

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICA DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**



---

---

**“POTENCIA DE GRUPOS ELECTRÓGENOS PARA LA  
COBERTURA DE DEMANDA DE ENERGÍA EN S.E  
SECHURA”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN  
ENERGÍA**

---

---

**AUTORES :**

Bach. Leyner Samir Sandoval Valverde

**ASESOR :**

Mg. Joel Herradda Villanueva

**NUEVO CHIMBOTE, SETIEMBRE DEL 2021**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**



**CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR**

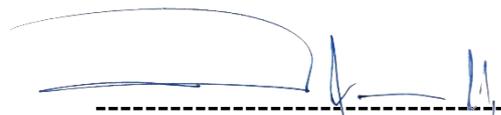
La presente Tesis para Título ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando en cuadrado dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al reglamento general para obtener el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (R.D: N°492-2017-CU-R-UNS) de acuerdo a la denominación siguiente

**“POTENCIA DE GRUPOS ELECTRÓGENOS PARA LA COBERTURA DE  
DEMANDA DE ENERGÍA EN S.E SECHURA”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN  
ENERGÍA

**AUTORES :**

**Bach. Leyner Samir Sandoval Valverde**



**Mg. Joel Herradda Villanueva**  
**ASESOR**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN ENERGIA**



**CARTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO**

El presente jurado evaluador da la conformidad del presente informe, desarrollado en el cumplimiento del objetivo propuesto y presentado conforme al reglamento General para obtener el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (R.D N°492-2017-CU-R-UNS); titulado:

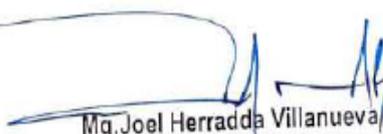
**"POTENCIA DE GRUPOS ELECTROGENOS PARA LA COBERTURA DE  
DEMANDA DE ENERGÍA EN S.E. SECHURA"**

AUTOR:                    Bach.                    Leyner Samir Sandoval Valverde

Revisado y Evaluado por el siguiente Jurado Evaluador

  
Mg. Amancio R. Rojas Flores  
PRESIDENTE

  
M.Sc. Julio H. N. Escate Ravello  
SECRETARIO

  
Mg. Joel Herrada Villanueva  
INTEGRANTE



"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

## ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

A los seis días del mes de setiembre del año dos mil veintiuno, siendo las once horas de la mañana, se reunieron en forma virtual a través de la aplicación zoom, el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N°158-2021-UNS-CFI, integrado por los siguientes docentes:

- Mg. AMANCIO RAMIRO ROJAS FLORES : PRESIDENTE
- M.Sc. JULIO HIPOLITO NESTOR ESCATE RAVELLO : SECRETARIO
- Mg. JOEL HERRADDA VILLANUEVA : INTEGRANTE

Para dar inicio a la sustentación y evaluación de la Tesis titulada: "POTENCIA DE GRUPOS ELECTRÓGENOS PARA LA COBERTURA DE DEMANDA DE ENERGÍA EN S.E. SECHURA", elaborada por el Bachiller de Ingeniería en Energía: SANDOVAL VALVERDE LEYNER SAMIR, con código de matrícula N° 0200611048, teniendo como asesor al docente Mg. Joel Herradda Villanueva designado mediante Resolución Decanal N° 117-2020-UNS-FI de fecha 23.07.2020.

Terminada la sustentación el estudiante, respondió las preguntas formuladas por los miembros del jurado y el público presente.

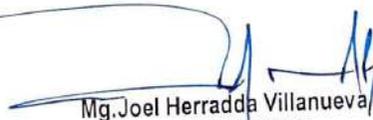
El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, en concordancia con el artículo 103° del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa, declara:

BACHILLER	PROMEDIO	PONDERACIÓN
LEYNER SAMIR SANDOVAL VALVERDE	16	BUENO

Siendo la una de la tarde del mismo día, se da por terminado el acto de sustentación, firmando los integrantes del jurado en señal de conformidad.

  
Mg. Amancio R. Rojas Flores  
PRESIDENTE

  
M.Sc. Julio H. N. Escate Ravello  
SECRETARIO

  
Mg. Joel Herradda Villanueva  
INTEGRANTE



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**FACULTAD DE INGENIERIA**  
Dirección E.P. de Ingeniería en Energía

## CONSOLIDADO DE NOTAS DE SUSTENTACION DE TESIS

Bachiller: **LEYNER SAMIR SANDOVAL VALVERDE**

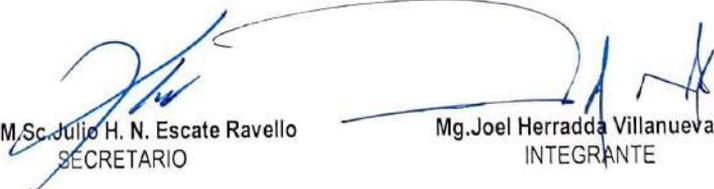
### NOTA FINAL DE LA SUSTENTACIÓN

Nº	JURADO EVALUADOR	NOTA
1	Mg. AMANCIO RAMIRO ROJAS FLORES	16
2	M.Sc. JULIO HIPOLITO NESTOR ESCATE RAVELLO	16
3	Mg. JOEL HERRADDA VILLANUEVA	16
PROMEDIO		16

**CALIFICATIVO DE: DIECISEIS.**

Nuevo Chimbote, 6 de setiembre del 2021

  
Mg. Amancio R. Rojas Flores  
PRESIDENTE

  
M.Sc. Julio H. N. Escate Ravello  
SECRETARIO

  
Mg. Joel Herradda Villanueva  
INTEGRANTE



## INSTRUMENTO PARA EVALUAR LA SUSTENTACION DE TESIS

**Bachiller** : **LEYNER SAMIR SANDOVAL VALVERDE**

**JURADO EVALUADOR** : **Mg. AMANCIO RAMIRO ROJAS FLORES**

ESCALA VALORATIVA	PONDERACIÓN			SUB TOTAL
	3	4	5	
<b>FORMA DE PRESENTACIÓN DEL INFORME</b>				
1. Contiene los puntos en forma ordenada		x		4
2. El Lenguaje utilizado es claro, correcto, coherente y preciso.		x		4
3. Respeta las normas de redacción del informe.	x			3
<b>EXPOSICIÓN Y DOMINIO DEL TEMA</b>				
4. Describe correctamente su experiencia laboral realizada		x		4
5. Expone con claridad el desarrollo de actividades relevantes de su experiencia laboral		x		4
6. Utiliza adecuadamente medios y materiales		x		4
7. Conoce el tema y las disciplinas anexas		x		4
<b>CALIDAD DEL INFORME</b>				
8. Actualidad y validez de las actividades realizadas			x	5
9. Posibilidad de aplicación y objetividad		x		4
<b>ABSOLUCIÓN DE PREGUNTAS</b>				
10. Responde con precisión y objetividad.			x	5
<b>PUNTAJE TOTAL</b>				<b>41</b>

**ESCALA DE CALIFICACIÓN**

**NOTA VIGESIMAL: 16**

APRUEBA	CONDICION	CALIFICACION
A	SOBRESALIENTE	19 y 20 (47-50)
B	MUY BUENO	17 y 18 (42-46)
C	BUENO	15 y 16 (37-41)
D	REGULAR	14 (34-36)
<b>NO APRUEBA</b>		
E	DESAPROBADO	13 o menos (00-33)

Nuevo Chimbote, 6 de setiembre del 2021

  
Mg. Amancio R. Rojas Flores  
PRESIDENTE

  
M. Sc. Julio H. N. Escate Ravello  
SECRETARIO

  
Mg. Joel Herrada Villanueva  
INTEGRANTE



## INSTRUMENTO PARA EVALUAR LA SUSTENTACION DE TESIS

**Bachiller** : **LEYNER SAMIR SANDOVAL VALVERDE**

**JURADO EVALUADOR** : **M.Sc. JULIO HIPOLITO NESTOR ESCATE RAVELLO**

ESCALA VALORATIVA	PONDERACIÓN			SUB TOTAL
	3	4	5	
<b>FORMA DE PRESENTACIÓN DEL INFORME</b>				
1. Contiene los puntos en forma ordenada		x		4
2. El Lenguaje utilizado es claro, correcto, coherente y preciso.		x		4
3. Respeta las normas de redacción del informe.	x			3
<b>EXPOSICIÓN Y DOMINIO DEL TEMA</b>				
4. Describe correctamente su experiencia laboral realizada		x		4
5. Expone con claridad el desarrollo de actividades relevantes de su experiencia laboral		x		4
6. Utiliza adecuadamente medios y materiales		x		4
7. Conoce el tema y las disciplinas anexas		x		4
<b>CALIDAD DEL INFORME</b>				
8. Actualidad y validez de las actividades realizadas			x	5
9. Posibilidad de aplicación y objetividad		x		4
<b>ABSOLUCIÓN DE PREGUNTAS</b>				
10. Responde con precisión y objetividad.			x	5
<b>PUNTAJE TOTAL</b>				<b>41</b>

NOTA VIGESIMAL: 16

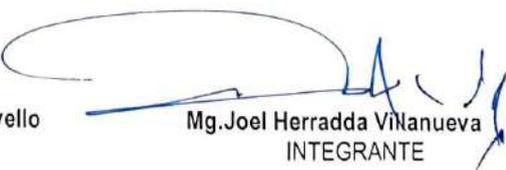
### ESCALA DE CALIFICACIÓN

APRUEBA	CONDICION	CALIFICACION
A	SOBRESALIENTE	19 y 20 (47-50)
B	MUY BUENO	17 y 18 (42-46)
C	BUENO	15 y 16 (37-41)
D	REGULAR	14 (34-36)
<b>NO APRUEBA</b>		
E	DESAPROBADO	13 o menos (00-33)

Nuevo Chimbote, 6 de setiembre del 2021

  
Mg. Amancio R. Rojas Flores  
PRESIDENTE

  
M.Sc. Julio H. N. Escate Ravello  
SECRETARIO

  
Mg. Joel Herradda Viñanueva  
INTEGRANTE



## INSTRUMENTO PARA EVALUAR LA SUSTENTACION DE TESIS

**Bachiller : LEYNER SAMIR SANDOVAL VALVERDE**

**JURADO EVALUADOR : Mg. JOEL HERRADDA VILLANUEVA**

ESCALA VALORATIVA	PONDERACIÓN			SUB TOTAL
	3	4	5	
<b>FORMA DE PRESENTACIÓN DEL INFORME</b>				
1. Contiene los puntos en forma ordenada		x		4
2. El Lenguaje utilizado es claro, correcto, coherente y preciso.		x		4
3. Respeta las normas de redacción del informe.	x			3
<b>EXPOSICIÓN Y DOMINIO DEL TEMA</b>				
4. Describe correctamente su experiencia laboral realizada		x		4
5. Expone con claridad el desarrollo de actividades relevantes de su experiencia laboral		x		4
6. Utiliza adecuadamente medios y materiales		x		4
7. Conoce el tema y las disciplinas anexas		x		4
<b>CALIDAD DEL INFORME</b>				
8. Actualidad y validez de las actividades realizadas			x	5
9. Posibilidad de aplicación y objetividad		x		4
<b>ABSOLUCIÓN DE PREGUNTAS</b>				
10. Responde con precisión y objetividad.			x	5
<b>PUNTAJE TOTAL</b>				<b>41</b>

### ESCALA DE CALIFICACIÓN

NOTA VIGESIMAL: 16

APRUEBA	CONDICION	CALIFICACION
A	SOBRESALIENTE	19 y 20 (47-50)
B	MUY BUENO	17 y 18 (42-46)
C	BUENO	15 y 16 (37-41)
D	REGULAR	14 (34-36)
<b>NO APRUEBA</b>		
E	DESAPROBADO	13 o menos (00-33)

Nuevo Chimbote, 6 de setiembre del 2021

Mg. Amancio B. Rojas Flores  
PRESIDENTE

M.Sc. Julio H. N. Escate Ravello  
SECRETARIO

Mg. Joel Herradña Villanueva  
INTEGRANTE

## DEDICATORIA

A mis querida Madre Irma  
por su ejemplo e infinito amor.  
Para Shirley mi compañera de vida  
Por su amor y apoyo  
en este proyecto de vida familiar.  
A mi hijo Yeiko  
el motor para cada día superarme.  
A mi Tía Romelia y mi Mama Meche  
Siempre en mi corazón.  
A Dios por su gracia infinita y por su rol de guía  
en nuestra vida.

L.S.S.V

## RECONOCIMIENTO

Al Mg. Joel Herradda  
por su asesoría en el desarrollo  
y ejecución de esta investigación.

A la plana docente de la  
E.P de Ingeniería en Energía  
por sus enseñanzas  
en nuestro paso por la UNS.

Para mis compañeros de trabajo  
De la Empresa ENOSA  
Y mis colegas de la promoción 2006 de la  
Escuela de Ingeniería en Energía

Atentamente,

.

L.S.S.V.

## INDICE GENERAL

INDICE

RESUMEN

CAPITULO 1: Introducción	1
1.1 Realidad Problemática	1
1.2 Antecedentes	1
1.3 Justificación	4
1.4 Hipótesis	5
1.5 Objetivos	5
CAPITULO 2: Marco Teórico	7
2.1 Grupos electrógenos	7
2.2 Tipos de potencia	24
2.3 Operatividad de grupos electrógenos	30
2.4 Cobertura de la demanda	36
CAPITULO 3: Materiales y método	39
3.1 Material	39
3.2 Método	47
CAPITULO 4: Cálculos y resultados	51
4.1 Cobertura de la demanda de energía en condiciones actuales	51
4.2 Cobertura de la demanda	56
4.3 Benchmarking entre alternativas	65
4.4 Discusión de resultados	67
Conclusiones	70
Recomendaciones	72
Referencias Bibliográficas	73
Anexos	81

## INDICE DE FIGURAS

Figura 01: Esquema de componentes de un Grupo Electrónico	8
Figura 02: Grupo Electrónico con diésel Cummins de 1.5 MW	11
Figura 03: Grupo Electrónico Power Force con gasohol de 5 kW	12
Figura 04 Ubicación de las Potencias en un grupo electrónico	17
Figura 05 Comportamiento del rendimiento de planta GD Mollendo	21
Figura 06 Diagrama de carga Potencia prime para rasurado de picos de demanda.	26
Figura 07 Diagrama de carga Potencia prime para reducción de costos en tarifa Eléctrica	27
Figura 08 Diagrama de carga para Potencia prime modo potencia primaria	28
Figura 09 Diagrama de carga Potencia continua con carga base constante	28
Figura 10 Diagrama de carga Potencia continua carga base variable	29
Figura 11 Diagrama de carga grupo electrónico continuo para cogeneración calificada.	29
Figura 12 Comparativo entre sistema convencional y sistema de cogeneración	30
Figura 13 Diagrama del generador auto excitado	31
Figura 14 Diagrama del generador con excitación separada	32
Figura 15 Sincronía abierta con falla en el suministro de red	33
Figura 16 Sincronía abierta con corte por falla en el suministro de red	34
Figura 17 Sincronía cerrada momentáneamente	34
Figura 18 Sincronía cerrada con carga suave	35
Figura 19 Sincronía cerrada con paralelismo extendido	35
Figura 20 Diagrama unifilar de servicio mayor Bajo Piura	40
Figura 21 Diagrama de carga mensual del Mes de Diciembre SE Sechura	41
Figura 22 Diagrama de carga de los días 1 al 10 del Mes de diciembre 2020 SE Sechura	42
Figura 23 Diagrama de carga de los días 11 al 20 del Mes de diciembre 2020 SE Sechura	43
Figura 24 Diagrama de carga de los días 21 al 31 del Mes de diciembre 2020 SE Sechura	44

Figura 25 Diagrama de carga del día 17 de diciembre 2020 SE Sechura	45
Figura 26 Cobertura de la demanda en SE Sechura con GE Stand By operando en base	55
Figura 27 Suministro de cobertura de demanda SE Sechura con GE Prime	59
Figura 28 Suministro de cobertura de demanda SE Sechura con GE Continuo	63
Figura 29 Diagrama de carga para suministro de cobertura de demanda SE Sechura con GE Continuo	64
Figura 30 Fracciones de demanda, energía y costos para la SE Sechura.	65
Figura 31 CVT de GE según tipo de potencia	66
Figura 32 Costos representativos de la energía eléctrica en la cobertura de la demanda en SE Sechura.	67

## INDICE DE TABLAS

Tabla 01 Heat Rate para Centrales Termoeléctricas con MCI	20
Tabla 02 CVC para Centrales Termoeléctricas con MCI	21
Tabla 03 Datos marco del Servicio Mayor Bajo Piura	39
Tabla 04 Grupos Electrógenos de emergencia SE Sechura	46
Tabla 05 Especificaciones de Petróleo BD5	46
Tabla 06 Especificaciones del gas natural	47
Tabla 07 Especificaciones técnicas GE Prime	57
Tabla 08 Especificaciones técnicas GE Continuo	61

## RESUMEN

Los grupos electrógenos son unidades de generación de energía eléctrica utilizadas como unidades de respaldo para cubrir el déficit de energía eléctrica en modos de emergencia y por ausencia de redes de distribución o transmisión del sistema interconectado nacional. La S.E Sechura del Servicio mayor bajo Piura se ubica en la zona de concesión de la Empresa Distribuidora ENOSA, con una máxima demanda de 2 736 kW. Se ha estimado la demanda de energía en la S. E Sechura, se cuantifico el volumen de energía servida de manera convencional, para luego determinar la potencia de cobertura total o parcial con grupo electrógeno y evaluando los costos de generación.

La mejor alternativa para cubrir la demanda para la S.E Sechura es mediante 1 grupo electrógeno G3512EP66 CAT de potencia continuo operando con gas natural con una potencia de 1 200 kW con un factor de uso de 96 % y de carga de 96% en carga base con una potencia de 1 032,2 kW, con el cual se cubre el 55.71 % mientras que el resto de la demanda es coberturada con la red de distribución de la empresa ENOSA. Su costo variable total es igual a 31,2 U\$/MWh, con un gasto de 23 960 U\$/MWh, mientras que el costo total de suministro es de 77 310,78 U\$/MWh.

PALABRA CLAVE: Grupos electrógenos, cobertura de demanda, potencia.

## ABSTRACT

Generator sets are electric power generation units used as backup units to cover the electric power deficit in emergency modes and due to the absence of distribution or transmission networks of the national interconnected system. The S.E Sechura del Servicio mayor under Piura is located in the concession area of Empresa Distribuidora ENOSA, with a maximum demand of 2,736 kW. The energy demand in the Sechura S.E has been estimated, the volume of energy served in a conventional way was quantified, to then determine the total or partial coverage power with a generator set and evaluating the generation costs.

The best alternative to meet the demand for the SE Sechura is by means of 1 G3512EP66 CAT generator set of continuous power operating with natural gas with a power of 1,200 kW with a use factor of 96% and load of 96% in base load with a power of 1,032.2 kW, with which 55.71% is covered, while the rest of the demand is covered by the ENOSA company's distribution network. Its total variable cost is equal to 31.2 US \$ / MWh, with an expense of 23,960 US \$ / MWh, while the total cost of supply is 77,310.78 US \$ / MWh.

KEY WORD: Generators, demand coverage, power.

## **1. INTRODUCCION.**

### **1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA**

La cobertura de la demanda de energía eléctrica tiene un rol importante en el desarrollo de una región, país o ciudad, cada una de ellas presenta una particularidad en el comportamiento de la demanda, así tenemos periodos de estacionalidad, horas de máxima demanda, cargas especiales, demanda mínima, comportamiento de la demanda residencial, así como las máximas y mínimas demandas en días festivos o declarados feriados según ley. Actualmente el Sistema Eléctrico de Sechura presenta una demanda de energía eléctrica de 2 490 kW cubierta a través de la red de distribución de ENOSA perteneciente al Grupo Distriluz, la cual es alimentada por una red de distribución eléctrica de 60 kV desde la ciudad de Piura a 160 km de distancia, básicamente las cargas a cubrir el 80 % son de tipo residencial y lo restante es carga comercial. La línea de transmisión cubre la demanda aguas debajo de 5 localidades menores, siendo una de ellas la localidad de Parachique el cual es una caleta menor en donde se encuentran instaladas 4 Empresa de Harina de Pescado, las cuales debido a su variabilidad de consumo de energía eléctrica afectan la demanda del Sistema Eléctrico de Sechura, con las consiguientes inestabilidades de tensión, interrupciones y Flicker. Por otro lado, un grupo electrógeno comercialmente se caracteriza por el tipo de potencia, así tenemos del tipo prime, continuo y stand by, cada uno de ellos con sus características constructivas, criterios de operación máximo para un buen desempeño y conservación, así como precios. A lo cual surge la necesidad de poder determinar correctamente la potencia del grupo electrógeno que pueda cubrir la demanda del sistema eléctrico de Sechura con confiabilidad, seguridad, calidad y alta disponibilidad.

Los costos elevados por facturación de energía eléctrica, la variabilidad del flujo de energía en la línea de transmisión que abastece de energía eléctrica a la S.E Sechura y los precios de los combustibles ameritan tomar la decisión correcta en la selección del grupo electrógeno, lo cual permite formular el siguiente problema:

¿Cuál es la influencia que ejerce el tipo de potencia comercial de los grupos electrógenos para la cobertura de la demanda de energía en S.E Sechura?

### **1.2 ANTECEDENTES:**

Se presentan los siguientes antecedentes que son la base del presente informe de tesis profesional:

En la tesis de Bocanegra, C. y Zubiarte, R. (2018) en su tesis titulada Rango de potencia y tipo de fallas en grupos electrógenos instalados en operaciones industriales, para optar

el título de Ingeniero Industrial en la Universidad Privada del Norte de Trujillo, Perú, concluye lo siguiente :Dentro de sus resultados se mostró que el análisis de fallas frecuentes que afectan en el dimensionamiento de grupos electrógenos para la cobertura de una determinada demanda , son las fallas ocultas históricas que presentan los equipos según la data histórica del área de mantenimiento de la empresa DAT Ingeniería SAC entre los años 2016- 2018 son las más significativas. Aun cuando la información se basa en informes operativos referente a las atenciones a los usuarios, sin tener más data de comprobación de parte del cliente, se determinó que las fallas de mayor frecuencia permitió el planteamiento de estrategias para tener en cuenta en próximos trabajos de dimensionamientos.

Así mismo Granda, A. (2015) en su tesis titulada Puesta en operación de un grupo electrógeno Caterpillar de 1 825 kW de potencia nominal para aplicación stand-by a una altura de 4 860 m.s.n.m, para optar el título de Ingeniero Mecánico en la Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, concluye lo siguiente: La Cía. Minera ARASI S.A.C. emplea un Grupo Electrónico Caterpillar modelo 3516B de 1 825 kW de potencia nominal en el suministro de energía eléctrica para respaldo en la planta de chancado del tajo abierto, empleados en las áreas de molienda primaria y almacenamiento de finos, la potencia necesaria para la Cía. Minera ARASI S.A.C. oscila entre 1 000 a 1 070 kW con máximas demandas de 1 100 kW. Se entregó un Grupo Electrónico en condiciones estándar y probado, de potencia prime de 1 825 kW, 60 Hz, 1 800 rpm y 440 Voltios. El grupo Electrónico se conforma por un motor Caterpillar modelo 3516B diésel sobrealimentado de 4 tiempos que permite obtener un rendimiento contante y un buen performance durante el consumo de combustible a plena carga; también lo conforma un generador Caterpillar modelo SR5 que es de características similares al comportamiento y eficiencia de los motores Caterpillar; y está gobernado por control de transferencia Caterpillar modelo EMCP 4.2 con interfaz, sencillo de operar, sistemas de control integrado y puertos de comunicación. El comportamiento de la demanda de energía en el país hasta octubre del año 2013 fue de 6,6%.

Por lo consiguiente Hidalgo. F. (2018) en su tesis Uso de técnicas estadísticas para determinar el pronóstico de las ventas de energía eléctrica del sistema interconectado nacional para optar el Grado de Maestro en Proyectos de Inversión en la Universidad Nacional Federico Villareal en Perú, concluye lo siguiente: Por lo general, uno de las actividades más difíciles de llevar a cabo para el ajuste de un modelo de periodo de tiempo

en este caso 1981-2009 es la interpretación de los datos con lo cual se puede proyectar la demanda futura para implementar un sistema de suministro de energía con grupos electrógenos, y la potencia de los equipos. Se debe tener en cuenta que, al momento de realizar el análisis, la existencia de las desviaciones de la demanda que puede conducir a tener resultados erróneos de los pronósticos de la demanda futura.

Del mismo modo Juárez, E. (2016) en su informe de experiencia profesional titulada "Diseño e instalación de un grupo electrógeno a gas natural de 2 MW en la Planta Santa Clara de la empresa Kimberly Clark para disminuir los costos en consumo de energía eléctrica para optar el Título de Ingeniero Industrial en la Universidad Privada del Norte en Perú", resume lo siguiente: Dentro de las alternativas con las que contamos actualmente, tenemos grupos electrógenos que funcionan con motores de combustión interna con combustibles alternativos gaseosos, siendo estos altamente solicitados por su actual disponibilidad, precio y que son menos contaminantes que los combustibles líquidos, de los que se cuentan, el Gas Natural, GLP, Gas de digestor, por mencionar algunos. Teniendo esta necesidad, la empresa Kimberly Clark optó por la adquisición de un grupo electrógeno de 2 000 kW a Gas Natural de la marca "Cummins Power Generation". Todas las etapas del proyecto son: Diseño, Instalación, Pre-Comisionamiento, Comisionamiento, Puesta en Marcha, Operación y Mantenimiento, siendo el principal el dimensionamiento de la potencia prime o continuo en función a la demanda requerida.

Del mismo modo, Morales, D. (2008) en su tesis Pronostico de la demanda por métodos multivariantes para optar el título de Ingeniero Electricista en la Universidad Nacional del Centro en Perú, concluye lo siguiente: Las técnicas para estimar la demanda permitirán ser los más próximos a lo real cuando pueden reflejar con cierto grado de exactitud los detalles del comportamiento de la demanda a largo, mediano y corto plazo. Los efectos del consumo de energía en el sector industrial sobre la demanda de energía eléctrica, y teniendo en cuenta así mismo a los clientes según el nivel de tensión de suministro dentro de la zona de influencia de Electrocentro, son componentes directas para la determinación de la proyección del comportamiento de la demanda. Se determinó que el crecimiento poblacional influye directamente sobre la determinación de la demanda de energía eléctrica, el cual será distinta según el sector de consumo así tenemos: industrial, residencial y de servicios.

Del mismo modo Palma, V. (2010) en su tesis titulada Selección y mantenimiento de un grupo electrógeno para un buque mercante, para optar el título de Ingeniero Naval en la Universidad Austral de Chile concluye lo siguiente: Para seleccionar el tipo de grupo electrógeno a instalar se requiere primero estimar la potencia requerida en las distintas condiciones de comportamiento de la demanda, de tal forma se selecciona la potencia y las principales especificaciones de la máquina en base a la situación de carga mínima. La determinación de la potencia es la principal tarea al momento de tomar una decisión para instalar un G.E, ya sea para generación de energía conectado a red o aislado o también para su ubicación en un barco. Cuando la potencia calculada es relativamente mínima, entonces el generador o generadores no podrán abastecer la demanda, este impase se puede detectar con facilidad durante la puesta en marcha, en donde se observará la presencia de caídas de tensión en las instalaciones eléctricas, llegando la maquina a desacoplarse del sistema eléctrico. En caso de existencia de sobredimensionamiento de la máquina, el funcionamiento aparentemente es correcto, e incluso no se pueden visualizar interrupciones o alarmas de operación. Los grupos electrógenos alcanzan su mayor eficiencia en un porcentaje de carga entre 75 a 85%. En el supuesto de que el grupo electrógeno opere durante periodos largos de tiempo inferiores a 40% de potencia máxima se presenta el modo de operación llamado como over fueling el cual está ligado al mal aprovechamiento de la capacidad energética de la máquina.

En la tesis de Ponce, M. y Montufar, A. (2014) titulada Diseño, construcción, instalación y puesta en marcha de un sistema de control automatizado para un grupo electrógeno de 6.5 KVA de MOBHI GRIFOS, para obtener el título de Ingeniero Mecánico Eléctrico en la Universidad Nacional del Altiplano ,Perú, manifiestan lo siguiente: Los grupos electrógenos stand by son empleados como unidades de generación de energía para diversas plantas industriales, centros comerciales, salud, edificios públicos entre otras, entran en operación cuando se presenta una interrupción en el suministro de energía. Los grupos electrógenos operan ante presencia de fallas en el sistema tal como: Interrupciones prolongadas del suministro de electricidad, interrupciones medianas que se presentan durante minutos o Interrupciones breves de duración entre segundos tal como son las perturbaciones, flickers y caídas de tensión

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

La justificación es la siguiente:

Una de las ventajas principales de los grupos electrógenos es que representan una forma de generación rápida y de manera autónoma de gran importancia para autoabastecer la demanda dentro de un periodo de tiempo permanente o en condiciones de emergencia en plantas consumidoras industriales o de servicio, para nuestro estudio permitirá cubrir la demanda de la S.E Sechura.

En otros casos, los grupos electrógenos se utilizan como unidades de respaldo ante contingencias o interrupciones diversas del suministro de energía eléctrica, así mismo para el abatimiento de la demanda durante los periodos de horas punta, horas en las cuales el costo de la energía se encarece. Y también se utilizan en el rasurado de picos de demanda.

Los grupos electrógenos son una solución en las zonas en las cuales no se cuenta con una red de distribución cercana. En estudios de proyección de la demanda de energía eléctrica en el país o en determinadas zonas son de vital importancia para operar en condiciones de emergencia o en zonas con déficit de oferta de energía o suministro parcial de demanda, ante imprevisibles interrupciones de suministros de electricidad por parte de las empresas distribuidoras o generadoras o caídas de la red de transmisión, los grupos electrógenos son la mejor solución para responder de manera rápida ante la presencia de una contingencia.

En los sectores de minería, obras de construcción, en respaldo de procesos industriales, sector salud, entre otras, se ha incrementado el empleo de grupos electrógenos, por lo cual su adquisición se ha incrementado, sobre todo en aquellos que operan con gas natural, aparte de que su mantenimiento no es muy complicado ni caro.

En este caso una selección adecuada del grupo electrógeno en función a su potencia comercial permitirá una mejor cobertura de la demanda con confiabilidad y disponibilidad.

#### **1.4 HIPÓTESIS**

La potencia del grupo electrógeno ya sea del tipo stand by, prime o continuo ejercen una influencia positiva en la cobertura de demanda parcial y total de energía en S.E Sechura.

#### **1.5 OBJETIVOS:**

##### **OBJETIVO GENERAL**

Determinar la influencia de la potencia del grupo electrógeno en la cobertura de energía en S.E Sechura.

**OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

- Estimar el comportamiento de la demanda de energía en la S. E Sechura.
- Cuantificar el volumen de energía servida de manera convencional en la S.E Sechura.
- Determinar la potencia de cobertura total o parcial con grupo electrógeno en la S.E Sechura.
- Determinar los costos de generación eficiente en función a la selección optima de la potencia del grupo electrógeno para la cobertura de la demanda en S.E Sechura.

