

En el caso del presente estudio, la observación científica formula un seguimiento continuo del incremento eficiente de la producción energética, mediante visualización de los parámetros técnicos, propiedades físicas y aspectos de transformación – manejo, que sin la observación directa no podrían ser clasificados ni expuestos. Dentro de este aspecto, la observación establece la base del conocimiento de toda ciencia y, a la vez, es el procedimiento empírico con mayor extensión en el campo científico técnico.

- **La medición directa del fenómeno.** Dentro del desarrollo del método empírico, la medición de variables a partir de la operacionalización expuesta contempla la medición de las características del motor de generación, el trabajo indicado, la potencia indicada, el rendimiento indicado, la potencia efectiva, el rendimiento y trabajo efectivo, los parámetros de pérdidas mecánicas, la potencia específica entregada, el consumo específico, el grado de carga y su relación con el consumo de combustible.

En la medición hay que tener en cuenta el objeto y la propiedad que se va a medir, la unidad y el instrumento de medición, el sujeto que realiza la misma y los resultados que se pretenden alcanzar.

2.2. Tipo de investigación

Estructuralmente, para la conformación del presente estudio científico, con base en la modalidad anteriormente especificada, se aplican los siguientes tipos de investigación:

- **Investigación Bibliográfica.** Este tipo de investigación propone una metodología de recolección, disgregación, clasificación y síntesis de la información contenida en libros, antecedentes investigativos, artículos

publicados por expertos sobre el tema, objeto de estudio y su campo de acción, así como datos complementarios provistos por el fabricante directo de la tecnología, y reportes del extractor, refinador y distribuidor del combustible a ser utilizado.

- **Investigación Exploratoria.** Dentro del aspecto directo de implicación dentro del fenómeno a ser analizado, es necesario el uso de la investigación de tipo exploratoria, la misma que provee de una serie de herramientas, como la observación, la experimentación, la visualización física del fenómeno, entre otros, para la comprensión completa de los parámetros a ser analizados.

2.3. Manejo de variables dependiente e independiente

Tomando en cuenta la definición de variables, que las identifican como aquellas características o factores que conforman la parte central de un problema específico, las variables establecidas pasaron por un formato de identificación, disgregación, clasificación y afinamiento conceptual dentro del desarrollo de la fundamentación teórica.

Es así que, partiendo de las premisas anteriormente expuestas, se establecen las variables a través de la aplicación de preguntas directrices, detalladas a continuación:

- ¿Qué parámetros específicos influyen en la eficiencia energética de los motores de generación termoelectrónicos?
- ¿Cómo puedo incrementar la eficiencia, reduciendo además el consumo y la producción de efectos contaminantes?
- ¿Qué tipo de tecnología se puede aplicar para obtener este fin?

- ¿Qué se necesita conocer previamente antes de realizar una propuesta de mejora de la producción eléctrica a partir de motores de combustión MCI A?

2.3.1. Determinación de variable dependiente

Como su nombre lo indica, son características de la realidad que se ven determinadas o que dependen del valor que asumen otros fenómenos o variables independientes, donde según definición expuesta por (Buendía et al, 2001) “la variable dependiente es el factor que el investigador observa o mide para determinar el efecto de la variable independiente o variable causa” (p.3).

En el presente trabajo la variable dependiente sería. **“EFICIENCIA ENERGÉTICA MOTOR WÄRTSILA 18V32LNGD”**

Para hacer medible la variable **“EFICIENCIA ENERGÉTICA MOTOR WÄRTSILA 18V32LNGD”** es necesario guiarse por las siguientes preguntas directrices

- ¿Cómo puedo mejorar los parámetros característicos de trabajo de los motores de generación eléctrica MCI A?
- ¿En qué medida variarían los parámetros de consumo de combustible y contaminación generada si realizo una transformación de generación por crudo a una generación dual crudo – gas natural?

Esta variable según estudio preliminar, se encuentra relacionada con la búsqueda constante del incremento de la eficiencia energética de los motores de combustión interna alternativos MCI A dentro del campo de la generación eléctrica, con la finalidad de disminuir en gran medida el consumo del combustible de tipo pesado, incluyendo en sus ciclos de funcionamiento otras medidas como el combustible en gas.

Para la medida de esta variable de investigación se procederá con la conformación de un seguimiento de la producción establecida por el motor Wärtsilä 18V32 en su uso indicado solamente con combustible crudo directo, y posteriormente con una transformación a un ciclo combinado de combustible con tecnología GD y Gas natural.

2.3.2. Determinación de variable independiente

En investigación se denomina variable independiente, aquella que es manipulada por el investigador en un experimento con el objeto de estudiar como incide sobre la expresión de la variable dependiente donde, tal como lo señala (Buendía et al, 2001), “es la variable que el investigador mide, manipula o selecciona para determinar su relación con el fenómeno o fenómenos observados” (p.3.). En el presente trabajo la variable independiente sería **“TIPO DE COMBUSTIBLE”**

La variable independiente **“TIPO DE COMBUSTIBLE”** responde a las siguientes preguntas directrices :

- ¿Qué propiedades y características físicas y químicas proponen el gas natural y el crudo al momento de su inclusión en los procesos de combustión interna?
- ¿De qué forma se mejora la eficiencia y se reduce el consumo energético tanto en motogeneración por crudo y dual crudo – gas natural?

El análisis de la variable dependiente, es de carácter científico bibliográfico en su extensión, demostrando el estado del arte sobre el tema, apoyando las ideas expuestas mediante conceptualización de ideas y relación directa de resultados obtenidos de investigaciones previas.

2.3.3. Operacionalización de las variables

Posterior a la identificación de las variables de la investigación, es indispensable que estas variables puedan ser tangibles, medibles, cuantificables, donde a través de este procedimiento de la investigación científica, las variables expuestas se encontrarán estrechamente vinculadas al tipo de técnica y/o metodología de recolección de información aplicada.

Tomando en cuentas las cualidades expresas, las preguntas directrices a las que responde cada una de las variables, su operacionalización queda detallada de acuerdo a lo expuesto en la Tabla 2.1 y Tabla 2.2.

Tabla 2.1. Operacionalización de la variable dependiente.

VARIABLE	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Dependiente Eficiencia energética motor Wärtsila 18v32LNGD	La eficiencia energética es el hecho de minimizar la cantidad de energía necesaria para satisfacer la demanda sin afectar a su calidad; supone la sustitución de un equipo por otro que, con las mismas prestaciones, consuma menos electricidad. (Schallenberg, y otros, 2008)	Parámetros característicos de trabajo y funcionamiento de motores MCIA	Potencia (kW)	<ul style="list-style-type: none"> • Observación. • Medición. 	<ul style="list-style-type: none"> • Medidor interno de motor Wärtilsa.
			Energía producida (kWh)	<ul style="list-style-type: none"> • Observación • Medición. 	<ul style="list-style-type: none"> • Medidor de Energía Planta de generación
		Parámetros de eficiencia energética medidos en relación a la producción con respecto al consumo de combustible	Eficiencia (kWh/gal)	<ul style="list-style-type: none"> • Medición. • Cálculo 	<ul style="list-style-type: none"> • Cálculo entre energía producida y consumo de combustible.
		Parámetros de consumo de combustible y contaminación generada.	Consumo de combustible (Bbls)	<ul style="list-style-type: none"> • Observación. • Medición 	<ul style="list-style-type: none"> • Caudalimetro.
			Consumo de Gas (MSCF)	<ul style="list-style-type: none"> • Observación. • Medición 	<ul style="list-style-type: none"> • Flujometro.

Elaborado por: Álvaro Cevallos

Tabla 2.2. Operacionalización de la variable independiente.

VARIABLE	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
<u>Independiente</u> Tipos de Combustibles	Combustible es toda sustancia que emite o desprende energía por combustión controlada (energía química) o excisión nuclear (energía nuclear) capaz de plasmar su contenido energético en trabajo. (Esparza, 2008)	Recursos energéticos fósiles.	<ul style="list-style-type: none"> Recursos fósiles y crudo. Recursos energéticos gaseosos 	Investigación Bibliográfica	<ul style="list-style-type: none"> Revisión bibliográfica. Investigación por medios gráficos y virtuales. Internet. Publicaciones y antecedentes científicos. Reportes periódicos. Informes de cromatografía.
		Combustible a base de crudo	<ul style="list-style-type: none"> Características. Calidad de combustible 	Registro de información. Cromatografía	
		Combustible a base de gas natural	<ul style="list-style-type: none"> Características. Calidad de combustible 	Registro de información. Cromatografía	
		Sistemas de generación termoeléctricos.	<ul style="list-style-type: none"> Generación por motores reciprocantes. Motogeneración por crudo. Motogeneración dual crudo – gas natural. 	Investigación Bibliográfica	

Elaborado por: Álvaro Cevallos

2.4. Caracterización sectorial de estudio

2.4.1. Configuración característica sectorial

Como punto de partida de la configuración característica sectorial, es importante definir las características propias de la empresa encargada del proceso productivo. De esta manera, tal como se autodenomina, Petroamazona EP es una empresa pública ecuatoriana dedicada a la exploración y producción de hidrocarburos. Está a cargo de la operación de 20 Bloques, 17 ubicados en la cuenca Oriente del Ecuador y tres en la zona costera del Litoral. Varios puntos de su operación cuentan con certificaciones internacionales que avalan sus procedimientos y prácticas.

Petroamazonas está presente en más de 371 comunidades de su zona de influencia, donde además utiliza las tecnologías disponibles más recientes de la industria petrolera. La empresa implementa una actividad sostenible con el ambiente, beneficiosa para las comunidades de la zona de influencia y eficiente para obtener mayores resultados en beneficio del Estado.

Las áreas de operación se encuentran ubicadas geográficamente en las provincias de Sucumbíos, Orellana, Napo, Pastaza y en las provincias de El Oro y Santa Elena, en el Litoral ecuatoriano. Todo desarrollado dentro de un plan de aplicación sectorial cuyo origen parte de la aplicación del “OGE Sectorial”, cuyo objetivo es la utilización del gas asociado a la producción para la generación eléctrica.

El alcance sectorial señalado por el Proyecto OGE Sectorial inicial es, según Petroamazonas EO, extenderse a todo el sector petrolero en el distrito amazónico, luego de comprobar en los bloques 12 y 15 que el modelo de negocio del proyecto OGE genera resultados favorables para el país y el planeta, al posibilitar la reducción de emisiones de CO₂.

Dentro de la metodología productiva de Petroamazonas EP, con el fin de determinar cuánta carga (volumen de gas asociado) se puede dar a las plantas y determinar cuanto Gas Combustible se dispone para generación eléctrica, es necesario proveer un medio de transformación del balance de gas asociado a través del cambio específico de la matriz energética.

Este cambio de la matriz energética que se propone no solo requiere de instalaciones y facilidades nuevas de captación y transporte de gas asociado, sino que también es necesario, tal como lo presenta Petroamazonas EP, hacer una re-ingeniería de ciertos sistemas / procesos existente dado que en condiciones actuales de consumo de materia prima no renovable no es óptimo, ya que existen pérdidas y/o consumos propios que exceden los estándares de la industria.

De forma específica al Campo Edén Yuturi, haciendo referencia a lo expuesto por (Astudillo Cajamarca, 2014), se encuentra en el bloque 12 (anteriormente Bloque 15) operado por Petroamazonas EP. Este bloque se encuentra ubicado en la región oriental de la Amazonía Ecuatoriana, la mayor parte del área se encuentra al sur-este de la población la Joya de los Sachas, en la provincia de Sucumbíos y al nor-este de la población de Shushufindi, en la provincia de Francisco de Orellana, tal como se describe en la figura No 2.1.

(Astudillo Cajamarca, 2014) agrega además la siguiente información de ubicación geográfica del campo Edén – Yuturi:

- El campo Edén Yuturi se encuentra ubicado en la provincia de Orellana, en el extremo Sur oriental del Bloque 12, a 75 km al sureste del campo Shushufindi.
- Sus coordenadas geográficas son 76 05' 06.76'' longitud oeste - 00 35' 36.32'' latitud sur y 76 05' 51.31'' de longitud oeste - 00 32' 07.02'' de latitud sur respectivamente.
- Limita al norte con el Campo Limoncocha, al sur con el campo pañancocha, al sur-oeste bloque primavera-yuca Sur.