## **2. MARCO TEORICO**

### **2.1 GRUPOS ELECTROGENOS.**

#### **2.1.1 Generalidades.**

Un grupo electrógeno es una maquina térmica estática que genera energía eléctrica con la finalidad de abastecer una demanda determinada y lo realiza por medio de un motor de combustión independiente que impulsa un generador eléctrico. Un generador es una maquina eléctrica rotativa que convierte la energía mecánica en energía eléctrica al ser capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrica entre dos de sus puntos, estos equipos pueden generar electricidad continua o alterna. Las razones para optar por instalar un grupo electrógeno pueden ser las siguientes:

- La necesidad de suministro de energía eléctrica debido a un contrato o por obligación normativa o debido a la presencia de fallas en el suministro entregado por la Distribuidora de energía.
- El requerimiento de contar con energía eléctrica para aquellos lugares en los cuales no se tiene suministro por parte de una red eléctrica exterior o debido a falta de capacidad de la mencionada red de distribución.
- Al tener un contrato con la empresa de distribución, lo cual obliga a desconectarse de la red en determinadas horas del día, debido a aspectos contractuales.
- Cuando la autogeneración es más barata que suministrarse de energía de la red exterior. (Salinas, G., Koscina, D. y Fuenzalida, F., 2018)

Se define al grupo electrógeno como una unidad generadora de potencia impulsada por un motor de combustión interna, utilizado al suministro de energía a usuarios ubicados lejos del alcance de la red eléctrica externa. Estas unidades de generación se emplean para un servicio permanente o de emergencia. Para el caso de servicio continuo, se utilizan en zonas donde no existe suministro eléctrico o en el caso donde existe ciertas restricciones horarias del suministro. En los casos de emergencia, se emplean como unidades de generación para abastecer interrupciones imprevistas o programadas y para cuestiones de seguridad. (Bocanegra y Zubiato, 2018)

Los grupos electrógenos están conformados por un motor de combustión interna alternativo con encendido por explosión o compresión, un generador eléctrico (principalmente de corriente alterna) acoplados entre si de forma directa y un conjunto de sistemas auxiliares y complementarios, tal como sistemas de transferencia de carga, sistema de enfriamiento,

sistema de inyección de combustible, sistema de lubricación, bancada, sistema de expulsión de gases de la combustión, cada uno de ellos conformado por un conjunto de mecanismos acoplados entre si , operando sincrónicamente. (Lacoste, Colicigno, Corti y Yablonski, 2011)

Actualmente los grupos electrógenos incluyen microprocesadores, sistemas de diagnóstico, sistemas de comunicación de datos, sistemas para protección por sobrecarga, sobre tensión, sub tensión, etc. Esto permite una mejor flexibilidad en la operación y permite operar automáticamente al equipo. La potencia de placa del grupo electrógeno a escoger es igual a la sumatoria de las potencias consumidas por cada centro de consumo para abastecer en el periodo de déficit de energía desde la red, multiplicada por un factor de simultaneidad y además aplicando un factor de seguridad ante el incremento futuro de la demanda. De acuerdo a las características del consumidor los grupos electrógenos se seleccionan para suministrar energía en media o baja tensión. (Lacoste, Colicigno, Corti y Yablonski, 2011)

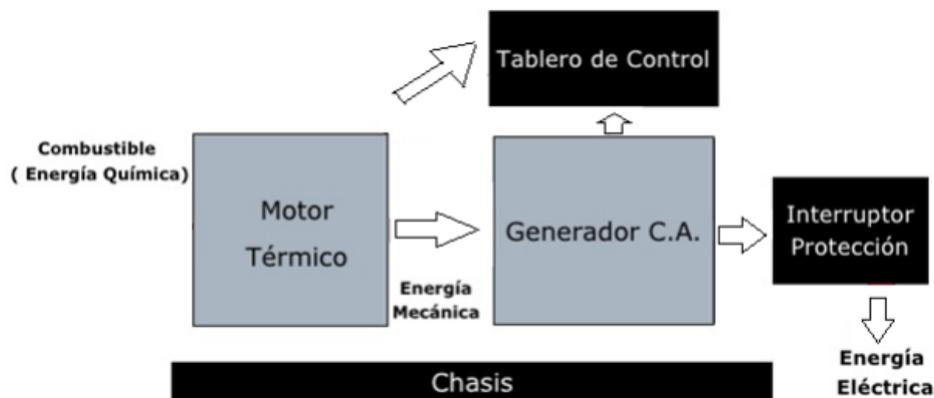


Figura 01: Esquema de componentes de un Grupo Electrónico

Fuente: Tesis de Rodríguez (2017)

Se presenta las siguientes clasificaciones para los grupos electrógenos:

a. Según el tipo de combustible:

- Con m.c.i para gas licuado de petróleo o gas natural comprimido. Los generadores con motor de combustión interna con GLP o GNC han ido ganando mucha popularidad en función a su gran confiabilidad, economía y disponibilidad. Este tipo de grupo electrógeno se usa como equipo base en cogeneración o como fuente de emergencia, y su motor esta alimentado Gas Natural Comprimido (GNC) o por Gas Licuado del Petróleo (GLP). El GLP es un combustible gaseoso derivado del fraccionamiento del petróleo. Los grupos electrógenos con motor de GNC obtienen el combustible de la red de

distribución de gas natural, en tanto que los grupos electrógenos con GLP operan acoplados a un depósito presurizado, el cual debe abastecerse periódicamente. (Genesal Energy, 2020)

El GNC y el GLP son combustibles más favorables con el medio ambiente generando menos emisiones de gases de efecto invernadero que otros combustibles no renovables (tal como el carbón, el gasohol o el petróleo biodiesel). El costo del combustible es mucho menor que el de los combustibles líquidos, solo superado por el carbón (que no es una opción por ser un combustible sólido y por su alto nivel de emisiones). Son equipos generadores de potencia de alta eficiencia cuando son sobrealimentados llegando a valores de 50%. Cuando están alimentados por la red externa, el gas natural, no está condicionado por las inclemencias meteorológicas o por los problemas que se presentan en las infraestructuras de telecomunicación. Son equipos de muy alta compatibilidad y empleo, ya que es posible ubicarlos en lugares remotos empleando depósitos de alta capacidad. Al utilizar silenciadores son muy silenciosos siendo encapsulados. (Genesal Energy, 2020)

- Con motor a gasohol. Se trata de grupos electrógenos económicos, apropiados para un uso más esporádico o para cubrir periodos de déficit de oferta de energía o en periodos de emergencia, debido a su relativo costo específico superior al petróleo diésel. Son ideales para potencias limitadas y usos puntuales. Al operar los motores de los grupos electrógenos a velocidad constante, alcanza y un alto performance. Por esto la gasolina utilizada como combustible para grupos electrógenos debe ser de un número de octano “normal”, caso contrario, si se emplean combustibles, por ejemplo, de 97 octanos, el motor requerirá revisiones permanentes, generándose un alto costo de mantenimiento. (Lacoste, Colicigno, Corti y Yablonski, 2011)
- Con motor a diésel. Son equipos portátiles o estacionarios, y alimentados por un combustible de fácil acceso y en algunos casos más barato que el gasohol. Son maquinas robustas y confiables, disponibles para suministrar permanentemente en muchas horas de funcionamiento/año. Presentan una lata tasa de mantenibilidad con lo cual su reparación es rápida ante fallas menores. Este tipo de grupo electrógeno se utiliza como motor principal con maquina base, en plantas de cogeneración para hoteles o centros de salud o de emergencia, debido a su gran autonomía, por lo que pueden operar en

lugares que no tengan con ninguna red de distribución de energía. (Genesal Energy, 2020)

- Sistema bi-combustible (diésel o gasohol/gas). Respecto a las desventajas del sistema bi-combustible, su problema principal se presenta cuando se debe mantener la mejor combinación o equilibrio termodinámico durante la mezcla de combustibles, para esto, el sistema de mezcla debe ser controlada sobre todo cuando se tiene ambientes de temperaturas cambiantes. De no existir un monitoreo y control apropiado sobre la temperatura de combustión, puede ocurrir un incremento de la temperatura de ignición o también un decremento, en el último caso se generaría una baja combustión o generación de calor suministrado que se traduce en una menor fuerza desarrollada por el motor. En caso de altas temperaturas se pueden generar sobrepresiones, detonaciones y daños a los cojinetes y empaquetaduras de culata. (Alguerno,2005)

El grupo de generación posee un gobernador electrónico de velocidad, con lo cual se simplifica la función de control en la mezcla de gas y biodiesel y las consiguientes temperaturas de ignición. En el caso de que el tiempo de funcionamiento no supera las 800 horas anuales (solo para horas punta), entonces los grupos electrógenos son más económicos. Caso contrario, si el equipo genera energía por más de 800 horas, la inversión en un kit de conversión de combustible es económica ya que los ahorros obtenidos por un menor costo operacional pueden amortizar el costo de inversión inicia en un corto tiempo de hasta 3 años. Es recomendable emplear grupos electrógenos de más de 1 MVA o mayores, aunque también es posible aplicar los kits de conversión en equipos de menor capacidad o destinados a una menor cantidad de horas de operación, como los grupos de tipo stand by o emergencia. (Alguerno,2005)

b. De acuerdo a su instalación:

- Estacionarias. Estos generadores se utilizan como sistemas de protección contra para súbitos de energía eléctrica de la red en instalaciones con más de 10 kW. Proporcionan energía automáticamente solo en los periodos de interrupción. El número de circuitos a abastecer energía y al número de puntos de suministro de cada circuito permite determinar la potencia del grupo electrógeno. Este tipo de grupo electrógeno es por lo general encapsulado, con un nivel de ruido de hasta 80 dB y sus tamaños son variados según cada fabricante. Se emplean en lugares donde es obligatorio contar con una fuente de energía de respaldo para condiciones de emergencia. O también se ubican

como unidad de respaldo en empresas de diversas capacidades o ubicadas como unidad de reserva o regulación en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional. Sirven como unidades de respaldo en ciudades estratégicas o en los sectores económicos importantes como el sector industrial ya que permite tener un continuo suministro al poseer sistemas de almacenamiento de combustible de grandes dimensiones, lo que garantiza su disponibilidad. (Motorex, 2019)



Figura 02: Grupo Electrónico con diésel Cummins de 1.5 MW

Fuente: Empresa Shougesa

- Móviles. Son grupos electrógenos de baja capacidad, los cuales generalmente pueden ser reubicados según la necesidad del usuario. Por lo general cubren demandas en casos de emergencia. Se pueden transportar de un lugar a otro sin dificultad, son ideales para labores de construcción civil como edificaciones, así como para servicios en zonas aisladas. Tienen una limitación en horas de funcionamiento dependiendo del tamaño del tanque de combustible y su régimen de consumo. Por lo general los de potencia menor a 5 kW emplean gasohol de distinto octanaje como combustible. (Motorex, 2019)



Figura 03: Grupo Electrónico Power Force con gasohol de 5 kW

Fuente: Empresa Promart

c. Por su operación:

- Manual. Son aquellos que requieren para su operatividad un accionamiento manual, así como para su maniobrabilidad, esto se realiza con un interruptor, así para arrancar o detener dicho grupo. No cuenta con una unidad de transferencia de carga, sino que este se realiza a través de un interruptor manual de operación. (switch o botón pulsador). (Hernandez,2014)
- Semiautomática. Cuenta con un sistema de control automatizado, con un microprocesador, que produce ventajas de los grupos electrógenos automatizados tal como: sistemas de protecciones, mediciones, y operación, pero que no disponen de un sistema de transferencia. (Hernandez,2014)
- Automática (ATS) Interruptor de transferencia automática (Automatic Transfer Switch) Este tipo de grupos electrógenos posee un control que se basa en un microprocesador, el cual permite al grupo electrógeno una variada cantidad de tareas tal como:  
Operación.  
Protección.  
Supervisión.  
Posee funciones estándar y opcionales en gran parte programables, ya que se basa en una operación con un microprocesador que le provee un elevado nivel de precisión en sus funciones como: mediciones, protecciones, funciones de tiempo, y un alto rendimiento, en su sistema de transferencia. (Hernandez,2014)

### **2.1.2 Componentes.**

#### **a. Motor de Combustión interna.**

Los motores de combustión interna son máquinas térmicas cuya función principal consiste en transformar el flujo de energía térmica suministrada por un combustible en estado líquido o gaseoso en energía mecánica o al eje o útil. Se les denomina máquinas endotérmicas, debido a que el trabajo se produce dentro de una cámara de combustión, en donde, al generarse el encendido y posteriormente el encendido de la mezcla de trabajo, ésta genera el proceso de expansión accionando un pistón a lo largo de un cilindro. (Huaracallo,2017)

El pistón realiza 4 recorridos, carreras, tiempos o etapas de admisión, compresión, expansión y escape para un m.c.i de 4 tiempos. Mientras que los motores de dos tiempos, para cada recorrido se genera una etapa de funcionamiento del motor, y cada etapa o carrera representa media vuelta del giro del árbol cigüeñal, es decir, 180°. El ciclo termodinámico cerrado se completa con dos vueltas desde 0° hasta 720°. Por razones prácticas, para las dos vueltas del ciclo completo de funcionamiento de 720° existen periodos de tiempo en el cual las válvulas de admisión y de escape se apertura o cierran, o permanecen abiertas ambas en el periodo conocido de traslape. (Huaracallo,2017)

Los motores con alimentación de aire con presión atmosférica, se denominan motores de aspiración natural o atmosféricos, mientras que los motores equipados con equipos de compresión de aire para la combustión se denominan motores sobrealimentados o turboalimentados. El principal objetivo de la sobrealimentación de un motor es incrementar el rendimiento volumétrico del motor sin tener que aumentar la cilindrada del motor. Durante el proceso de admisión que resulta demasiado breve, sumado con el rozamiento del aire en los ductos del múltiple de admisión, válvulas, filtros de aire y todo componente del sistema de admisión, el aire tiene una caída de presión con lo cual no se alcanza el valor de la presión atmosférica y la potencia del motor no alcanza el valor esperado. (Guaita y Sarango, 2013)

El coeficiente de llenado o rendimiento volumétrico es el porcentaje de llenado de un cilindro. En el comparativo entre dos motores de igual potencia y performance, aquel que posea el mayor rendimiento volumétrico producirá una mayor potencia al contener una mayor cantidad de moléculas de oxígeno con lo cual puede combustionar una mayor cantidad de combustible, incrementándose la potencia a desarrollar por el motor debido a

una mayor relación de compresión (entre 15 a 24). Este incremento de potencia sin variar la cilindrada ni el régimen de operación del motor, mediante un mayor ingreso de aire de admisión permite aumentar el rendimiento del motor de combustión interna hasta 50 %. La sobrealimentación también se fundamenta en la necesidad de mejorar la variación de la densidad del aire cuando se trabajó en alturas en el cual el estado se enrarece, por ejemplo, a cuatro quinientos mil metros de altitud disminuye la potencia en cerca de 50% de la potencia máxima a nivel del mar, con lo cual mediante la sobrealimentación se recupera la potencia perdida. (Guaita y Sarango, 2013)

Para los grupos electrógenos la Sobrealimentación en primera fase resulta sencilla y recomendable para motores de más de 40 HP. El aprovechamiento de la energía cinética de los gases de la combustión resulta muy beneficioso para el incremento de la eficiencia, con lo cual el heat rate se reduce hasta un 20%. La bomba de combustible aporta la misma cantidad de combustible, la regulación y la inyección no varía. Mientras que la sobrealimentación es empleada en grandes motores de carga pesada y transporte, y en vehículos de F1, para esto los fabricantes de motores consiguen una máxima presión posible de admisión, aumentando considerablemente la potencia, el par motor y la fuerza desarrollada por el motor. Con estos aspectos se puede tener eficiencias de hasta 50 %, lo cual resulta muy eficaz cuando el motor de combustión interna este acoplado a un grupo electrógeno de más de 50 kW. (Guaita y Sarango, 2013)

**b. Generador eléctrico.**

Un generador se clasifica como una máquina eléctrica rotativa que transforma la energía mecánica en energía eléctrica o efectiva. Se fundamenta en la interacción entre sus 2 elementos principales que la conforman: una parte móvil o rotor, y una parte estática o estator. Cuando opera un generador eléctrico se genera un flujo magnético (que induce) para que el otro componente lo transforme en electricidad (inducido). Los generadores eléctricos se diferencian entre sí, en función al tipo de corriente que producen. Así tenemos dos grandes grupos de máquinas eléctricas rotativas: alternadores y los dinamos. Los alternadores producen electricidad en corriente alterna. El elemento inductor es el rotor y el inducido el estator. Los generadores de las centrales eléctricas, que transforman la energía mecánica en energía eléctrica trifásica alterna. Por otro lado, los dinamos producen electricidad en corriente continua, el elemento inductor es el estator y el inducido el rotor. Un ejemplo lo encontraríamos en la luz que tiene una bicicleta, la cual funciona debido al pedaleo del ciclista. (Ponce y Montufar, 2014)

El alternador de un grupo electrógeno es una maquina generadora que aprovecha el accionamiento mecánico para producir electricidad según el principio de inducción electromagnética. Esta máquina tiene entre sus componentes: un rotor como eje mecánico, el estator, bobinados de cobre, el AVR o Automatic Voltage Regulator para regular la salida de tensión y la mantiene bajo control durante todas las condiciones de carga. No hay que olvidar el sistema de refrigeración y los conexiones. (Bocanegra y Zubiato, 2018)

Los generadores asíncronos o síncronos de corriente alternan o alternadores transforman la energía mecánica, que reciben a través del rotor, en energía eléctrica en forma de corriente alterna. Por lo general se emplea alternadores de corriente alterna síncrona, que giran a la velocidad de sincronismo de la red y está relacionada con el número de polos que tiene la máquina y la frecuencia que se genera con la fuerza electromotriz. Esta relación hace que el motor gire a la velocidad que le impone el estator a través de su campo electromagnético. Esta relación se representa por la expresión siguiente:

$$N = \frac{60 * f}{N^{\circ} \text{ de Polos}} \dots \dots (1)$$

Donde f es la frecuencia del sistema y N es la velocidad de giro del motor.

Su estructura es la siguiente:

- Estator: Es la parte fija y exterior del generador. Está conformada por una carcasa metálica que le sirve de soporte. En su interior se aloja el núcleo del inducido, en forma de corona y posee ranuras longitudinales, donde se aloja el enrollamiento que contiene a los conductores del inducido.
- Rotor: Es la parte móvil del motor que rota dentro del estator. Contiene el sistema inductor y los anillos de rozamiento, mediante los cuales se alimenta al inducido. En función de la velocidad que desarrolla la máquina existen 2 formas constructivas: De Rotor de polos salidos o rueda polar, empleado en turbinas hidráulicas o motores térmicos. Rotor de polos lisos, empleado para turbinas de vapor y gas, estos grupos se denominan turboalternadores. Su velocidad de giro depende del número de polos y la frecuencia, pudiendo girar a 3600, 1800 o 1200 r.p.m. (Ponce y Montufar, 2014)

Las máquinas síncronas conectadas a la red externa operan a una frecuencia determinada. Para Europa y algunos países de Latinoamérica la frecuencia es de 50 Hz, mientras que en los Estados Unidos se emplea 60 Hz. En aplicaciones especiales tal como la aeronáutica, se utilizan frecuencias más elevadas, del orden de los 400 Hz, en el Perú se usa 60 Hz. Para generar el campo magnético, hay que suministrar una corriente de excitación en corriente continua. Esta corriente de excitación genera el campo magnético necesaria para generar la corriente inducida de corriente alterna. Los alternadores están acoplados a máquinas motrices que les genera la energía mecánica en forma de rotación. Para el caso de un grupo electrógeno se acopla el motor de combustión interna directamente al generador eléctrico, generándose una velocidad de giro baja y necesitan de una volante de inercia para mantener una rotación constante. (Ponce y Montufar, 2014)

Cuando un alternador opera en conexión a un circuito exterior se crea corrientes inducidas que producen las siguientes anomalías:

- Caída de tensión dentro de los bobinados del inducido: La resistividad que presentan los conductores genera la reducción del nivel de tensión.
- Efecto de reacción en el inducido la cual depende del tipo y tamaño de la carga conectada tal como:
  - Resistiva: Produce un aumento en la caída de tensión interna y una reducción de la tensión en los bornes de salida.
  - Inductiva: Genera una caída de tensión importante en los bornes de salida. Capacitiva: Disminuye la caída de tensión interna y se incrementa el valor de la tensión de salida en los bornes de salida.
- Efecto de la dispersión del flujo magnético: Presencia de líneas de fuerza que no pasan través del inducido, se pierden o llegan al siguiente polo. Al ser alta la corriente del inducido, se produce mayores pérdidas por dispersión. (Ponce y Montufar, 2014)

De forma global para un grupo electrógeno se tiene la siguiente distribución de potencias:

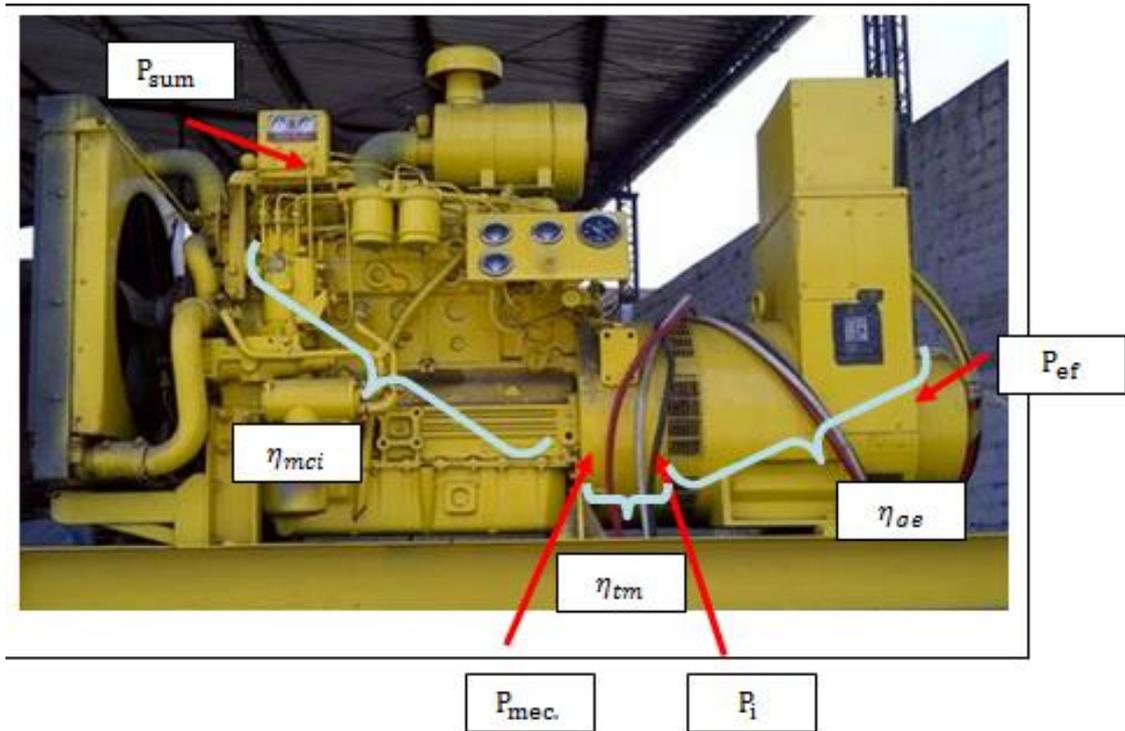


Figura 04 Ubicación de las Potencias en un grupo electrógeno

Fuente: Manual de Centrales Termoeléctricas (Guevara)

Donde:

$P_{sum}$ , es la potencia térmica suministrada por el combustible en función a su poder calorífico inferior.

$$P_{sum} = \dot{m}_c * PCI \dots \dots (2)$$

$P_{mec}$ , es la potencia mecánica que se suministra desde el motor de combustión interna hacia el sistema de acoplamiento mecánico.

Para distintos tipos de motores de combustión interna tenemos la eficiencia es:

Para motores con encendido por explosión con aspiración natural: < 25 a 30 %>

Para motores con encendido por compresión con aspiración natural: < 30 a 35 %>

Para motores sobrealimentados I: < 45 a 50 %>

$$\eta_{mci} = \frac{P_{mec}}{P_{sum}} * 100\% \dots (3)$$

La eficiencia de la transmisión mecánica determina el grado de transformación de la potencia indicada o potencia al eje o freno a la salida del motor de combustión interna térmica en potencia entrante al generador eléctrico, esta eficiencia es función del acoplamiento

mecánico que se cuenta, y presenta pérdidas por fricción entre sus elementos metálicos generando su correspondiente disipación de calor.

Donde la eficiencia de la transmisión mecánica oscila entre valores de 98 a 99 % , y se evalúa según la siguiente ecuación:

$$\eta_{tm} = \frac{P_i}{P_{mec}} * 100\% \dots (4)$$

$P_i$ , es la potencia mecánica suministrada al generador eléctrico.

La potencia de salida que generan las máquinas eléctricas rotativas es solo una fracción de la potencia que se les suministra en el eje del rotor. La diferencia entre la potencia de salida y la suministrada genera las pérdidas:

$$P_i - P_{ef} = P_{perdidas} \dots \dots \dots (5)$$

$P_{ef}$ , es la potencia efectiva o eléctrica generada en bornes del generador eléctrico.

La potencia de salida o útil de un generador eléctrico esta referida a la potencia eléctrica suministrada al exterior o también potencia efectiva. La potencia suministrada es la potencia mecánica de entrada: la potencia mecánica que absorbe la máquina para poder generar electricidad. Dentro de una máquina eléctrica rotativa, las pérdidas más representativas son:

- Pérdidas mecánicas que se generan debido al rozamiento entre las partes móviles y por la ventilación o refrigeración interior de los devanados.
- Pérdidas eléctricas o pérdidas en el cobre: Se generan dentro de los circuitos eléctricos y en las conexiones y son producidas por el efecto Joule.
- Pérdidas magnéticas o pérdidas en el hierro: Se generan por la variación que se origina en los campos magnéticos y por la variación de la frecuencia. (Ponce y Montufar,2014)

Así mismo, el cociente entre la potencia de salida útil y la potencia suministrada se denomina eficiencia o rendimiento. Esta eficiencia se expresa en tanto por ciento (%). Por lo tanto, la eficiencia de una máquina eléctrica indica la cantidad de trabajo útil que puede producir, a partir de la energía total que consume. Pudiendo llegar a valores entre 0,9 a 0,94 según la tecnología del generador desde eficiencia estándar a eficiencia super prime.

$$\eta_{GE} = \frac{P_{ef}}{P_i} * 100\% \dots (6)$$

Finalmente, la eficiencia de planta también se puede evaluar con la siguiente ecuación:

$$\eta_{\text{planta}} = \eta_{\text{GE}} * \eta_{\text{tm}} * \eta_{\text{mci}} \dots \dots \dots (7)$$

El factor de potencia en un grupo electrógeno trifásico es de 0,88, el cual puede incrementarse hasta 0,96 en las mejores condiciones de penalidad por energía reactiva. El valor de un kVA siempre es más alto que el de 1 kW porque incluye potencia reactiva. En relación a los grupos electrógenos industriales y comerciales en países como Estados Unidos es frecuente que se utilicen los valores de la potencia activa como unidad comercial de designación de los grupos electrógenos, mientras que en la mayor parte del mundo se emplea la unidad de la potencia aparente, kVA, al hacer referencia a grupos electrógenos. La denominación kW es básicamente la potencia activa que un grupo electrógeno suministra basándose en la potencia de un motor. Los kilovoltios-amperios (kVA) representan la capacidad final del grupo electrógeno. Los grupos electrógenos se comercializan con ambas clasificaciones.

$$\text{Factor de Potencia} = \frac{\text{Potencia Activa}}{\text{Potencia Aparente}} \dots \dots (8)$$

c. Indicadores de la generación de energía.

TASA DE CALOR O HEAT RATE: Es un indicador técnico de desempeño que compara el flujo másico del combustible con la potencia efectiva generada por la unidad de generación de energía, se le conoce como consumo específico efectivo. El valor del Heat Rate eficiente técnicamente es aquel valor menor de un conjunto de valores. (Mendoza, 2017)

Se evalúa según la siguiente ecuación:

$$\text{Heat Rate} = \frac{\dot{m}_c}{P_{\text{ef}}} \dots \dots \dots (9)$$

Se presentan los siguientes valores del Heat Rate para Centrales Termoeléctricas con MCI que operan en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional:

Tabla 01 Heat Rate para Centrales Termoeléctricas con MCI

N°	Nombre	Combustible	Heat Rate	Unidades
1	Independencia	Gas Natural	8,844	MMBTU/MWh
2	Chilina	Biodiesel BD 5	0,223	Kg/KWh
3	Shougesa	Mezcla BD5+Bunker 6	0,220	Kg/KWh
4	Tumbes	Bunker 6	0,198	Kg/KWh
5	Mollendo	Petróleo Residual 500	0,202	Kg/KWh

Fuente: Informe N° 193-2020 GART para la determinación de precios en barra periodo 2020-2021

Costos de operación de una central termoeléctrica: Los costos marginales o costos de operación o costos variables totales se determinan en función a los costos variables relacionados directamente con la energía producida por cada unidad termoeléctrica.

Los costos variables se descomponen en Costos Variables Combustible (CVC) y Costos Variables No Combustible (CVNC). (Osinermin, 2020))

$$C. V. T = CVC + CVNC \dots\dots (10)$$

Es importante la determinación de este parámetro para una central termoeléctrica, ya que según valor se le asignara el orden de despacho dentro de todo el pool de centrales de generación pertenecientes al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional o caso contrario se le asignara la condición de operación o reserva.