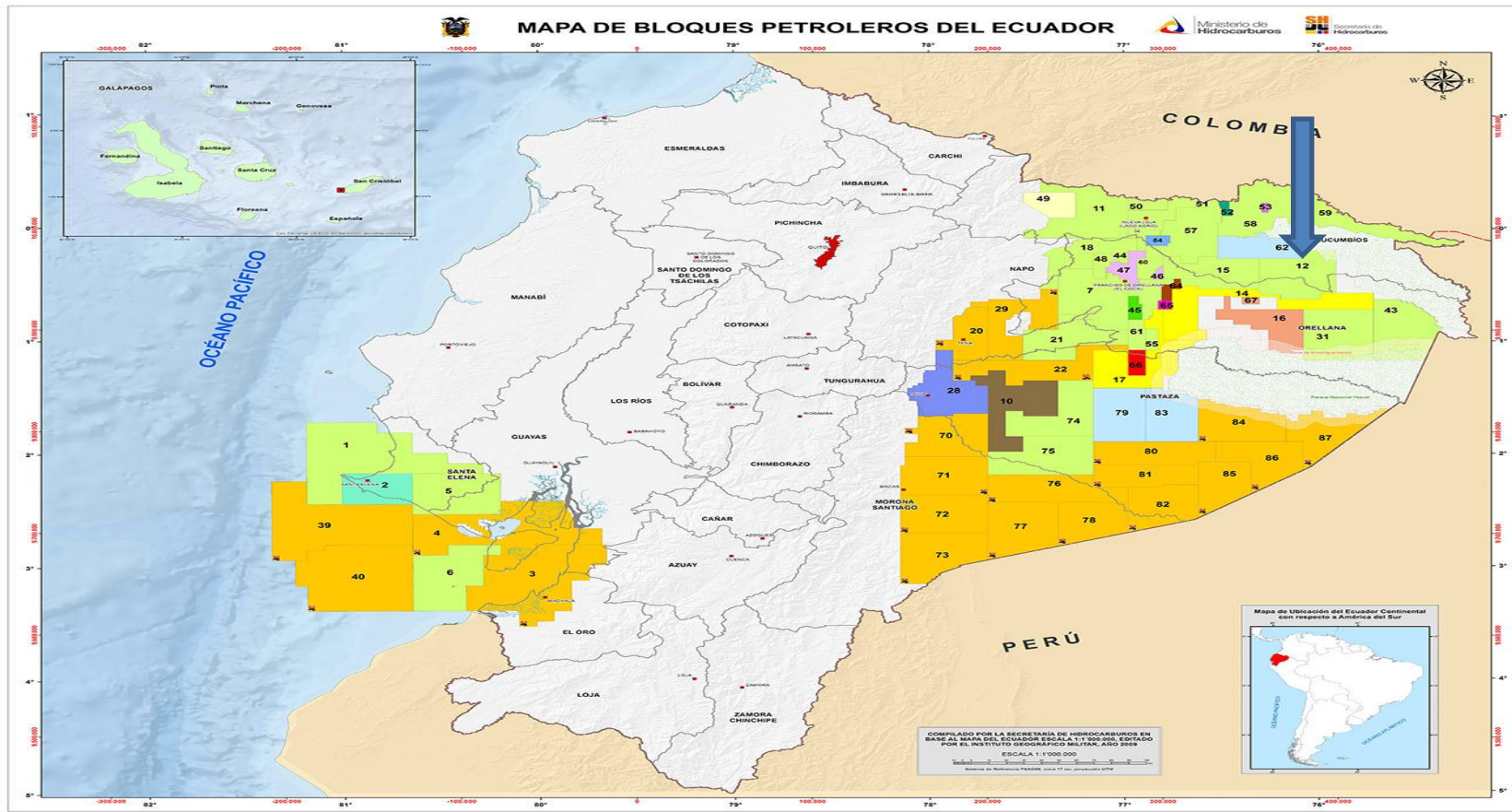


Figura 2.1. Ubicación geográfica del Campo Edén Yuturi – bloque 12 Petroamazonas EP.

Fuente: PETROAMAZONAS EP (2012)

2.4.2. Población y muestra

La población para este estudio la constituye los 4 motores Wartsila 18V32LNGD de la planta de Generación del Bloque 12 Petroamazonas en el Campo Edén Yuturi, una foto de los mismo se puede observar el siguiente Figura 2.2.



Figura 2.2 Planta de Generación GD Petroamazonas EP Bloque 12

La muestra objeto de estudio es el motor 1 (ZAN100), S/N 21454

2.4.3. Validación del proceso de medición y selección de muestras

Tal como se analiza anteriormente, el proceso de medición y selección de muestra se lleva a cabo primero a través del registro de información diaria de horas trabajadas, energía producida y potencia generada, por motor, posterior a lo cual se produce una convalidación promedio de producción mensual de acuerdo a valores de producción diaria, una comparativa de producción con tecnología LNGD gas crudo – con respecto a registro de producción a crudo solamente, un registro de consumo de combustible dentro de análisis comparativo por tecnología

y finalmente un registro de eficiencia de motogenerador individual, a crudo y a crudo – gas con respecto a velocidad y ciclos de trabajo.

En este punto es importante anotar que para la toma de mediciones, y la validación científica del proceso de medición y selección de muestras, en primera instancia se toma en cuenta parámetros propios del fabricante del motor de generación Wärtsila, a través del uso del medidos de seguimiento motor propio del dispositivo, seguido de metodologías propias del cuerpo de ingenieros, operadores y jefes de mantenimiento de Petroamazonas E.P., donde según criterios de expertos se toma en cuenta la energía producida, la eficiencia productiva del motor, el consumo de combustible y en el caso específico del motor con tecnología LN GD el consumo de gas.

2.5. Parametrización procedimental para el cambio de tecnología

Para proceder al cambio de tecnología, conformado dentro del marco propositivo planteado como resultado de la presente investigación, primero es necesario la comprensión completa y parametrización del fenómeno de motogeneración eléctrica, tanto con recurso energético a partir del crudo, como dual crudo – gas natural, además de realizar la distinción de características de aportación que se obtienen de los combustibles mencionados en la generación en motores Wärtsila 18V32, estableciendo así la comparativa de factibilidad de ambos casos.

Previo a la implantación de medidas de mejora en la eficiencia energética es recomendable realizar un seguimiento primario de la producción del motor en las primeras etapas antes de la transformación tecnológica, para lo cual se indicarán parámetros de producción del recurso energético final, medidas de consumo, horas producción, ciclos de mantenimiento, perspectiva de aportación y necesidades de combustible primario, entre otros, a partir de medidas estándar indicadas por el fabricante, señaladas en la siguiente tabla No. 2.4.

Tabla 2.4. Producción promedio Motores Wärtsilä serie 18V32

Cylinder configuration	Main engines	Generating sets			
	750 rpm	720 rpm		750 rpm	
	[kW]	Engine [kW]	Generator [kVA]	Engine [kW]	Generator [kVA]
W 6L32	3000 / 3480	2880 / 3300	3460 / 3960	3000 / 3480	3600 / 4180
W 7L32	3500	3360	4030	3500	4200
W 8L32	4000 / 4640	3840 / 4400	4610 / 5280	4000 / 4640	4800 / 5570
W 9L32	4500 / 5220	4320 / 4950	5180 / 5940	4500 / 5220	5400 / 6260
W 12V32	6000 / 6960	5760 / 6600	6910 / 7920	6000 / 6960	7200 / 8350
W 16V32	8000 / 9280	7680 / 8800	9220 / 10560	8000 / 9280	9600 / 11130
W 18V32	9000	8640	10370	9000	10800

Fuente: (Wärtsilä, 2015)

Estos datos guía permitirán mantener un marco paramétrico inicial de estudio para poder observar posibles deficiencias específicas en la madurez de la tecnología, y una prospección teórica a la necesidad de introducción o no de tecnologías de tipo GD y gas natural.

2.6.1. Parámetros considerados en tecnología de producción solo crudo

Hay dos factores principales a tener en cuenta a la hora de decidir si es conveniente la utilización del combustible crudo en los motores Wärtsilä 18v32:

- **Composición química del combustible:** Este parámetro nos señala las necesidades de composición para la transformación del medio químico antes y después del proceso de combustión dentro del ciclo MCIA, siendo aquí técnicamente posible la detección del consumo y posteriores productos resultantes que serán expulsados al ambiente.
- **Poder Calorífico:** El poder calorífico del combustible es la característica principal a tomar en cuenta en la selección de una metodología u otra de generación, indicando además que a partir del poder calorífico y otra serie de aspectos técnicos se puede medir la eficiencia energética del motor Wärtsilä.

2.6.2. Parámetros considerados en tecnología de producción gas – crudo

Al usar tecnología con base en consumo de combustible crudo y gas natural se debe tener en cuenta lo siguiente:

- **Medios técnicos de actualización.** Aquí se especifican los procesos técnicos necesarios, así como su compatibilidad con el proceso actual, para poder pasar a una tecnología nueva y más eficiente, sin la necesidad de procesos de cambios total de la tecnología, ni medios de transposición del bien físico.
- **Propiedades participantes en la logística.** Una característica a tomar en cuenta dentro del proceso de transformación, es la logística de transportación del medio gaseoso a los medios de producción, influyente además en el medio de la factibilidad y la prospección técnico económica de decisión de implementación posterior a la presentación del presente estudio.
- **Nivel de incremento en la producción.** Aquí se demostraría la hipótesis planteada sobre el incremento en la producción que propondría la introducción de tecnologías de tipo GD y gas natural en la generación de energía eléctrica. La tabla comparativa de producción a nivel mensual, trimestral y semestral visualizaría un incremento en este aspecto, después de comprobar su factibilidad mediante exposición de la relación costo – beneficio.

2.6.3. Cálculo de rendimiento térmico del motor Wärtsila 18V32LNGD

Entendiéndose el rendimiento térmico del motor como la energía producida por el motor dividida por la energía entregada por el combustible, que sirve de forma conjunta con una de las principales medidas del rendimiento de un motor, el consumo específico de combustible.

El rendimiento de cogeneración, tal como lo establece (Comisión Reguladora de Energía, 2010), relaciona la energía primaria que se ahorra en el proceso de cogeneración, y la energía en forma de combustible atribuible a la generación de electricidad. De este modo el parámetro relaciona la energía eléctrica generada libre de combustible, es decir, la que se produce de más con el mismo combustible debido al ahorro de energía primaria, y la energía eléctrica que se generaría en una central eléctrica de referencia con el combustible atribuible a la generación eléctrica consumido.

Dentro del análisis de representación del rendimiento térmico del motor de combustión alternativo con fines de generación eléctrica, basándose en la premisa anteriormente expresada, se utilizó como base la metodología propuesta por (Comisión Reguladora de Energía, 2010), en conjunto con lo establecido por la empresa (Wärtsilä, 2015) y las normativas de control productivo de Petroamazonas, que establecen que la eficiencia se calculará de la relación con resultado porcentual a partir de la información y el procedimiento de rendimiento térmico medio de un sistema, calculado bajo la siguiente ecuación:

$$Rh = \frac{E_e}{Q} \quad [\text{Ec. 1}]$$

donde,

R_h , es el rendimiento térmico medio del Sistema. Establecido como porcentaje de relación entre la energía térmica neta y la energía aportada en forma de combustible. Análizada para verificar el rendimiento a diferentes ciclos térmicos, según se verifica posteriormente en el análisis de eficiencia térmica de la unidad F.

E_e , es la energía térmica neta o calor útil generado en un sistema y empleado en un proceso productivo de medición de la eficiencia energética, a través del establecimiento de ciclos controlados y paulatinos de funcionamiento. En el caso

de los motores Wartsila a ser analizados es de 3412 [kJ/kWh], tomado como valor de referencia.

Q, es la energía aportada en forma de combustible y/o vapor en un período de tiempo, la misma que es denominada de igual forma tasa de calor o Heat Rate, la misma que es calculada a partir de la denominación de acuerdo a (Comisión Reguladora de Energía, 2010) con la siguiente fórmula:

$$Q(\text{heat rate}) = \frac{F_{\text{Consumo}} \times PCI_{\text{combustible}}}{P_{\text{eléctrica}}} \quad [\text{Ec. 2}]$$

donde,

F_{consumo} = Flujo de consumo de combustible dentro del período de medición.

$PCI_{\text{combustible}}$ = Poder calorífico inferior del combustible utilizado en la prueba de eficiencia del MCIA ($PCI_{\text{combustible}} = 40750$ kJ/kg acorde a informe de Petroamazonas para medición de eficiencia energética).

$P_{\text{eléctrica}}$ = Potencia eléctrica generada en el ciclo de producción por el motor MCIA. La Potencia eléctrica también es denominada como la rapidez con la que se realiza un trabajo.

Realizando un análisis dimensional, tomando en cuenta que el F_{consumo} tiene como unidad [kg/h], el $PCI_{\text{combustible}}$ tiene como unidad [kJ/kg] y la $P_{\text{eléctrica}}$ tiene como unidad [kW], quedaría el Q así:

$$Q(\text{heat rate}) = \frac{\left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] \times \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]}{[\text{kW}]}$$

$$Q(\text{heat rate}) = \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kWh}} \right]$$

Al ser motores de cogeneración cuyo diseño se ha realizado basado principalmente en el sistema de unidades utilizado en Estados Unidos y en varios países europeos, es común realizar una transformación de unidades de $Q(\text{heat rate}) = \left[\frac{kJ}{kWh} \right]$ a $Q(\text{heat rate}) = \left[\frac{BTU}{kWh} \right]$, por cuestiones propias del fabricante del motor Wärtsila.

2.6. Ensayos característicos de los combustibles

Posterior al desarrollo y especificación del marco metodológico previo al estudio de campo para obtención, clasificación, tabulación y análisis de mediciones dentro de la investigación, y como paso previo al tratamiento de datos de motogeneración eléctrica, tanto desde su parametrización y los respectivos diagnósticos de performance, potencia, energía y consumo de combustible.

Para determinación de ensayos característicos de los combustibles, se requiere inicialmente exponer una serie de lineamientos de desarrollo de ensayos bajo los cuales se aplicaron las pruebas de obtención de parámetros característicos de cada uno de los combustibles, después de lo cual se exponen cada uno de los informes de cualidades para su conocimiento e introducción específica anexo a la parametrización inicial del tratamiento de datos por motogeneración eléctrica.