Costo variable combustible CVC: Según la normativa eléctrica peruana, se define al costo relacionado al consumo de combustible empleado durante la operación de la central termoeléctrica. Es igual al producto del Heat Rate a plena carga con el valor del precio unitario del combustible declarado a OSINERGMIN. (Osinermin, 2020)

$$C. V. C = \text{Heat Rate} * \text{Precio Unitario del Combustible} \dots\dots (11)$$

Se presentan los siguientes valores del CVC para Centrales Termoeléctricas con MCI pertenecientes al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional:

Tabla 02 CVC para Centrales Termoeléctricas con MCI

N°	Nombre	Combustible	CVC	Unidad
1	Independencia	Gas Natural	23,52	U\$/MWh
2	Chilina	Biodiesel BD 5	145,35	U\$/MWh
3	Shougesa	Mezcla BD5+Bunker 6	138,02	U\$/MWh
4	Tumbes	Bunker 6	71,26	U\$/MWh
5	Mollendo	Petróleo Residual 500	130,35	U\$/MWh

Fuente: Informe N° 193-2020 GART para la determinación de precios en barra periodo 2020-2021

Costo variable no combustible CVNC: Representa el costo, no asociado directamente al combustible, en el cual incurre la unidad termoeléctrica por cada unidad de energía que produce. Para evaluar dicho costo se determina la función de costo total de las unidades termoeléctricas (sin incluir el combustible) para su régimen de operación esperado; a partir de esta función se deriva el CVNC como la relación del incremento en la función de costo ante un incremento de la energía producida por la unidad. (Osinermin, 2020))

Dentro de los rubros que la conforman tenemos los siguientes:

$$C. V. N. C = \text{Costo de mantenimiento} + \text{Otros costos} \dots \dots (12)$$

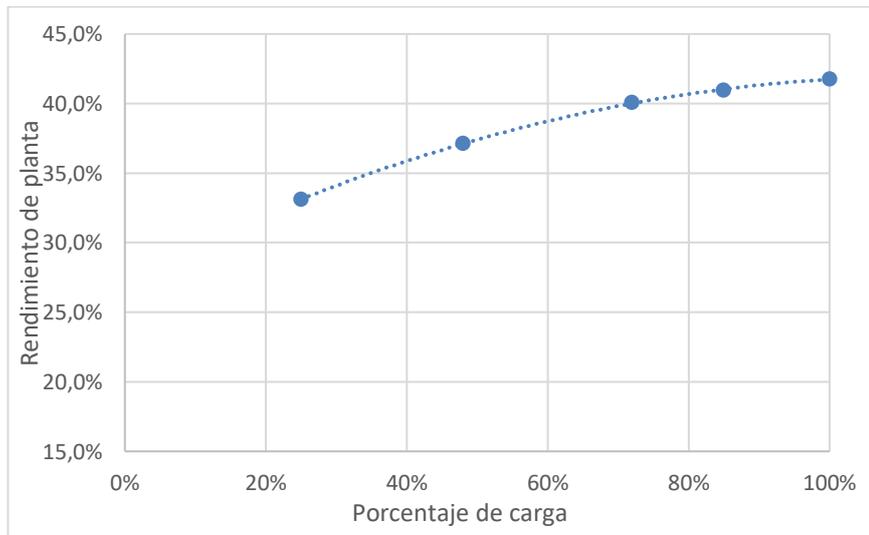


Figura 05 Comportamiento del rendimiento de planta GD Mollendo

Fuente: Informe de Potencia Efectiva de Cenergia (2019)

### 2.1.3 Selección de grupos electrógenos.

Para una adecuada selección del grupo electrógeno es necesario especificar la criticidad de la carga, si el grupo debe instalarse en la intemperie o bajo techo, si existe disponibilidad en el abastecimiento del combustible y del agua de refrigeración, el espacio útil disponible, las rutinas de mantenimiento preventivo, el nivel de ruido admisible, las normas de calidad para la emisión de los gases de escape, la altura sobre el nivel del mar del sitio de emplazamiento, como así también la temperatura y la humedad ambiente. La selección del equipo idóneo debe efectuarse no sólo en función a los requerimientos de demanda, sino también en base a consideraciones económicas, en relación al tiempo de operación en virtud de los períodos de inactividad o espera de los grupos electrógenos. La seguridad, la prevención, la continuidad de la operación y los requerimientos legales son los elementos a tener en cuenta para la justificación económica para instalar un grupo electrógeno. En algunas instalaciones es conveniente que, en los períodos sin falta de suministro, los generadores vendan la electricidad a la red pública en las horas de máxima demanda, en las que se incrementa el precio de la energía dentro del mercado. Para tal fin deben instalarse automatismos de sincronización y de reparto de carga para el funcionamiento en paralelo con la red. En otros casos puede ser rentable que el grupo alimente los picos de consumo de ciertas instalaciones industriales. (Lacoste, Colicigno, Corti y Yablonski, 2011)

- a. Dimensionado: En función a un análisis centrado en lo que genera el grupo electrógeno se tienen 2 casos de análisis para seleccionar un grupo electrógeno sub-dimensionado o sobredimensionado.
  - Si lo sub-dimensionamos: el problema central según el punto de vista del usuario final es la falta de potencia que debe desarrollar, debido a que su compra se realiza en un valor de potencia inferior al valor de la demanda requerida a autoabastecer. Esto puede generar una caída de tensión, una reducción de velocidad del motor con lo cual el alternador sufriría una caída de frecuencia, un sobrecalentamiento producto a que la intensidad de corriente de salida es superior al valor con se dimensiono y puede afectar al revestimiento de los aislantes. Desde el punto de vista mecánico puede provocar un incremento de temperatura de operación del motor, un incremento en el desgaste de los componentes internos y generación de vibraciones de diversa frecuencia. (Genesal Energy, 2020)
  - Si lo sobredimensionamos: En este caso la capacidad de generación del grupo electrógeno supera en un buen porcentaje la demanda abastecer en el orden 20 a 30 %

del valor de la máxima demanda. No es adecuado operar un grupo electrógeno en estas condiciones debido a que su rendimiento se reduce en 50 % cuando opera a condiciones de capacidad inferior al 50 %. Esto genera un consumo específico elevado para el grupo electrógeno. (Genesal Energy, 2020)

- b. Selección del combustible: Al momento de seleccionar el tipo de combustible que va a alimentar el motor del equipo, deben tenerse en cuenta múltiples factores, tales como:
  - Disponibilidad.
  - Precio del grupo electrógeno.
  - Costo de mantenimiento.
  - Reglamentación y normatividad.
  - Uso al que se destina.
  - Preferencias personales. (Lacoste, Colicigno, Corti y Yablonski, 2011)
  
- c. Condiciones ambientales: El lugar de instalación del grupo electrógeno es función de los siguientes aspectos:
  - Ambientes salinos.
  - Grupos electrógenos ubicados en barcos.
  - Minas en socavón y ambientes con alta contaminación (Norma IP45).
  - Zonas nucleares.
  - Lugares propensos a sismos.
  - Ambientes con temperaturas extremas (-30 °C a +40 °C).
  - Grupos móviles blindados para uso militar. (Genesal Energy, 2018)
  
- d. Altitud de la instalación. Este factor es muy importante a tener en cuenta por la disminución del aire en relación a la altitud. Los motores de combustión interna necesitan oxígeno para poder operar, la concentración de oxígeno disminuye según aumenta la altitud con respecto al mar a la que se encuentra trabajando, lo que genera que las mezclas aire combustible dentro de la cámara del cilindro resulten más pobres en oxígeno, con lo cual se reduce la potencia del motor hasta un 10% en los primeros 1 000 metros si son motores con aspiración natural. Si son motores sobrealimentados, la relación de compresión se incrementa con lo cual se recupera la potencia perdida, generándose incluso una mayor potencia. (Genesal Energy, 2018)

- e. Tipo de carga a alimentar. Uno de los pasos clave para determinar la potencia requerida en un grupo electrógeno es identificar el tipo de cargas a alimentar. Para esto se debe tener en cuenta que algunos equipos operan con variadores de frecuencia o velocidad, con lo cual se presentan incrementos de intensidad transitorios durante el arranque. Así tenemos:
- Sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS/SAI).
  - Grandes cargas, motores de más de 100 HP.
  - El incremento de la potencia de arranque hasta 6 veces, dependiendo del tipo de arranque.
  - Cargas de sistemas de iluminación.
  - Alumbrado de vapor de sodio y halogenuros metálicos y actualmente la iluminación LED debido a la cantidad de transitorios que producen los circuitos que la componen.
  - Sistemas con variadores de frecuencia (VFD). Pueden generar un sobredimensionamiento erróneo desde un 40 a un 100 %.
  - Cargas especialmente sensibles a transitorios, tal como sistemas electrónicos de potencia, como tiristores.
  - Cargas que para su operación requieran variaciones de tensión y frecuencia. (Genesal Energy, 2018)
- f. Corriente de arranque al inicio de la operación. Ésta varía en función al tipo de arranque del motor. Por lo general se tiene en cuenta lo siguiente:
- Motores eléctricos con arranque estrella-triángulo: la “corriente de arranque” es por lo menos 3 veces la corriente nominal o de operación.
  - Motores de arranque directo: necesita 6 veces la corriente nominal.
  - Motores de arranque con variador de frecuencia: hay que prestar especial atención a su hoja de características ya que normalmente es configurable la rampa y el incremento de velocidad. (Genesal Energy, 2018)

## **2.2 TIPOS DE POTENCIA.**

### **2.2.1 POTENCIA STAND BY.**

También conocida como potencia fuel stop power FTP o stand by power, es la potencia disponible de forma continua para un número limitado de horas, de 500 siempre que la carga sea variable o 200 continuas al año. (según lo declarado por el fabricante). No admite sobrecarga. Se le utiliza para operar a cargas variables. Factor de utilización: 70%. Potencia con combustible bloqueado (fuel stop power) de acuerdo con ISO 3046/1, AS2789, DIN 6271 y BS5514. Se utilizan en casos de emergencia ante súbitos déficits de energía eléctrica, cortes

intempestivos o programados, o caídas de tensión, o contingencias que por su naturaleza requiere la operación de un grupo electrógeno con potencia stand by. (Aenor, 2002)

Una variante de este tipo de potencia es la potencia por tiempo limitado LTP o LIMITED TIME RUNNING POWER, cuya potencia máxima para cargas no variables del 100%, limitadas a un máximo de 700 horas carga variable o 500 horas continuas al año. No admite sobrecarga. Factor de utilización 100%. Potencia LTP de acuerdo con ISO8528, ISO 3046/1, AS2789, DIN 6271 y BS5514. (Aenor, 2002)

Se tienen las siguientes aplicaciones:

a. Sistema de emergencia:

Los sistemas de emergencia por lo general se instalan por seguridad pública y cuando son obligatorios por ley. Están diseñados para proporcionar energía eléctrica e iluminación por periodos de tiempo relativamente cortos para 03 propósitos: permitir la evacuación segura dentro de edificios, como equipo de apoyo a y crítico para gente en estado vulnerable o para permitir las comunicaciones en condiciones críticas e instalaciones usadas para seguridad pública. El código nacional de electricidad especifica la carga mínima del equipo para poder entrar en servicio eficientemente. (Mendoza, 2017)

b. Sistema stand by exigido legalmente:

Los sistemas Standby legalmente exigidos, se instalan según lo ordenen normativas o requisitos legales tipificados para la seguridad pública. Estos sistemas están diseñados para proporcionar energía eléctrica por periodos cortos de tiempo donde son necesarios para evitar peligros o para facilitar las operaciones de combate ante siniestros. Los requisitos del código normalmente especifican la carga mínima del equipo al que se le va a dar servicio. (Mendoza, 2017)

c. Sistema stand by opcional:

Los sistemas Standby opcionales generalmente se instalan donde no existe riesgo de interrupciones del servicio de energía, déficits de suministro entre otras contingencias. Estos sistemas típicamente se instalan en centros de comunicación, granjas, edificios comerciales y públicos, así como en centros industriales y residencias. Al propietario del sistema se le permite seleccionar las cargas que se conectaran al sistema. Además de proporcionar una fuente de energía Standby en caso de la pérdida de un suministro de energía normal, los

sistemas de generación en-sitio también se usan para situaciones de emergencia ante desastres naturales. (Mendoza, 2017)

### 2.2.2 POTENCIA PRIME.

La capacidad de potencia primaria o prime se aplica cuando se suministra energía eléctrica en lugares donde la energía es adquirida de la red. El número de horas de operación permisibles por año es ilimitado en aplicaciones de carga variable, pero limitada para aplicaciones de carga constante en función al factor de utilización igual a 70 %. La potencia primaria está disponible para un número ilimitado de horas de operación al año en operaciones de carga variable. Las aplicaciones que requieren de la operación en paralelo con algún servicio público con carga constante están sujetas a limitaciones de tiempo de operación. Se dispone de una capacidad de sobrecarga del 10 por ciento por un periodo de 1 hora en un periodo de operación de 12 horas, pero no debe exceder de 400 horas al año. (Equivalente a la Potencia Primaria de acuerdo con ISO8528 y Potencia de Sobre-Carga de acuerdo con las Normas ISO3046, AS2789, DIN6271 y BS5514). (Aenor, 2002)

Se tiene la siguiente clasificación:

- a. Potencia prime para rasurado de picos de demanda: Un grupo electrógeno prime puede ser utilizado como unidad generadora de potencia para la cobertura de la demanda de energía en periodos de tiempos cortos, en el cual la demanda supera la demanda promedio de la instalación.



Figura 06 Diagrama de carga Potencia prime para rasurado de picos de demanda.

Fuente: Manual de Centrales Termoeléctricas (Guevara)

b. Potencia prime para reducción de costos de tarifa eléctrica:

En el sistema eléctrico peruano se consideran horas punta al bloque horario comprendido entre las 18.00 a 2300 horas del día a excepción de los días domingos y feriados. Durante las horas punta los costos unitarios de la energía y de la potencia son mayores que los costos unitarios en horas fuera de punta. En función a la intensidad de consumo de energía, máxima demanda, tipo de combustible, número de días/mes de operación se puede optar por dimensionar un GE para operar durante las horas punta en modo isla o en paralelo, de tal forma que sea económica la operación de autogeneración de energía. Mientras que el resto de horas de operación es cubierto por la red externa de energía eléctrica.

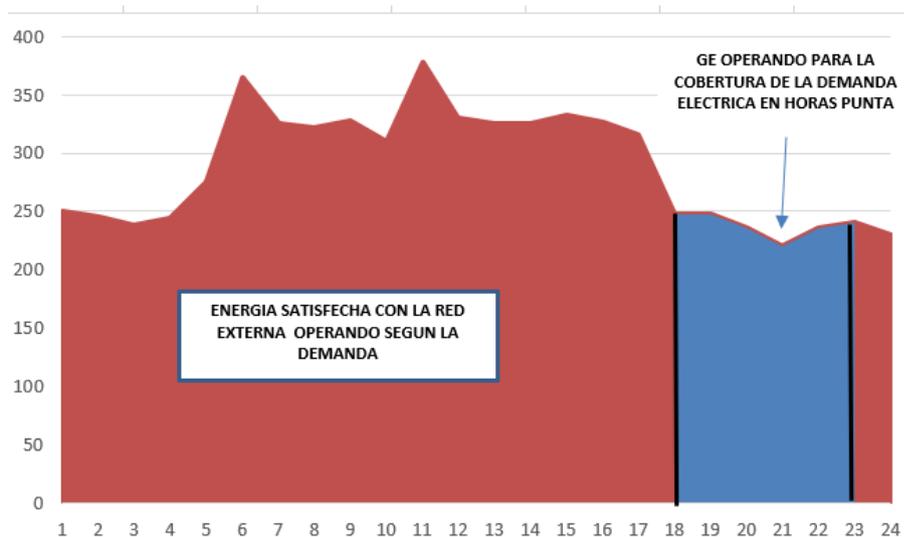


Figura 07 Diagrama de carga Potencia prime para reducción de costos en tarifa eléctrica

Fuente: Manual de Centrales Termoeléctricas (Guevara)

c. Potencia prime en modo potencia primaria.

El modo de potencia primaria está referido a la operación de un grupo electrógeno prime en base a una potencia constante o variable. El grupo electrógeno actúa como una unidad de base mientras que la red externa, suministra el resto de la energía eléctrica requerida.

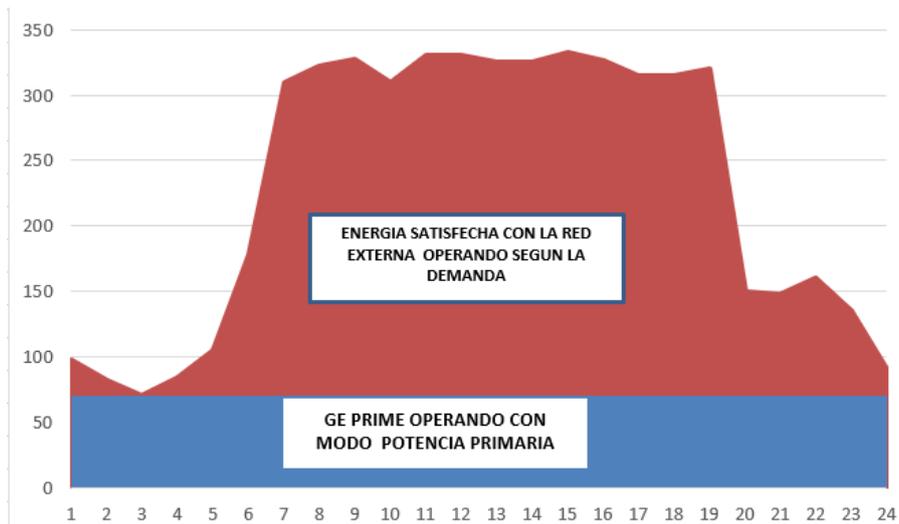


Figura 08 Diagrama de carga para Potencia prime modo potencia primaria

Fuente: Manual de Centrales Termoeléctricas (Guevara)

### 2.2.3 POTENCIA CONTINUA.

Potencia máxima para cargas no variables del 100%, utilizada sin límite de tiempo. No admite sobrecarga. Factor de utilización 100%. Potencia LTP de acuerdo con ISO8528, ISO 3046/1, AS2789, DIN 6271 y BS5514. (Aenor, 2002)

#### a. Sistema como carga base:

Las instalaciones para carga de base continua usan generación en-sitio para suministrar energía (kWh) constante o variable en paralelo a la red según lo planificado por cada instalación, o en modo isla para el caso de no contarse conexión a red. Se tienen los siguientes ejemplos:

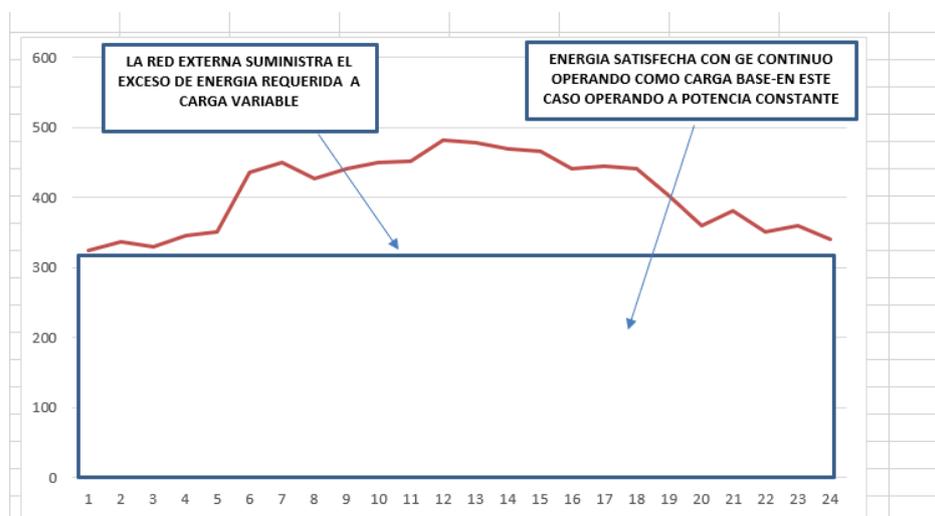


Figura 09 Diagrama de carga Potencia continua con carga base constante

Fuente: Manual de Centrales Termoeléctricas (Guevara)

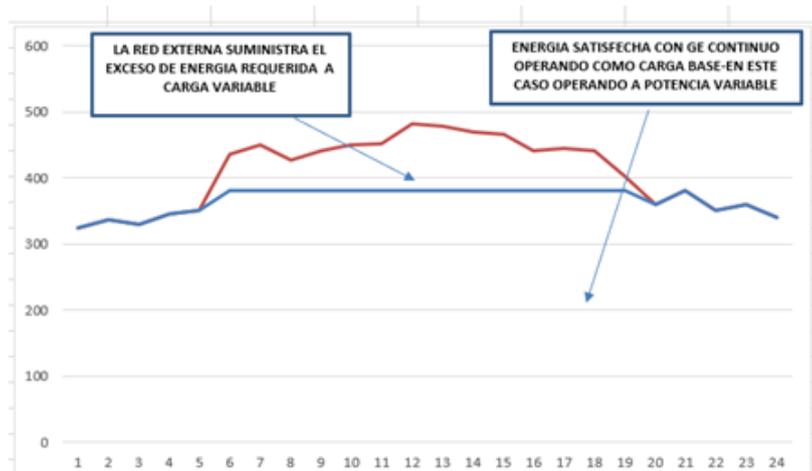


Figura 10 Diagrama de carga Potencia continua carga base variable

Fuente: Manual de Centrales Termoeléctricas (Guevara)

b. Sistema de cogeneración:

La cogeneración es una tecnología energética en la cual se genera de manera simultánea energía eléctrica y energía térmica para el autoconsumo de energía en una empresa o instalación. La tecnología de cogeneración con MCI (Grupos electrógenos) es ideal para aplicarlo en Hospitales. Según el Reglamento de cogeneración del Perú, una instalación de cogeneración calificada es aquella que autorizada a inyectar sus excedentes de energía eléctrica a la red. (Mendoza, 2017)

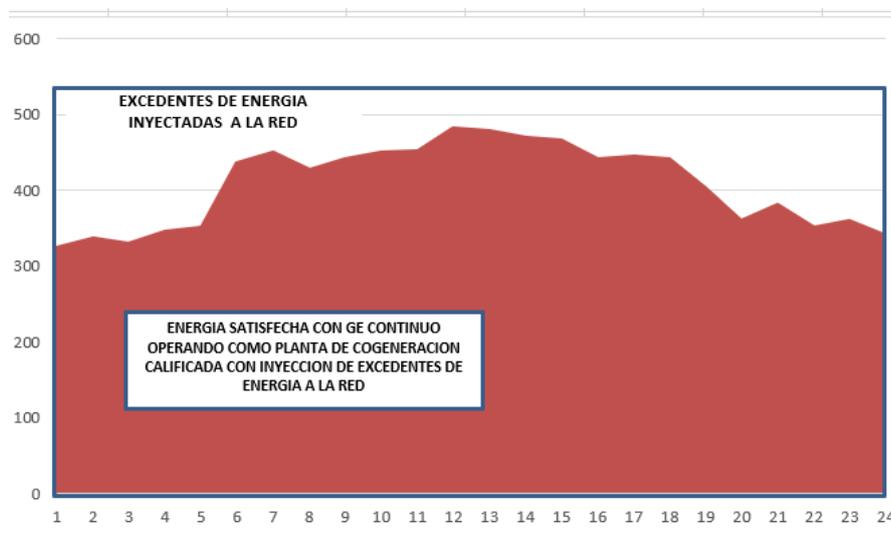


Figura 11 Diagrama de carga grupo electrógeno continuo para cogeneración calificada.

Fuente: Elaboración propia

## 2.3 OPERATIVIDAD DE GRUPOS ELECTROGENOS.

### 2.3.1 Funcionamiento.

Los grupos electrógenos están instalados en una base metálica cimentada (1), y unidos mecánicamente a través del acoplamiento por lo general flexible (2), se encuentran el motor (3) y el generador (4), y sus sistemas anexos como refrigeración (radiador (6) o intercambiador de calor agua-agua), lubricación, partida, escape, combustible, etc. Dentro de la caja de conexiones eléctricas (5) se ubican los terminales del conexionado de los enrollados, los transformadores de corriente para medición y protección, y el regulador de voltaje, que, a través del control de la excitación, mantiene la tensión de salida ante variaciones de carga. El gobernador (7) montado dentro del panel de control del grupo, a través de un sistema de control con lazo cerrado en el cual se optimiza el flujo de combustible para mantener el régimen de velocidad ante susceptibles variaciones de demanda, y regula la potencia activa entregada por el equipo en condiciones de funcionamiento en paralelo a una barra energizada. (Cuadros,2014)

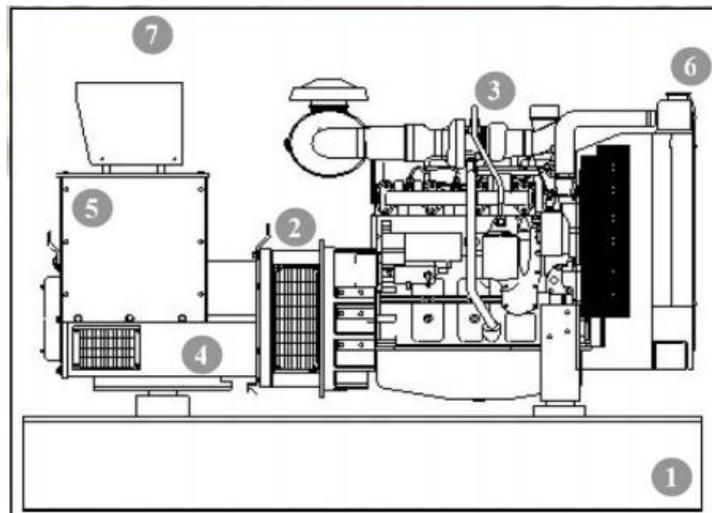


Figura 12 Comparativo entre sistema convencional y sistema de cogeneración  
Fuente: Tesis de Cuadros (2014)

El combustible es impulsado hacia los cilindros por medio de la bomba de combustible del motor, en este caso el gobernador es el encargado de controlar el caudal. Luego de inyectarse el combustible a la cámara, las condiciones de temperatura y presión provocan la combustión y el desplazamiento de los pistones, y través de las bielas hacen girar el cigüeñal, generándose la rotación del eje del motor, convirtiéndose en el alternador esta potencia entregada en el eje en potencia eléctrica, útil o efectiva, sin piezas rozantes (escobillas y colectores). La frecuencia de la señal eléctrica generada, típicamente 60 o 50 Hz, se determina por la relación entre la velocidad de giro del conjunto motor/alternador y el

número de polos del generador. Respecto de la generación de tensión en bornes, los dos casos más comunes corresponden al generador de excitación separada, y el generador auto excitado. (Cuadros,2014)

En máquinas de baja capacidad el sistema más empleado es el de excitación separada, por cuanto la masa del rotor no es lo suficientemente grande como para permitir un magnetismo remanente. El sistema de excitación separada aumenta el tamaño, peso y precio del generador, sin embargo, entrega una alimentación limpia al regulador, opera independiente de la salida del generador, mantiene la excitación frente a condiciones anormales de funcionamiento, y permite mejores condiciones de estabilidad de tensión energizando consumos con requerimientos transitorios de partida, lo que lo hace preferible en caso de trabajo en paralelo y curvas de demanda fluctuantes. (Cuadros,2014)

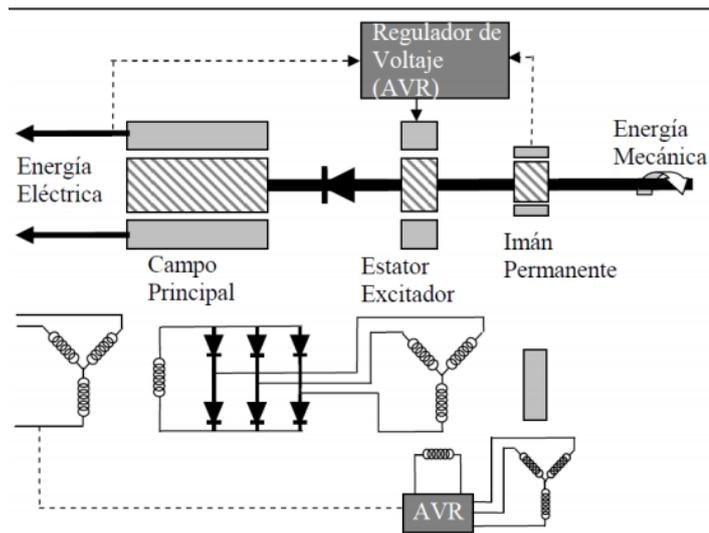


Figura 13 Diagrama del generador auto excitado  
Fuente: Tesis de Cuadros (2014)

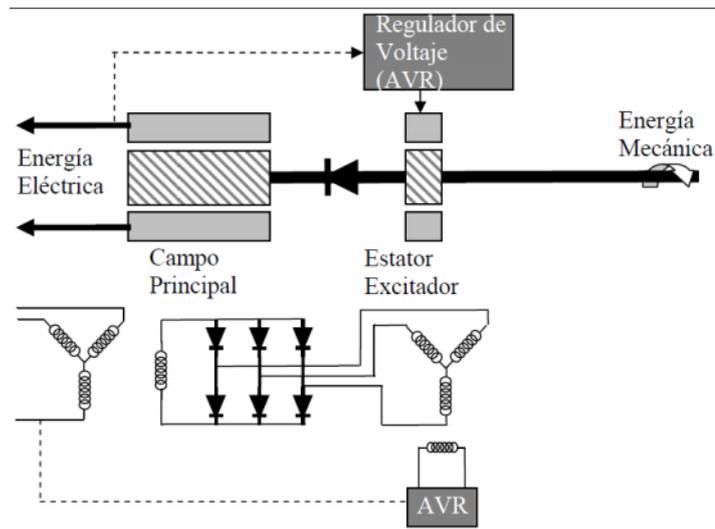


Figura 14 Diagrama del generador con excitación separada  
Fuente: Tesis de Cuadros (2014)

### 2.3.2 Sincronismo.

El sincronismo es un modo de operación que nos permite conectar una fuente de generación eléctrica a una red de distribución existente en paralelo. Se requiere de un suministro de energía eléctrica a través de una compañía distribuidora y tener una segunda fuente alternativa, la cual se obtiene de un grupo electrógeno. La energía del grupo electrógeno se inyecta en el sistema de distribución y se utiliza como un apoyo para mantener un consumo eléctrico estable. Estos sistemas son de utilidad para empresas o industrias que no pueden bajar sus consumos eléctricos en los periodos de “hora punta” o su productividad. (Villaroel,2017)

El sistema más común es el “Control de sincronismo con transferencia de carga sin corte de energía”. Este realiza transferencias de energía eléctrica sin corte de suministro, ya que iguala los parámetros eléctricos del grupo electrógeno con los de la red. El sistema toma la red como referencia para dar la orden al tablero de transferencia automática y conectarlos en paralelo. Una vez efectuada, se transfiere la carga desde la red al grupo, o viceversa. Para ejecutar este sistema se requiere un tablero de sincronismo. El tablero de sincronismo permite que dos o más fuentes de corriente alterna (CA) operen en paralelo, igualando lo más posible la frecuencia y la tensión en las fuentes, verificando que el sentido de rotación de las fases sea el mismo. La sincronización se adquiere mediante un controlador que monitorea las dos fuentes y ajusta la velocidad del motor y el voltaje del grupo electrógeno. Una diferencia en la frecuencia entre las fuentes de 0,1 Hz, así como una diferencia del 5%

en el voltaje, y una diferencia de 5° en el ángulo de rotación de las fases, se consideran márgenes satisfactorios para la operación en paralelo. (Villaroel, 2017)

Los grupos electrógenos cuentan con un control automático, el cual es capaz de manejar funciones de sincronía (abierta o cerrada) que se requieren para realizar un proceso de poner en paralelo el grupo y red o grupo con grupo. Su operación es la siguiente:

Sincronía abierta: Cuando ocurre una falla de la red normal, ocasiona dos interrupciones de energía en la carga (transferencia y retransferencia) si contamos con un sistema de sincronía abierta se elimina la interrupción de energía en el momento de la retransferencia ya que la misma se realiza en una forma controlada, sincronizando ambas fuentes y cerrando ambos interruptores simultáneamente por un tiempo predeterminado (paralelo). (Hernandez,2014)

Existe un corte de suministro eléctrico a la carga durante la transferencia:

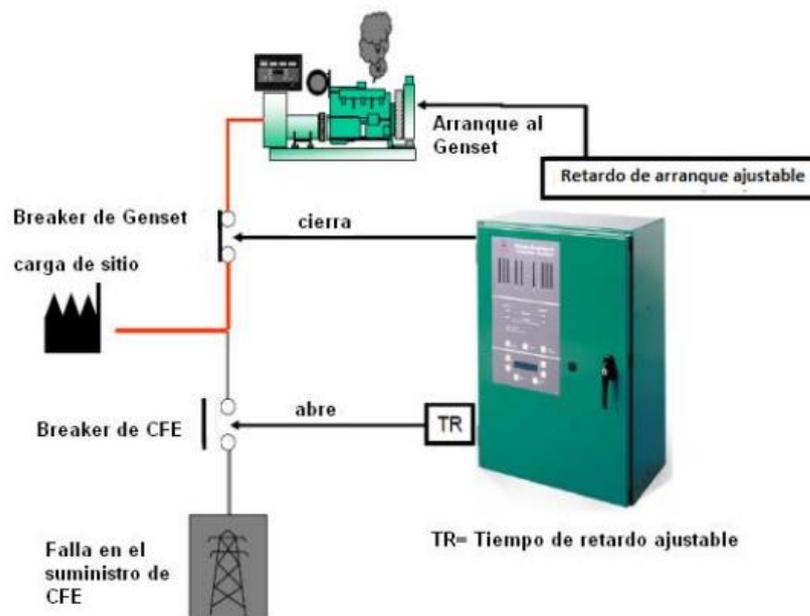


Figura 15 Sincronía abierta con falla en el suministro de red  
Fuente: Tesis de Hernández (2014)

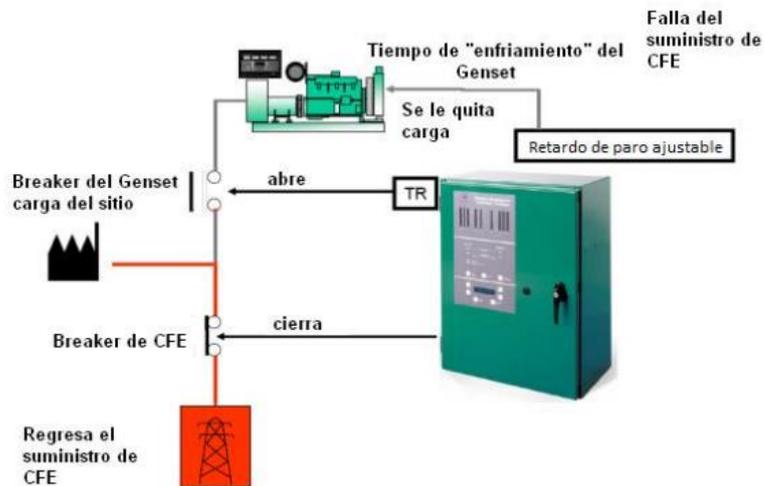


Figura 16 Sincronía abierta con corte por falla en el suministro de red  
Fuente: Tesis de Hernández (2014)

Sincronía cerrada o peak shaving: Actualmente, la energía eléctrica ha alcanzado niveles de costos altos. Por lo cual la alternativa de un sistema de peak shaving con el cual se reducen sus costos por consumos de energía en horario punta, es decir, sincronización del grupo con la red, estando en paralelo, se toma una carga suave de forma controlada kW/s. de la red dejando la misma sin carga y apresurándose el interruptor de la red. Transcurrido el tiempo que se programado para el horario de horas punta, se realiza el mismo procedimiento en sentido inverso, es decir, se sincroniza el grupo electrógeno con la red, y cuando se encuentran en paralelo se realiza una transferencia de carga suave desde el grupo electrógeno a la red, y el grupo electrógeno entra en periodo de enfriamiento.