2.7.1. Lineamientos de desarrollo de ensayos

Los lineamientos de desarrollo de ensayos a considerar previo a la realización de los análisis cualitativos del crudo y del gas natural que se maneja en la actualidad en Petroamazonas E.P. se basan en los siguientes documentos de respaldo para la normalización del desarrollo de pruebas y ensayos establecidos por el Servicio Ecuatoriano de Normalización:

- **Norma INEN 1047:1984 – Productos de Petróleo. Punto de inflamación en copa cerrada. Método Tag:** Esta norma establece el método para determinar el punto de inflamación de los productos

derivador del petróleo, especialmente el crudo, siendo no aplicable a líquidos como el asfalto con diluyente y líquidos que tiendan a formar una capa superficial bajo las condiciones del ensayo.

- **Norma INEN 1983:02 – Productos derivados del petróleo. Fuel Oil. Requisitos:** Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el fuel oil, tanto bajo normativas de crudo liviano y crudo pesado. Además de basarse en referencias normativas previas entre las que se puede destacar la norma INEN 2341 – Productos del petróleo. Productos relacionados con el petróleo y afines. Definiciones, la norma ASTM D287 Estándar test method por API Gravity of crude petroleum and petroleum products, norma ASTM D4057 Estándar practice for manual sampling of petroleum and petroleum products., y la norma ASTM D4177, Estándar practice for automatic sampling of petroleum and petroleum products.
- **Norma INEN 0930:1984 – Petróleo crudo y sus derivados. Muestreo:** Esta norma establece los procedimientos para la obtención de muestras de petróleo crudo y productos de petróleo, con excepción de aceites aislantes, butano, propano y otros productos que son gases a presión y temperatura ambiente, con el objeto de efectuar los ensayos de calidad.
- **Norma INEN 2489:09 – Gas natural. Requisitos:** Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el gas natural, aplicado al gas natural seco, nacional o importado, que se suministre en el país para consumo final de los sectores industrial, automotriz, residencial y comercial entre otros.

Cada una de estas normas dispuestas por el Servicio Nacional de Normalización Ecuatoriano INEN se agrega al presente proyecto investigativo dentro del anexo No. 2, para que sea de conocimiento amplio, además de estar expuestos dentro de cada uno de los documentos las formas de realización y aplicación de las pruebas, así como las características propias de cada uno de los carburantes para su utilización dentro del territorio ecuatoriano.

2.7.2. Ensayo de análisis cualitativo de crudo

Con base en las normas anteriormente mencionadas provistas por el Servicio Nacional de Normalización Ecuatoriano INEN, en conjunto con una serie de métodos internacionales normalizados para la obtención de características del petróleo crudo, se obtuvo el estudio cualitativo de parámetros indicados para el combustible mencionado. A continuación se indican los parámetros obtenidos con su respectivo método de obtención paramétrica:

- Temperatura observada: ASTM D1298-12b
- API observado: ASTM D1298-12b
- API @ 60°F: PAM-EP-CAM-OPR-03-090
ASTM D1298-12b
- Agua en crudo por destilación: PAM-EP-CAM-OPR-03-090
ASTM D4006-11

Con base en estos métodos, el laboratorio de ensayos de tratamiento químico del bloque 56 Lago Agrio, con requerimientos específicos del proceso por la Superintendencia de Operaciones para descripción de la muestra de petróleo crudo utilizada dentro de los procesos de motogeneración aplicados dentro de la planta de generación del bloque 12 Petroamazonas, en el campo Edén – Yuturi en el año 2014, se obtuvieron los siguientes resultados característicos expuestos dentro de la Tabla 2.5.

Tabla 2.5. Reporte de ensayo cualitativo petróleo crudo – Petroamazonas

ENSAYO CUALITATIVO BLOQUE 12			
Descripción de la muestra:	Petróleo Crudo		
Procedimiento de muestreo:	PAM-EP-CAM-OPR-03-PRC-064		
PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADOS
Temp. Observada	°F	ASTM D1298-12b	70,2
API Observado	°API	ASTM D1298-12b	26,8
API @ 60°F	°API	ASTM D1298-12b	
Agua en crudo por destilación	% V/V	PAM-EP-CAM-OPR-03-090 ASTM D4006-11	0,125

Fuente: Petroamazonas E.P.

Elaborado por: Álvaro Cevallos.

2.7.3. Ensayo de análisis cualitativo del gas

De forma paralela al estudio de cualidades del crudo, siguiendo los parámetros especificados por el Servicio Nacional de Normalización Ecuatoriano INEN, En conjunto con una serie de normativas específicas para el análisis de gases y de líquidos, se procede al ensayo de análisis cualitativo del gas natural, el mismo que se basa en estudio comparativo de gas a succión y gas a descarga con muestra de tipo gas rico.

El análisis cualitativo de gases y líquidos, según lo establece normativa de laboratorio de Petroecuador, hace referencia al porcentaje en peso y porcentaje molar de los siguientes compuestos integrantes del gas, tal como se enuncia en la Tabla 2.6.:

Tabla 2.6. Reporte de ensayo cualitativo gas – Petroamazonas

ENSAYO CUALITATIVO COMPLEJO INDUSTRIAL SHUSHUFINDI				
Descripción de la muestra:	Gas			
Procedimiento de muestreo:	PAM-EP-CAM-OPR-03-PRC-064			
ORIGEN	GAS SUCCIÓN COMP		GAS DESCARGA COMP	
COMPOSICIÓN	% PESO	% MOLAR	% PESO	% MOLAR
Nitrógeno	8,205	9,290	3,896	3,966
Metano	23,058	45,593	31,690	56,338
Dio. Carbono	5,760	4,151	8,268	5,357
Etano	8,865	9,353	10,552	10,010
Propano	24,126	17,355	23,217	15,016
I. Butano	4,609	2,515	3,551	1,742
N. Butano	11,251	6,140	8,346	4,095
I. Pentano	3,029	1,331	0,120	0,047
N. Pentano	2,617	1,151	0,000	0,000
Hexano y más	8,481	3,121	10,360	3,428
Gravedad específica calculada	1,108	-----	0,995	-----

Fuente: Petroamazonas E.P.

Elaborado por: Álvaro Cevallos.

Dentro de este reporte de ensayo del gas, hay que tomar en cuenta que de acuerdo a la normativa NTE INEN 2489 (2009): Gas natural. Requisitos, establecida por el Servicio Nacional de Normalización Ecuatoriano INEN, los requisitos específicos que debe cumplir el gas natural para su utilización son los siguientes:

Tabla 2.7. Requisitos gas natural – Petroamazonas

REQUISITOS	UNIDAD	MÍNIMO	MÁXIMO	METODO DE ENSAYO
Poder Calorífico superior	MJ/ m ³	35,42	43,12	ASTM D 1945 ASTM D 3588 ISO 6976
Índice de wobbe	MJ/ m ³	45,8	50,6	ASTM D 3588 ISO 6976
Sulfuro de hidrógeno	mg/ m ³	----	6,1	ASTM D 4084
φ Oxígeno	%	-----	0,2	ASTM D 4530
Inertes				ASTM D 1945
φ Nitrógeno	%	-----	5,0	
φ Dio. Carbono	%	-----	3,0	
φ Total inertes	%	-----	5,0	
Humedad (H2O)	mg/ m ³	-----	65	ASTM D 1142 ISO 6327
Contenido licuables propano (C3)	l/ m ³	-----	0,045	ASTM D 1945 ISO 6975
Temperatura rocío de hidrocarburos	K (°C)	-----	271,15 (-2)	ASTM D 1142 ASTM D 1945 ISO 6975
Azufre total	mg/ m ³	-----	15,0	ASTM D 5504 ASTM D 6228
Metanos	%	80	-----	

Fuente: Petroamazonas E.P.

Elaborado por: Álvaro Cevallos.

2.7. Técnicas e instrumentos de la investigación

En esta sección se va a describir todas las técnicas e instrumentos utilizados para el desarrollo de nuestra investigación.

2.8.1. Técnicas e instrumentos

Es indispensable en el proceso de investigación científica, la técnica, por cuanto integra la estructura por medio de la cual se organiza la investigación, partiendo de este concepto la técnica que vamos a emplear en nuestra investigación es la siguiente:

- **Investigación bibliográfica.** Recopilación de datos, publicaciones, investigaciones . Que estén relacionados con el uso de diferentes ciclos y combustible dentro de los motores de combustión alternativos para la generación eléctrica, los instrumentos a utilizar en esta investigación son sitios de Internet, tesis relacionadas al tema, publicaciones en revistas de ciencias, manuales de fabricantes .
- **Investigación de campo.** Mediciones de los parámetro anteriormente expuestos, como por ejemplo las mediciones de la producción final energética en los períodos de tiempo establecidos, la medida del consumo y eficiencia energética través de las propiedades físicas establecidas para el motor, la aportación de contaminantes y su reducción por la transformación tecnológica, los recursos físicos necesarios para la aplicación, los medios de capacitación, el mantenimiento, entre otros, es decir todas aquellas mediciones necesarias para la elaboración de la propuesta de diseño de un sistema de generación con uso de tecnología GD y gas natural. La instrumentación para la obtención de las medidas en campo se encuentra incluida dentro del módulo de control.

- **Investigación por medición e instrumentación.** Considerada como técnica, la investigación por medición e instrumentación corresponde a todo el proceso comprendido y realizado por el investigador para la obtención, análisis, clasificación y validación de la información requerida en orden para la caracterización efectiva del fenómeno a estudiarse, en este caso la producción energética producida mediante motogeneración con base en tecnología de producción con combustible solo crudo, y su transformación tecnológica a utilización de recursos tanto crudo – gas natural. Aquí se especifica la instrumentación indicada para cada proceso, siendo preciso el uso del medidor interno de seguimiento motor

Apuntadas las técnicas e instrumentos de la investigación, es preciso concretar una relación específica entre ella para sí poder dejar de forma objetiva la participación de cada uno de los elementos en el sistema de medición, con lo que se propondría una mayor reducción de la incertidumbre en las medidas por errores logísticos, y el correcto registro, organización, clasificación y análisis de la información, propuesto dentro de la Tabla 2.8.

Tabla 2.8. Técnicas e instrumentos de la investigación

TÉCNICA	INSTRUMENTOS	DEFINICIÓN	APLICACIÓN EN LA INVESTIGACIÓN
Observación y medición.	Sección de medición de Potencia generada [kW] – Medidor interno de seguimiento motor Wärtsila.	Instrumento de medición que presenta la potencia generada dentro del ciclo de trabajo del motogenerador Wärtsila.	Sirvió de medio de medición del nivel de potencia generada bajo registro diario, con lo que se midió el número de veces establecidos por la validación de la muestra.
	Sección de medición de Energía producida [kWh] – Medidor interno de seguimiento motor Wärtsila.	Instrumento de medición que presenta la energía producida dentro del ciclo de trabajo del motogenerador Wärtsila.	Provee la energía producida, la misma que posteriormente mediante metodología por consumo de combustible se comparará con la producción del motor en registro a solo crudo.
	Sección de medición de eficiencia del motor [kWh/gal] – Medidor interno de seguimiento motor Wärtsila.	Instrumento de medición que presenta la eficiencia del motor con respecto al consumo de combustible dentro del ciclo de trabajo del motogenerador Wärtsila.	Permite verificar la eficiencia del motor con respecto al consumo de combustible por cambio de tecnología, de consumo de solamente crudo a uso combinado de crudo – gas.
	Sección de medición de Consumo de Crudo [bbbls] – Medidor interno de seguimiento motor Wärtsila.	Instrumento de medición que presenta el consumo de crudo que se presenta dentro del ciclo de trabajo del motogenerador Wärtsila.	Hace registro del consumo de crudo que se realiza de forma diaria, para poder realizar una proyección de consumo mensual y anual.

Tabla 2.8. Técnicas e instrumentos de la investigación (continuación)

	Sección de medición de Consumo de Gas [MSCF] – Medidor interno de seguimiento motor Wärtsila.	Instrumento de medición que presenta el consumo de gas que se presenta dentro del ciclo de trabajo del motogenerador Wärtsila.	Hace registro del consumo de gas que se realiza de forma diaria, para poder realizar una proyección de consumo mensual y anual.
Investigación bibliográfica	Revisión bibliográfica	Recolección de información proveniente de medios físicos como libros, revistas y demás fuentes investigativas.	Provee el marco teórico técnico inicial de fundamentación hacia la consecución de los objetivos propios de estudio.
	Investigación medios gráficos y virtuales	Recolección de información proveniente de medios virtuales no físicos como páginas especializadas web, repositorios, artículos científicos, .	Los medios virtuales, así como los medios bibliográficos dan una mayor facilidad de expansión del conocimiento hacia conclusiones obtenidas a nivel global.
	Publicaciones y antecedentes científicos.	Información bibliográfica y virtual previa realizada por investigadores sobre el fenómeno que se pretende analizar.	Los antecedentes investigativos nos brindan el punto de partida perfecto hacia la obtención de resultados, aprobando hipótesis anteriores o en contraposición con las mismas.

Tabla 2.8. Técnicas e instrumentos de la investigación (continuación)

	Informes de cromatografía	Método de análisis que permite la separación de gases o líquidos de una mezcla por adsorción selectiva, basado en la diferente velocidad con la que se mueve cada fluido a través de una sustancia porosa, para análisis de la composición y calidad del combustible.	Este análisis permite dentro de la investigación verificar las cualidades del combustible, tanto crudo y gas, para poder hacer comparación con respecto a los niveles de producción obtenidos dentro del medio de generación, con registro a la tecnología solamente crudo, a aquella en la que se pretende la utilización de crudo y gas.
--	----------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Elaborado por: Álvaro Cevallos.

CAPÍTULO III
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Relación de aprovechamiento energético por actualización tecnológica

3.1.1. Producción energética y consumo de combustible del motor Wärtsilä 18V32 – año 2010, modo solo crudo.

Como parámetro principal para determinación de la relación de aprovechamiento energético, dentro del presente proyecto se establece un estudio de seguimiento comparativo anual entre el registrado por el motor Wärtsilä 18V32 durante el año 2010 en modo solo crudo, con respecto a la motogeneración dual crudo – gas natural por actualización tecnológica del motor Wärtsilä 18V32 LNGD.

Para establecimiento de este estudio de seguimiento comparativo anual, a continuación se presenta la potencia y energía total producida por el motor Wärtsilä 18V32 en el año 2010 donde aún se mantenía la producción con base en consumo de crudo solamente, expuesto dentro de la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Registro potencia y energía Wärtsilä 18V32 – año 2010

MESES (2010)	M/G - A CRUDO - 2010	
	POTENCIA TOTAL (KW)	ENERGÍA TOTAL(kw-h)
Enero	4.049	3.012.456,00
Febrero	3.452	2.568.474,00
Marzo	2.870	2.135.094,00
Abril	3.027	2.251.902,00
Mayo	2.957	2.199.822,00
Junio	2.644	1.966.764,00
Julio	2.820	2.098.266,00
Agosto	2.804	2.085.804,00
Septiembre	3.380	2.514.720,00
Octubre	2.382	1.772.208,00
Noviembre	1.954	1.453.590,00
Diciembre	2.045	1.521.666,00
TOTAL ANUAL	34.383	25.580.766
ANUAL PROMEDIO	2.865	2.131.731

Fuente: Petroamazonas E.P.

Elaborado por: Álvaro Cevallos

Adicionalmente, a continuación en la tabla 3.2 se presenta el registro de consumo de crudo para el año 2010 del motor Wärtsila 18V32 con manejo unitario de este carburante, , tomando en cuenta que para especificar el consumo de crudo se mantiene en el registro correspondiente con sus respectivas unidades en barriles.

Tabla 3.2. Consumo de combustible Wärtsila 18V32 – año 2010

MESES (2010)	WARTSILA 18V32 UNITARIO (BBLs)
Enero	4.997,20
Febrero	4.513,60
Marzo	4.872,20
Abril	4.836,35
Mayo	4.981,40
Junio	4.821,45
Julio	4.894,50
Agosto	4.991,50
Septiembre	4.786,45
Octubre	4.987,20
Noviembre	4.234,56
Diciembre	4.767,50
ANUAL	57.683,91

Fuente: Petroamazonas E.P.

Elaborado por: Álvaro Cevallos

El diagnóstico de desempeño del motor Wärtsila 18V32 LNGD se realiza mediante seguimiento de producción diaria registrada en base de datos de producción energética dentro del bloque 12 Petroamazonas en el campo Edén Yuturi durante los meses comprendidos entre Enero y Diciembre del año 2014.

En las tablas 3.1 - 3.4 del anexo se muestra el desempeño del motor Wärtsila 18V32 LNGD obtenido según el registro diario correspondiente a los cuatro trimestres del año 2014. A partir de los registros diarios se determinaron los valores promedios mensuales en los doce meses del año, y se muestran en la Tabla 3.5

Tabla 3.3. Desempeño energético real y propuesto del motor Wärtsila 18V32

LNGD en el año 2010

DESEMPEÑO			
Mes	(kWh/gals crudo)		Real
	Real	Propuesto	kWh/kg
Enero	14,90	15	4,39
Febrero	15,11	15	4,45
Marzo	15,41	15	4,55
Abril	15,66	15	4,62
Mayo	15,15	15	4,47
Junio	15,18	15	4,48
Julio	15,27	15	4,50
Agosto	15,34	15	4,53
Septiembre	15,09	15	4,45
Octubre	15,15	15	4,47
Noviembre	15,18	15	4,48
Diciembre	15,23	15	4,49
Promedio Anual	15,25	15	4,49

Fuente: Petroamazonas E.P.

Elaborado por: Álvaro Cevallos

Como se puede observar en la Tabla 3.3, el desempeño energético del motor Wärtsila 18V32 LNGD, en todos los meses del año, fue superior al propuesto (15 kWh/gals crudo) excepto en el mes de enero. El menor desempeño del motor obtenido en el mes de enero se debió, principalmente, a labores de mantenimiento del sistema que se realizan cada inicio de año. A partir del mes de febrero se observa el aumento del desempeño del motor, alcanzando un máximo de 15,66 kWh/gals crudo en el mes de abril.

3.1.2. Producción energética y consumo de combustible del motor ZAN 100 Wärtsila 18V32 LNGD – año 2014, modo gas crudo.

En este modo de operación el motor ZAN 100 Wärtsila 18V32 LNGD utiliza como combustible simultáneamente gas asociado y crudo. La relación entre ambos combustibles se ajusta de acuerdo a la disponibilidad de gas existente en la

empresa. Al utilizar este modo de operación se tiene como limitante que el motor solo puede trabajar entre un 35% y un 87,5% de la carga total (Wärtsila, 2015).

Los valores promedios mensuales de potencia generada por el motor Wärtsila 18V32 LNGD durante el año 2014 se muestran en la Tabla 3.4. Como se puede observar en dicha tabla el moto generador trabajó entre el 60-70% de su potencia nominal (6.350 kW) (Wärtsila, 2015)., en los meses de enero, febrero, marzo, mayo, junio, julio, agosto, octubre, noviembre y diciembre; mientras que en el de septiembre 58.6 %. Por ultimo, el valor mas bajo de generación se produjo en el mes de abril (20 %) debido a tareas de mantenimiento y revisión del sistema de generación. Las variaciones de la potencia promedio mensual generada se deben a la disponibilidad y calidad del gas existente en la empresa.

Tabla 3.4. Potencia y energía producida por el motor Wärtsila 18V32 LNGD en el año 2014

MESES	POTENCIA M/G – A GAS CRUDO – LNGD		ENERGÍA TOTAL
	kW	%	(kWh)
Enero	3.899,19	61,4	2.901.000,00
Febrero	4.211,31	66,3	3.133.214,29
Marzo	4.301,08	67,7	3.200.000,00
Abril	1.268,06	20,0	943.433,33
Mayo	4.428,76	69,7	3.295.000,00
Junio	4.101,39	64,6	3.051.433,33
Julio	4.189,52	66,0	3.117.000,00
Agosto	4.017,47	63,3	2.989.000,00
Septiembre	3.720,83	58,6	2.768.300,00
Octubre	4.268,82	67,2	3.176.000,00
Noviembre	3.891,67	61,3	2.895.400,00
Diciembre	3.995,97	62,3	2.973.000,00
PROMEDIO MENSUAL	3.857,84		2.870.231,75
TOTAL ANUAL	46.294,06		34.442.780,95

Fuente: Petroamazonas E.P.

Elaborado por: Álvaro Cevallos

En la tabla No. 3.4, se puede observar, además, que la producción mensual de energía promedio, tiene el mismo comportamiento descrito anteriormente para el

análisis de la potencia. En este año la energía total promedio mensual generada fue de 2.870.231,75 kWh, y el total anual promedio generado de 34.442.780,95 kWh

Como parámetro de vinculación directa con la generación de potencia y energía del motor Wärtsila 18V32 LNGD, es importante hacer una relación con el consumo de combustible que se realiza para la generación de la misma. En este análisis de diagnóstico de producción con respecto al consumo de combustible cabe señalar que el motor designado ahora ya trabaja con el método dual crudo – gas natural, por lo que se debe hacer una distinción de consumo de uno con respecto al otro, ya que las unidades manejadas dentro de los reportes son distintas (Barriles para el crudo y MCF para el gas natural).

En la Tabla. 3.5. se detalla el consumo de crudo en barriles y de gas asociado durante el año 2014, mostrando también el consumo total final.

Tabla 3.5. Consumo combustible Wärtsila 18V32 LNGD – Ene - Dic 2014

CONSUMO DE COMBUSTIBLE - 2014		
MESES (2014)	CRUDO	GAS
	(BBLs)	(MCF)
Enero	2.623,67	16.420,58
Febrero	2.244,67	15.242,83
Marzo	2.376,30	18.780,44
Abril	2.239,12	18.120,47
Mayo	2.659,45	16.833,23
Junio	2.763,71	14.170,38
Julio	2.245,53	16.348,38
Agosto	2.164,36	15.397,69
Septiembre	2.626,38	16.359,11
Octubre	2.162,99	15.331,03
Noviembre	2.168,80	14.440,81
Diciembre	2.684,55	15.378,88
ANUAL	28.959,53	192.823,82

Elaborado por: Álvaro Cevallos

A diferencia del año 2010 en el cual se utilizaba solo crudo como combustible, en la Tabla 3.5, ahora se tiene una columna adicional en la cual se muestra el consumo mensual de gas asociado, y también consumo total tanto de crudo como de gas.

El diagnóstico de desempeño del motor Wärtsila 18V32 LNGD se realiza mediante seguimiento de producción diaria registrada en base de datos de producción energética dentro del bloque 12 Petroamazonas en el campo Edén Yuturi durante los meses comprendidos entre Enero y Diciembre del año 2014.

En las tablas 3.1 - 3.4 del anexo se muestra el desempeño del motor Wärtsila 18V32 LNGD obtenido según el registro diario correspondiente a los cuatro trimestres del año 2014. A partir de los registros diarios se determinaron los valores promedios mensuales en los doce meses del año, y se muestran en la tabla 3.6

Tabla 3.6. Desempeño energético del motor Wärtsila 18V32 LNGD en el año 2014

DESEMPEÑO		
Mes	kWh/gals	kWh/kg
	Real	Real
Enero	44,34	13,08
Febrero	44,44	13,11
Marzo	49,04	14,47
Abril	47,70	14,07
Mayo	51,00	15,04
Junio	35,21	10,39
Julio	39,41	11,62
Agosto	32,58	9,61
Septiembre	33,80	9,97
Octubre	41,20	12,15
Noviembre	50,92	15,02
Diciembre	37,73	11,13
Promedio Anual	42,28	12,47

Fuente: Petroamazonas E.P.

Elaborado por: Álvaro Cevallos

En la Tabla 3.6, se observa que el desempeño energético del motor Wärtsilä 18V32 LNGD durante el año 2014, superó aproximadamente en un 200% al desempeño obtenido en el año 2010 (tabla 3.3), esto se dio debido a que se utiliza el la combinación de gas-crudo como combustible para el motor.

3.1.3. Análisis comparativo de producción energética y consumo de combustible.

En este apartado se realiza una comparación entre la potencia y energía producida por el motor Wartsila 18V32LNGD cuando utilizaba como combustible solamente el crudo en el año 2010, con el modo dual GD en el año 2014.

En la Tabla 3.7 se realiza una comparación entre la potencia y energía generada por el motor Wartsila 18V32LNGD en los años objeto de estudio.

Tabla 3.7. Comparativa de potencia y energía Wärtsilä 18V32 - LNGD

MESES	M/G – A CRUDO - 2010		M/G – DUAL -LNGD - 2014	
	POTENCIA TOTAL (kW)	ENERGÍA TOTAL(kWh)	POTENCIA TOTAL (kW)	ENERGÍA TOTAL(kWh)
Enero	4.049,00	3.012.456,00	3.899,19	2.901.000,00
Febrero	3.452,25	2.319.912,00	4.211,31	3.133.214,29
Marzo	2.869,75	2.135.094,00	4.301,08	3.200.000,00
Abril	3.026,75	2.179.260,00	1.268,06	943.433,33
Mayo	2.956,75	2.199.822,00	4.428,76	3.295.000,00
Junio	2.643,50	1.903.320,00	4.101,39	3.051.433,33
Julio	2.820,25	2.098.266,00	4.189,52	3.117.000,00
Agosto	2.803,50	2.085.804,00	4.017,47	2.989.000,00
Septiembre	3.380,00	2.433.600,00	3.720,83	2.768.300,00
Octubre	2.382,00	1.772.208,00	4.268,82	3.176.000,00
Noviembre	1.953,75	1.406.700,00	3.891,67	2.895.400,00
Diciembre	2.045,25	1.521.666,00	3.995,97	2.973.000,00
TOTAL ANUAL	34.382,75	25.068.108,00	46.294,06	34.442.780,95
MENSUAL PROMEDIO	2.865,23	2.089.009,00	3.857,84	2.870.231,75

Fuente: Petroamazonas E.P.

Elaborado por: Álvaro Cevallos

Como se puede observar en esta tabla la potencia y energía generada por el motor Wartsila 18V32LNGD cuando utilizaba como combustible el modo dual

GD, es mayor en todos los meses del año, excepto en los meses de enero y marzo. La mayor generación de potencia obtenida en el año 2014 se debe, fundamentalmente, a la ampliación del campo y a la entrada en funcionamiento de nuevos pozos de explotación que demandan mayor cantidad de energía. La menor generación registrada en el mes de abril del 2014 en modo dual GD se debió principalmente a tareas de mantenimientos programados en el motor.

En esta tabla se puede observar además que se produce un aumento significativo (37,4%) de la generación de energía del año 2014 con respecto al año 2010, con una diferencia de producción promedio mensual de 992,84 kW de potencia y una diferencia total anual de 11911,06 kW entre el motor Wärtsila 18V32 y su versión actualizada 18V32 LNGD. En relación a la energía producida, en la diferencia de producción, se mantiene una mejoría en la producción, con una diferencia promedio mensual de 783.500,75 kWh y una diferencia total anual de 886.2014,95 kWh.