Figura 17 Sincronía cerrada momentáneamente  
Fuente: Tesis de Hernández (2014)

Transferencia sin corte con transición suave de carga entre las fuentes. Curva de transferencia ajustable

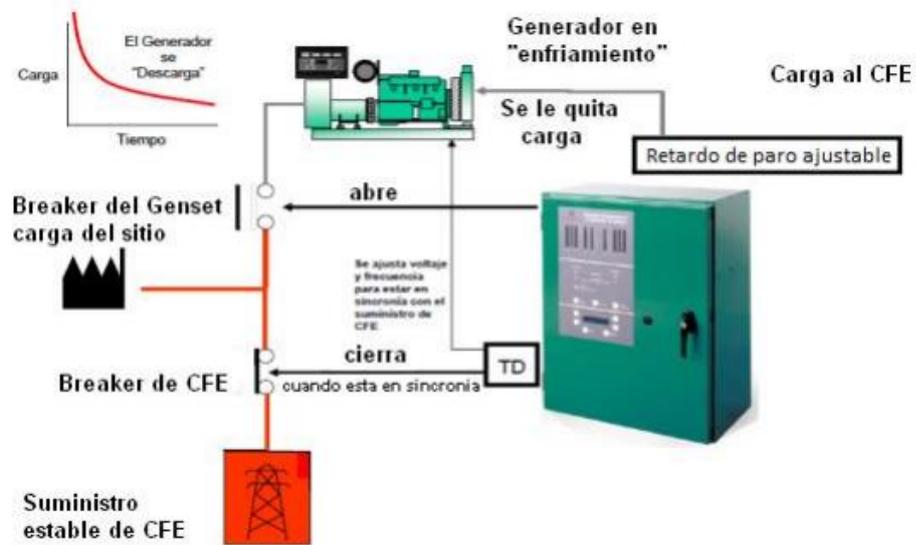


Figura 18 Sincronía cerrada con carga suave  
Fuente: Tesis de Hernández (2014)

Transición cerrada en paralelismo extendido con opción de senseo de la carga, lo cual permite a las dos fuentes operar permanentemente en paralelo con el generador sensando la carga para prevenir el exportar energía hacia la red externa o sistema interconectado (CFE). Permite a las dos fuentes operar de forma permanente en paralelo con el generador eléctrico ajustado a un nivel de carga denominado carga base.

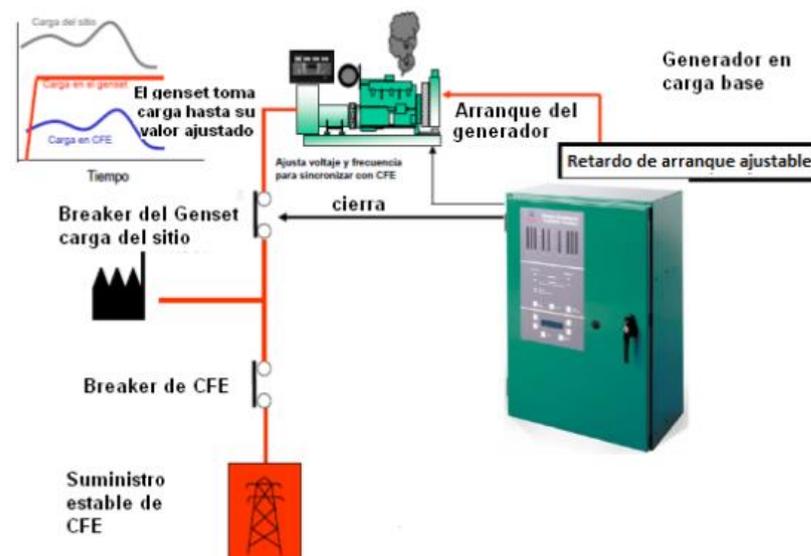


Figura 19 Sincronía cerrada con paralelismo extendido  
Fuente: Tesis de Hernández (2014)

### 2.3.3 Sincronismo entre generadores.

Cuando se desea acoplar en paralelo dos o más generadores de corriente alterna trifásica se tienen en cuenta cuatro condiciones primordiales para la operación en paralelo de generadores:

- a. Secuencia de fases: Cuando se habla de secuencia de fases se hace referencia al sentido de giro de los polos de la máquina con respecto al arrollamiento del inducido. Según esto, se pueden generar sólo dos tipos de movimiento, en sentido horario o en sentido anti horario y según esto se tiene una secuencia de fases negativa o positiva respectivamente. El orden de las fases debe ser el mismo para todos los generadores en operación, sea este positivo o negativo, y puede comprobarse con la ayuda de un secuencímetro. (Ponce y Montufar,2014)
- b. Igualdad de frecuencia: La frecuencia de funcionamiento es la medida eléctrica de la velocidad mecánica debido a su proporcionalidad. Para el acoplamiento de generadores en paralelo es necesario que este valor sea común para todos los grupos, una desigualdad entre las frecuencias provoca corrientes circulantes entre los generadores, tiene también gran influencia sobre el reparto de carga, durante este proceso cada grupo toma potencia activa de forma proporcional a la velocidad de su motor. (Ponce y Montufar,2014)
- c. Igualdad de tensión. El voltaje generado en bornes debe ser igual para todos los generadores en operación; es decir, tanto en valor eficaz como en la forma de onda que describen, ya que en caso de presentar diferencias se hará visible una corriente circulante que afectará tanto al generador que la recibe, volviéndolo motor, como al que la provee, sobrecargándolo. (Ponce y Montufar,2014)
- d. Concordancia de fases: La concordancia de fases indica la coincidencia de valores de tensión tanto durante el período positivo como el negativo. Esta concordancia debe ser similar para las tres fases y suele determinarse comúnmente con la ayuda del sincronoscopio el cual mediante una aguja giratoria indica el momento preciso en que se lleva a cabo esta correspondencia. (Ponce y Montufar,2014)

## 2.4 COBERTURA DE LA DEMANDA.

### 2.4.1 Demanda eléctrica:

La demanda de una instalación o sistema es la carga en las terminales receptoras tomada en un valor medio en determinado intervalo. En esta definición se entiende por carga la que se

mide en términos de potencia (aparente, activa, reactiva o compleja) o de intensidad de corriente. El periodo durante el cual se toma el valor medio se denomina intervalo de demanda y es establecido por la aplicación específica que se considere, la cual se puede determinar por la constante térmica de los aparatos o por la duración de la carga. La carga puede ser instantánea, como cargas de soldadores o corrientes de arranque de motores. Sin embargo, los aparatos pueden tener una constante - 30 - térmica en un tiempo determinado, de tal manera que los intervalos de demanda pueden ser de 15, 30, 60 o más minutos, dependiendo del equipo de que se trate. Se puede afirmar entonces que al definir una demanda es requisito indispensable indicar el intervalo de demanda, ya que sin esto el valor que se establezca no tendrá ningún sentido práctico (Morales, 2007)

#### 2.4.2 Caracterización de la demanda:

##### a. Máxima demanda:

El valor de la máxima demanda anual es el valor que con más frecuencia se usa para el planeamiento de la expansión de un sistema eléctrico. El término demanda a menudo se usa en el sentido de máxima demanda para el periodo que se especifique. Por supuesto, es necesario la determinación exacta de la máxima demanda de una carga supuesto, es necesaria la determinación exacta de la máxima demanda de una carga individual cuando en la facturación del cliente se incluye el valor que tome de demanda máxima. El conocimiento de la demanda máxima de un grupo de cargas y su efecto combinado en el sistema eléctrico es de gran importancia, dado que la demanda máxima del grupo determinará la capacidad que requiera el sistema (Morales, 2007)

##### b. Carga conectada:

La carga conectada es la sumatoria de los valores nominales o de placa de todas las cargas del consumidor que tienen probabilidad de entrar en servicio al mismo tiempo para producir una demanda máxima. La carga conectada se puede referir tanto a una parte como al total del sistema. (Morales, 2007)

##### c. Factor de carga:

Se define como factor de carga la relación entre la demanda promedio en un intervalo de tiempo con la demanda máxima. En esta definición el pico de carga por lo regular se entiende como la mayor de todas las cargas promedio en un intervalo específico. El promedio y las cargas máximas instantáneas se deben expresar en las mismas unidades para que el factor

de carga sea dimensional. La definición del factor de carga debe ser específico en el establecimiento del intervalo de tiempo de la demanda, así como el periodo en que la demanda máxima y la carga promedio se apliquen. Para una carga dada, excepto una en que el ciclo de carga este compuesto de ciclos idénticos, un periodo mayor dará un factor de carga más pequeño, dado que el consumo de energía se distribuye en un tiempo mayor. El factor de carga anual influido por las estaciones del año será considerablemente menor que el de un factor de carga diario o semanal. (Morales, 2007)

d. Factor de demanda:

El factor de demanda en un intervalo  $\delta$  de un sistema o de una carga es la relación entre su demanda máxima en el intervalo considerado y la carga total instalada. Obviamente el factor de demanda es un número dimensional; por tanto, la demanda máxima y la carga instalada de deberán considerar en las mismas unidades. El factor de demanda generalmente es menor que 1 y será unitario cuando durante el intervalo de tiempo todas las cargas instaladas absorban sus potencias nominales. (Morales, 2007)

e. Factor de utilización:

El factor de utilización de un sistema es la relación entre la demanda máxima y la capacidad nominal del sistema. El factor de utilización es adimensional; por tanto, la demanda máxima y la capacidad del sistema se deberán expresar en las mismas unidades. Se puede decir entonces que mientras el factor de demanda expresa el porcentaje de potencia instalada que está siendo alimentada, el de utilización establece que porcentaje de la capacidad del sistema está siendo utilizado durante el instante de máxima demanda. (Morales, 2007)

f. Horas punta:

Se entenderá por horas de punta (HP), al periodo comprendido entre las 18:00 y las 23:00 horas de cada día de todos los meses del año. En el caso que la medición sólo permita programar los feriados con antelación solo se considerarán los domingos y los feriados nacionales del calendario regular anual, en caso contrario se considerarán además los feriados nacionales extraordinarios programados en días hábiles, según se señala en las condiciones específicas de cada opción tarifaria. (Osinergmin, 2013)

g. Horas fuera de punta:

Se entenderá por horas fuera de punta (HFP), al resto de horas del mes no comprendidas en las horas de punta (HP). (Osinergmin, 2013)

### 3.1 MATERIAL:

#### 3.1.1 INFORMACION DE LA EMPRESA O MUESTRA DE ESTUDIO:

Enosa S.A. es una empresa de servicio público y de economía mixta que opera en el rubro electricidad. Pertenece al Grupo Distriluz y forma parte de las empresas que se encuentran bajo el ámbito del Fondo Nacional de Financiamiento de la Actividad Empresarial del Estado (FONAFE) . Enosa tiene un área de concesión de 667,78 km<sup>2</sup> en dos regiones del país: Piura y Tumbes. Para efectos administrativos y operativos, la empresa subdivide su área en seis unidades de negocio y un servicio mayor (Bajo Piura). Adicionalmente, Enosa también puede prestar servicios de distribución de energía eléctrica en zonas aledañas al área de concesión. Estas últimas zonas se denominan área de influencia.

El servicio mayor Bajo Piura tiene los siguientes datos marco,

Tabla N° 3 Datos marco del Servicio Mayor Bajo Piura

Detalle	Valor	Unidad
Número de clientes	34 066	
Coeficiente de electrificación	94,24	%
Área de concesión	2 251	Km <sup>2</sup>
Redes en baja tensión	383	Km
Redes en media tensión	241	km
Punto de suministro		
SE Piura Oeste	220/60 kV 100/100/60 MVA	
Subestación de distribución conformantes		
	9	MVA
SE La Unión (máxima demanda)	5,7	MW
	3,5	MVA
SE Sechura (máxima demanda)	2,49	MW
	9	MVA
SE Constante (máxima demanda)	3,81	MW

Fuente: DGE Ministerio de Energía y Minas

En la figura 20 se presenta el diagrama unifilar del servicio mayor Bajo Piura.

Del mismo modo se presenta la información referente al diagrama de carga típico de la SE Sechura para el mes de diciembre 2020, mes en el cual se realizó la mayor demanda histórica para el año 2020.

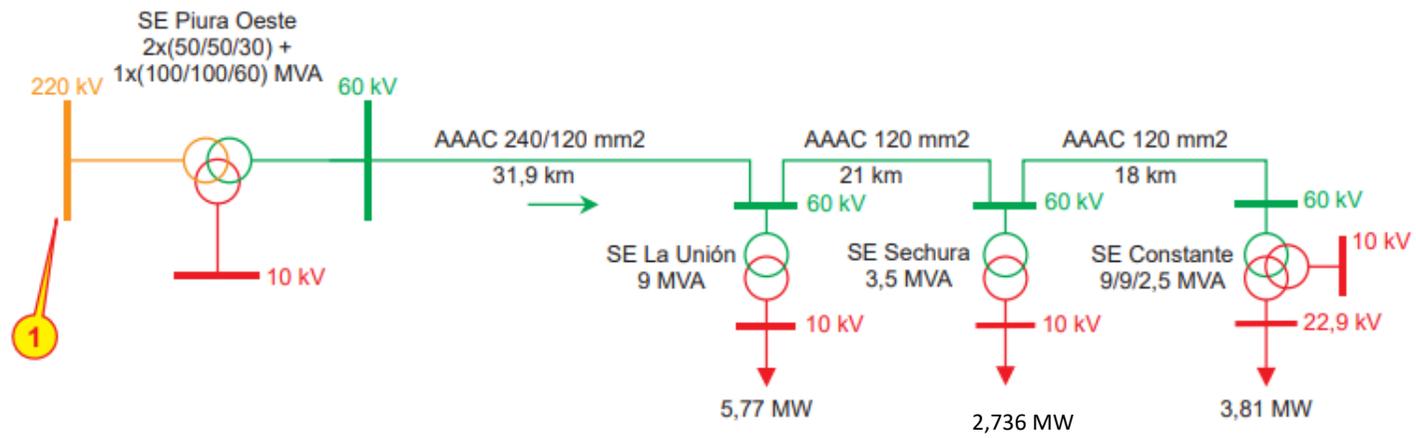


Figura 20 Diagrama unifilar de servicio mayor Bajo Piura  
Fuente: Anuario 2019 de OSINERGMIN

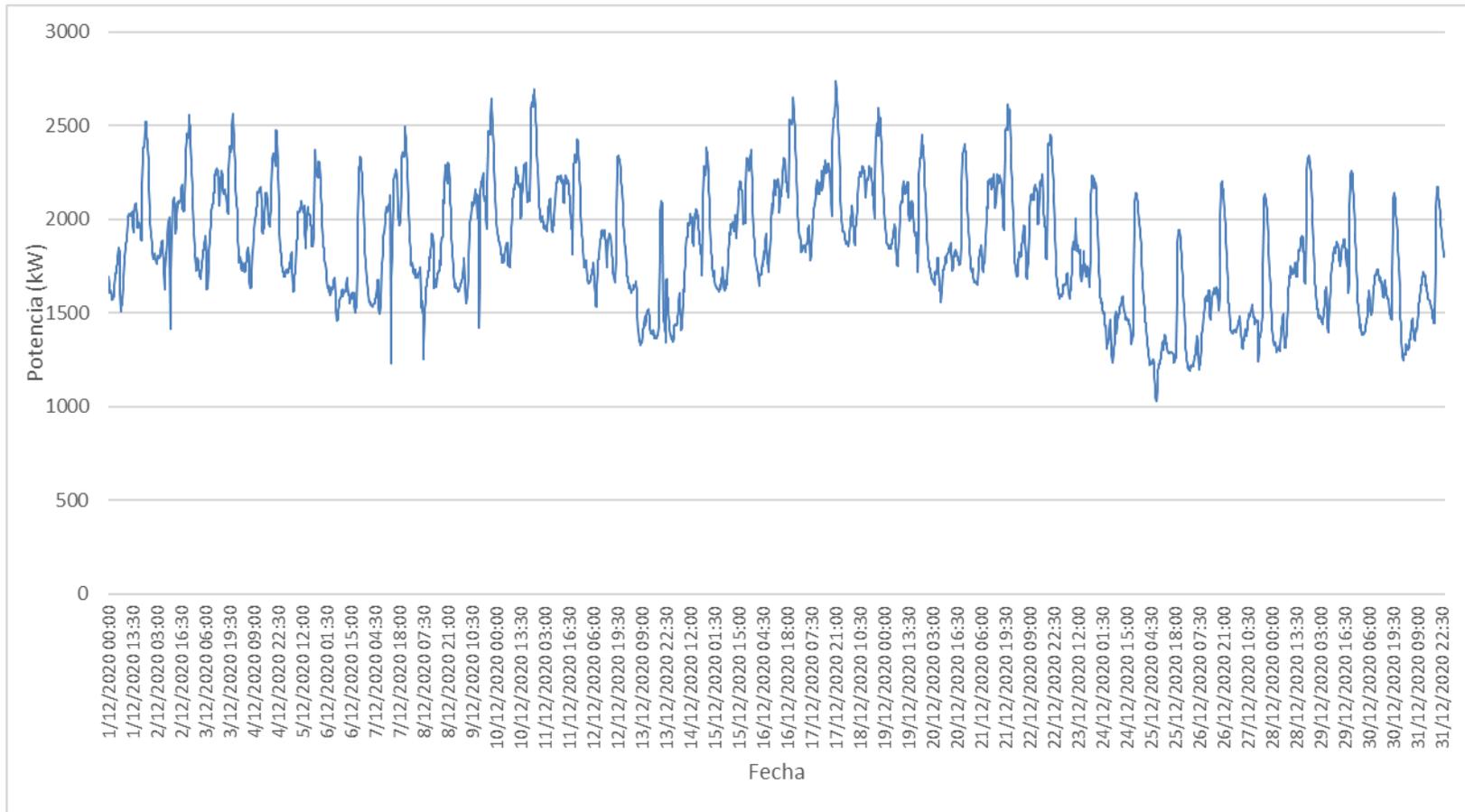


Figura 21 Diagrama de carga mensual del Mes de Diciembre SE Sechura  
Fuente: Elaboración propia con información suministrada por ENOSA.

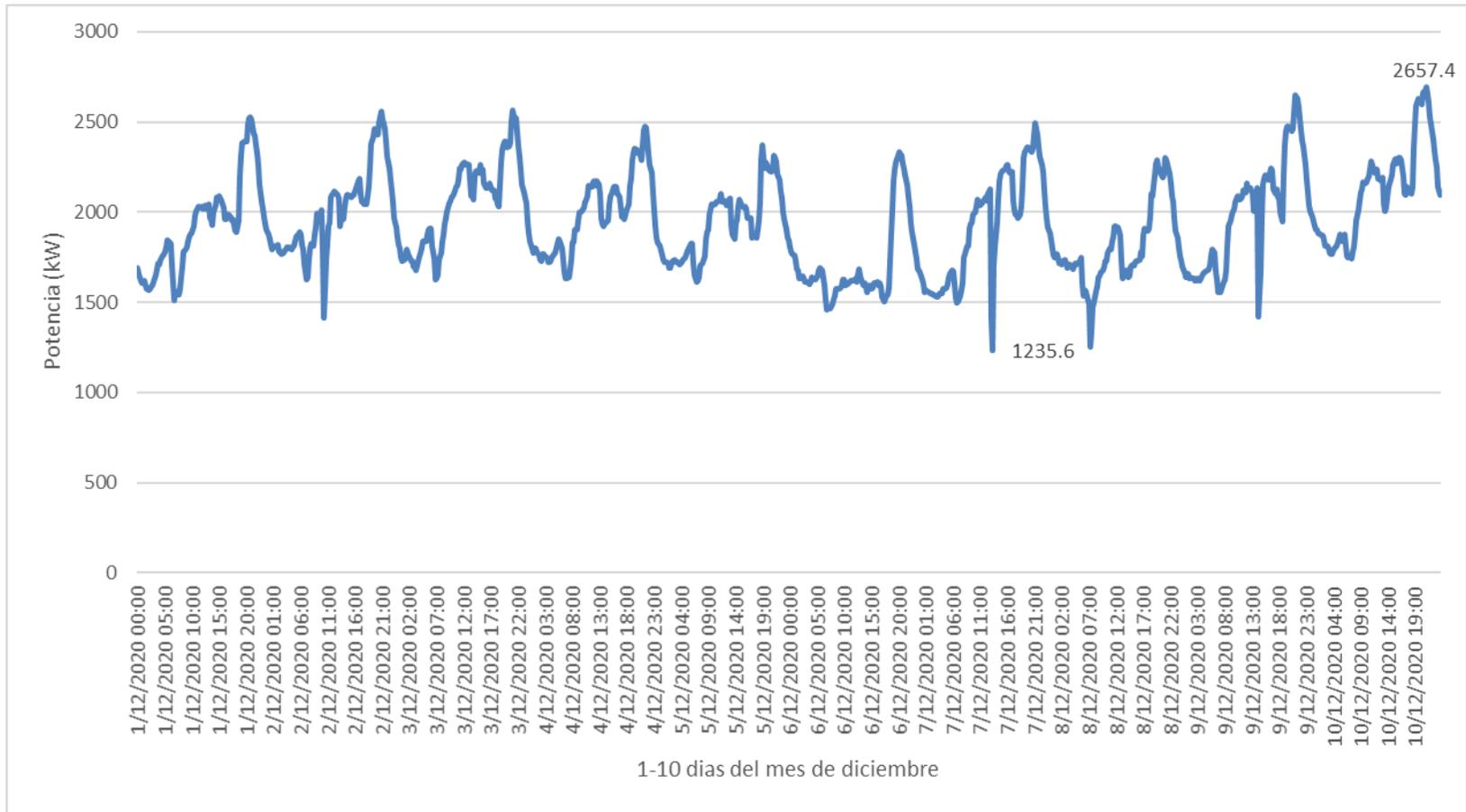


Figura 22 Diagrama de carga de los días 1 al 10 del Mes de diciembre 2020 SE Sechura  
Fuente: Elaboración propia con información suministrada por ENOSA.

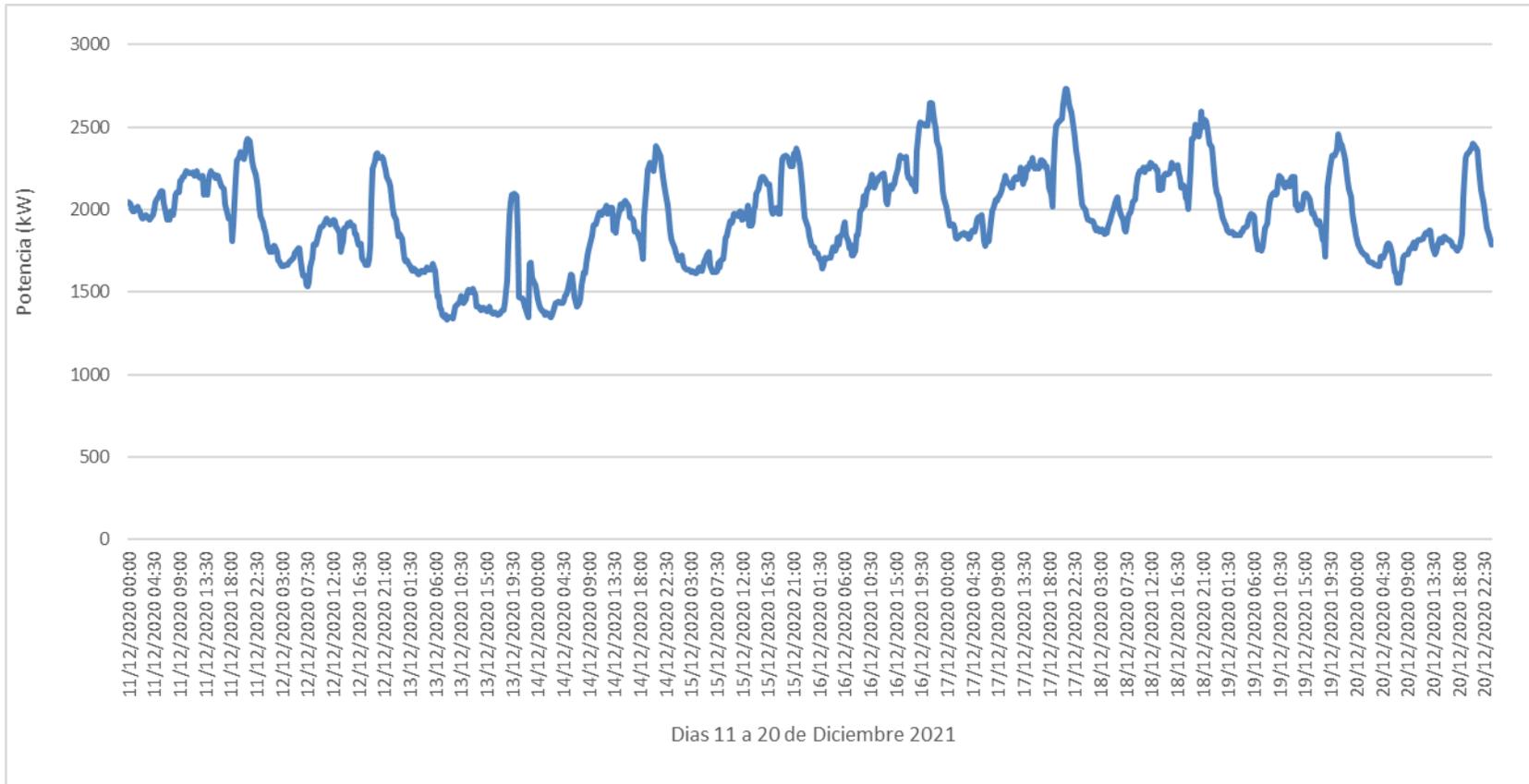


Figura 23 Diagrama de carga de los días 11 al 20 del Mes de diciembre 2020 SE Sechura  
Fuente: Elaboración propia con información suministrada por ENOSA.