En la Tabla 3.8 se muestra la comparación entre el consumo de combustible en modo crudo en relación al consumo de combustible en modo GD dual.

Tabla 3.8. Consumo de combustible Wärtsila 18V32 – año 2010 – 2014

MESES	WARTSILA 18V32	WARTSILA 18V32 LNGD	
	CONSUMO	CONSUMO CRUDO	CONSUMO GAS
	CRUDO UNITARIO (BBLS)	UNITARIO (BBLS)	UNITARIO (MCF)
Enero	4.997,20	2.623,67	16.420,58
Febrero	4.513,60	2.244,67	15.242,83
Marzo	4.872,20	2.376,30	18.780,44
Abril	4.836,35	2.239,12	18.120,47
Mayo	4.981,40	2.659,45	16.833,23
Junio	4.821,45	2.763,71	14.170,38
Julio	4.894,50	2.245,53	16.348,38
Agosto	4.991,50	2.164,36	15.397,69
Septiembre	4.786,45	2.626,38	16.359,11
Octubre	4.987,20	2.162,99	15.331,03
Noviembre	4.234,56	2.168,80	14.440,81
Diciembre	4.767,50	2.684,55	15.378,88
ANUAL	57.683,91	28.959,53	192.823,82

Fuente: Petroamazonas E.P.

Elaborado por: Álvaro Cevallos

En esta tabla se puede observar que el consumo de crudo en el año 2014 disminuyó aproximadamente en un 50% en comparación con el año 2010, aun cuando existe un incremento de generación de energía. La disminución del consumo de crudo se debe al aprovechamiento del gas asociado de crudo que anteriormente se lo quemaba en la chimenea sin ningún uso.

3.1.4. Análisis de presiones pico en procesos de producción y Desempeño.

Como punto inicial de medición de la relación de aprovechamiento energético por actualización tecnológica, es preciso realizar un análisis de presiones pico en los procesos de producción, ya que se debe mantener una regularidad de dicha presión para la mantención de un correcto funcionamiento del motor Wärtsilä 18V32 LNGD. La medición de presiones pico en procesos de producción se realizó en cada uno de los cilindros de los que está compuesto el motor Wärtsilä 18V32 LNGD, cada uno de los cuales se expone dentro del Anexo No. 4, para conformar un solo gráfico de medición de presiones pico (figura No. 3.1)

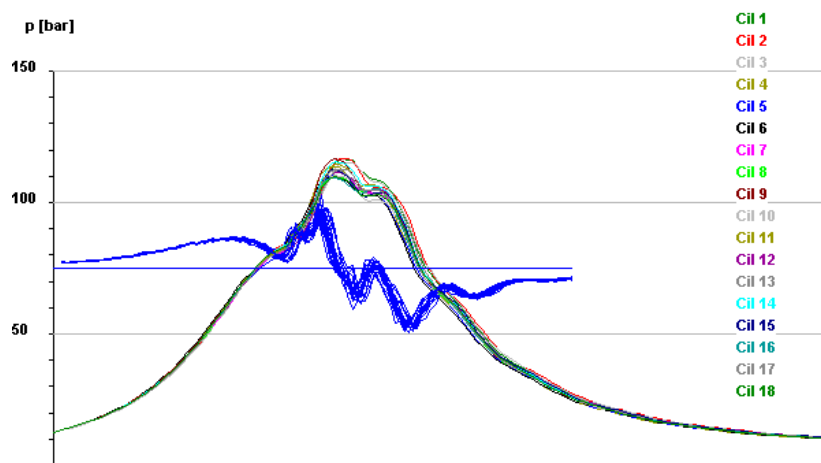


Figura 3.1. Presiones Pico – 18 cilindros Wärtsilä 18V32 LNGD

Fuente: Petroamazonas E.P.

Elaborado por: Álvaro Cevallos

Como se observa en la figura No. 3.4., la regularidad de la presión pico obtenida dentro del proceso de combustión interna se mantiene dentro de un

patrón continuo en cada uno de los cilindros, con una diferencia considerada como aceptable, tomando en cuenta el manejo de producción y el tipo de combustible al que está sometido todo el proceso de combustión. Con miras de proveer una media de desviación estándar de la producción por cilindro se realiza un estudio comparativo de presiones pico con relación al promedio obtenido de forma galobal, con lo que se puede hacer una serie de correcciones y calibraciones propias del motor con la finalidad de obtener el método de producción más eficiente y óptimo en todos los cilindros, tal como se apunta en las Figuras 3.2 y Figura 3.3.

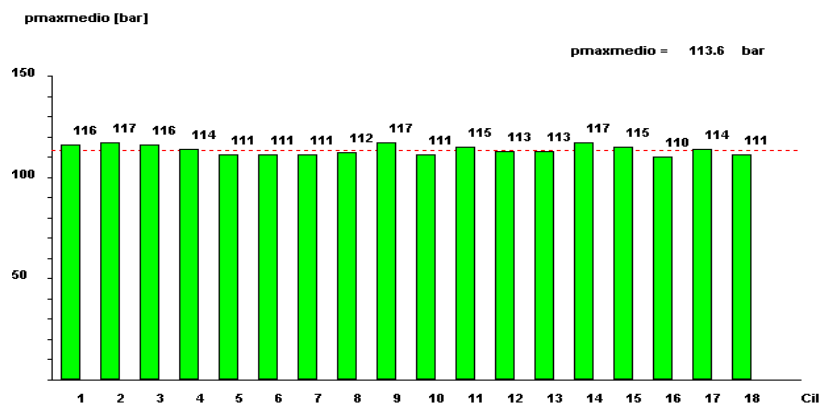


Figura 3.2. Presión pico por cilindro Wärtsila 18V32 LNGD

Fuente: Petroamazonas E.P.

Elaborado por: Álvaro Cevallos

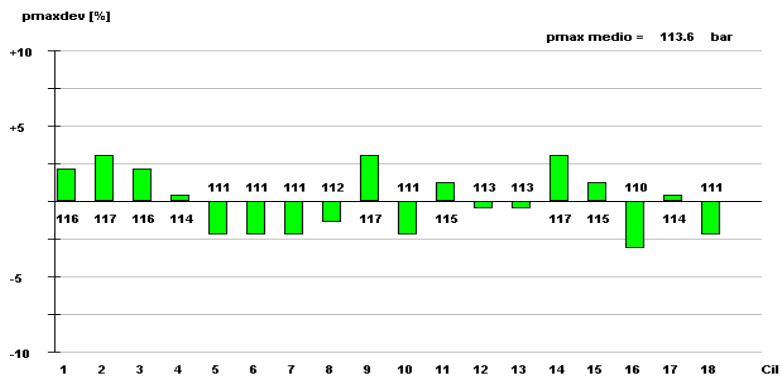


Figura 3.3. Presión pico por cilindro Wärtsila 18V32 LNGD

Fuente: Petroamazonas E.P.

Elaborado por: Álvaro Cevallos

Con una presión pico promedio de 113,6 bar, existe una desviación estándar de presencia de presiones pico con una diferencia de ± 3 bares entre punto de presión máximo y punto de presión mínima respectivamente, lo que garantizaría una calibración dentro del motor a presión dentro de un rango correcto según lo indica el manual del fabricante (Wärtsilä, 2015).

3.1.5. Evaluación del rendimiento térmico del motor Wärtsilä 18V32LNGD

Posterior a la presentación de diagramas de seguimiento de presiones pico dentro del proceso de producción energético, es necesario indicar el rendimiento térmico del motor trabajando bajo la modalidad dual de crudo – crudo gas natural.

Tomando la analogía de análisis anterior, sobre la cual se hace una aproximación del comportamiento de los cuatro motores a partir de la evaluación de presiones pico en uno de los motores, en el caso de la evaluación del rendimiento térmico del motor Wärtsilä 18V32LNGD, de igual manera se hace un estudio exhaustivo de solamente una unidad, ya que al tener las mismas especificaciones los otros motores se considera una similitud de trabajo entre unidades.

Para determinación de la medida del rendimiento térmico del motor Wärtsilä 18V32 LNGD se procede a mediante el uso de las características de combustible aportado anteriormente, hacer trabajar a la unidad en ciclos de generación de potencia eléctrica específicos durante intervalos de tiempo de 5 minutos, en los cuales se lleva un registro de flujo de ingreso de combustible, flujo de retorno, flujo de consumo, tasa de calor producido (heat rate) tanto en kJ/kWh y BTU/kWh y finalmente el rendimiento térmico como tal en medida porcentual, tal como se especifica en la Tabla 3.9, tomando como referencia de energía térmica generada E_e un valor de 3412 kJ/kWh.

Tabla 3.9. Rendimiento térmico motor Wärtsila 18V32LNGD

RENDIMIENTO TERMICO DE LA UNIDAD Wärtsila 18V32 LNGD							
Tiempo (min)	Potencia Electrica (kW)	Flujo de ingreso (kg/h)	Flujo de retorno (kg/h)	Flujo de consumo (kg/h)	Heat rate (kJ/kWh)	Heat rate (BTU/kWh)	Rendimiento térmico (%)
5	1500	1791,6	1366,3	425,3	11554,0	10951,1	29,5%
5	2000	1870,2	1332,5	537,7	10955,6	10383,9	31,1%
5	2500	1931,2	1296,7	634,5	10342,4	9802,7	33,0%
5	3000	2028,1	1290,7	737,4	10016,4	9493,7	34,1%
5	3500	2076	1268,0	808,0	9407,4	8916,5	36,3%
5	4000	2136,2	1237,0	899,2	9160,6	8682,6	37,2%
5	4500	2205	1208,0	997,0	9028,4	8557,3	37,8%
5	5000	2265	1175,0	1090,0	8883,5	8419,9	38,4%
5	5500	2323	1142,0	1181,0	8750,1	8293,5	39,0%
5	6000	2386	1109,0	1277,0	8673,0	8220,4	39,3%
5	6700	2472	1057,0	1415,0	8606,2	8157,1	39,6%
5	7000	2518	1039,0	1479,0	8609,9	8160,6	39,6%
5	7500	2580	1002,0	1578,0	8573,8	8126,4	39,8%
5	8000	2654	971,0	1683,0	8572,8	8125,4	39,8%

Fuente: Petroamazonas E.P.

Elaborado por: Álvaro Cevallos

A partir del registro de tasa de calor producido, y rendimiento térmico del motor con respecto a la potencia generada en cada ciclo de prueba se realiza un gráfico de seguimiento por vinculación de producción energética (Figura 3.4), el mismo que forma base fundamental de soporte del rendimiento y eficiencia final de la unidad de generación eléctrica.

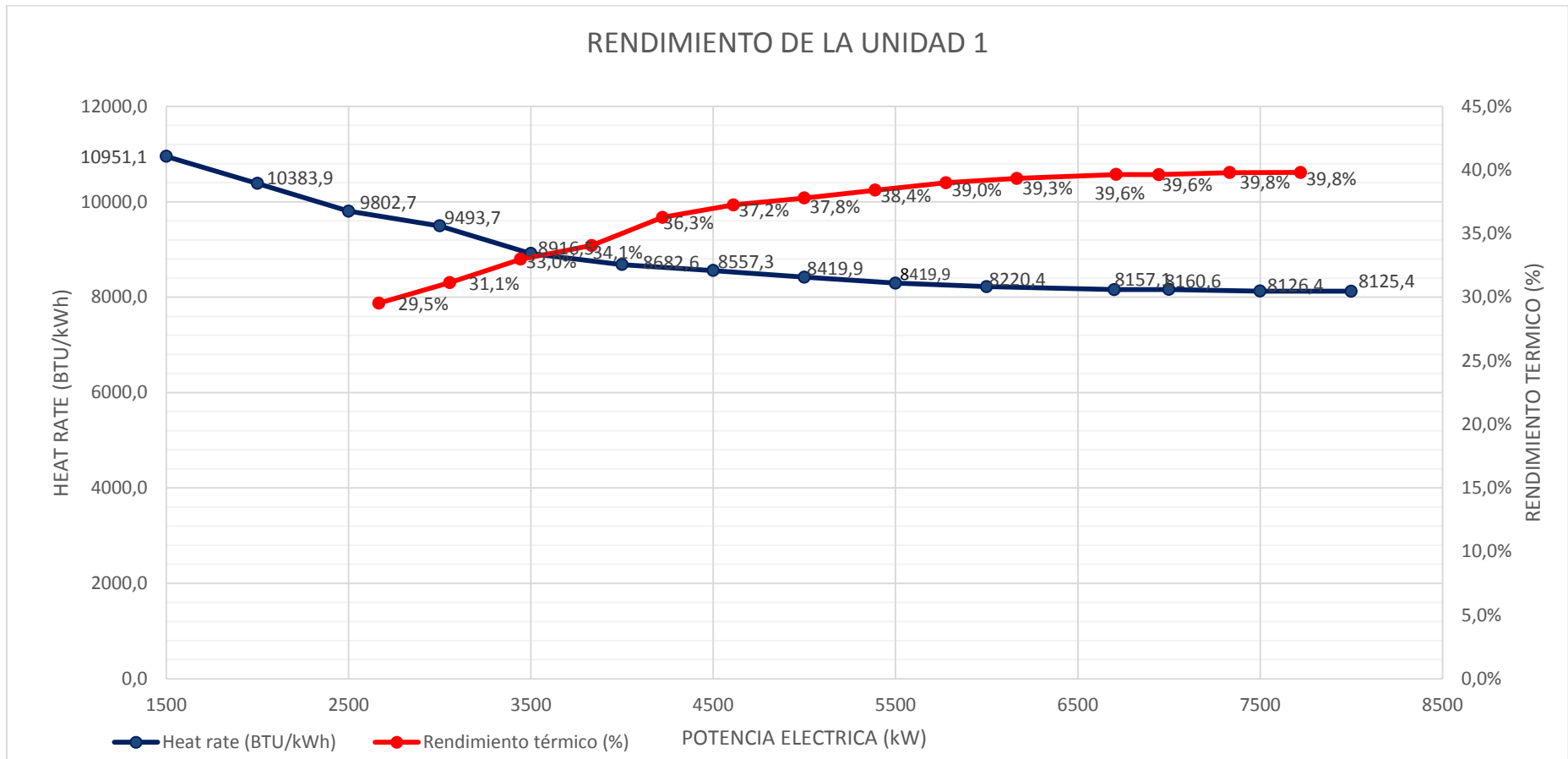


Figura 3.4. Eficiencia del motor Wärtsilä 18V32 LNGD

Elaborado por: Álvaro Cevallos.