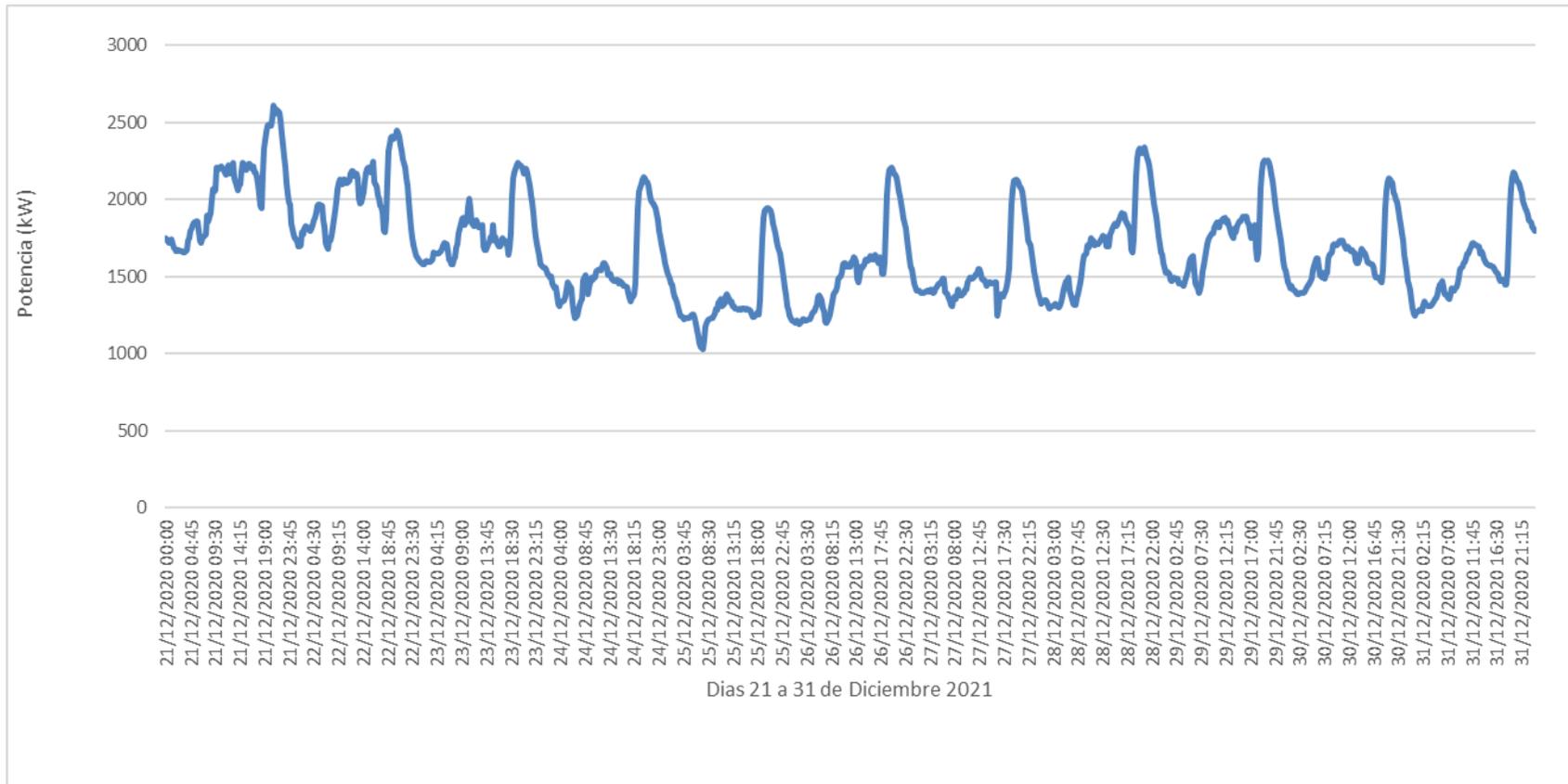


Figura 24 Diagrama de carga de los días 21 al 31 del Mes de diciembre 2020 SE Sechura  
Fuente: Elaboración propia con información suministrada por ENOSA.

Se presenta el diagrama de carga del día 17 de diciembre del 2012, fecha en la cual se ha presentado la máxima demanda del SE Sechura. Con una máxima demanda de 2 736 kW.

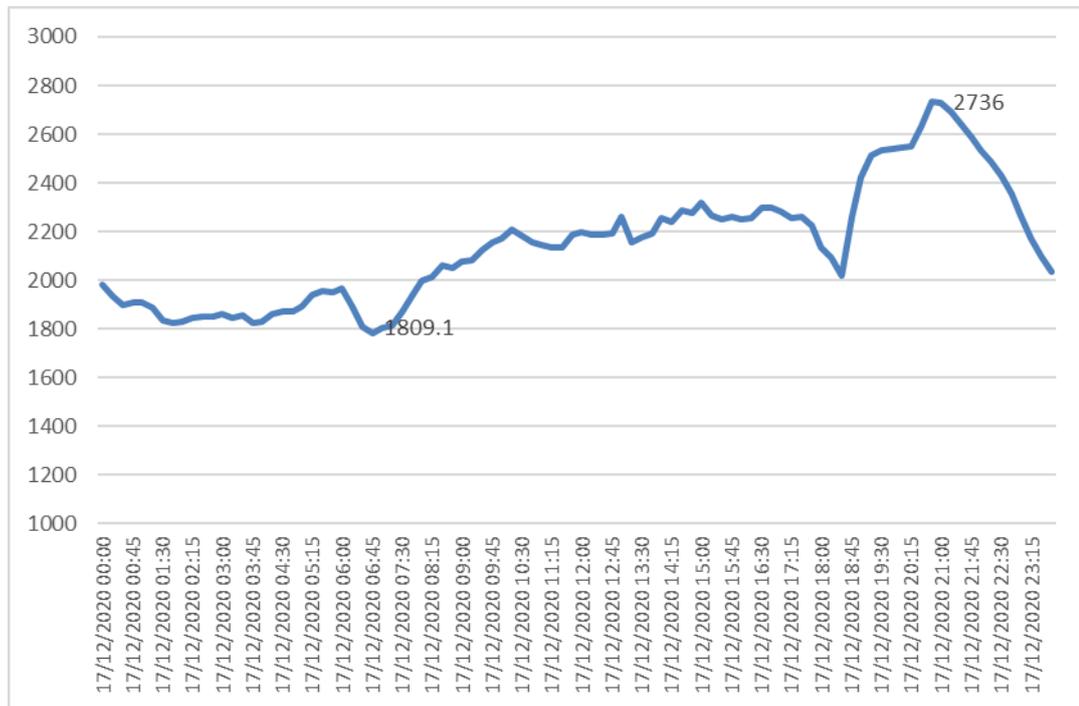


Figura 25 Diagrama de carga del día 17 de diciembre 2020 SE Sechura  
Fuente: Elaboración propia con información suministrada por ENOSA.

Del mismo modo la SE cuenta con 04 grupos electrógenos antiguos con una Potencia efectiva instalada de 2 320 MW de las siguientes características:

Tabla 04 Grupos Electr6genos de emergencia SE Sechura

Especificaci6n	Detalle/Valor	Unidad
Grupo Electr6geno 1		
Marca	Škoda	
Potencia	1 000	kW
Flujo de combustible a plena carga	58,5	Gal/h
Grupo Electr6geno 2		
Marca	Škoda	
Potencia	500	kW
Flujo de combustible a plena carga	29,5	Gal/h
Grupo Electr6geno 3		
Marca	Škoda	
Potencia	500	kW
Flujo de combustible a plena carga	29,5	Gal/h
Grupo Electr6geno 4		
Marca	Škoda	
Potencia	320	kW
Flujo de combustible a plena carga	18,9	Gal/h

Fuente: Empresa ENOSA

### 3.1.2 SUSTANCIAS:

Petr6leo BD5: Se presentan las caracter6sticas del Petr6leo BD5 empleado como combustible en GE Skoda.

Tabla 05 Especificaciones de Petr6leo BD5

Especificaci6n	Detalle/Valor	Unidad
Nombre comercial	Petr6leo BD5	
Composici6n	95 % de Petr6leo Diesel y 5 % de Biodiesel B100 (oleaginosas derivadas de productos vegetales libres de azufre)	
Poder Calor6fico inferior	9 860	Kcal/kg
Densidad	3,29	Kg/gal6n
Numero de cetano	45	
Cenizas	0,01	% masa

Fuente: OSINERGMIN y Petroper6.

Gas Natural: Se presentan las caracter6sticas del Gas Natural empleado como combustible en Grupos Electr6genos.

Tabla N°0 6 Especificaciones del gas natural

Especificación	Detalle/Valor	Unidad
Nombre comercial	Gas Natural	
Composición	90 % Metano, 7 % Etano y 3% otros componentes)	
Poder Calorífico inferior	50 000	KJ/kg
Densidad	0,64	Kg/m3

Fuente: OSINERGMIN.

### 3.2 METODO.

#### 3.2.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN:

La Investigación es del tipo:

- Descriptiva: La Investigación es descriptiva ya que se empleó la información real referente a los diagramas de carga en la SE Sechura del Servicio Mayor Bajo Piura, sobre el cual se realiza la cobertura de energía eléctrica con grupos electrógenos.
- Cuantitativa según el tipo de datos empleados: Se establecen resultados numéricos referente a la cobertura de la demanda por parte de los grupos en función a sus características de operación en relación al tipo de potencia: stand by, prime o continuo.
- No experimental, según el grado de manipulación de las variables: Porque no se altera el objeto de la investigación.

#### 3.2.2 DISEÑO:

Se utilizo el diseño pre-experimental, que se utiliza para establecer una relación entre la causa y el efecto de una situación. Es un diseño de investigación donde se observa el efecto causado por la variable independiente sobre la variable dependiente.



O1: Cobertura de la demanda de la S.E Sechura sin grupo electrógeno.

O2: Cobertura de la demanda de la S.E Sechura con grupo electrógeno.

X: Potencia del Grupo Electrógeno

G.E: Grupo de estudio. En este caso es la S.E Sechura.

#### 3.2.4 TECNICAS E INSTRUMENTOS:

Las técnicas de recolección de información fueron:

Técnica de campo u Observación, que consiste en observar personas, hechos, acciones, situaciones, etc., para obtener una determina información que se pretende investigar (Hernández y otros, 2010, p. 173).

Técnica documental o Documentación, es una labor mediante un trabajo intelectual extraemos unas nociones de una fuente documental (Hernández y otros, 2010, p. 142), La técnica documental permite la recopilación de información para enunciar las teorías que sustentan el estudio de los fenómenos y procesos. Incluye el uso de instrumentos definidos según la fuente documental a que hacen referencia.

Los instrumentos de recolección de datos fueron los siguientes:

Diagramas de carga: Información gráfica que permite registrar el comportamiento de una variable física en función del tiempo.

Registro de información, consiste en un instrumento de recolección de información a registrar de acuerdo a los factores que son resultados antes y después referente a la cobertura de la demanda en la S.E Sechura.

Ficha técnica, son instrumentos que permitieron el registro e identificación de las fuentes de información, en este caso catálogos de los grupos electrógenos en análisis.

### 3.2.6 METODOLOGIA DE CALCULO:

Se realizo la siguiente secuencia de cálculo para los resultados del informe:

Determinación de la cobertura de la demanda con los Grupos electrógenos stand by o emergencias actuales, los cuales operan con petróleo BD5. Para lo cual se tendrá en cuenta las restricciones de cobertura de la demanda y de las características operativas de los grupos electrógenos con potencia stand by o emergencia.

Así tenemos: 500 horas continuas al año con Factor de utilización de 100% o 700 horas al año con un factor de utilización de 70%.

Para el factor de utilización se tiene la siguiente ecuación:

$$F.U = \frac{\text{Energia real generada}}{P_{ef} * 8760 \text{ horas}} \dots \dots (13)$$

Se utilizaron las mejores condiciones de cobertura de la demanda para los grupos stand by, 700 horas/año y factor de utilización del 70 %.

$$0.7 = \frac{\text{Energía real generada}}{P_{ef} * 700 \text{ horas}} \dots \dots \dots (14)$$

Determinación de la cobertura de la demanda con los Grupos electrógenos con potencia prime, el número de horas de operación permisibles por año es ilimitado para aplicaciones de carga variable, pero está limitada para aplicaciones de carga constante en función al factor de utilización igual a 70 %. Se dispone de una capacidad de sobrecarga del 10 % para un periodo de 1 hora en un periodo de operación de 12 horas, pero no debe exceder de 400 horas al año. Se optará por operar en rasurado de picos en la cobertura de la demanda o como carga base limitada o continua según las siguientes ecuaciones:

Para carga base continua:

$$0.7 = \frac{\text{Energía real generada}}{P_{ef} * 8\,760 \text{ horas}} \dots \dots \dots (15)$$

Para carga variable en rasurados de picos:

$$1 = \frac{\text{Energía real generada}}{P_{ef} * 8\,760 \text{ horas}} \geq 0.7 \dots \dots \dots (16)$$

Así mismo por lo menos 1 hora/año:

$$1.1 = \frac{\text{Energía real generada}}{P_{ef} * 365 \text{ horas}} \dots \dots \dots (17)$$

Determinación de la cobertura de demanda según potencia comercial continua, para cargas no variables del 100%, utilizada sin límite de tiempo. No admite sobrecarga. Factor de utilización 100%.

Operación como carga base en operación variable o constante.

$$1.0 \geq \frac{\text{Energía real generada}}{P_{ef} * 8\,760 \text{ horas}} \dots \dots \dots (18)$$

Para el cálculo del heat rate se aplicó la ecuación 9 y para los cálculos de los costos variables combustibles totales se aplicó las ecuaciones 10 y 11.

Del mismo modo para el costo anual de la generación (C.A.G) para cada de las alternativas se aplicó la siguiente ecuación.

$$C. A. G = \text{Energía anual generada} * C. V. T \dots (19)$$

Se desarrollarán las siguientes alternativas para la cobertura de la demanda de energía:

Alternativa 1: Cobertura de la demanda con GE actuales y red eléctrica de la Empresa ENOSA.

Alternativa 2: Cobertura total de la demanda con GE con potencia prime.

Alternativa 3: Cobertura total de la demanda con GE con potencia continuo y red eléctrica de la Empresa ENOSA.

Para la cobertura de la demanda se tomó como base el mes de mayor demanda del año 2020, el cual es de diciembre. (cuyos reportes de demanda se presentan en las figuras 21 a la 25).

#### 4. Cálculos y Resultados.

##### 4.1 Cobertura de la demanda de energía en condiciones actuales.

##### 4.1.1 Comportamiento de la demanda de la S.E Sechura:

En función a las figuras 19,20,21 y 22 se tienen los siguientes indicadores para el mes de máxima demanda.

Máxima demanda = 2 736 kW.

Mínima demanda = 1 032,2 kW.

Energía activa consumida = 1'378 475,2 kWh.

$$Demanda Promedio = \frac{1'378\ 475,2\ kWh}{720\ h} = 1\ 914,5\ kW$$

$$Factor\ de\ Carga = \frac{1'378\ 475,2}{2\ 736 * 720} = 70\ \%$$

En función a la figura 23 se tienen los indicadores para el día de máxima demanda del mes de diciembre 2021 el cual fue el 17.12.2020.

Máxima demanda = 2 736 kW.

Mínima demanda = 1 809,1 kW.

Energía activa consumida = 51 435,9 kWh.

$$Demanda Promedio = \frac{51\ 435,9\ kWh}{24\ h} = 2\ 143,2\ kW$$

$$Factor\ de\ Carga = \frac{51\ 435,9}{2\ 736 * 24} = 78,3\ \%$$

En función a las figuras 19,20,21 y 22 se tienen los indicadores para el día de mínima demanda del mes de diciembre 2021 el cual fue el 25.12.2020.

Máxima demanda = 1 944,6 kW.

Mínima demanda = 1 032,2 kW.

Energía activa consumida = 33 124 kWh.

$$Demanda\ Promedio = \frac{33\ 124\ kWh}{24\ h} = 1\ 380\ kW$$

$$Factor\ de\ Carga = \frac{33\ 124}{1\ 944,6 * 24} = 70,9\ \%$$

#### 4.1.2 Cobertura de la demanda:

##### Premisas:

La demanda de la energía es cubierta por Grupos electrógenos de potencia stand by y a través de la red de suministro de la Empresa Distribuidora ENOSA.

##### Cálculos:

Determinación de la energía anual generada por los grupos electrógenos:

$$Energia\ total\ anual\ generada\ con\ GE = Potencia\ GE * 700\ horas$$

$$Energia\ total\ anual\ generada\ con\ GE = 2\ 320\ kW * 700\ horas = 1\ 624\ 000\ kWh$$

Determinación de la energía mensual generada por los grupos electrógenos:

$$Energia\ total\ mensual\ generada\ con\ GE = \frac{1\ 625\ 000\ kWh}{12\ meses} = 135\ 333\ \frac{kWh}{mes}$$

Energía total demandada para el mes de diciembre 2020, se obtiene integrando la curva de demanda de la figura 19, del cual se obtiene el siguiente resultado:

$$Energia\ mensual\ requerida = 1\ 378\ 475,2\ kWh/mes$$

Fracción de energía eléctrica demandada cubierta con GE stand by.

$$Fraccion\ de\ energia\ electrica\ cubierta\ por\ GE_{SB} = \frac{135\ 333}{1\ 378\ 475,2} * 100\% = 9,82\ \%$$

Determinación del Heat Rate promedio de los GE con potencia stand by. Teniendo en cuenta los valores de potencia efectiva y consumo de combustible a plena carga de la tabla 2 se tiene el siguiente resultado:

$$\text{Heat Rate } GE_{SB} = \frac{58,5 + 29,5 + 29,5 + 18,9}{1\,000 + 500 + 500 + 320} = 0,0588 \frac{\text{galon}}{\text{kWh}}$$

Para una densidad del Petróleo BD5 de 3,29 kg/galón.

$$\text{Heat Rate } GE_{SB} = 0,0588 * 3,29 = 0,193 \frac{\text{kg}}{\text{kWh}}$$

Seguidamente se determina el combustible total consumido mensual:

$$\text{Consumo de BD5 en } GE_{SB} = (58,5 + 29,5 + 29,5 + 18,9) * 700 = 95\,480 \frac{\text{galon}}{\text{mes}}$$

El Costo Variable combustible se obtiene según la ecuación 11 y con una tasa de cambio para marzo 2021 de 3,71 Soles/U\$ y un precio del petróleo BD5 en Piura de 10,65 soles/galón.

$$CVC \, GE_{SB} = 0,0588 \frac{\text{galon}}{\text{kWh}} * 10,65 \frac{\text{soles}}{\text{galon}} * \frac{U\$}{3,71 \text{ soles}} = 0,1688 \frac{U\$}{\text{kWh}}$$

$$CVC \, GE_{SB} = 168,8 \frac{U\$}{\text{MWh}}$$

Se toma como referencia el costo variable no combustible del GE Chilina con BD5 según el Informe Técnico 193-2020 OS/CD para la publicación de las tarifas en barra vigente para el periodo mayo 2020 a abril 2021.

$$CVNC \, GE_{SB} = 2,45 \frac{U\$}{\text{MWh}}$$

Por lo tanto, el costo variable total es igual a:

$$CVCT \, GE_{SB} = 168,8 + 2,45 = 171,25 \frac{U\$}{\text{MWh}}$$

Seguidamente se determina el Costo de operación de GE operando a plena carga:

Precio del Petróleo Biodiesel BD5 10,51 S/. /galón.

$$\text{Costo de generacion } GE_{SB} = CVT GE_{SB} * 135\,333 \text{ MWh}$$

$$\text{Costo de generacion } GE_{SB} = 23\,175,78 \frac{U\$}{mes}$$

El costo de la Energía Eléctrica para el Servicio Mayor Bajo Piura es 0,3242 S/ /kWh (Precio medio de la energía para la Barra de Piura según Informe Técnico 193-2020 OS/CD para la publicación de las tarifas en barra vigente para el periodo mayo 2020 a abril 2021)

Seguidamente se determina el valor de la energía suministrada por la red de distribución de ENOSA.

$$\text{Energía mensual requerida} = 1'378\,475,2 \text{ kWh/mes}$$

$$\text{Energía mensual servida con } GE_{SB} = 135\,333 \text{ kWh/mes}$$

$$\text{Energía mensual servida por ENOSA} = 1'378\,475,2 - 135\,333 = 1'243\,142,2 \text{ kWh/mes}$$

$$\text{Costo de la Energía servida por ENOSA} = 1'243\,142,2 \frac{kWh}{mes} * 0,3242 \frac{Soles}{kWh} * \frac{U\$}{3,71 \text{ Soles}}$$

$$\text{Costo de la Energía servida por ENOSA} = 108\,632,53 \frac{U\$}{mes}$$

Si:

$$\text{Costo de generacion } GE_{SB} = 23\,175,78 \frac{U\$}{mes}$$

Entonces el costo total de la energía es:

$$\text{Costo de la Energía Alternativa 1} = 108\,632,53 + 23\,175,78 = 131\,808,31 \frac{U\$}{mes}$$

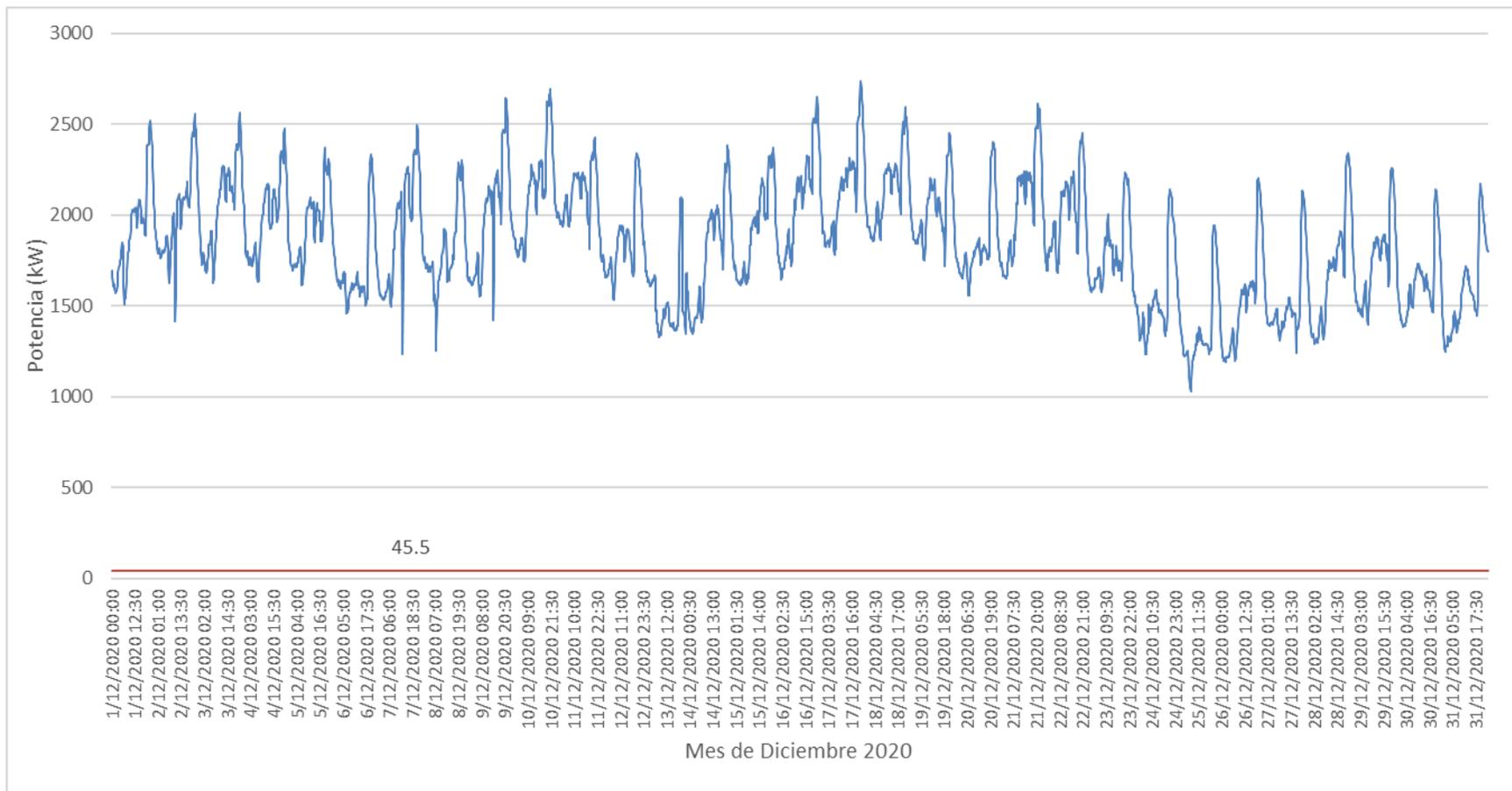


Figura N°26 Cobertura de la demanda en SE Sechura con GE Stand By operando en base

## 4.2 Cobertura de la demanda con grupos electrógenos.

### 4.2.1 Alternativa 2: Cobertura total de la demanda con GE con potencia prime.

Premisa:

La cobertura de la demanda eléctrica es cubierta por GE con potencia prime.

Se seleccionarán dos grupos electrógenos prime con las siguientes características:

- GE N° 1: Operando en la cobertura de la demanda hasta 70 % de factor de uso.
- GE N° 2: Operando en la cobertura de la demanda hasta 70 % de factor de uso.

Determinación de la potencia prime para carga base.

Según el diagrama de carga de la figura 19 se obtiene el valor mínimo mensual de demanda, el cual ocurre el 25/12/2,020 a las 7.30 am con un valor de 1 032,2 kW.

Así mismo la máxima demanda es igual a 2 736 kW el cual ocurre el 17/12/2,020 a las 20.45 pm

$$\text{Energía mensual requerida} = 1'378\,475,2 \text{ kWh/mes}$$

$$\text{Factor de Uso de diseño} = \frac{1'378\,475,2 \text{ kWh/mes}}{31 \frac{\text{días}}{\text{mes}} * 24 \frac{\text{horas}}{\text{día}} * 2\,736 \text{ kW}} * 100 \% = 67,71 \%$$

$$\text{Demanda Promedio} = \frac{1'378\,475,2}{31 * 24} = 1\,852,8 \text{ kW}$$

Según el Informe Técnico 193-2020 OS/CD para la publicación de las tarifas en barra vigente para el periodo mayo 2020 a abril 2021 se toma como referencia la tasa de crecimiento de la potencia del SEIN igual a 2,8%, para un periodo de análisis de 10 años,

$$\text{Demanda}_{\text{proyectada}} = 2\,736 * (1 + 0,028)^{10} = 3\,606 \text{ kW}$$

Para el valor de la Potencia comercial Prime del grupo electrógeno se tomará el valor más cercano del catálogo de la empresa Modasa: Modelo MCP-1900, Motor CUMMINS QSK 60 - G6.

$$\text{Potencia Comercial Prime GE} = 2 \text{ GE de } 1\,840 \text{ kW} = 3\,680 \text{ kW}$$

El factor de uso ponderado de los GE es la siguiente:

$$\text{Factor de Uso de operacion} = \frac{1'378\,475,2 \text{ kWh/mes}}{31 \frac{\text{dias}}{\text{mes}} * 24 \frac{\text{horas}}{\text{dia}} * 3\,680 \text{ kW}} * 100 \% = 50,34 \%$$

Factor de Carga de grupo electrógeno:

$$\text{Factor de Carga promedio} = \frac{1\,852,2}{3\,680} * 100\% = 50,33 \%$$

$$\text{Factor de Carga maximo} = \frac{2\,736}{3\,680} * 100\% = 74,34 \%$$

Se acepta el diseño debido a que el factor de uso de operación es menor a 70 %. En el cual los dos grupos trabajan en paralelo en la cobertura de la demanda.

Las principales características de los GE son las siguientes:

Tabla 07 Especificaciones técnicas GE Prime

Especificaciones Técnicas	Detalles
Modelo	MCP-1900
Motor	CUMMINS QSK 60 - G6. 16 en V de 4T Gobernación electrónica Combustible Petróleo BD5 con inyección directa Relación de compresión 14:5 sobrealimentado
Alternador	STAMFORD PI 734E 1840 kW-2,300 KVA, F.P 0.8, 2965 Amperios Trifásico 60 Hz 380 V Aislamiento Clase H/Grado de Protección IP 23
Proceso	100 % de carga 469 l/h 75% de carga 370 l/h 50% de carga 269 l/h
Emisiones	Nivel de Ruido máximo 85 dB ISO 8528, ISO 9001:2015

Fuente: Motores Andinos S.A MODASA

Según los datos de proceso para un valor de carga promedio se tiene un consumo de combustible de 269 l/h. (73,13 galón/h)

Seguidamente se determina el valor del Heat Rate en función a factor de carga promedio:

$$\text{Heat Rate GE}_p = \frac{73,13}{1\ 852,2} = 0,0395 \frac{\text{galon}}{\text{kWh}}$$

Para una densidad del Petróleo BD5 de 3.29 kg/galón.

$$\text{Heat Rate GE}_p = 0,0394 * 3,29 = 0,129 \frac{\text{kg}}{\text{kWh}}$$

El Costo Variable combustible se obtiene según la ecuación 11 y con una tasa de cambio para marzo 2021 de 3,71 Soles/U\$ y un precio del petróleo BD5 en Piura de 10,65 soles/galón.

$$\text{CVC GE}_p = 0,0394 \frac{\text{galon}}{\text{kWh}} * 10,65 \frac{\text{soles}}{\text{galon}} * \frac{\text{U\$}}{3,71 \text{ soles}} = 0,1131 \frac{\text{U\$}}{\text{kWh}}$$

$$\text{CVC GE}_p = 113,1 \frac{\text{U\$}}{\text{MWh}}$$

Se toma como referencia el costo variable no combustible del GE Chilina con BD5 según el Informe Técnico 193-2020 OS/CD para la publicación de las tarifas en barra vigente para el periodo mayo 2020 a abril 2021.

$$\text{CVNC GE}_p = 2,45 \frac{\text{U\$}}{\text{MWh}}$$

Por lo tanto, el costo variable total es igual a:

$$\text{CVCT GE}_p = 113,1 + 2,45 = 115,55 \frac{\text{U\$}}{\text{MWh}}$$

Seguidamente se determina el Costo de operación de GE operando a plena carga:

Precio del Petróleo Biodiesel BD5 10,51 S/. /galón.

$$\text{Costo de generacion GE}_p = \text{CVT GE}_p * 1\ 378,47 \text{ MWh}$$

$$\text{Costo de generacion GE}_p = 159\ 282,78 \frac{\text{U\$}}{\text{mes}}$$

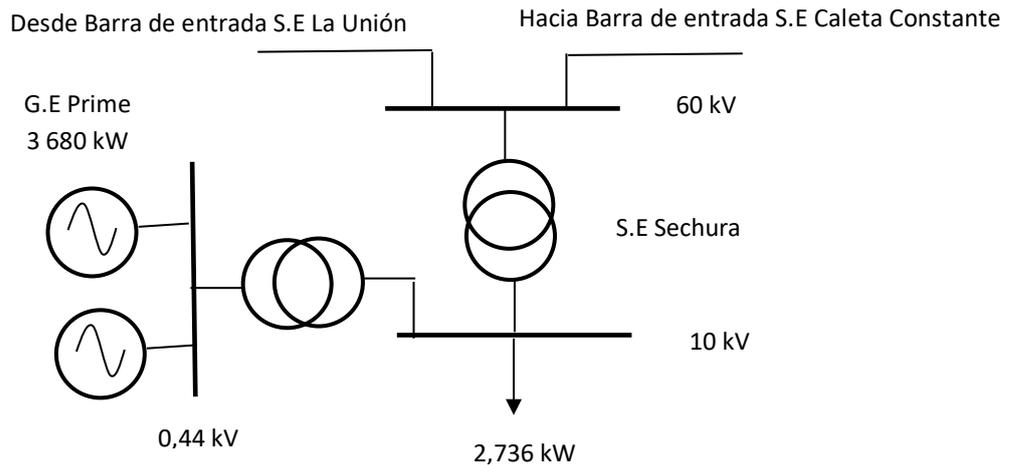


Figura 27 Suministro de cobertura de demanda SE Sechura con GE Prime

#### 4.2.2 Alternativa 3: Cobertura total de la demanda con GE con potencia continuo.

Premisa:

La cobertura de la demanda eléctrica es cubierta por GE con potencia continuo.

Se seleccionarán dos grupos electrógenos continuos con las siguientes características:

- GE N° 1: Operando en la cobertura de la demanda hasta 100 % de factor de uso.
- Diferencia de la demanda cubierta por la red externa.

Determinación de la potencia continua para carga base.

Según el diagrama de carga de la figura 19 se obtiene el valor mínimo mensual de demanda, el cual ocurre el 25/12/2020 a las 7.30 am con un valor de 1 032,2 kW.

Así mismo la máxima demanda es igual a 2,736 kW el cual ocurre el 17/12/2020 a las 20.45 pm

$$\text{Energía mensual requerida} = 1'378\,475,2 \text{ kWh/mes}$$

$$\text{Energía mensual servida} = 1\,032,2 * 31 * 24 = 767\,956,8 \text{ kWh/mes}$$

Según el Informe Técnico 193-2020 OS/CD para la publicación de las tarifas en barra vigente para el periodo mayo 2020 a abril 2021 se toma como referencia la tasa de crecimiento de la potencia del SEIN igual a 2.8%, para un periodo de análisis de 10 años,

$$\text{Demanda}_{\text{proyectada}} = 1\,032,2 * (1 + 0,028)^{10} = 1\,360,5 \text{ kW}$$

Para el valor de la Potencia comercial continuo del grupo electrógeno se tomará el valor más cercano del catálogo de la empresa Enrique Ferreyros S.A: Modelo G3512E PGG, Motor CAT.

$$\text{Potencia Comercial Prime GE} = 1 \text{ GE de } 1\,200 \text{ kW}$$

El factor de uso ponderado de los GE es la siguiente:

$$\text{Factor de Uso de operacion} = \frac{767\,956,8 \text{ kWh/mes}}{31 \frac{\text{dias}}{\text{mes}} * 24 \frac{\text{horas}}{\text{dia}} * 1\,200 \text{ kW}} * 100 \% = 96,0 \%$$

Factor de Carga de grupo electrógeno:

$$\text{Factor de Carga maximo} = \frac{1\,032,2}{1\,200} * 100\% = 96,0 \%$$

Se acepta el diseño debido a que el factor de uso de operación es menor a 100 % y superior al valor de 75 % para un buen desempeño específico del grupo electrógeno. En el cual es grupo electrógenos opera a carga base en paralelo con la red eléctrica externa en la cobertura de la demanda.

Las principales características de los GE son las siguientes:

Tabla 08 Especificaciones técnicas GE Continuo

Especificaciones Técnicas	Detalles
Modelo	G3512E PGG
Motor	CAT 12 en V de 4T Gobernación electrónica Combustible Gas Natural Relación de compresión 11,9:1 sobrealimentado
Alternador	Clase SR4B / Frame 825 / Arrangement 3686956 1,200 kW-1,500 KVA, F.P 0.8, 2165 Amperios Trifásico 60 Hz 440 V Aislamiento Clase H/Grado de Protección IP 22
Proceso	100 % de carga 8,29 MJ/kWh 75% de carga 8,49 MJ/kWh 50% de carga 8,96 MJ/kWh
Emisiones	Nivel de Ruido máximo 85 dB ISO 3046/1. Los datos están dados a temperatura 25°C, 100 kPa de presión barométrica, 152 m de altitud y 30% de humedad relativa. No se admite sobrecarga

Fuente: Enrique Ferreyros S.A

Según los datos de proceso para un valor de carga promedio se tiene un consumo de combustible de 8,32 MJ/kWh al 96.0 % de carga y 96 % de factor de uso.

Seguidamente se determina el valor del Heat Rate en función a factor de carga de operación, teniendo en cuenta las siguientes propiedades y factor de conversión para el gas natural:

Poder calorífico inferior: 50 Mj/kg

Densidad: 0,24 kg/m<sup>3</sup>.

1 MMBTU= 28 m<sup>3</sup>.

$$\begin{aligned} \text{Heat Rate } GE_c &= 8,32 \frac{\text{Mj}}{\text{kWh}} * \frac{\text{kg}}{50 \text{ Mj}} * \frac{\text{m}^3}{0,64 \text{ kg}} * \frac{\text{MMBTU}}{28 \text{ m}^3} * \frac{1\,000 \text{ kW}}{\text{MW}} \\ &= 9,249 \frac{\text{MMBTU}}{\text{MWh}} \end{aligned}$$

El Costo Variable combustible se obtiene según la ecuación 11 y con una tasa de cambio para marzo 2021 de 3,71 Soles/U\$ y un precio del gas natural en Piura de 3,1079 U\$/MMBTU.

$$\text{CVC } GE_c = 9,249 \frac{\text{MMBTU}}{\text{MWh}} * 3,1079 \frac{\text{U\$}}{\text{MMBTU}} = 28,75 \frac{\text{U\$}}{\text{MWh}}$$

Se toma como referencia el costo variable no combustible del GE Independencia con Gas Natural según el Informe Técnico 193-2020 OS/CD para la publicación de las tarifas en barra vigente para el periodo mayo 2020 a abril 2021.

$$\text{CVNC } GE_c = 2,45 \frac{\text{U\$}}{\text{MWh}}$$

Por lo tanto, el costo variable total es igual a:

$$\text{CVCT } GE_c = 28,75 + 2,45 = 31,2 \frac{\text{U\$}}{\text{MWh}}$$

Seguidamente se determina el Costo de operación de GE operando a plena carga:

$$\text{Costo de generacion } GE_c = \text{CVT } GE_c * 767,9568 \text{ MWh/mes}$$

$$\text{Costo de generacion } GE_p = 23\,960,25 \frac{\text{U\$}}{\text{mes}}$$

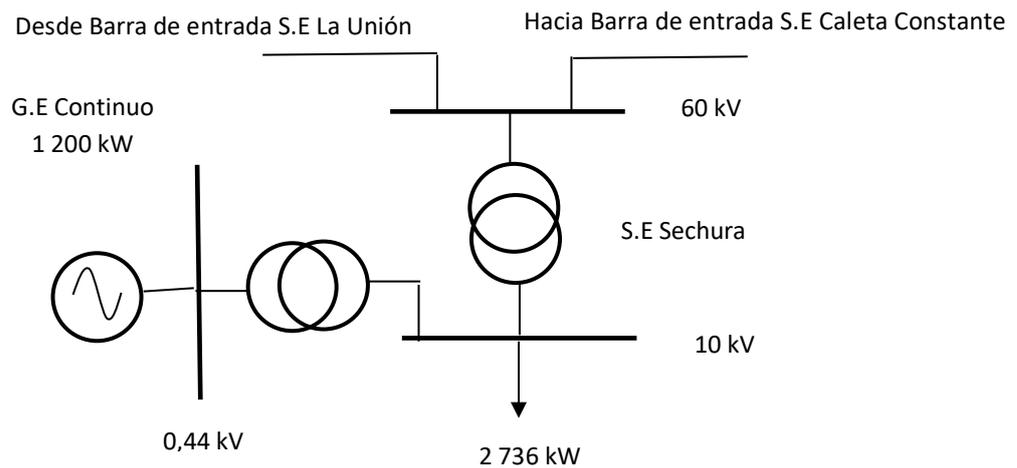


Figura 28 Suministro de cobertura de demanda SE Sechura con GE Continuo

El costo de la Energía Eléctrica para el Servicio Mayor Bajo Piura es 0,3242 S/ /kWh (Precio medio de la energía para la Barra de Piura según Informe Técnico 193-2020 OS/CD para la publicación de las tarifas en barra vigente para el periodo mayo 2020 a abril 2021) Seguidamente se determina el valor de la energía suministrada por la red de distribución de ENOSA.

$$\text{Energía mensual requerida} = 1'378\,475,2 \text{ kWh/mes}$$

$$\text{Energía mensual servida con GE} = 767\,956,8 \text{ kWh/mes}$$

$$\text{Energía mensual servida por ENOSA} = 1'378\,475,2 - 767\,956,8 = 610\,518,4 \text{ kWh/mes}$$

$$\text{Costo de la Energía servida por ENOSA} = 610\,518,4 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} * 0,3242 \frac{\text{Soles}}{\text{kWh}} * \frac{\text{U\$}}{3,71 \text{ Soles}}$$

$$\text{Costo de la Energía servida por ENOSA} = 53\,350,42 \frac{\text{U\$}}{\text{mes}}$$

Si:

$$\text{Costo de generacion GE}_P = 23\,960,25 \frac{\text{U\$}}{\text{mes}}$$

Entonces el costo total de la energía es:

$$\text{Costo de la Energía Alternativa 3} = 53\,350,42 + 23\,960,25 = 77\,310,67 \frac{\text{U\$}}{\text{mes}}$$

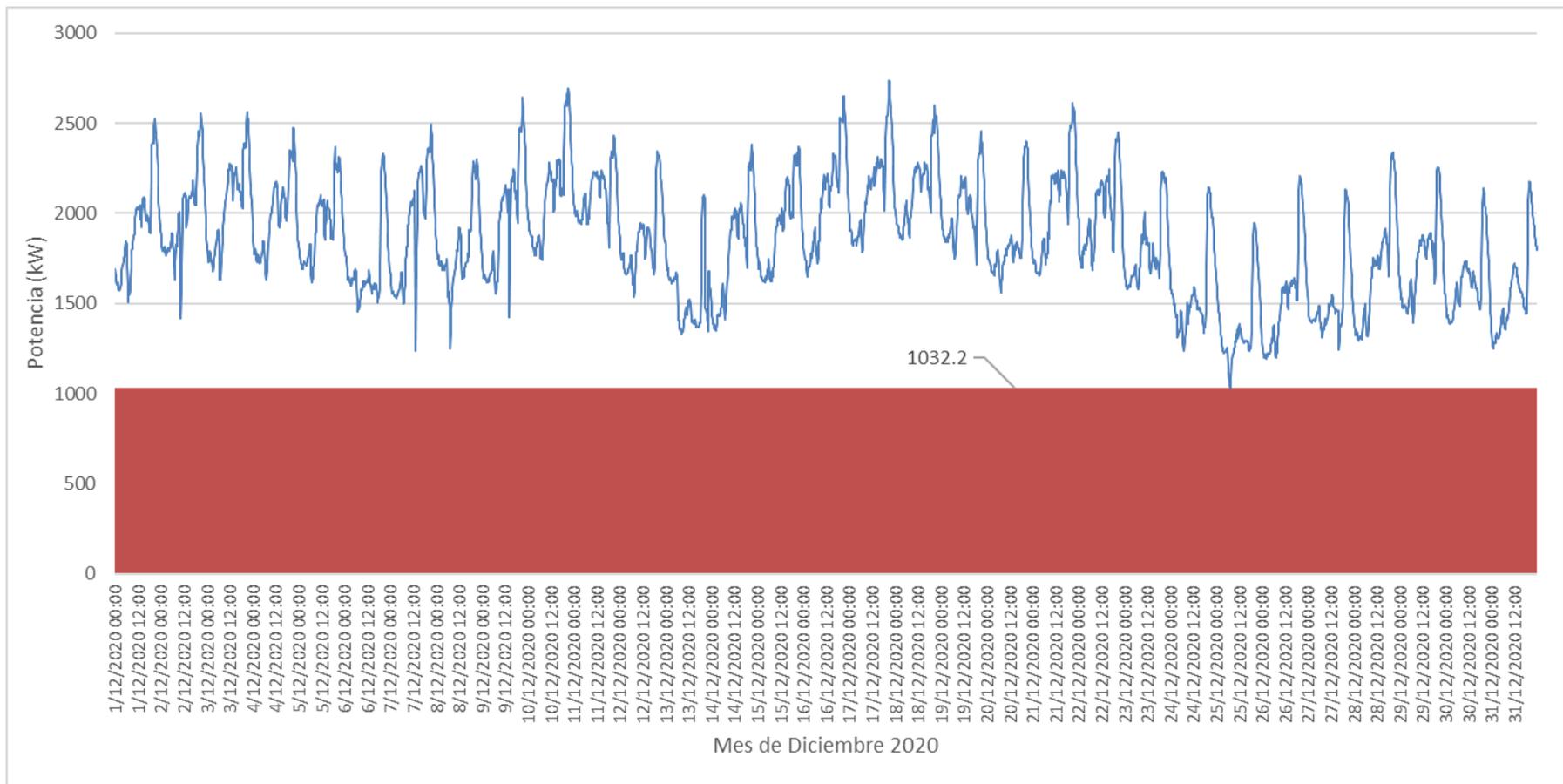


Figura 29 Diagrama de carga para suministro de cobertura de demanda SE Sechura con GE Continuo

### 4.3 Benchmarking entre alternativas.

Se presentan los siguientes resultados:

En la figura N° 30 para distintos tipos de potencias , con 2 GE de potencia prime con petróleo BD5 operando a cargas parciales y de factor de uso se cubre la totalidad de la demanda y la energía requerida por el SE Sechura, asignándosele el 100 % de la generación de energía necesaria , para la cobertura total de la demanda requerida, Del mismo modo con un solo GE continuo con gas natural se cubre el 55,71 % de la energía requerida por la SE Sechura la cual representa el 37,7 % de la máxima demanda y el 43,29 % del costo de la energía necesaria en la cobertura de la demanda. Mientras que con el GE de potencia stand by con petróleo BD5 operando de manera constante bajo las restricciones constructivas, solo cubre el 1,66 % de la máxima demanda, con lo cual se satisface tan solo el 9,82 % de la energía eléctrica requerida, representando el 21,34% del costo de la energía eléctrica.

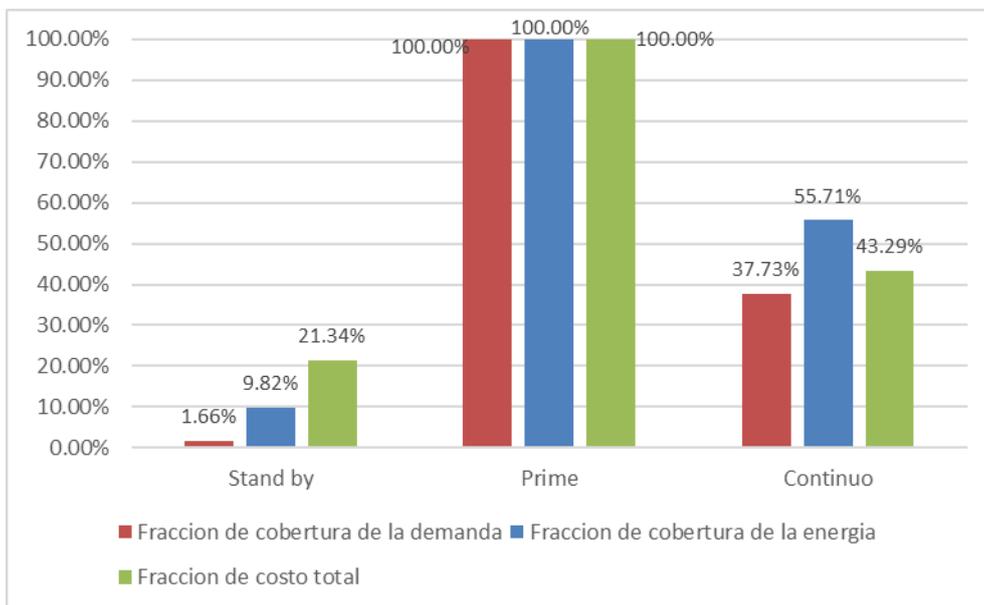


Figura 30 Fracciones de demanda, energía y costos para la SE Sechura.

En la figura 31 se presenta el comparativo entre los costos variables totales para cada una de las tres alternativas de cobertura de la energía eléctrica en la SE Sechura: Así tenemos que es más económico la operación de un grupo electrógeno cuando se opera con gas natural, para este caso el GE de potencia continuo tiene un CVT igual a 31,2 % U\$/MWh,

lo que representa el 27 % del CVT de un GE de potencia prime y el 18,2 % del CVT de un GE de Potencia stand by.

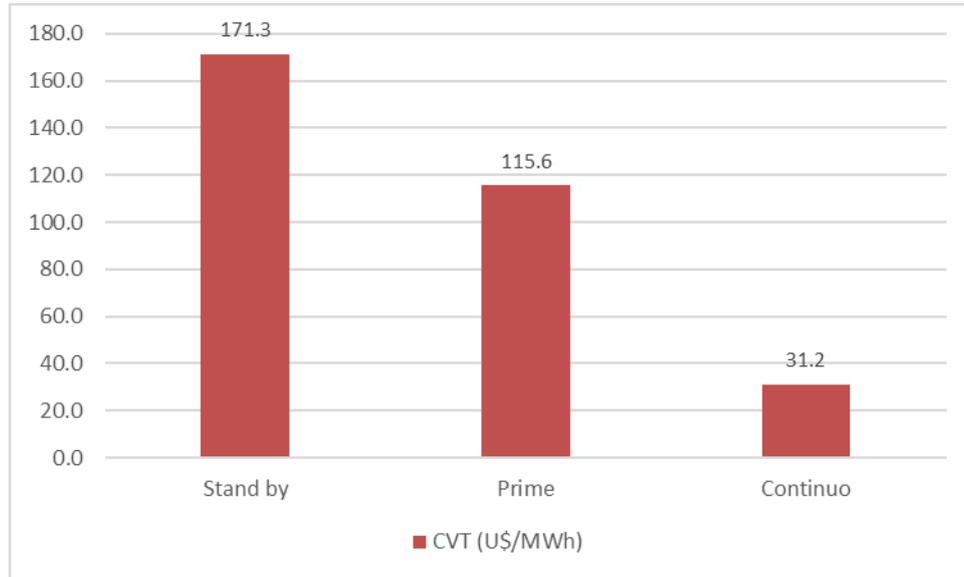


Figura 31 CVT de GE según tipo de potencia

En la figura 32 se presenta el comparativo entre los costos de generación de energía con GE con distintos tipos de potencia y los costos de la energía asociadas al suministro de energía eléctrica vía red de distribución por parte de la Empresa ENOSA. Así se tiene que con la Alternativa 3 operando como carga base el GE de potencia continuo se tiene un costo total de 77 310,67 U\$/mes, donde la generación de energía eléctrica con GE de potencia continuo es igual a 23 960,25 U\$/Mes.

Del mismo modo operando con las restricciones constructivas de los GE de potencia stand by se tiene un costo de la generación de 131 808,31 U\$/mes lo que representa 1.7 veces más que el costo de la Alternativa 3.

Para el caso de la Alternativa 2, el costo de la energía es de 159 282,78 U\$/mes lo que representa 2,06 veces el costo de la Alternativa 3.

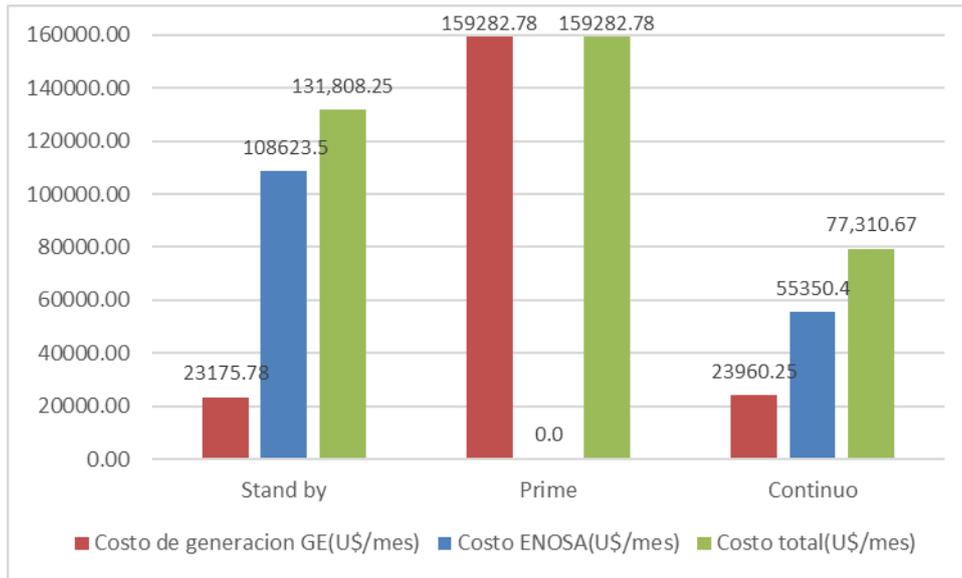


Figura 32 Costos representativos de la energía eléctrica en la cobertura de la demanda en SE Sechura.

#### 4.4 Discusión de resultados.

Para la cobertura de la demanda en la SE Sechura del Servicio Mayor de Bajo Piura la mejor alternativa de suministro contempla la instalación de un grupo electrógeno de potencia continuo de 1 200 kW operando de forma constante a una potencia de 1 032,2 kW. El grupo electrógeno es del modelo CAT G3512E PGG 12 en V sobrealimentado quien opera al 96 % de factor de carga y 96% de factor de uso, con lo cual se cubre el 55,71 % de la energía requerida, lo restante es cubierto según la demanda del SE Sechura con la energía proveniente de la red de distribución perteneciente a la zona de concesión de la Empresa ENOSA. Por lo contrario, Granda (2015) utiliza un GE de potencia stand by CAT modelo 3516B de 1 825 kW para la Cia. Minera ARASI S.A.C para la cobertura de los picos de demanda mientras que la demanda base es cubierta por la red externa.

Se coincide con lo propuesto por Hidalgo (2018) y Morales (2008) , quienes manifiestan sobre la importancia de la información para proyectar las demandas futuras, para nuestro caso se ha tomado como base la información de la SE Sechura para el mes de diciembre 2020 (periodo mensual en la cual es recurrente la presencia de la máxima demanda en la menciona zona de concesión) para esto se cuenta con la información de consumo mensual cada 15 minutos y también es importante resaltar la información contenida en

el Informe Técnico 193-2020 OS/CD para la publicación de las tarifas en barra vigente para el periodo mayo 2020 a abril 2021, en donde se detalla la información actualizada de costos de generación de energía eléctrica y valores de crecimiento de la demanda aplicables al sector eléctrico Peruano.

Es muy importante recalcar que la disponibilidad de los grupos electrógenos según su tipo de potencia, combustible utilizado y restricciones técnicas según la norma ISO3046, AS2789, DIN6271 y BS5514, con la cual se han elaborado tres alternativas de la cobertura de la demanda en la SE Sechura según el tipo de potencia del Grupo Eléctrico, coincidiendo con lo afirmado por Juárez (2016), así tenemos que en la alternativa 1 se contempla la operación de los GE en stand by operando en paralelo con la red eléctrica de distribución, la alternativa 2 contempla la cobertura de la demanda de energía con 02 GE de potencia prime con petróleo BD5 ( los cuales tienen la particularidad de poder operara a cargas parciales y solo hay disponibles en el mercado peruano con petróleo BD5) y la alternativa 3 en la cual se contempla la cobertura de la demanda base con 1 GE de potencia continuo con gas natural operando a 1 032,2 kW en forma constante al 96 % de factor de carga y factor de uso ( mínima demanda del SE Sechura), mientras que el resto de la energía eléctrica es cubierta por la red externa de distribución. Para este último caso no es recomendable que un grupo eléctrico continuo opere con carga variable.

La presente investigación coincide con lo publicado por Palma (2010), quien manifiesta que para determinar el tipo de grupo eléctrico a instalar es necesario, primero que todo determinar la potencia requerida en las distintas condiciones de carga o demanda, de esta forma se elige la potencia y detalles de equipos en base a la situación de carga más desfavorable. El cálculo de potencia es uno de los procesos de mayor importancia a la hora de instalar un grupo eléctrico. Para nuestro caso es de real importancia en la selección de cada alternativa el factor de uso, factor de carga y las condiciones de régimen de operación (carga variable o carga constante) en la selección de la potencia del grupo eléctrico, según la disponibilidad de estos presentes en el mercado peruano. Para nuestro caso se consigue un mejor desempeño técnico y económico con la alternativa 3 mediante la operación de un grupo eléctrico continuo operando con gas natural como carga base en la cobertura de la demanda del SE Sechura.

Si bien es cierto Ponce y Montufar(20014) manifiestan que los grupos electrógenos de potencia stand by solo operan en condiciones de emergencia, en la presente tesis tal como se desarrolla la alternativa 1 este tipo de potencia está limitada por el número de horas anuales de operación (700 horas/año) y por sus aspectos constructivos, a diferencia de un grupo electrógeno de potencia continuo que puede operar al 100 % de factor de carga sin limitación de horas de uso anual, lo cual lo hace más económico para cubrir zonas en donde existe problemática de cobertura de demanda eléctrica.

## CONCLUSIONES

- Se caracterizó el comportamiento de la demanda para el mes de diciembre 2020, en el cual se obtuvo una máxima demanda de 2,736 kW, una demanda mínima de 1 032,2 kW, energía total consumida de 1'378 475 y un factor de carga de 70 %, mientras que para el día de máxima demanda el factor de carga es de 78,3 % y para el día de demanda mínima del mes es de 70,9 %.
- Operando en condiciones actuales con suministro combinado entre los grupos electrógenos de potencia stand by y la red de distribución eléctrica de ENOSA se cubre los 03 grupos electrógenos el 9,82 % de la energía requerida mensual operando a una carga base promedio de 45,5 kW generando 135 333 kWh/mes durante 700 horas anuales y con un costo variable total de 171,25 US/MWh operando con petróleo BD5. La operación de los grupos electrógenos tiene un costo de generación de 23 175 U\$/mes, mientras que la generación total es igual a 131 808,31 U\$/mes.
- Se determinó que con 02 grupos electrógenos MCP 1900 Cummins QSK60-G6 con potencia prime operando con petróleo BD5 de 1 840 kW cada uno de ellos se puede cubrir el 100 % de la energía requerida operando ambos alternativamente operando en base y modulado en punta con un factor de uso de 50,33 % y un factor de carga promedio de 74,34%. Tiene un costo variable total igual a 115,55 U\$/MWh, con el cual el gasto por consumo de combustible para los grupos electrógenos es de 159 282,78 U\$/mes.
- Se determinó que como 3 alternativa la cobertura del 55.71 % de la energía requerida por la S.E Sechura mediante 1 grupo electrógeno G3512EP66 CAT de potencia continuo operando con gas natural con una potencia de 1 200 kW con el cual opera con un factor de uso de 96 % y un factor de carga de 96% en carga base con una potencia de 1 032,2 kW, mientras que el resto de la demanda es cubierta con la red de distribución de la empresa ENOSA. Su costo variable total es igual a 31,2 U\$/MWh, con un gasto de 23 960 U\$, mientras que el costo total de suministro es de 77 310,78 U\$.
- Se determinaron los costos variables totales para cada una de las tres alternativas de cobertura de la energía eléctrica en la SE Sechura: Así tenemos que es más económico la

operación de un grupo electrógeno cuando se opera con gas natural, para este caso el GE de potencia continuo tiene un CVT igual a 31.2 % U\$/MWh, lo que representa el 27 % del CVT de un GE de potencia prime y el 18.2 % del CVT de un GE de Potencia stand by. Los costos más eficientes se obtienen con la Alternativa 3 operando como carga base el GE de potencia continuo se tiene un costo total de 77,310.67 U\$/mes, donde la generación de energía eléctrica con GE de potencia continuo es igual a 23,960.25 U\$/Mes.

## RECOMENDACIONES

Está pendiente un estudio de coordinación y rechazo de carga para las alternativas presentadas en la presente investigación, con la finalidad de identificar el proceso de puesta en operación de los grupos electrógenos operando en paralelo con la red eléctrica de la Empresa Distribuidora.

Se sugiere realizar un estudio de costos de mantenimiento para cada uno de los grupos electrógenos de las alternativas presentes en la investigación para identificar el efecto de los costos de mantenimiento sobre el costo variable combustible de los grupos electrógenos.

Es necesario que se importen grupos electrógenos de potencia prime con gas natural o gas licuado de petróleo, los cuales debido a la versatilidad pueden operar cubriendo el 100 % de una demanda eléctrica, el cual actualmente es restringido debido a que solo se cuenta con grupo electrógenos de potencia prime con petróleo BD5 en el mercado nacional.

El Servicio Mayor Bajo Piura es del tipo radial, la cual no es confiable en caso de interrupciones. Se recomienda que la empresa configure una red tipo mallado, para la interconexión de las cuatro barras (Piura, La Unión, Sechura y Constante) con una línea adicional de transmisión entre ellas, para mejorar la confiabilidad del sistema. De tal modo que si ocurre una interrupción de cualquiera de esas líneas todas las cargas de las distintas barras siempre tendrán servicio eléctrico del sistema interconectado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

### Tesis.

Bocanegra, C. y Zubiato, R. (2018). Rango de potencia y tipo de fallas en grupos electrógenos instalados en operaciones industriales, tesis para optar el título de Ingeniero Industrial en la Universidad Privada del Norte de Trujillo, Perú.

Cuadros. (2014). "Upgrade del sistema de control del generador diésel de emergencia de una central térmica de generación". Tesis para optar el título de Ingeniero

Gonzales. (2014). Análisis de grupo electrógeno, ups y sistemas de transferencia automática en un hospital tipo del IMSS de la red del país. Tesis para optar el título de Ingeniero Eléctrico en la Universidad Nacional Autónoma de México.

Guaita y Sarango. (2013). Selección e implementación de un sistema de sobrealimentación, para un vehículo Hyundai H100 motor diésel. Tesis para optar el título de Ingeniero Automotriz en el Instituto Politécnico de Chimborazo de Riobamba en Ecuador.

Granda, A. (2015). Puesta en marcha de un grupo electrógeno Caterpillar de 1 825 kW de potencia nominal para aplicación stand-by a una altura de 4 860 m.s.n.m, tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico en la Universidad Nacional de Ingeniería en Perú.

Hidalgo, F. (2018). Uso de técnicas estadísticas para determinar la proyección de las ventas de Energía eléctrica del sistema interconectado nacional. Tesis para optar el Grado de Maestro en Proyectos de Inversión en la Universidad Nacional Federico Villareal en Perú.

Huaracallo, V. (2017). Balance térmico experimental de funcionamiento de un motor de combustión interna diésel en el laboratorio de ingeniería mecánica de la

universidad nacional del altiplano de Puno. Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico en la Universidad Nacional del Altiplano de Puno en Perú.

Juárez, E. (2016). Diseño e instalación de un grupo electrógeno a gas natural de 2 000 KW en la planta santa clara de la empresa Kimberly Clark para disminuir los costos en consumo de energía eléctrica. Informe de experiencia profesional para optar el Título de Ingeniero Industrial en la Universidad Privada del Norte en Perú.

Mendoza, E. (2017). "Efecto del número de arranques anuales en el incremento del costo de mantenimiento de una central térmica a gas de 25 MW. Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía de la Universidad Nacional del Santa de Chimbote en Perú.

Morales, D. (2008). Pronóstico de la demanda por métodos multivariantes tesis para optar el título de Ingeniero Electricista en la Universidad Nacional del Centro en Perú,

Palma, V. (2018). Selección y mantención de un grupo electrógeno para un buque mercante, tesis para para optar el título de Ingeniero Naval en la Universidad Austral de Chile

Ponce y Montufar. (2014). Diseño, construcción, instalación y puesta en marcha de un sistema de control automatizado para un grupo electrógeno de 6,5 KVA de Mobhi grifos. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico Eléctrico en la Universidad nacional del Altiplano en Perú.

Rodríguez, M. (2017). Proyecto de instalación de grupo electrógeno para la escuela de ingeniería mecánica PUCV. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico en la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso en Chile.