3.2.Conclusiones parciales

A partir del análisis realizado en el capítulo presente de medición y análisis de resultados, y en forma correspondiente con información presentada en los respectivos marcos de investigación teórico y metodológico precedentes, se establecen las siguientes conclusiones parciales:

- La obtención total de las medidas se estableció en base a registros de funcionamiento mensuales, con seguimiento diario de la evolución de generación del motor Wärtsila 18V32 LNGD con base a un motogeneradores de este tipo, dichos registros están conformados por mediciones de obtención energética diaria, además de información sobre el total de energía producida, el consumo de energía propuesto por los well pads de carga, el consumo de combustible, el consumo de lubricante, la medida de ahorro de crudo al trabajar con gas MG-LNGD, el precio del barril de crudo a ese momento, la quema de gas de alta en el flare, el total de gas producido y el performance diario de la unidad de producción.
- Dentro del análisis de performance del motor Wärtsila 18V32 LNGD, en la mayoría de los casos se mantiene una producción sobre los 15 kWh/gals cro, manteniéndose una regularidad de la misma diariamente durante todo el año. Se observa una clara superioridad entre la producción real y la producción propuesta por el bloque 12 de Petroamazonas, siendo el único mes con producción menor a la propuesta la del mes de Enero debido en gran parte a medios de mantenimiento del sistema que se realizan cada inicio de año, por lo que se verifica posteriormente un aumento de producción para llegar a un pico real promedio de producción de 15,66 kWh/gals cro en el mes de Abril
- La producción mensual de Kilowatts en el año 2014, en forma vinculada con el performance establecido en el diagnóstico inicial del motor Wärtsila

18V32 LNGD, se encuentra en el rango de producción óptima, con puntos máximos de producción de 4428,76 kW en el mes de mayo en el generador, y un punto mínimo de producción de 1268,06 kW en el mes de abril por cuestión de mantenimiento y revisión del sistema de generación. Desde una perspectiva de seguimiento anual, el total anual promedio de producción de la muestra dentro del bloque 12 es de 46294,06 kW, con un promedio mensual de 3857,84 kW.

- Dentro de la potencia total de la muestra del motogenerador en su total anual se especifican 46294,06 kW con una energía total para todo el 2014 producida de 34442780,95 kWh, donde el anual promedio de potencia total sobrepasa el margen propuesto dentro del bloque.
- En aplicación a la medición de presiones pico para la actualización de tecnología aplicada, con una presión pico promedio de 113,6 bar, existe una desviación estándar de presencia de presiones pico con una diferencia de ± 3 bares entre punto de presión máximo y punto de presión mínima respectivamente, lo que garantizaría una calibración dentro del motor a presión dentro de un rango correcto según lo indica el manual del fabricante (Wärtsilä, 2015).
- En estudios comparativos se presencia un claro aumento de producción de potencia y energía, con una diferencia de producción promedio mensual de 992,84 kW de potencia y una diferencia total anual de 11911,06 kW entre los años 2010 y 2014. En relación a la energía producida, la diferencia de producción también mantiene una amplia mejoría, con una diferencia promedio mensual de 783500,75 kWh y una diferencia total anual de 8862014,95 kWh.
- La diferencia de consumo de combustible entre el año 2010 donde se usaba únicamente el crudo con respecto al año 2014 cuando se realizó la conversión a tecnología GD, evidencia una reducción considerable de uso

de este carburante, con una diferencia de 28724,38 bbls, lo que correspondería a un ahorro de consumo de combustible crudo porcentual del 49,80% anual aproximadamente.

CAPÍTULO IV

MARCO PROPOSITIVO

4.1. Título de la propuesta

Estudio de actualización tecnológica para el mejoramiento de la producción energética en el motor Wärtsila 18V32 LNGD dentro de las plantas de generación eléctrica de Petroamazona EP mediante uso de metodologías de consumo de combustible dual crudo – gas natural.

4.2. Justificación

Dentro de la evaluación energética, el presente marco propositivo se justifica dentro del análisis de influencia del cambio de combustible crudo a tecnología GD en los motores de generación Wärtsila 18V32 LNGD, en el que fue necesario realizar un estudio de la eficiencia energética de la tecnología actualmente aplicada, especificado dentro del capítulo anterior de medición y análisis de resultados, para posteriormente realizar una proyección técnica estimada del incremento de la eficiencia si se aplica una evolución hacia el uso de tecnología GD. Esto demostrará las diferencias tanto de producción, como de contaminación y uso del combustible en ambos casos.

Desde una perspectiva para la justificación económica, el presente estudio se basa bajo dos parámetros principales, el valor de la actualización, y la relación costo beneficio del proyecto. Por un lado es necesario observar el costo de la implementación de la nueva tecnología a ser aplicada en parámetros de costo de herramientas, material humano de instalación y transformación, capacitación y costos de mantenimiento, por nombrar algunos de los parámetros.

Finalmente, el presente estudio técnico de análisis de influencia del cambio de combustible crudo a tecnología GD sobre la eficiencia energética del motor Wärtsila 18V32 LNGD en la planta de generación del bloque 12 Petroamazonas

en el campo Edén – Yuturi se fundamenta legalmente con auspicio de la Constitución de la República, así como la Ley del Régimen del Sector Eléctrico

4.3. Objetivo

- Realizar un estudio técnico de soporte para aplicación de actualización tecnológica para el mejoramiento de la producción energética del motor Wärtsila 18V32 LNGD dentro de las plantas de generación eléctrica de Petroamazonas EP mediante uso de metodologías de consumo de combustible dual crudo – gas natural, especificando valores de mejoras de producción por estudio comparativo en conjunto con un análisis de factibilidad económica y la evaluación de la influencia de la reducción del consumo de crudo.

4.4. Estructura de la propuesta

El marco propositivo presentado en este capítulo desarrollado para proveer una solución efectiva de la problemática inicialmente analizadas dentro de los capítulos introductorios, de análisis bibliográficos – metodológicos, con base en las mediciones y análisis de resultados tomados dentro del emplazamiento correspondiente a uno de los motores Wärtsila 18V32 LNGD de generación del bloque 12 Petroamazonas en el campo Edén – Yuturi en el año 2014, manifiesta un análisis de estudio técnico de soporte para conformar planes de actualización tecnológica con la final de obtener un mejoramiento de la producción energética dentro de las plantas de generación eléctrica de Petroamazonas EP mediante uso de metodologías de consumo de combustible dual crudo – gas natural.

Dentro del análisis de estudio técnico se valoran los procesos de transformación tecnológica de los motores, tomando en cuenta que la metodología y diseño de actualización desde el aspecto mecánico es propio del fabricante Wärtsila, además que el proceso de aplicación de la actualización es exclusiva y confidencial por parte del mismo fabricante. La actualización propuesta se

fundamenta en comparación de resultados productivo obtenidos a partir de registros de datos previos cuando el motor 18V32 LNGD trabajaba solamente con uso de crudo, de forma correspondiente con el registro tomado en planta piloto con el motor actualizado ya para el uso dual de combustible.

De esta forma, el flujo de procesos que mantiene todo el esquema propositivo se sigue a partir de las siguientes premisas:

- Especificar un análisis previo de caracterización de ambos combustibles bajo normalización de pruebas de obtención de datos según parámetros propios de Petroamazonas EP., con base en las normativas de normalización propuestas por Servicio de Normalización del Ecuador INEN, y las normas INEN 1047:2013, INEN 1983:02, INEN 0930:1984
- Estructurar un estudio técnico – teórico metodológico previo sobre las características de producción diaria del motor Wärtsila 18V32 LNGD, la producción de potencia y energía, relacionado además con el consumo de combustible tanto crudo como gas natural.
- Realizar medios comparativos de producción energética y consumo de combustible basados en registros previos tomados del año 2010 cuando el motor Wärtsila 18V32 solamente trabajaba con consumo de crudo como combustible, comparado con los registros tomados en el año 2014 cuando el motor ya era de tipo 18V32 LNGD con uso de combustible crudo y gas natural.
- Proveer valores específicos de producción energética con origen en fundamentos de concepción de un marco propositivo efectivo, para una posterior especificación de valores de proyección futura de producción energética estimada por implementación de la actualización de los motores bajo indicaciones de la vida útil de los mismos.

4.4.1. Fundamento de concepción del marco propositivo

El fundamento de concepción estructural del marco propositivo se origina a partir de la confirmación de aumento de producción de potencia y energía con base en comparación de producción a año 2010 con respecto a la obtenida a año 2014, además de la vinculación directa de esta con la reducción de consumo de barriles de crudo e introducción dentro de los medios de actualización del gas natural como carburante adicional.

Con evidencia en estos resultados obtenidos mediante análisis de información recabada, dentro de los planes de producción energética se proyecta que la reducción de consumo de crudo para producción eléctrica mediante motogeneración provea un marco de aumento de la cantidad de barriles de crudo disponible para la venta posterior, o para su uso en otras utilidades productivas donde sea requerido.

Desde la visualización directa del uso del combustible, haciendo referencia a lo indicado por (González Santaló, 2009), se requiere una reducción anteriormente señalada debido en gran medida a la inestabilidad del precio del crudo en el mundo, en agregado a la reconfiguración continua de las refinerías para la extracción de todos los ligeros posibles del crudo, dejando como residuo el coque de carbón.

Mientras que en contraparte a la reducción del uso del crudo como combustible, el carbón y el gas natural ha aumentado su participación porcentual en el proceso de generación, tomando ventaja sobre el primero debido a las ventajas tecnológicas y económicas que simbolizan los ciclos combinados y los bajos precios del gas natural a principios del siglo actual.

4.4.2. Proyección de producción energética estimada

La proyección de producción energética estimada, basándose principalmente en que la diferencia de crudo en el consumo entre el año 2010 donde el único combustible era el crudo con respecto al año 2014 cuando ya se instaló el proceso de actualización para producción por utilización de crudo conjuntamente con gas natural, tal como se presencia en la Figura 3.8., evidencia una reducción considerable de uso de este carburante

Esta reducción mencionada establece una diferencia de 28724,38 bbbls de forma individual, lo que correspondería a un ahorro de consumo de combustible crudo porcentual del 49,80% anual aproximadamente, verifica en la vida útil de la actualización dentro del proceso de producción del motor Wärtsila 18V32 LNGD, una producción comparativa enunciada dentro de la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Proyección de producción potencia y energía Wärtsila 18V32

MESES	POTENCIA TOTAL AÑO (kW)	M/G - A CRUDO		POTENCIA TOTAL AÑO (kW)	M/G - DUAL - LNGD	
		POTENCIA TOTAL (KW) - 30 AÑOS	ENERGÍA TOTAL(kw-h) - 30 AÑOS		POTENCIA TOTAL (KW) - 30 AÑOS	ENERGÍA TOTAL(kw-h) 30 AÑOS
Enero	4.049,00	121.470,00	90.373.680,00	3.899,19	116.975,81	87.030.000,00
Febrero	3.452,25	103.567,50	69.597.360,00	4.211,31	126.339,29	84.900.000,00
Marzo	2.869,75	86.092,50	64.052.820,00	4.301,08	129.032,26	96.000.000,00
Abril	3.026,75	90.802,50	65.377.800,00	1.268,06	38.041,67	27.390.000,00
Mayo	2.956,75	88.702,50	65.994.660,00	4.428,76	132.862,90	98.850.000,00
Junio	2.643,50	79.305,00	57.099.600,00	4.101,39	123.041,67	88.590.000,00
Julio	2.820,25	84.607,50	62.947.980,00	4.189,52	125.685,48	93.510.000,00
Agosto	2.803,50	84.105,00	62.574.120,00	4.017,47	120.524,19	89.670.000,00
Septiembre	3.380,00	101.400,00	73.008.000,00	3.720,83	111.625,00	80.370.000,00
Octubre	2.382,00	71.460,00	53.166.240,00	4.268,82	128.064,52	95.280.000,00
Noviembre	1.953,75	58.612,50	42.201.000,00	3.891,67	116.750,00	84.060.000,00
Diciembre	2.045,25	61.357,50	45.649.980,00	3.995,97	119.879,03	89.190.000,00
TOTAL ANUAL	34.382,75	1.031.482,50	752.043.240,00	46.294,06	1.388.821,81	1.014.840.000,00
ANUAL						
PROMEDIO	2.865,23	158.689,6	62.670.270,00	3.857,84	213.664,9	84.570.000,00

Fuente: Petroamazonas E.P.