Ponce, M. y Montufar, A. (2014). Diseño, construcción, instalación y puesta en marcha de un sistema de control automatizado para un grupo electrógeno de 6,5 kVA de MOBHI GRIFOS, tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico Eléctrico en la Universidad Nacional del Altiplano, Perú,

**Textos.**

Álvarez Flores. (2010) Motores de combustión interna. Editorial de la Universidad Politécnica de Cataluña. España. 520 pp. ISBN 8483018187

Enríquez Harper. (2008) Tecnologías de generación de energía eléctrica. Editorial Limusa. España. 386 pp. ISBN 6070501357

Coto. (2002). Análisis de sistemas de energía eléctrica. Editorial de la Universidad de Oviedo de España. 429 pp. ISBN 8483173344

ENOSA. (2019). Reportes de demanda de la SE Sechura-Piura. Empresa ENOSA. Perú. 2019. 375 pp.

Guevara. (2019). Manual de Centrales Termoeléctricas. Modulo III Grupos Electrógenos. Universidad Nacional del Santa.

Universidad Politécnica de Valencia (2000). Tecnología energética. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia. España. 312 pp. ISBN 8477218684

Lacoste, Conti, Colicigno y Yablonski. (2011). Grupos Electrógenos. Universidad de Plata. Argentina.

Yusta y Dufo (2011). Tecnología eléctrica. Prensa de la Universidad de Zaragoza. España. 413 pp. ISBN 8415274114

**Linkografía.**

Aenor. Norma ISO 3046:2002. Reciprocating internal combustion engines -- Performance -- Part 1: Declarations of power, fuel and lubricating oil consumptions, and test methods -- Additional requirements for engines for general use. Normas Españolas UNE. España. 2020. [Consulta: 27 de diciembre del 2020]. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/iso/?c=028330>

Alguerno. Suministros duales para grupos electrógenos. Revista Electro Industria de Chile. 2005. [Consulta: 27 de diciembre del 2020]. Disponible en:  
<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=276&ni=suministros-duales-para-grupos-electrogenos>

Cervan, D. Proyección de la demanda eléctrica: clasificación, variables y métodos empleados. Blog de Ciencia, Ingeniería y Tecnología. 2017. [Consulta: 27 de Julio del 2020]. Disponible en:  
<https://dheybicervan.com/proyeccion-de-la-demanda-electrica/>

Genesal Energy. Pasos para seleccionar un grupo electrógeno. Empresa Genesal Energy. España. 2018. [Consulta: 28 de noviembre del 2020]. Disponible en:  
<https://genesalenergy.com/comunicacion/articulos/pasos-para-seleccionar-un-grupo-electrogeno/>

Genesal Energy. Grupos electrógenos diésel y a gas: ¿en qué se diferencian? Empresa Genesal Energy. España. 2020. [Consulta: 22 de noviembre del 2020]. Disponible en:  
<https://genesalenergy.com/comunicacion/articulos/grupos-electrogenos-diesel-y-de-gas-en-que-se-diferencian/>

Grupos electrógenos KAISER. Cómo Elegir un Grupo Electrógeno según su servicio: Clases, Consumo y Características. Blog de la Empresa KAISER GENERADORES. 2016. [Consulta: 22 de julio del 2020]. Disponible en:  
<https://www.ventageneradores.net/blog/elegir-grupo-electrogeno-segun-servicio-clases-caracteristicas/>

Himoinsa. Grupos Electrógenos. Revista de Generación de Energía Volumen 81. 2016. [Consulta: 28 de Julio del 2020]. Disponible en:  
<http://www.bibliotecacentral.uni.edu.pe/revistas/energetica/octubre.pdf>

Lacoste, Corti, Colicigno y Yablonski. Grupos Electrógenos. Universidad de la Plata. Argentina. 2011. [Consulta: 22 de julio del 2020]. Disponible en:

[https://www.ing.unlp.edu.ar/catedras/M1639/descargar.php?secc=0&id=M0639&id\\_inc=2915](https://www.ing.unlp.edu.ar/catedras/M1639/descargar.php?secc=0&id=M0639&id_inc=2915)

Motorex. Grupos electrógenos: Usos, tipos y beneficios. Empresa Motorex. Perú. 2020. [Consulta: 25 de octubre del 2020]. Disponible en:  
<http://www.motorex.com.pe/blog/grupos-electrogenos-usos-beneficios/>

Promart. Generador de energía a gasolina Pro 5000W. Catálogo de grupos electrógenos de Empresa Promart. Perú. 2020. [Consulta: 25 de octubre del 2020]. Disponible en:  
[https://www.promart.pe/generador-m-gasol-pro-5000w-power-force/p?gclid=Cj0KCQiAst2BBhDJARIsAGo2ldW4qnG8L0hLcg0U9tAd6y-E\\_jwKjqFSGayiQDpLHjO9BpqtMETzTg8aAjTiEALw\\_wcB](https://www.promart.pe/generador-m-gasol-pro-5000w-power-force/p?gclid=Cj0KCQiAst2BBhDJARIsAGo2ldW4qnG8L0hLcg0U9tAd6y-E_jwKjqFSGayiQDpLHjO9BpqtMETzTg8aAjTiEALw_wcB)

Rental Power. Manual de uso y mantenimiento de los grupos electrógenos Empresa Rental Power. México. 2015. [Consulta: 25 de Julio del 2020]. Disponible en:  
[http://www.sdmo-rentalpower.com/commonsDocuments/300/33516003901\\_0\\_1.pdf](http://www.sdmo-rentalpower.com/commonsDocuments/300/33516003901_0_1.pdf)

Shougesa. Central Térmica de San Nicolas. Shoungang Generación Eléctrica S.A.A. Perú. 2020. [Consulta: 25 de noviembre del 2020]. Disponible en:  
<http://www.shougesa.com.pe/nuestrasinstalaciones/central-termica-san-nicolas/>

Villaroel. Sistemas de sincronismo: lo que necesitan las industrias. Revista energética de Chile. Chile. 2017. [Consulta: 25 de enero del 2021]. Disponible en:  
<https://www.revistaei.cl/columnas/sistemas-de-sincronismo-lo-que-necesitan-las-industrias/>

Salinas, Koscina y Fuenzalida. Grupos electrógenos - conceptos y aplicaciones. Ediciones Técnicas de la Corporación Tecnológica de Chile. 2018. [Consulta: 25 de julio del 2020]. Disponible en:  
<http://biblioteca.cchc.cl/datafiles/40827-2.pdf>

# **ANEXOS**

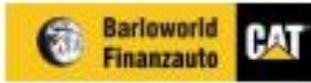
Anexo 1: Catalogo de Grupo Electrónico Caterpillar G3512E+ PGG

Anexo 2: Catalogo de Grupo Electrónico MC-1900

Anexo 3: Precio en barra Precio en barra Informe N° 193-2020-GRT

Anexo 4: PROYECCIÓN DE LA DEMANDA Período 2020-2022

Anexo 1: Catalogo de Grupo Electrónico Caterpillar G3512E+ PGG



Caterpillar G3512E+ PGG  
Servicio Continuo  
1.200 kW<sub>e</sub>, f.p.=0,8, 400 V, 50 Hz



**GRUPO MOTOR-GENERADOR  
CATERPILLAR G3512E+ PGG**

**1200 kW @ 1500 RPM  
400 V - 50 Hz**



V. 11/13

3512EGGW\_120050-01

1-17  
K447-0101

## **ALCANCE DE SUMINISTRO**

Grupo generador formado por el conjunto motor-generador CATERPILLAR con los componentes que se describen en sus distintos sistemas:

### **SISTEMA DE ENTRADA DE AIRE**

- Una caja de filtro provisto de dos elementos filtrantes con indicador de servicio (suministro suelto).
- Una canalización de unión caja de filtro con motor con conexiones flexibles en entrada y salida, diámetro inicial DN-500, diámetro final DN-200 (suministro suelto).
- Un Turbocompresor.
- Válvulas de by-pass de compresor actuada por el sistema de control para ajuste rápido de la potencia ante transitorios de carga.
- Enfrecedores de mezcla combustible de doble etapa.

### **SISTEMA DE ESCAPE**

- Colectores de escape seco.
- Flexible de escape, de tipo fuelle, en acero inoxidable AISI-316, uniones embridadas (suministro suelto).
- Expansor a diámetro DN-400, conexión embridada según DIN 2576, PN-10. Suministrado con juntas de grafito y tornillería (suministro suelto).
- Silenciador de escape del tipo de absorción, atenuación media ponderada 40 dB(A), conexiones embridadas según DIN 2576, PN-10, incluso contrabridas, juntas de grafito y tornillería (suministro suelto).

### **SISTEMA DE REFRIGERACION**

#### **Circuito de Alta Temperatura (AT)**

Incluye los circuitos de agua de camisas, aceite y primera etapa postenfriador:

- Control termostático de la temperatura de salida del circuito.
- Conexiones flexibles a la entrada y salida del circuito, ambas embridadas a DN-125 según DIN-2576, PN-10.
- Conexión flexible en salida de by-pass, embridada a DN-80 según DIN-2576, PN-10.
- Anticongelante y Anticorrosivo para primer llenado de circuito.
- Resistencias de calentamiento del agua de camisas, incorporando válvulas de aislamiento y bomba de circulación eléctrica (alimentación F+N, U=240 Vac).

#### **Circuito de Baja Temperatura (BT)**

Incluye la segunda etapa del postenfriador:

- Conexiones flexibles a la entrada y salida del circuito, ambas embridadas a DN-80 según DIN-2576, PN-10.

### **SISTEMA DE LUBRICACION**

- Bomba de circulación de aceite de engranajes accionada por el motor.
- Filtro de aceite.
- Enfrecedor de aceite.
- Cáster de aceite, incluyendo válvula de drenaje manual y válvulas de alivio de sobrepresión.

- Respiradero del cárter situado en la parte superior.
- Regulador de nivel de aceite, con contacto eléctrico de señal de bajo nivel.
- Varilla de nivel de aceite.
- Aceite lubricante para primer llenado.
- Análisis de aceite durante un año.

#### **SISTEMA DE COMBUSTIBLE**

- Rampa de gas con válvula de esfera de accionamiento manual, filtro, 3 manómetros, y electroválvula de doble cuerpo, accionamiento a 24Vcc, control electrónico de estanqueidad de cierre de válvulas, y presostatos de máxima y mínima presión. Conexiones embridadas a DN-80 según DIN-2576 PN-10 (Suministro suelto).
- Conexión flexible de entrada de gas al motor, embridada a DN-80 según DIN 2576 PN-10.
- Válvula de control de estequiometría de mezcla combustible con ajuste automático del caudal de combustible en función de la densidad de carga y seguimiento de consigna de mínima emisión de NOx.
- Válvula de control de admisión de mezcla combustible, actuada por el sistema de control del motor.

#### **SISTEMA DE ARRANQUE**

- Motor de arranque de 24 Vcc.
- Juego de 4 baterías de arranque de 190 Ah de capacidad, con soporte y cables.

#### **SISTEMA DE ENCENDIDO**

- Transformador de alta tensión de encendido individual por cada cilindro.
- Bujía de encendido con precámara.
- Sensor de detección de detonación (uno por cada dos cilindros).
- Control electrónico del encendido con ajuste automático del mismo en función de los parámetros de la combustión registrados en tiempo real.

#### **SISTEMA DE CONTROL**

- Sistema electrónico de control CATERPILLAR ADEM III, registra y procesa en tiempo real todos los parámetros de funcionamiento del motor, controla la ignición y el timing de la misma, controla la velocidad del motor, ejecuta los ciclos de arranque y parada del motor, dispone de fichero Flash programable que contiene los ajustes de las protecciones mecánicas, los valores de consigna de los parámetros de funcionamiento, y mapa de combustión para el ajuste del nivel de emisiones (NOx).
- Módulo de comunicaciones PL1000E que permite la monitorización de todos los parámetros de funcionamiento, incluso códigos de diagnóstico de fallos y eventos significativos registrados por el sistema de control ADEM III, por otros sistemas de control industriales.
- Panel de control EMCP II+, monitoriza los principales parámetros de funcionamiento del motor y las principales variables eléctricas del alternador, incluso códigos de diagnóstico de fallos y eventos significativos registrados por el sistema de control ADEM III. Dispone de protecciones eléctricas de respaldo, todas ellas ajustables en magnitud y tiempo. Las protecciones incluidas son: máxima y mínima tensión, máxima y mínima frecuencia, potencia inversa, y máxima intensidad, todas ellas del tipo independientes del tiempo. Dispone de un conmutador de arranque / parada en modo manual (operación a pie de máquina) y automático (señal externa) y bloqueo de arranque de grupo.
- Regulador de Tensión CATERPILLAR CDVR, electrónico digital, provisto de tres modos de funcionamiento, el primero como regulador de tensión (marcha en red aislada), el segundo como regulador de reactiva (marcha en paralelo con red), y el tercero de regulación de factor

de potencia mediante señal analógica externa -10 +10Vdc. Dispone de protecciones eléctricas de respaldo todas ellas ajustables en magnitud y tiempo. Las protecciones incluidas son: máxima y mínima tensión, máxima intensidad de campo, sobre excitación, y pérdida de excitación.

- Cuadro de control, medida y sincronismo sin incluir fuerza para servicio en cogeneración acoplado con Red (ver especificación adjunta)

#### **GENERADOR**

- CATERPILLAR modelo SR4-B, síncrono, 1.500 kVA, servicio continuo, f.p.=0,8, 3F+N, 400 Vac, 50 Hz, excitación de imanes permanentes, paso 2/3, conexión estrella, bobinado tipo FORM WOUND, aislamiento clase H, 1 cojinete, sensores de temperatura en cada devanado y cojinete, resistencia de caldeo anticondensación (120/240 Vac, 1.200 W).

#### **MONTAJE**

- Conjunto motor-generador, montado sobre bancada metálica.
- Juego de tacos antivibratorios de tipo de resortes metálicos para amortiguación de vibraciones lineales, para ubicación entre bancada metálica y bancada de hormigón (suministro suelto).

#### **CONJUNTO DEL VOLANTE**

- Volante y caja de volante SAE nº 00.
- Sentido de rotación según norm. SAE.
- Amortiguador de vibraciones torsionales DAMPER.

#### **ACCESORIOS**

- Cáncamos de elevación.
- Letreros identificativos.
- Protección plástica.
- Pintura amarilla.

#### **CERTIFICADO UE**

- Certificado de Incorporación UE.

#### **GARANTIA**

En función de lo establecido por el fabricante del bien objeto de esta oferta, su Garantía será de 12 meses desde su puesta en marcha ó de 18 meses desde que les comuniquemos que el mismo está a su disposición para proceder a su instalación, lo que antes se produzca, no siéndole de aplicación lo establecido a este respecto en la Ley 23/2003, de 10 de Julio, de Garantías en la venta de Bienes de Consumo que desarrolla la Directiva de la Unión Europea 1999/44/CE, de 25 de mayo de 1999.

#### **TRANSPORTE**

- Transporte a obra sobre camión.

#### **PUESTA EN MARCHA**

- Puesta en marcha 3 días, dos viajes, una vez que nos sea comunicado que la instalación está realizada y con los permisos pertinentes de acoplamiento con Red.



## **DOCUMENTACION**

Adjunto al presente documento se incluyen los siguientes planos preliminares:

- Planos de dimensiones generales

Tras el pedido se suministrarán los siguientes planos:

- Planos de dimensiones generales
- Planos de conexiones eléctricas del motor

Con la entrega física del grupo electrógeno se suministra la siguiente documentación:

- Manual de operación de mantenimiento de motor y generador.
- Manual de especificación de fluidos a utilizar.
- Libro de despiece motor y generador.
- Hoja original de garantía.

## **OPCIONALES**

- Soporte para filtro de entrada de aire (suministro suelto).
- Catalizador de escape (suministro suelto).
- Bomba de prelubricación (suministro montado en motor).
- Bomba eléctrica para vaciado de cárter (suministro suelto)
- Caja de herramientas (suministro suelto)

## **CUADRO DE CONTROL Y SINCRONISMO**

### **FUNCIONES**

El cuadro de control y sincronismo realiza las siguientes funciones:

- Secuencias de arranque y parada de grupo en modo automático y manual.
- Sincronización del grupo con RED de C/a.
- Protecciones eléctricas de alternador, y gestión de las mismas.
- Gestión de las protecciones mecánicas del grupo.
- Calendario anual de operación del grupo.
- Ajuste automático de la potencia mecánica en función de parámetros medioambientales.
- Ajuste del factor de potencia de operación en función de horario establecido en calendario anual de operación (bonificación de factura de venta por energía reactiva).
- Monitorización de los parámetros mecánicos y eléctricos más relevantes de operación del grupo.
- Generación de archivos históricos de los códigos de eventos y diagnósticos del grupo (tamaño limitado a la capacidad de memoria).
- Generación de archivos históricos de energía eléctrica generada (tamaño limitado a la capacidad de memoria).
- Disponibilidad de todos los parámetros tanto mecánicos y eléctricos de operación para ser volcados en otro sistema de control industrial.

### **ALCANCE DE SUMINISTRO**

1 armario modular, marca HIMEL o similar, dimensiones: 2200 mm de alto incluido zócalo de cables (200 mm), 800 mm de ancho y 800 mm de fondo, color de armario RAL-7032 y color de zócalo RAL-7020, incluyendo puerta con cerradura, paredes laterales, techo, placa de montaje, conjuntos de unión, carpintería metálica interior, etc. El armario alojará en su interior debidamente montado y conectado los siguientes elementos:

- 1 Interruptor magnetotérmico de protección de la alimentación 3F+N, Un=400Vac.
- 1 Automata Programable de arquitectura modular, incluyendo modulo de alimentación, CPU, tarjeta de ampliación de memoria, modulo de enlace con red ETHERNET protocolo TCP/IP para comunicación con sistema de control de motor ADEM III y otros sistemas industriales, modulo de enlace serie RS485 para comunicación con instrumentación de campo, modulo de entradas digitales protegidas contra sobrecargas, modulo de salidas digitales protegidas mediante relés electromecánicos, modulo de entradas analógicas aisladas, modulo de salidas analógicas aisladas.
- 1 Terminal de diálogo, 10" LCD color táctil, programable, memoria interna, reloj calendario, enlace con red ETHERNET protocolo TCP/IP para comunicación con otros sistemas industriales.
- 1 Relé multifunción, electrónico digital, programable, display gráfico LCD, teclado, LED de señalización, reloj calendario, memoria interna de almacenamiento de sucesos, enlace serie RS485, integra las siguientes funciones de protección: ANSI 3x50/51 (máxima intensidad de fases), ANSI 50N/51N (máxima intensidad defecto a tierra), ANSI 32 (máxima potencia activa direccional), ANSI 46 (máxima intensidad secuencia inversa), ANSI 3x27 (mínima tensión de fases), ANSI 3x59 (máxima tensión de fases), ANSI 47 (máxima tensión secuencia inversa), ANSI 81 (máxima y mínima frecuencia), ANSI 81R (derivada de frecuencia).
- 1 Convertidor de Potencia Activa y Reactiva, sistema desequilibrado 4 hilos, Clase 0.5, 2 señales de salida 4-20 mA.
- 1 multimedidor, electrónico digital, visualización y registro de las principales magnitudes eléctricas, función de contador de energía eléctrica activa y reactiva en 4 cuadrantes, memoria interna de almacenamiento de datos, enlace serie RS485, incluso módulo de 2 salidas analógicas 4-20mA programables, para registro de potencia activa y reactiva.
- 1 Módulo de reparto de carga WOODWARD, modelo 2301, para operación en paralelo con la RED.
- 1 Sincronizador marca WOODWARD, modelo SPM-G10, para sincronización con RED.

- 1 Cargador Fuente y baterías de alimentación sistema de 24Vdc, exclusivo del sistema de control, incluyendo protecciones magnetotérmicas de los circuitos de salida e instrumentación.
- 1 Rectificador Cargador de baterías de sistema de arranque de motor.
- 1 conjunto de arranque y protección de resistencia eléctrica Un=230Vac, F+N, de caldeo de agua de camisas de motor, compuesto de: 1 interruptor magnetotérmico, 1contactor clase AC3, 1 selector de mando, 1 piloto de señalización, contactos auxiliares.
- 1 conjunto de arranque y protección de resistencia eléctrica Un=230Vac, F+N, de caldeo de alternador, compuesto de: 1 interruptor magnetotérmico, 1contactor clase AC3, 1 selector de mando, 1 piloto de señalización, contactos auxiliares.
- 1 conjunto de arranque y protección de bomba eléctrica Un=400Vac, 3F, de prelubricación de motor, compuesto de: 1 interruptor magnetotérmico, 1contactor clase AC3, 1 selector de mando, 1 piloto de señalización, contactos auxiliares. (Solo si la opción **bomba de prelubricación** es seleccionada).
- 1 Conjunto de Instrumentos, instalados en el frontal del armario, compuesto por: 2 amperímetros DC (48x48mm), 2 voltímetros DC (48x48mm).
- 1 Pulsador de SETA, 1 selector de modo de funcionamiento con llave de bloqueo, ambos instalados en el frontal del armario.
- 1 Conjunto de pilotos de señalización de estado, instalados en el frontal del armario.
- 1 Conjunto de etiquetas y etiqueteros identificativos de todos los elementos montados en la puerta del armario.
- 1 Conjunto de materiales varios, tales como: canal de cables de PVC UNEX, guías DIN, hilo flexible de las secciones adecuadas y los colores indicados por las normas UNE, terminales numeradores UNEX, bridas, etc.
- 1 Regletero de bornas de paso y puenteables, para salidas de conexión con campo u otros armarios.
- P.A. sistema de ventilación de cuadro, compuesto por ventilador, termostato, y distanciadores de techo.
- P.A. pletina de cobre de 30x5 mm para conexión de tierra, instalada a lo ancho del armario en su parte inferior.

**NOTA:** Las señales de tensión X/110:√3 V, y las de intensidad X/5 A, deben ser suministradas por La Propiedad. En el caso que FSA suministre el cuadro de potencia, las señales de tensión e intensidad para el armario de control quedan incluidas en el alcance de suministro

## **DATOS TECNICOS**

### **GRUPO GENERADOR**

Marca ..... CATERPILLAR  
 Modelo ..... G3512E+ PGG  
 Potencia ..... 1.200 kW<sub>e</sub>  
 Tensión ..... 400 Vac 3F+N  
 Servicio ..... Continuo

### **MOTOR**

#### **DATOS GENERALES**

Marca ..... CATERPILLAR  
 Número de cilindros ..... 12  
 Disposición ..... En V  
 Diámetro ..... 170 mm  
 Carrera ..... 190 mm  
 Cilindrada ..... 51,8 litros  
 Relación de compresión ..... 11,9:1  
 Aspiración ..... Turboalimentado y Postenfriado  
 Velocidad ..... 1.500 rpm  
 Potencia al volante ..... 1.245 kW<sub>e</sub>

#### **SISTEMA DE REFRIGERACION**

Refrigeración ..... 2 circuitos independientes  
 Capacidad circuito AT ..... 148 litros  
 Máxima presión admisible circuito AT ..... 379 kPa  
 Máxima temperatura entrada circuito AT ..... 92°C  
 Máxima temperatura salida circuito AT ..... 99°C  
 Inicio apertura termostato circuito HT: ..... 87 grados C.  
 Final apertura termostato circuito HT: ..... 98 grados C.  
 Caudal nominal recomendado circuito HT: ..... 80 m3/h  
 Pérdida carga interna circuito HT: ..... 120kPa @ 80 m3/h  
 Potencia resistencia calefacción de agua ..... 9 kW  
 Tensión de alimentación / Frecuencia ..... 400 Vac / 50 Hz  
 Capacidad circuito LT: ..... 36 litros.  
 Caudal nominal recomendado circuito LT: ..... 25 m3/h  
 Pérdida carga interna circuito LT: ..... 34kPa @ 25 m3/h  
 Máxima temperatura entrada circuito LT ..... 54°C

#### **SISTEMA DE ESCAPE**

Colector de escape ..... Seco  
 Contrapresión máxima admisible de escape (al 100% de carga) ..... 6,7kPa

#### **SISTEMA DE LUBRICACION**

Capacidad del cárter de aceite ..... 310 litros  
 Tipo de aceite recomendado ..... CAT NGEO  
 Consumo de aceite ..... 0,182 g/bkWh

#### **SISTEMA DE ARRANQUE**

Tipo de arranque ..... Eléctrico 24 Vcc  
 Número de motores de arranque ..... 1  
 Número y tensión de baterías ..... 4x12 Vcc  
 Capacidad de baterías ..... 4x190 Ah



## GENERADOR

### DATOS GENERALES

Marca .....	CATERPILLAR
Modelo .....	SR48 / Frame 825 / Arrangement 3686956
Tipo bobinado .....	FORM WOUND
Paso .....	2/3
Número de cojinetes .....	1
Servicio .....	Continuo
Conexión .....	Estrella
Velocidad .....	1.500 rpm
Potencia .....	1.200 kW <sub>e</sub>
Tensión .....	400 Vac, 3F+N, 50Hz
Factor de potencia .....	0,8
Intensidad .....	2165 Amp
Tipo excitación .....	Imanes permanentes
Constancia de tensión .....	±0,5%
Clase de aislamiento .....	H
Clase de protección .....	IP22
Caudal aire refrigeración .....	139,8 m <sup>3</sup> /min
Factor de influencia telefónica .....	< 50
Desviación de onda .....	< 3%
Peso total .....	4.330 kg
Peso estator .....	2.789 kg
Peso rotor .....	1.541 kg
Inercia (J) .....	54.4 kN m s <sup>2</sup>

### REACTANCIAS Y TIEMPOS (f.p.=0,8)

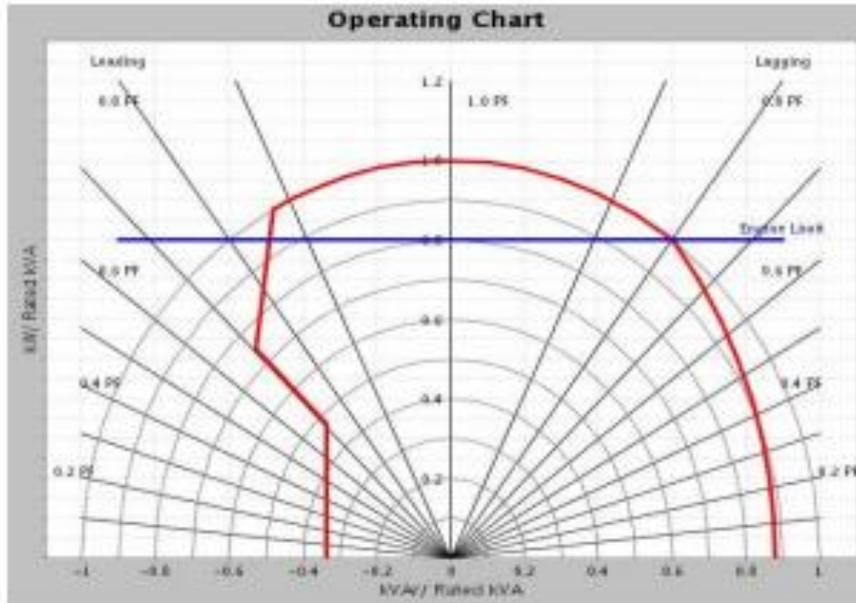
Reactancia subtransitoria ( $X''_d$ ) .....	0,0119 Ω
Reactancia transitoria ( $X'_d$ ) .....	0,0184 Ω
Reactancia sincrónica ( $X_d$ ) .....	0,2523 Ω
Reactancia homopolar ( $X_0$ ) .....	0,0007 Ω
Tiempo subtransitorio circuito abierto ( $T''_{d0}$ ) .....	0,0074 s
Tiempo subtransitorio corto circuito ( $T''_{d1}$ ) .....	0,0064 s
Tiempo transitorio circuito abierto ( $T'_{d0}$ ) .....	6,6330 s
Tiempo transitorio corto circuito ( $T'_{d1}$ ) .....	0,4643 s
Resistencia de estator .....	0,0015 Ω
Resistencia de campo .....	1,003 Ω
Intensidad de defecto trifásico .....	19,2 kA
Intensidad de defecto bifásico .....	17,4 kA
Intensidad de defecto fase neutro .....	29,3 kA

### EFICIENCIA

	300 kW <sub>e</sub>	600 kW <sub>e</sub>	900 kW <sub>e</sub>	1.200 kW <sub>e</sub>
f.p.=1,0	94,9%	96,7%	97,2%	97,3%
f.p.=0,8	94,6%	96,2%	96,5%	96,4%

Valores válidos para generador modelo SR48, Frame 825, Arrangement 3686956, Tensión de Generación 400 Vac, Servicio Continuo.

MAPA DE OPERACION



Eje vertical: Potencia Activa en tanto por unidad (base 1500kW).  
Eje horizontal: Potencia Reactiva en tanto por unidad (base 1500kVAr). A la derecha Inductiva (Q+) y a la Izquierda Capacitiva (Q-).  
Valores validos para alternador modelo SR4B, Frame 825, Arrangement 3686956, Tensión de Generación 400Vac, Servicio Continuo.