Elaborado por: Álvaro Cevallos

Como se observa en la tabla No. 4.1. existe una clara diferencia de aumento de producción en el tiempo estimado de vida útil de la implementación de la actualización metodológica de uso de combustible bajo ciclo dual, pasando en potencia producida de 1031,48 MW a 1388,82 MW, y una producción de energía con una diferencia de 262796,76 MWh en toda su vida útil.

El estudio de igual forma que en la prospección de producción anual establecida en el capítulo anterior, en esta ocasión también requiere hacer una proyección de consumo de combustible para toda la vida útil especificada para el medio de producción dentro del motor Wärtsila 18V32 LNGD, con registro si se hubiese mantenido la metodología de solo uso de crudo, o ya con la actualización de uso a crudo y gas natural (Tabla 4.2. y Tabla 4.3.).

Tabla 4.2. Proyección de consumo de combustible crudo Wärtsila 18V32

CONSUMO DE COMBUSTIBLE – CONSUMO CRUDO WARTSILA 18V32				
CONSUMO UNITARIO				
MESES	CRUDO	GAS	TOTAL UNITARIO – 30 AÑOS	
	ANUAL (BBLs)	ANUAL (MCF)	CRUDO (BBLs)	GAS (MCF)
Enero	4.997,20	-	149.916,00	-
Febrero	4.513,60	-	135.408,00	-
Marzo	4.872,20	-	146.166,00	-
Abril	4.836,35	-	145.090,50	-
Mayo	4.981,40	-	149.442,00	-
Junio	4.821,45	-	144.643,50	-
Julio	4.894,50	-	146.835,00	-
Agosto	4.991,50	-	149.745,00	-
Septiembre	4.786,45	-	143.593,50	-
Octubre	4.987,20	-	149.616,00	-
Noviembre	4.234,56	-	127.036,80	-
Diciembre	4.767,50	-	143.025,00	-
ANUAL	57.683,91	0,00	1.730.517,30	0,00

Fuente: Petroamazonas E.P.

Elaborado por: Álvaro Cevallos

Tabla 4.3. Proyección de consumo de combustible dual Wärtsila 18V32

MESES	CONSUMO DE COMBUSTIBLE DUAL WÄRTSILA 18V32 LNGD			
	CONSUMO UNITARIO			
	CRUDO	GAS	TOTAL UNITARIO - 30 AÑOS	
	MG-LN GD 32 UNITARIO (BBLs)	GAS LN GD 32 - UNITARIO (MCF)	CRUDO (BBLs)	GAS (MCF)
Enero	2.623,67	16.420,58	78.710,13	492.617,39
Febrero	2.244,67	15.242,83	67.340,06	457.284,89
Marzo	2.376,30	18.780,44	71.288,92	563.413,13
Abril	2.239,12	18.120,47	67.173,53	543.614,06
Mayo	2.659,45	16.833,23	79.783,45	504.996,95
Junio	2.763,71	14.170,38	82.911,40	425.111,25
Julio	2.245,53	16.348,38	67.366,01	490.451,25
Agosto	2.164,36	15.397,69	64.930,88	461.930,70
Septiembre	2.626,38	16.359,11	78.791,28	490.773,38
Octubre	2.162,99	15.331,03	64.889,60	459.930,97
Noviembre	2.168,80	14.440,81	65.064,08	433.224,38
Diciembre	2.684,55	15.378,88	80.536,42	461.366,25
ANUAL	28.959,53	192.823,82	868.785,76	5.784.714

Fuente: Petroamazonas E.P.

Elaborado por: Álvaro Cevallos

La diferencia de consumo de combustible para una proyección de 30 años de vida útil establece una diferencia individual de 860731,54 barriles de crudo, lo que establece una enorme diferencia de consumo a futuro.

4.5. Análisis de factibilidad

4.5.1. Gastos de actualización

Los gastos de actualización corresponden a todos los valores económicos determinados para completar el proceso de actualización estructural del motor Wärtsila 18V32 para su uso no exclusivo de crudo, pasando a una producción energética mediante aplicación del uso combinado de crudo y gas natural. Dentro de estos gastos se indican implícitamente la adquisición de medios mecánicos de transformación, equipamiento adicional para inclusión del gas natural, sistemas de

control de presión y seguimiento de la producción, equipos auxiliares y materiales de interconexión, disgregados dentro de la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Gastos de actualización motor Wärtsila 18V32 LNGD

No	Parámetro	Cantidad	Valor neto	Transporte	Valor Final
1	Medios mecánicos de transformación	1 grupo	272142,86	13607,14	287750,00
2	Equipamiento adicional gas natural	1 grupo	143352,38	7167,62	150520,00
3	Sistemas de control de presión pico en motor	1 grupo	69952,38	3497,62	73450,00
4	Equipos auxiliares	1 grupo	24012,38	1200,62	25213,00
5	Materiales de interconexión	1 grupo	21290,48	1064,52	22355,00
6	Sistema de seguimiento de producción	1 grupo	19131,43	956,57	20088,00
				TOTAL	577376,00

Elaborado por: Álvaro Cevallos

Dentro de los gastos de actualización del motor Wärtsila 18V32 LNGD hay que tomar en cuenta que no se incluyen valores de adquisición de los motores, ya que dichos motores ya forma parte de partida presupuestaria anterior desde el momento cuando se adquirieron por parte de Petroamazonas E.P., además que la generalización del presupuesto se realizó en base bajo proyección de adquisición sin impuestos de ingreso por cuanto todo proyecto de generación eléctrica según la ley está exento de la aplicación de los mismos.

4.5.2. Gastos de montaje e instalación

Los gastos de montaje e instalación corresponder a todos los avalúos económicos considerados para aplicar la actualización de los motogeneradores para su uso de combustible dual crudo – gas natural, además de todos los valores correspondientes a obra civil si fuera necesaria, implementación de depósitos de combustible, medios de ubicación de implementos, así como el resto de medios de acondicionamiento finales de aplicación de la actualización anteriormente mencionada, tal como se indica en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5. Gastos de montaje e instalación Wärtsila 18V32 LNGD

No	Descripción	Tipo	Valor Final
1	Conjunto de acoplamiento y transformación de consumo combustible	Material	85300,00
2	Obra civil de ubicación adicional de sistemas de transformación	Material y humano	45000,00
3	Depósitos de combustible	Material	22500,00
4	Medios de acondicionamiento adicionales	Material	17016,00
TOTAL			169816,00

Elaborado por: Álvaro Cevallos

4.5.3. Gastos de personal y estudio técnico de ingeniería

Al ser el procedimiento de actualización un requerimiento que necesita una excelente planificación de manejo de personal, en conjunto con un estudio técnico de ingeniería, para especificar su avalúo económico dentro del análisis de factibilidad se requiere especificar las siguientes condiciones de participación dentro del presupuesto:

- La mano de obra dentro del proceso se subdivide de acuerdo a presupuestos onshore y offshore, debido a una tasa intercambiaría de 1.25

mas 5% por cubrir el riesgo de diferencia de valor del dólar con respecto a la moneda extranjera manejada.

- Se especifica un valor de ingeniería en general, donde se agregan costos propios de ingenieros encargados en el proceso de actualización, el estudio técnico de ingeniería, además que se expone un gasto por warranty engineer para manutención de procedimientos de garantía de funcionamiento eficiente de la maquinaria, así como de manejo de mantenimiento de la misma.
- Se agrega un valor económico correspondiente a entrenamiento de personal para el manejo del motor bajo esta actualización tecnológica, incluyendo además valores correspondientes a toda la documentación técnica provista por el fabricante del motor, donde se encuentran todos los procedimientos a realizar bajo distintas situaciones de trabajo del motor.

Tomando en cuenta las suposiciones iniciales de gastos por personal y estudio técnico de ingeniería, a continuación en la tabla No. 4.6 se detallan sus rubros específicos.

Tabla 4.6. Gastos de personal y estudio técnico Wärtsila 18V32 LNGD

No	Descripción	Tipo	Valor Final
1	Personal on shore	Humano	1782375,00
2	Personal off shore	Humano	1103806,00
3	Warranty Engineer	Humano y material	152835,00
4	Entrenamiento y capacitación	Material	61134,00
5	Documentación	Material	84908,00
TOTAL			3185058,00

Elaborado por: Álvaro Cevallos

4.5.4. Gastos de mantenimiento

Con la finalidad de garantizar la vida útil de 30 años para el proceso de actualización dentro del cambio de uso de combustible, solo crudo a metodologías dual crudo – gas natural, se debe tomar en cuenta un apartado exclusivo de gastos de mantenimiento. En el caso de los motores Wärtsila 18V32 LNGD se consideran dentro de un plan de mantenimiento anual los mantenimientos a las 1000 horas, 2000 horas, 4000 horas, 12000 horas, la reposición de aceite de lubricación y valores específicos que se corren a partir de este cambio de aceite estimado dentro de los registros mensuales. De esta manera los gastos de mantenimiento se visualizan dentro de la Tabla 4.7.

Tabla 4.7. Gastos de mantenimiento 18V32 LNGD

No	Descripción	Valor anual	Valor Final
1	Mantenimientos 1000 horas	22949,00	688470,00
2	Mantenimientos 2000 horas	29337,00	880110,00
3	Mantenimientos 4000 horas	87166,00	2614980,00
4	Mantenimientos 12000 horas	82500,00	2475000,00
5	Reposición de aceite	73920,00	2217600,00
6	Cambio de aceite	39600,00	1188000,00
TOTAL			10064160,00

Elaborado por: Álvaro Cevallos

4.5.5. Inversión total de la propuesta

La inversión total de la propuesta de actualización tecnológica de los motores Wärtsila 18V32 LNGD para su uso dual de combustible crudo – gas natural, hace referencia a la suma completa de valores de actualización, montaje e instalación, personal, estudio técnico de ingeniería y valores de mantenimiento. A partir de esta premisa señalada, la inversión total se representa por:

$$Inversión_{individ.} = Actualización + montaje + personal + mantenimiento$$

Como se observa en la ecuación anterior, la inversión individual se obtiene a partir de la suma de todos esos valores correspondientes obtenidos en los apartados anteriores

Con base en los valores obtenidos anteriormente dentro del estudio de factibilidad, y reemplazándolos tanto en la medida de la inversión individual se obtiene un inversión de:

$$Inversión_{individ.} = 577376,00 + 169816,00 + 3185058,00 + 10064160,00$$

$$Inversión_{individ.} = 13996410,00 \text{ USD}$$

La inversión está considerada para una vida útil estimada de 30 años especificada por el fabricante Wärtsila, además que en valores previos está incluido una base especial de una tasa de cambio de 1.25 más un 5% para cubrir el riesgo cambiario al estar inmerso valores económicos de moneda extranjera.

4.5.6. Tiempo de recuperación de la inversión total

El tiempo de recuperación de la inversión se obtiene en este caso en especial mediante estudio comparativo de los valores de la inversión total realizada en la flota, con respecto a los valores de producción energética valorada en USD de acuerdo al valor por cada kWh de venta a la distribución por parte de PETroamazonas EP, incluyendo aquí además los valores económicos correspondientes al consumo de combustible.

De forma individual en el motor Wärtsila 18V32 LNGD, dentro de una proyección de producción en 30 años se obtiene un aproximado de producción energética de 1014840000,00 kWh, con un consumo de combustible de 868785,76 barriles de crudo y 5784714,00 MCF de gas. Con un valor promedio por barril para el año 2014 obtenido por Petroamazonas de 7,77 USD, un valor por cada MCF de gas de 4,00 USD, agregando además un costo de 0,07 USD por

cada kWh producido para la distribución, obtenemos los siguientes avalúos de participación en el tiempo de recuperación de la inversión total.

$$\text{Valor}_{\text{prod.}}(\text{USD}) = (1014840000,00 \text{ kWh}) * (0,07 \text{ USD/kWh})$$

$$\text{Valor}_{\text{prod.}}(\text{USD}) = 71.038.800,00 \text{ USD}$$

$$\text{Valor}_{\text{crudo}}(\text{USD}) = (868785,76 \text{ barriles}) * (7,77 \text{ USD/barril})$$

$$\text{Valor}_{\text{crudo}}(\text{USD}) = 6.750.465,36 \text{ USD}$$

$$\text{Valor}_{\text{gas}}(\text{USD}) = (5784714,00 \text{ MCF}) * (4,00 \text{ USD/MCF})$$

$$\text{Valor}_{\text{gas}}(\text{USD}) = 23.138.856,00 \text{ USD}$$

$$\text{Inversión}_{\text{individual}} = 13.996.410,00 \text{ USD}$$

$$\text{Egresos}_{\text{total}} = \text{Inversión}_{\text{individual}} + \text{Valor}_{\text{crudo}} + \text{Valor}_{\text{gas}}$$

$$\text{Egresos}_{\text{total}} = 43.885.731,36 \text{ USD}$$

Para establecer la factibilidad de implementación de la actualización tecnológica, se realiza en primera instancia una diferencia entre el valor producido en USD y los egresos totales que se tendrían durante todo el proyecto, para después realizar una relación de tiempo de recuperación de la inversión estimado.

$$\text{Ingresos}_{\text{total}} = \text{Valor}_{\text{prod.}} - \text{Egresos}_{\text{total}}$$

$$\text{Ingresos}_{\text{total}} = 27.152.568,64 \text{ USD}$$

El tiempo de recuperación de la inversión es aproximadamente de 18,41 años a partir de la aplicación de la actualización tecnológica, que corresponde al 61,36% de la vida útil del mismo, concretándose así un margen amplio de ganancia para la Petroamazonas EP. Se debe tomar en cuenta que esta proyección de tiempo de recuperación de la inversión tiende a la variación, ya que es dependiente del valor de adquisición del crudo y del gas.