**DATOS DE FUNCIONAMIENTO**  
**GRUPO GENERADOR mod. G3512E PGG**



VELOCIDAD MOTOR (RPM)	1.500	COMBUSTIBLE	GN
RELACION DE COMPRESION	11,9:1	PCI GAS (MJ/Nm <sup>3</sup> )	35,6
TEMP. ENTRADA 2ª ETAPA POSTENFRIADOR (°C)	54	Nº DE METANO	80
TEMP. ENTRADA 1ª ETAPA POSTENFRIADOR (°C)	92	PRESION GN ENTRADA (kPa)	10,3 - 34,5
TEMP. SALIDA AGUA DE CAMISAS (°C)	99	ALTITUD (m)	900
SISTEMA DE ENCENDIDO	ADEM3	TEMP. AIRE ADMISION (°C)	25
COLECTOR DE ESCAPE	SECD	EMISIONES NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	500

POTENCIA Y RENDIMIENTOS	Notas	CARGA	100%	75%	50%
POTENCIA DEL MOTOR	(2)	BKW	1245	933	624
POTENCIA ELECTRICA @ FF=1		KW	1211	907	603
RENDIMIENTO ALTERNADOR @ FF=1		%	97,3%	97,2%	96,7%
POTENCIA ELECTRICA @ FF=0,8		KW	1200	900	600
RENDIMIENTO ALTERNADOR @ FF=0,8		%	96,4%	96,5%	96,2%
EFICIENCIA MOTOR (ISO 3046/1)	(3)	%	43,5%	42,4%	40,2%
RENDIMIENTO MOTOR (NOMINAL)	(3)	%	42,4%	41,3%	39,2%
RENDIMIENTO ELECTRICO (ISO 3046/1)	(3)	%	42,3%	41,2%	38,9%
RENDIMIENTO ELECTRICO (NOMINAL)	(3)	%	41,3%	40,2%	37,9%
EFICIENCIA TERMICA (NOMINAL)	(4)	%	41,7%	41,7%	43,2%
EFICIENCIA TOTAL (NOMINAL)	(5)	%	82,6%	81,6%	81,2%

DATOS DE MOTOR	Notas	CARGA	100%	75%	50%
CONSUMO COMBUSTIBLE (ISO 3046/1)	(6)	MJ/bkW-hr	8,28	8,40	8,96
CONSUMO COMBUSTIBLE (NOMINAL)	(6)	MJ/bkW-hr	8,49	8,71	9,19
CAUDAL DE AIRE (0 °C, 101,3 kPa)	(7)	Nm <sup>3</sup> /bkW-hr	3,80	3,90	3,94
CAUDAL DE AIRE	(7)	kg/bkW-hr	5,04	5,04	5,09
PRESION DESPUES DE COMPRESOR		kPa (abs)	427	321	230
TEMPERATURA DESPUES DE COMPRESOR		°C	215	174	135
PRESION COLECTOR DE ADMISION	(8)	kPa	388	290	198
TEMPERATURA COLECTOR DE ADMISION	(9)	°C	57	57	58
TIMING	(10)	*BTDC	25	21	16
TEMPERATURA DE ESCAPE	(11)	°C	424	447	494
CAUDAL GASES ESCAPE (0 °C, 101,3 kPa)	(12)	Nm <sup>3</sup> /bkW-hr	4,15	4,15	4,21
CAUDAL GASES ESCAPE	(12)	kg/bkW-hr	5,23	5,23	5,29

EMISIONES	Notas	CARGA	100%	75%	50%
NO <sub>x</sub> (como NO <sub>2</sub> )	(corr. 5% O <sub>2</sub> ) (14)	mg/Nm <sup>3</sup> (seco)	500	500	500
CO	(corr. 5% O <sub>2</sub> ) (15)	mg/Nm <sup>3</sup> (seco)	1.046	984	1.005
THC (peso mol. 15,84)	(corr. 5% O <sub>2</sub> ) (15)	mg/Nm <sup>3</sup> (seco)	2.948	2.806	2.742
HMHC (peso mol. 15,84)	(corr. 5% O <sub>2</sub> ) (15)	mg/Nm <sup>3</sup> (seco)	441	421	336
NMHC (VOCs) (peso mol. 15,84)	(corr. 5% O <sub>2</sub> ) (15) (16)	mg/Nm <sup>3</sup> (seco)	294	281	224
HCDO (Formaldehido)	(corr. 5% O <sub>2</sub> ) (15)	mg/Nm <sup>3</sup> (seco)	338	334	323
CO <sub>2</sub>	(corr. 5% O <sub>2</sub> ) (15)	g/Nm <sup>3</sup> (seco)	209	209	210
O <sub>2</sub> escape	(17)	% seco	9,5	9,2	8,6
LAMBDA	(17)		1,72	1,67	1,60

BALANCE TERMICO	Notas	CARGA	100%	75%	50%
LHV INPUT	(18)	KW	2036	2208	1992
HEAT REJECTION TO JACKET	(19)(25)	KW	336	274	221
HEAT REJECTION TO ATMOSPHERE	(20)	KW	92	77	61
HEAT REJECTION TO LUBE OIL	(21)(25)	KW	73	64	54
HEAT REJECTION TO EXHAUST (LHV to 25°C)	(22)	KW	894	738	564
HEAT REJECTION TO EXHAUST (LHV to 130°C)	(22)	KW	814	696	508
HEAT REJECTION TO EXHAUST (LHV to 150°C)		KW	553	450	357
HEAT REJECTION TO EXHAUST (LHV to 180°C)		KW	483	405	326
HEAT REJECTION TO A/C - STAGE 1	(23)(25)	KW	214	187	29
HEAT REJECTION TO A/C - STAGE 2	(24)(26)	KW	93	64	39

Nota: datos según hoja de especificación DM8811-05-001 (23-agosto-2011). Sujeto a cambios sin previo aviso.

## CONDICIONES Y DEFINICIONES

- Potencia del motor según ISO 3046/1. Los datos están dados a temperatura 25°C, 100 kPa de presión barométrica, 152 m de altitud y 30% de humedad relativa. No se admite sobrecarga.
- Los niveles de emisiones se basan en el motor funcionando en condiciones estables y ajustado al nivel de NO<sub>x</sub> especificado al 100% de carga. Las tolerancias especificadas para las emisiones dependen de la calidad del gas. El número de metano no debe variar más de ±3.

## NOTAS:

1. El valor de potencia eléctrica está basado en alternador normalizado. Potencia eléctrica (ekW) está calculado como: Potencia eje motor (bkW) x Rendimiento alternador [-], [Potencia eléctrica (kVA) está calculada como: Potencia eje motor (bkW) x Rendimiento alternador [-] / Factor de potencia.
2. Las prestaciones indicadas del motor no incluyen el accionamiento mecánico de ninguna bomba. Tolerancia (+)3, (-)10% referida al 100% de carga.
3. La tolerancia de Rendimiento eléctrico ISO 3046/1 es de (+)0, (-)5% referida al valor indicado al 100% de carga. Tolerancia de Rendimiento eléctrico Nominal y Rendimiento nominal de motor es de ± 2.5% referida al valor indicado al 100% de carga.
4. El rendimiento térmico está calculado como: (Calor de agua de camisas + Calor de aceite lubricante + Calor 1º etapa posenfriador + Calor gases de escape hasta 120°C) / Calor combustible (PCI)
5. El rendimiento total está calculado como: Rendimiento eléctrico+ Rendimiento térmico. La tolerancia es de un ±10% referido al valor indicado al 100% de carga.
6. La tolerancia del consumo de combustible ISO 3046/1 es de (+)5, (-)10% referido al valor indicado al 100% de carga. La tolerancia del consumo de combustible nominal es de ± 2.5% referido al valor indicado al 100% de carga.
7. El caudal de aire está calculado considerando una humedad relativa del 30%. La tolerancia del valor indicado es de un ± 5 %.
8. Las restricciones en la entrada de aire y salida de gases de escape no deben superar los límites indicados en la A&I.
9. La tolerancia del valor indicado para la presión después de compresor es de un ± 5 %.
10. La tolerancia del valor indicado para la temperatura después de compresor es de un ± 5°C.
11. El timing indicado es para ser utilizado con combustibles con número de metano comprendidos entre 100 y 70. Para otros números de metano, consultar a su dealer más próximo.
12. La tolerancia del valor indicado de temperatura de gases de escape es de un (+)35°C, (-)30°C.
13. El caudal de gases de escape es húmedo y la tolerancia del valor indicado es de un ± 6 %.
14. La tolerancia del valor indicado de emisión de NO<sub>x</sub> es de un ±18%.
15. Los valores indicados para CO, CO<sub>2</sub>, THC, NMHC, NMNEHC, y HCHO son valores máximos y bajo ninguna condición se superan. Los valores indicados para THC, NMHC, y NMNEHC no incluyen aldehídos.
16. VOCs – significa compuestos orgánicos volátiles y se definen en la US EPA 40 CFR 60, subapartado IIII.
17. La tolerancia del Oxígeno en gases de escape es de un ± 0.5; la del valor Lambda es de un ± 0.05. El valor de Lambda y el Oxígeno en gases de escape son el resultado de un ajuste de los parámetros de la combustión de forma tal de mantener el nivel de emisión de NO<sub>x</sub> en los indicados.
18. La tolerancia del PCI del combustible es de un ± 2.5%.
19. El valor indicado en Calor de agua de camisas solo incluye a él mismo. El valor indicado está basado en un funcionamiento con agua tratada. La tolerancia es de un ± 10% del valor indicado a plena carga.
20. El valor indicado de calor irradiado al ambiente está basado en un funcionamiento con agua tratada. La tolerancia es de un ± 50% del valor indicado a plena carga.
21. El valor indicado para calor de aceite lubricante está basado en un funcionamiento con agua tratada. La tolerancia es de un ± 20% del valor indicado a plena carga.



22. El valor indicado para calor de gases de escape está basado en un funcionamiento con agua tratada. La tolerancia es de un  $\pm 10\%$  del valor indicado a plena carga.
23. El valor indicado para calor de 1ª etapa de posenfriador está basado en un funcionamiento con agua tratada. La tolerancia es de un  $\pm 5\%$  del valor indicado a plena carga.
24. El valor indicado para calor de 2ª etapa de posenfriador está basado en un funcionamiento con agua tratada. La tolerancia es de un  $\pm 5\%$  del valor indicado a plena carga.
25. El total del calor recuperado en el circuito de agua de camisas está calculado como:  $(JW \times 1.1) + (OC \times 1.2) + (1AC \times 1.05) + [0.9 \times (1AC + 2AC) \times (ACHRF - 1) \times 1.05]$ . El dimensionamiento de los intercambiadores de calor debe considerar los máximos valores que se puedan dar en el sitio de emplazamiento y la aplicación de las respectivas tolerancias y márgenes de reservas.
26. El total del calor recuperado en el circuito de 2ª etapa de posenfriador está calculado como:  $(2AC \times 1.05) + [(1AC + 2AC) \times 0.1 \times (ACHRF - 1) \times 1.05]$ . El dimensionamiento de los intercambiadores de calor debe considerar los máximos valores que se puedan dar en el sitio de emplazamiento y la aplicación de las respectivas tolerancias y márgenes de reservas.

Los valores de potencia indicados son válidos en condiciones estándar. Para diferentes condiciones, aplicar el factor de reducción de potencia adjunto:

TEMP. AIRE ADMISION (°C)	50	ND	ND	ND	ND	ND
	45	1,00	0,73	0,64	0,56	ND
	40	1,00	1,00	0,96	0,87	0,78
	35	1,00	1,00	1,00	0,99	0,94
	30	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99
	25	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97
	20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	15	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
		0	250	500	750	1.000

ALTITUD (m snm)

ND: No disponible

La potencia térmica disipada en el posenfriador es válida para 25°C y 152 metros de altitud. Para diferentes condiciones, aplicar los siguientes factores de disipación (ACHRF):

TEMP. AIRE ADMISION (°C)	50	ND	ND	ND	ND	ND
	45	1,18	1,22	1,25	1,28	ND
	40	1,13	1,17	1,20	1,23	1,25
	35	1,08	1,11	1,15	1,18	1,20
	30	1,03	1,06	1,09	1,13	1,14
	25	1,00	1,01	1,04	1,07	1,09
	20	1,00	1,00	1,00	1,02	1,04
	15	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
		0	250	500	750	1.000

ALTITUD (m snm)

ND: No disponible

## RUIDO MECANICO Y ESCAPE

### Mecánico

Pa	P <sub>a</sub>	P <sub>em</sub>	Total	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
ERW	%	dBW	dB(A)							
1200	100	1345	115.5	84.8	83.3	100.1	103.3	105.8	99.3	107.8
900	75	933	104.8	82.9	80.5	98.2	102.3	103.8	97.9	96.4
600	50	624	93.4	79.4	80.5	97.5	100.8	101.8	98.9	93.7

### Escape

Pa	P <sub>a</sub>	P <sub>em</sub>	Total	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
ERW	%	dBW	dB(A)							
1200	100	1345	122.8	104.5	103.2	105.6	107.2	108.8	108.2	111.4
900	75	933	120.6	103.5	99.6	98.8	102.3	106.2	108.6	109.8
600	50	624	117.9	101.9	98.9	98.9	98.8	102.5	105.4	103.8

#### NOTAS:

La potencia acústica se define como la energía sonora total procedente de una fuente con independencia de la dirección o la distancia de ésta. El nivel de potencia acústica se presentan en dos apartados: Nivel de potencia acústica MECÁNICA, y Nivel de potencia acústica de ESCAPE.

**Potencia acústica MECÁNICA:** Los datos de nivel de potencia acústica están calculados de conformidad con la norma ISO 6798. Los datos se registran con la fuente de sonido de ESCAPE aislado.

**Potencia acústica ESCAPE:** Los datos de nivel de potencia acústica están calculados de conformidad con la norma ISO 6798 ANEXO A.

## FUNCIONAMIENTO EN RED AISLADA

El modo de operación en red aislada, según la definición de CAT es aquel en donde el grupo generador funciona sin conexión con la red de servicio público. En este modo de funcionamiento el motor de gas debe mantener el par y la velocidad, y por tanto la frecuencia eléctrica, y la tensión del generador se mantiene con el regulador de tensión.

En el modo de operación de red aislada, un aumento de la carga provoca que la velocidad del motor disminuya por debajo de la velocidad nominal del mismo, y después de transcurrido un período de tiempo, la velocidad nominal se recupera, y en el mismo sentido la frecuencia. La disminución de carga causa el efecto inverso. La forma de la respuesta del motor ante una entrada o salida súbita de carga de la red aislada, es generalmente una función del tamaño de la carga, de la configuración del regulador de tensión del generador, de las condiciones ambientales, de la calidad y características del combustible.

La siguiente tabla muestra los tiempos de recuperación de la tensión y frecuencia ante distintos bloques de carga y/o descarga. Los tiempos de recuperación se dan en dos niveles, el primero (SS-A) que entiende recuperados los parámetros eléctricos si su variación es inferior al  $\pm 1\%$  del valor nominal de la frecuencia y la tensión. El segundo (SS-B) que entiende recuperados los parámetros eléctricos si su variación es inferior al  $\pm 1,75\%$  del valor nominal de la frecuencia y la tensión.

Carga/Descarga % Pot. nominal	% Desviación de Frecuencia	% Desviación de Tensión	T Recuperación SS-A (seg)	T Recuperación SS-B (seg)
5	$\pm 5$	$\pm 4$	20	14
10	$\pm 10$	$\pm 15$	25	20
15	$\pm 14$	$\pm 10$	30	25
20	+20 / -16	$\pm 15$	30	22
25	+22 / -20	$\pm 17,5$	35	30

Datos válidos para un nivel de emisión de 500mg/Nm<sup>3</sup>,

Para bloques de carga del 25%, el último bloque se tiene que dividir en 15% + 10%. Es posible también un primer bloque de carga del 30%, y en tal caso la secuencia de carga siguiente tendrá que ser de 25% + 20% + 15% + 10%. Para esta última secuencia, la desviación de frecuencia y tensión son ambas de un  $\pm 20\%$ , y los tiempos de recuperación iguales a los indicados para bloques de 25%.

En el caso excepcional de un desastre de carga de 100% a 0%, los % de desviación de frecuencia y tensión, así también el tiempo de recuperación, son los que se indican a continuación:

Descarga % Pot. nominal	% Desviación de Frecuencia	% Desviación de Tensión	T Recuperación SS-A (seg)	T Recuperación SS-B (seg)
100	$\pm 25$	$\pm 35$	40	ND

Datos válidos para un nivel de emisión de 500mg/Nm<sup>3</sup>,

Los bloques de carga y/o descarga se expresan como un porcentaje de la potencia nominal del motor, sin embargo ésta se debe entender como la corregida en función de las características ambientales propias del sitio de emplazamiento, de la calidad del combustibles, del nivel de emisiones configurado, de las restricciones de entrada de aire y salida de gases de escape, ya que todos estos parámetros afectan la respuesta del motor a cambio de carga.

### Presión de gas combustible y estabilidad del suministro

La presión de gas combustible y la estabilidad del suministro del mismo es fundamental para la consecución de una respuesta adecuada del motor. La instalación requiere que todos los componentes que forman la línea de suministro de combustible (reguladores de presión, filtros, válvulas de corte, etc), estén correctamente dimensionados para garantizar la adecuada entrega de combustible al

motor. De acuerdo con lo anterior, la línea de suministro de gas combustible debe cumplir con las siguientes condiciones:

- Presión de suministro de combustible recomendado: 20 kPa
- Máxima presión de suministro: 34,5 kPa.
- Mínima presión de suministro: 10,3 kPa.
- Estabilidad presión de suministro en régimen carga constante:  $\pm 6,9$  mbar/s.
- Estabilidad presión de suministro en régimen transitorio de carga:  $\pm 48,2$  mbar/s.

#### Circuito primario refrigeración BT (AC2)

La temperatura de entrada de agua al circuito de refrigeración primaria de baja temperatura del motor debe mantenerse a 54°C o 43°C (dependiendo de la configuración del motor). Es importante que el diseño del sistema de refrigeración externo sea capaz de mantener la temperatura de entrada de agua AC2 dentro de un rango de  $\pm 1^\circ\text{C}$  en cualquier régimen de funcionamiento del motor.

#### Tiempo de estabilización entre bloques de carga

El sistema de control de emisiones requiere de 2 a 3 minutos para converger con el punto de consigna configurado después de la entrada o salida de un bloque de carga. Por tanto, en el caso de no mantener un periodo de tiempo mínimo de 2 a 3 minutos entre bloque y bloque de carga y/o descarga, los tiempos de recuperación de la frecuencia y tensión indicados anteriormente no serán válidos.

#### Configuración del regulador de tensión (CDVR)

La respuesta transitoria de la velocidad del motor ante la entrada y/o salida de cargas del sistema, está estrechamente relacionado con los ajustes en el regulador de tensión del generador. Una correcta programación de los parámetros de funcionamiento del regulador de tensión (CDVR), garantizará una adecuada respuesta transitoria del motor. La configuración del CDVR utilizado durante las pruebas de transitorios de bloques de carga y/o descarga, son las que se indican a continuación:

Frecuencia punto inflexión	Hz	49.5
Pendiente nº1	V/Hz	1.2
Pendiente nº2	V/Hz	1.5
AVR Kp	-	200
AVR Ki	-	600
AVR Kd	-	30
Filtro Td	-	0
Ganancia Kg	-	55

#### Configuración regulador de velocidad

En los motores de la serie G3500E la función de regulación de velocidad la realiza el sistema de control ADEM III ECM. Se pueden seleccionar dos modos de operación, **Drop** y **Asynchronous**. Para funcionamiento en red aislada se recomienda el modo de operación **Asynchronous**.

#### Arranque de Motor

Una vez puesto en marcha el motor, el tiempo necesario para estabilizar el funcionamiento del mismo y recibir el primer bloque de carga es de 1 minuto.



motor. De acuerdo con lo anterior, la línea de suministro de gas combustible debe cumplir con las siguientes condiciones:

- ✓ Presión de suministro de combustible recomendado: 20 kPa
- ✓ Máxima presión de suministro: 34,5 kPa.
- ✓ Mínima presión de suministro: 10,3 kPa.
- ✓ Estabilidad presión de suministro en régimen carga constante:  $\pm 6,9$  mbar/s.
- ✓ Estabilidad presión de suministro en régimen transitorio de carga:  $\pm 48,2$  mbar/s.

#### Circuito primario refrigeración BT (AC2)

La temperatura de entrada de agua al circuito de refrigeración primaria de baja temperatura del motor debe mantenerse a 54°C o 43°C (dependiendo de la configuración del motor). Es importante que el diseño del sistema de refrigeración externo sea capaz de mantener la temperatura de entrada de agua AC2 dentro de un rango de  $\pm 1^\circ\text{C}$  en cualquier régimen de funcionamiento del motor.

#### Tiempo de estabilización entre bloques de carga

El sistema de control de emisiones requiere de 2 a 3 minutos para converger con el punto de consigna configurado después de la entrada o salida de un bloque de carga. Por tanto, en el caso de no mantener un período de tiempo mínimo de 2 a 3 minutos entre bloque y bloque de carga y/o descarga, los tiempos de recuperación de la frecuencia y tensión indicados anteriormente no serán válidos.

#### Configuración del regulador de tensión (CDVR)

La respuesta transitoria de la velocidad del motor ante la entrada y/o salida de cargas del sistema, está estrechamente relacionado con los ajustes en el regulador de tensión del generador. Una correcta programación de los parámetros de funcionamiento del regulador de tensión (CDVR), garantizará una adecuada respuesta transitoria del motor. La configuración del CDVR utilizado durante las pruebas de transitorios de bloques de carga y/o descarga, son las que se indican a continuación:

Frecuencia punto inflexión	Hz	49.5
Pendiente nº1	V/Hz	1.2
Pendiente nº2	V/Hz	1.5
AVR Kp	"	200
AVR Ki	"	600
AVR Kd	"	30
Filtro Td	"	0
Ganancia Kq	"	55

#### Configuración regulador de velocidad

En los motores de la serie G3500E la función de regulación de velocidad la realiza el sistema de control ADEM III ECM. Se pueden seleccionar dos modos de operación, **Drop** y **Isosynchronous**. Para funcionamiento en red aislada se recomienda el modo de operación **Isosynchronous**.

#### Arranque de Motor

Una vez puesto en marcha el motor, el tiempo necesario para estabilizar el funcionamiento del mismo y recibir el primer bloque de carga es de 1 minuto.

## Anexo 2: Catalogo de Grupo Electrónico MC-1900

### Grupo Electrónico MC-1900



Modelo	Sistema		V.C.T.M.C. (VOLTIOVA) [1]	FREQ. (HZ)	FACTOR DE POTENCIA	Capacidad
	Generador	Control de Carga				
MC-1900	1700 kVA/200 kW @ 0.8	1800 kVA/22500 kVA	440V	60Hz	0.8	3100 k
MC-1900	1800 kVA/22500 kVA	1800 kVA/22500 kVA	440V	60Hz	0.8	2600 k



GRUPO ELECTRÓNICO INSONORO



GRUPO ELECTRÓNICO ABIERTO

\* Nota: Ingenes refrigerables, pueden variar dependiendo de las opciones

### Datos Técnicos

#### Grupo Electrónico

Modelo:	MC-1900
Motor:	CUMMINS QSK 60 - Q6
Alternador:	STAMFORD P1 734E
Método de control:	Electrónico
Fase:	Tresfase
Tamaño conduct. abierto/insulado:	467 Galones / 1414 Galones
Sistema eléctrico:	24V
Frecuencia:	60Hz
Refrigerador flujo aire:	1100 m <sup>3</sup> /min
Combustible flujo aire:	174.30 m <sup>3</sup> /min
Caudal de escape flujo:	412.40 m <sup>3</sup> /min
Temperatura gases escape:	475°C

Nivel de ruido dBA	Máximo	Mínimo
Resonancia @ 1m	85 +/- 3 dBA	54 dBA

#### Motor

Número de cilindros:	16 en "V"
Sistema de Gobierno:	Electrónico
Ciclo:	4 Tiempo
Aspiración:	Turbocompresor post-amb.
Combustible:	Diésel
Sist. Combustión:	Inyección directa
Sist. Enfriamiento:	Agua
Diámetro pistón:	125.00 mm
Desplazamiento pistón:	180.00 mm
Capacidad:	5000cc
Relación compresión:	14.5:1
Cap. Sist. Lubricación:	280.00 litros
Cap. Sist. Refrigeración:	454.00 litros

Consumo de Combustible	
Velocidad del motor:	1800 RPM (1/1r)
Potencia Stand by (2)	518.00
Potencia Prima (1)	469.00
75% Potencia Prima (1)	370.00
50% Potencia Prima (1)	269.00

#### Alternador

Aislamiento:	Clase "F"
Sistema de excitación:	Separada
Tarjeta reguladora voltaje:	MG271 + 0.5%
Grado de Protección:	IP 23

#### Normas Técnicas

Motor:	ISO 3046, DIN 6271
Alternador:	IEC EN 60034, BS 5000, IEC 34, VDE 0300, NEMA MG1-37
Grupo Electrónico:	ISO 9001, ISO 14001, ISO 13500, ISO 9001-2015

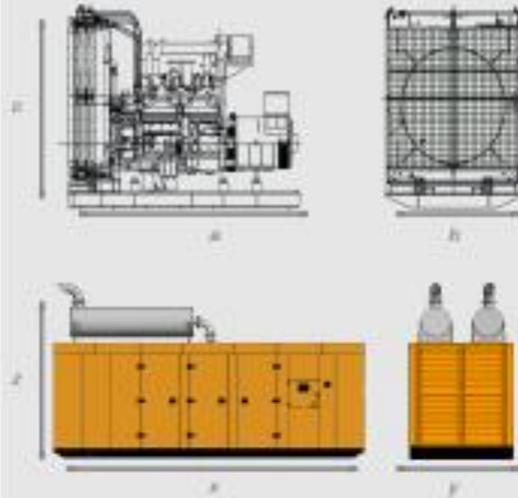
(1) Potencia Prima: Potencia disponible con carga variable durante un número limitado de horas al año (500-1). Acepta sobrecargas de 10% más o a la potencia por un hora cada 12 horas.

(2) Potencia Stand By: Potencia disponible con carga variable para el resto en que la red comercial falla. No acepta sobrecargas (500-2) durante un límite de uso de 500 horas anuales o 300 horas continuas.



## Dimensiones

Dimensiones y Peso	a	b	c	Peso	Ø Base
	3075 mm	2530 mm	2126 mm	18500 Kg	60"
3220 mm	2137 mm	4429 mm	25500 Kg	60"	



## Opcionales

- Silenciador Acústico crítico (incluido en GE machines)
- Controlador de agua de marabú.
- Resistencia deshumidificadora del alternador.
- Tablero de transferencia automática.
- Diversos voltajes.
- Potenciómetro remoto de velocidad o voltaje.
- Medidor eléctrico de nivel de combustible.

## Tablero de Control



Equipado con módulo de control digital electrónico de última generación, permite el arranque, control, protección y parada del grupo electrógeno en los modos manual y automático. Realiza transferencias automática.

Mediciones con caracteres a 8 dígitos y a 4 dígitos en la pantalla digital:

- Corriente de las tres fases L1, L2, L3.
- Demanda de energía KW, KVA, KVAh.
- Energía Activa kWh.
- Factor de potencia.
- Frecuencia.
- Hora de operación.
- Memoria de los 250 últimos eventos, descripción, fecha y hora.
- Potencia Activa KW.
- Potencia Reactiva KVA.
- Presión de aceite.
- Secuencia de fases del generador.
- Temperatura de aceite.
- Temperatura de admisión aire.
- Temperatura de combustible.
- Temperatura de gas de escape.
- Temperatura de refrigerante.
- Velocidad de giro.
- Voltaje de batería.
- Voltaje de las tres fases L - L, y L - N.

### Protecciones:

- Alarma por mantenimiento activado configurado.
- Alta temperatura del motor.
- Bajo/Alto frecuencia.
- Bajo presión de aceite.
- Bajo/Alto voltaje de batería.
- Bajo/Alto voltaje del generador.
- Diagnóstico CAN.
- Falso a tierra.
- Falso de arranque.
- Falso de paro.
- Falso de secuencia negativa de fase.
- Falso de sentido.
- Falso por sobre corriente.
- Falso por sobrecarga.
- Parada de emergencia.
- Pérdida de señal de velocidad por desconexión del pickup.

M: Modasa / C: Motor CUMMINS / 1000: Potencia referencial del G.E. / Ø: 50 Hz 1500 RPM / I: Inversor / M: Trifásico / E: EPA Tier

Ventas Nacionales: (+51-1) 815-8500 ANEXO 204  
 Ventas Extranjeras: ES (+51-1) 815-8500 ANEXO 263  
 Dirección: Av. Los Frutales 329 - Ate  
 Planta: Av. Panamericana Sur Km 36.2 - Lima  
[www.modasa.com.pe](http://www.modasa.com.pe)

**modasa**

Anexo 3: Precio en barra Informe N° 193-2020-GRT

Cuadro N° 2 Precios en Barra de las principales ciudades del Perú

Barras Principales	PRECIOS EN BARRA				Variación Fijación vs Vigente
	Potencia PPB S/ /kW-mes	Energía HP PEBP ctm.S/ /kWh	Energía HFP PEBF ctm.S/ /kWh	Precio Medio ctm.S/ /kWh	
Piura	59,31	16,32	15,94	32,42	4,3%
Chiclayo	59,31	16,18	15,84	32,31	4,5%
Trujillo	59,31	16,10	15,79	32,25	4,5%
<b>Lima</b>	<b>59,31</b>	<b>16,01</b>	<b>15,76</b>	<b>29,74</b>	<b>4,0%</b>
Ica	59,31	15,90	15,74	32,16	4,6%
Marcona	59,31	15,92	15,67	32,11	4,6%
Tingo María	59,31	15,02	14,68	31,15	4,6%
Cusco	59,31	16,15	15,83	32,30	4,5%
Combapata	59,31	16,30	15,97	32,44	4,2%
Tintaya	59,31	16,41	16,11	32,57	4,1%
Juliaca	59,31	16,34	15,95	32,44	4,8%
Socabaya	59,31	16,24	15,94	32,39	4,6%
Toquepala	59,31	16,37	16,06	32,52	4,6%
Tacna	59,31	16,74	16,38	32,85	5,8%

Anexo 4: PROYECCIÓN DE LA DEMANDA Período 2020-2022

**Cuadro N° 3.1**  
**PROYECCIÓN DE LA DEMANDA**  
**Período 2020-2022**

Año	Máx. Demanda MW	Consumo Anual GWh	F.C. %	Tasa de Crecimiento	
				Potencia	Energía
2019	7 018	52 949	86,1%		
2020	6 752	46 840	79,2%	-3,8%	-11,5%
2021	6 941	51 423	84,6%	2,8%	9,8%
2022	7 371	54 114	83,8%	6,2%	5,2%



### DECLARACION JURADA DE AUTORÍA

Yo, Leyner Samir Sandoval Valverde, estudiante de la

Facultad:	Ciencias		Educación		Ingeniería	X
Escuela Profesional:	Ingeniería en Energía					
Departamento Académico:						
Escuela de Posgrado	Maestría			Doctorado		

Programa:

De la Universidad Nacional del Santa; Declaro que el trabajo de investigación es un **trabajo inédito**, intitulado:

“POTENCIA DE GRUPOS ELECTRÓGENOS PARA LA COBERTURA DE DEMANDA DE ENERGÍA EN S.E SECHURA”

presentado en ...113..... folios, para la obtención del Grado académico: ( )

Título profesional: ( X ) Investigación anual: ( )

- He citado todas las fuentes empleadas, no he utilizado otra fuente distinta a las declaradas en el presente trabajo.
- Este trabajo de investigación no ha sido presentado con anterioridad ni completa ni parcialmente para la obtención de grado académico o título profesional.
- Comprendo que el trabajo de investigación será público y por lo tanto sujeto a ser revisado electrónicamente para la detección de plagio por el VRIN.
- De encontrarse uso de material intelectual sin el reconocimiento de su fuente o autor, me someto a las sanciones que determinan el proceso disciplinario.

Chimbote, abril de 2021

Firma:

Nombres y Apellidos: Leyner Samir Sandoval Valverde

DNI:43670424

## Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería en Energía

### Informe del Asesor Informe de Tesis para obtener el título profesional

- 1) Apellidos/Nombres: \_\_\_Leyner Samir Sandoval Valverde\_\_\_
- 2) Título del Proyecto de Investigación: \_\_\_ “Potencia de grupos electrógenos para la cobertura de demanda de energía en S.E Sechura”  
\_\_\_\_\_
- 3) Evaluación del Contenido: La presente tesis para título reúne las condiciones metodológicas de la investigación científica y está en conformidad con los Artículos N° 39 y 40 del Reglamento General de Grados y Títulos vigente de la Universidad Nacional del Santa , concluyéndose que el tesista ha elaborado el presente informe dentro de las líneas de investigación que promueve la E.P.I.E\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 4) Observaciones\_\_\_\_\_Ninguna\_\_\_\_\_
- 5) Certificación de Aprobación: En calidad de asesor certifico la aprobación de la tesis para título.

Fecha: Nuevo Chimbote, setiembre del 2021.



\_\_\_\_\_  
Dr. Joel Herradda Villanueva  
Asesor