4.6. Comprobación de hipótesis

Para analizar si existen diferencias significativas entre los resultados de eficiencia energética obtenidos se utilizaron los valores de desempeño energético cuando el motor utiliza crudo como combustible (ver Tabla 3.3) y los valores de desempeño energético tecnología GD (ver Tabla 3.6). Para ello, se realizó una prueba no paramétrica, empleando un análisis univariado y aplicando la técnica *T de Student*, utilizando el software de análisis estadístico PAST (PAleontologicalSTatics) V 3.16, desarrollado en la universidad de Oslo (Hammer, 2017).

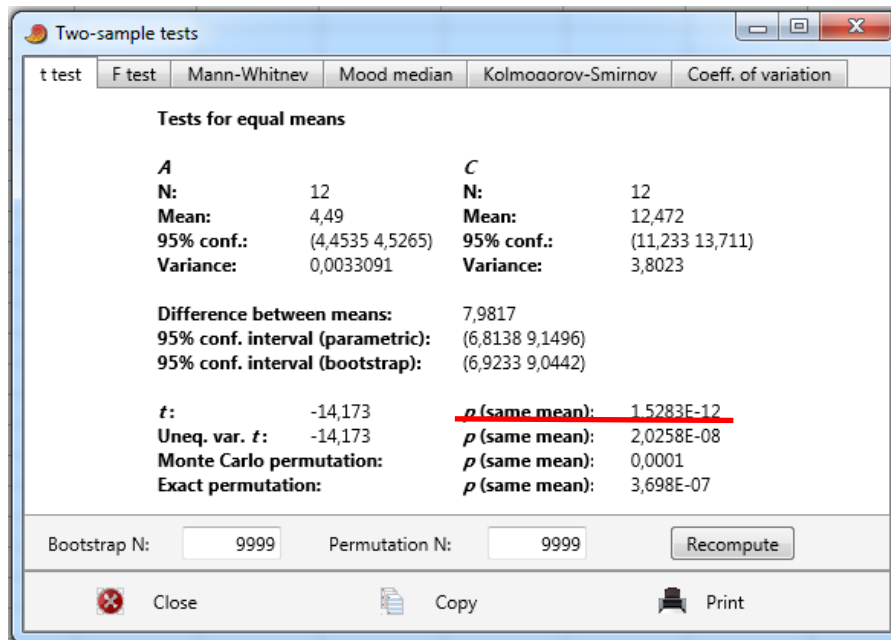


Figura 4.1. Resultado del análisis univariado utilizando la técnica test T de Student

Como se puede observar en la Figura se obtuvo un valor de $P = 1,5283 \times 10^{-12}$. Dado que P es menor de 0,05 ($P < 0,05$), indica que existen diferencias significativas entre las dos tecnologías evaluadas. Debido a las diferencias existentes en la eficiencia energética del motor, se puede concluir que se acepta la Hipótesis Alternativa (H_1) planteada para el trabajo y se rechaza la Hipótesis Nula (H_0).

4.7. Evaluación de emisiones anuales de CO₂

En la Tabla 4.8 se muestra un estimado de las emisiones de CO₂ al año emitidas por el motor 1 correspondientes a los años 2010 y 2014. Para estimar las emisiones a partir del uso de crudo como combustible en el año 2010 se consideró un factor de emisión de 635 gCO₂/kWh IEA (2013). De igual forma para estimar las emisiones a partir del uso de la tecnología GD se utilizó el factor de emisión 400 gCO₂/kWh IEA (2013), correspondiente al gas natural, considerando que el gas natural tiene una composición similar al gas asociado y teniendo en cuenta que este combustible fue el principal en el año 2014.

Tabla 4.8. Evaluación emisiones de CO₂

AÑO	COMBUSTIBLE	ENERGIA ELECTRICA GENERADA (kWh)	CO ₂ (t/AÑO)
2010	CRUDO	25.580.766,00	16.243,99
2014	GAS + CRUDO	34.442.780,95	13.777,11

Como se puede observar en la tabla con el uso de la tecnología GD se dejaron de emitir 2.466,67 tCO₂ al año lo que equivale a una reducción de emisiones del 15,2 %, a pesar de que se generó un 34,6 % mas de energía eléctrica.

CONCLUSIONES

Del análisis de resultados del trabajo realizado se pudieron obtener las siguientes conclusiones:

- La eficiencia energética promedio anual del motor Wärtsila 18V32LN GD, usando crudo como combustible en el año 2010 fue 4,49 kWh/kg
- La eficiencia energética promedio anual del motor Wärtsila 18V32LN GD, usando tecnología GD fue 12,47 kWh/kg.
- El cambio de combustible de crudo a tecnología GD incrementó en un 277,7 % la eficiencia energética del motor Wärtsila 18V32LN GD con respecto al año 2010. Este incremento de la eficiencia trajo consigo una disminución del consumo anual de crudo de 28.724,38 barriles, lo que representa un ahorro del 49,8 %. Este ahorro de combustible representó para la empresa un ahorro económico de \$ 223.188,43.
- La inversión total para el cambio de tecnología fue de \$3.932.250, considerando que la empresa tiene un beneficio neto anual de \$223.188,43, el tiempo aproximado de recuperación de la inversión es de aproximadamente 18 años.
- Con la utilización tecnología GD en el año 2014 se disminuyeron las emisiones anuales de CO₂ en 2.466,67 t, lo que equivale una reducción del 15,2 % a pesar de existir un incremento de 34,6 % de producción de energía eléctrica.

RECOMENDACIONES

Del análisis de resultados del trabajo realizado se recomienda:

- Se recomienda realizar un estudio para evaluar la producción de gas de los nuevos pozos que se encuentran operando actualmente, con vista a futuro usar la configuración GD de los dos motores de la fase 5. Y posteriormente la conversión de los 4 motores de la fase 3 y 4.
- Realizar una evaluación de los planes de mantenimiento dados por el fabricante, con el objetivo de alargar los intervalos de mantenimiento, con el fin de ahorrar recursos económicos por el uso de repuestos.
- Evaluar las emisiones de gases contaminantes de la actual tecnología GD para cuantificar la disminución de las mismas.

BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Internacional de Energía. (2007). *Manual de Estadísticas Energéticas*. París: OECD - EUROSTAT.
- Álvarez, C. (2008). *Generación Distribuida con motogeneradores Wärtsila operando en paralelo: Alta Eficiencia y Máxima Confiabilidad*. Helsinki, Finlandia: Wärtsila.
- Álvarez, C. (2007). *Generación distribuida con motogeneradores Wärtsila operando en paralelo: Alta Eficiencia y Máxima Confiabilidad*. Buenos Aires: Wärtsila.
- Alvear Quezada, M. F. (2012). *Diseño de un generador eólico tipo Savonius de uso doméstico de 200 w*. Quito, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Arango, J., Sierra, P., & Pérez, S. (2013). *Comportamiento de un motor Diesel de 1105 hp operado mediante el sistema dual-fuel con gas natural en campos petroleros*. La Rioja, España: UniRioja.
- Astudillo Cajamarca, Ó. M. (2014). *Estudio Técnico - Económico del Cañoneo PERF STIM en el yacimiento "M2" del Campo Edén Yuturi*. Quito, Ecuador: UTE.
- Burgos, J., & García, M. (2002). *El gas natural, el recorrido de la energía*. Madrid: Madrid innova.
- Carvajal, P. (2013). *Balance Energético Nacional 2013 Año Base 2012*. Quito, Ecuador: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos.
- Casarrubios, D. (2015). *Modelling a CNG distribution study of a Natural Gas - Diesel Dual Fuel Engine*. Lund, Suecia: Lund Universitet.
- Chamorro, J. (2000). *Generación eléctrica en Plantas Diesel*. Alstom: IESE Power.
- Comisión Reguladora de Energía. (2010). *Regulación sobre cogeneración eficiente en México*. Distrito Federal: CRE México.
- CIRCUTOR. (2009). *Guía técnica de eficiencia energética eléctrica y gestión*. Madrid, España: Circutor S.A.
- Dvornik, J., & Dvornik, S. (2014). *Dual fuel propulsion machinery concept on LNG carriers*. Split, Croacia: University od Split.

- Esparza, F. (2008). *Combustibles Sólidos, Líquidos y Gaseosos*. Navarra, España: Nafarroako Suhiltzaileak.
- Giangrandi, L. (2011). *Aspectos técnico económicos para evaluación de proyectos de cogeneración en base a grupos generadores Diesel*. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- González, F. (2004). *Tecnologías de generación distribuida: costos y eficiencia*. Puerto Ordaz, Venezuela: UNEXPO.
- González Santaló, J. M. (Octubre - Diciembre de 2009). La generación eléctrica a partir de combustibles fósiles. *Divulgación energética*, 143 - 151.
- Halliburton, (Software) Pulse Frac. (2014). Summary Report, Result for Working Region Edén Yuturi. Quito.
- ICCT. (2011). *Introducción a la refinación del Petróleo y la producción de Gasolina y Diesel con contenido ultra bajo de azufre*. Maryland, Estados Unidos: Mathproinc.
- IGSA. (2012). *Manual de operación y mantenimiento de plantas eléctricas*. México D.F.: IGSA Investigaciones.
- Inmaculada, D., & Robles, A. (2008). Unidad didáctica 4: Centrales Térmicas. En U. d. Cantabria, *Centrales de Generación de Energía Eléctrica* (pág. 118). Santander, España: Open Course Ware.
- Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos (2013). Balance energético Nacional 2013. Año base 2012. Quito, Ecuador: MCSE.
- Males , F. (2013). *Análisis, interpretación y comparación de las mediciones petrofísicas obtenidas con la herramienta lwd ecoscope y los registros wireline en el campo edén yuturi*. Quito, pichincha: Ecuador. UCE.
- Martínez, A. (2007). *Motores de Combustión Interna*. Sant Celoni, España: Baix Montseny.
- McKinney, M. L., & Schoch, R. M. (2003). *Environmental Science, Systems and Solutions*. Knoxville, Estados Unidos: University of Tennessee.
- Ortiz, F. (2006). *Gestión de innovación tecnológica en PYMES manufactureras. I Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación CTS+I*.
- Pacheco, Alejandro (2013). *Diseño de una planta de cogeneración para un polideportivo en el entorno climático de madrid*. Madrid, españa: universidad carlos iii.

- PETROAMAZONAS EP. (2014). *ADVANCED CORE ANALYSIS STUDY*. Quito, Ecuador: Independiente.
- Pozo, L. (2012). *Captación y tratamiento del gas asociado al Petróleo de los campos: Cuyabeno - Sansahuari y VHR para su utilización como combustible en el sistema de generación eléctrica*. Buenos Aires, Argentina: UBA.
- Prieto, I. (2006). *Ciclos Combinados*. Gijón, España: E.P.S. de Ingeniería.
- Sánchez, J. (2008). *Planta Termoeléctrica Convencional*. México Distrito Federal, México: UNAM.
- Santos, L. (2002). *Fuentes De Energía No Renovables*. Vigo: UV.
- Schallenberg, J., Piernavieja, G., Unamunzaga, P., García , R., Hernández , C., Díaz , M., . . . Subiela, V. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*. Canarias, España: ITC.
- SINERGIA. (24 de Octubre de 2012). *Sinergia Soluciones México*. Recuperado el 12 de Enero de 2016, de www.sinergiasoluciones.com.mx: <http://www.sinergiasoluciones.com.mx/ES/AplicacionesYAsesoríaTecnica/Paginas/default.aspx>
- Taylor, C. (1982). *The Internal Combustion Engine in Theory and Practice*. Washington, Estados Unidos: The MIR Press.
- UIA. (2010). *Generación termoeléctrica*. Profecyt. Rosario: Profecyt ediciones.
- Wärtsila. (2015). *Fuel eFFicienci y in gas conversion*. Helsinki: Wärtsila Inc.
- Wartsila. (2013). www.wartsila.com. *Warrtsila.com/en/power-plants*. [Online] 2013. [Cited: Agosto 22, 2012.] . WartsilaCorporation. Disponible <http://www.wartsila.com/en/power-plants/technology/combustion-engines/dual-fuel-engines#..>
- World Energy Outlook. (2008). *Prospectiva del Sector Eléctrico 2008 - 2017*. SENER.
- Hammer, Ó. (2017). *PAST Paleontological Statics. Versión 3.16. Reference manual*. University of Oslo, Norway.
- Wartsila(2017).Eden Yuturi 85 Mw
<https://www.wartsila.com/energy/references/south-america/eden-yuturi-ecuador>
- IEA (2013). *CO₂ Emissions From Fuel Combustion edition 2013 International Energy Agency (IEA) Paris Francia*.

ANEXOS

ANEXO A. NORMAS 1047 INEN DE PRODUCTOS DE PETROLEO.

ANEXO B. DIAGNÓSTICO DE DESEMPEÑO DEL MOTOR ZAN 100
WÄRTSILA 18V32 LNGD

ANEXO C. ANÁLISIS DE PRESIONES PICO EN MOTOR WARTSILA
18V32 LNGD

ANEXO D. VALIDACIÓN DE TRES (3) EXPERTOS PROPUESTA E
INSTRUMENTO

