



# Memoria Cálculo Ventilación nave de generación

---

## Proyecto

## Termogenerador Central Mataveri

Nº: MD-1158-DOC-M-02-R.1

30 de Septiembre del 2013.



## INDICE.

TITULO.	PÁGINA.
1.- ANTECEDENTES CLIMATOLOGICOS	2
2.- ALCANCE	3
3.- CRITERIOS DE DISEÑO	3
4.- CALOR EMITIDO POR MOTOR Y ALTERNADOR	5
5.- DATOS TECNICO DEL GRUPO ELECTRÓGENO	6
6.- CALOR EMITIDO POR SILENCIADOR Y TUBERIA DE ESCAPE	6
7.- BALANCE TERMICO EN SALA DE GENERACION	7
8.- ESPECIFICACIONES TECNICAS GENERALES	11
 ANEXO A. FICHA TECNICA GRUPO ELECTROGENO	 13



## 1.- ANTECEDENTES CLIMATOLÓGICOS.

La Isla de Pascua presenta un clima tropical lluvioso, con una temperatura media que sobrepasa los 23°C en los meses de verano y de 18°C en invierno. Se define así una amplitud térmica anual de sólo poco más de 5°C, por su parte, la amplitud media diaria es algo superior a 6°C. Ambos valores son bajos por la influencia oceánica sobre la isla, observándose que también desplaza la época de los extremos térmicos: el mes más cálido es febrero y el más frío agosto, distinto a lo que sucede el gran parte del resto del país.

El régimen pluviométrico presenta cantidades importantes durante todo el año, con una estación menos lluviosa entre primavera y verano (octubre, noviembre y enero) y una estación más lluviosa otoñal (abril a junio). Lo que precipita en los 4 meses más lluviosos (abril a julio) equivale a un 42% del total anual, que es superior a 1.100 mm. No hay ningún mes que precipite menos de 60 mm. Las precipitaciones de verano son netamente de origen convectivo, mientras que en invierno, la visita de algunos sistemas depresionarios origina precipitaciones de carácter frontal.

Las perturbaciones dejadas por el paso de sistemas frontales, producen en ocasiones intenso oleaje frente al sector costero norte y noroeste de la isla, situación que da origen a vientos ascendentes que producen nubosidad de gran desarrollo vertical, que da origen regularmente a chubascos en la zona.

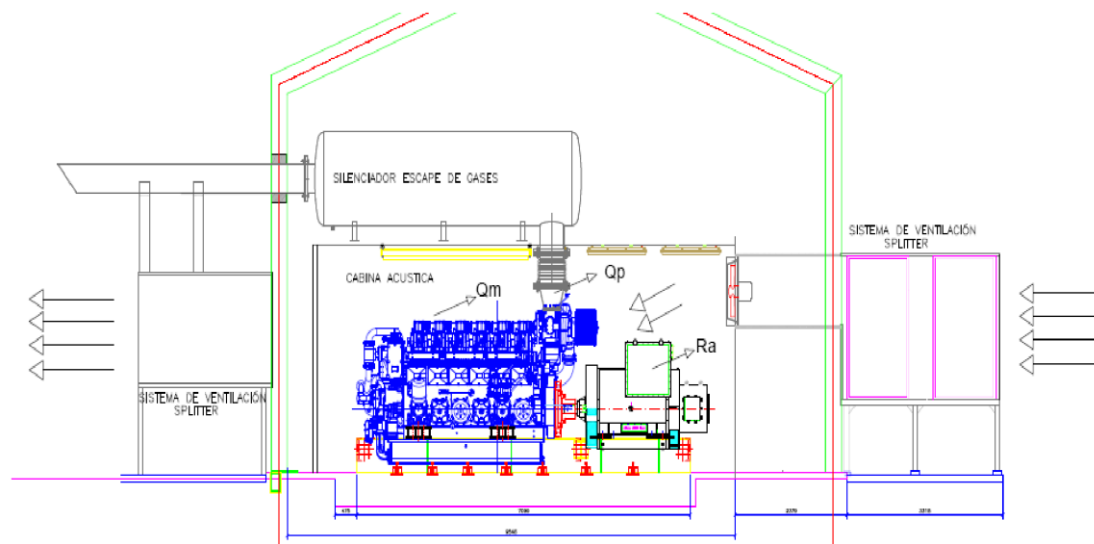
La influencia del mar y la mayor temperatura, que permite un mayor contenido de humedad atmosférica, se dejan ver claramente en los altos niveles de humedad que registra la zona, a través de todo el año, con valores que no descienden de 77%.

La dirección del viento predominante es el este. Aunque en los períodos nocturnos predominan los vientos calma, la intensidad aumenta durante el día. Pero este régimen es a menudo interrumpido por las depresiones.

*Fuente. Página web Direccion Meteorológica de Chile.*

## 2.- ALCANCE.

Para mantener la temperatura interior, de acuerdo a los parámetros que indica el fabricante, es necesario retirar todo el calor en exceso irradiado dentro de la cabina o casa de fuerza proyectada. Para ellos consideramos los generadores con instalación de silenciadores escape de gases y radiadores remotos en el exterior del galpón. Como calor irradiado se considera la radiación que proviene del motor y alternador y de la transferencia de calor que aporta parte de la línea de escape ubicada al interior de la sala.



## 3.- CRITERIOS DE DISEÑO.

El requerimiento de caudal de aire necesario a través de la sala, con el fin de mantener el equilibrio entre el funcionamiento óptimo de maquinarias a un nivel de temperatura específico para evitar el “derateo o derating” de las unidades, mantener un nivel de temperatura razonable para todos los equipos y cables, y también para permitir la presencia de personal humano dentro del recinto durante la operación.



A modo de contrarrestar el aumento de temperatura ocasionado por las condiciones térmicas aportadas por uno o más elementos dentro de un espacio, se debe conocer el caudal de aire a introducir de acuerdo a los gradientes de temperatura interior máxima y exterior ambiente. Este equilibrio es lo que se define como cálculo de balance térmico.

El sistema de ventilación del módulo corresponde a una unidad de ventilación conformada por una batería de ventiladores de flujo axial con atenuación acústica de ruido, de acuerdo a los estándares de ruido admisibles y carga de polvo ambiental respectivamente, definidas por las condiciones locales de sitio que son específicas del proyecto.

Para permitir la ventilación de la nave, producto del aporte térmico del silenciador y de la radiación solar transmitida a través del revestimiento PV-4 de las paredes y del techo, se proyectarán celosías de ventilación las que irán ubicadas en las paredes frontales y exteriores de la nave permitiendo la circulación natural del aire.

De acuerdo a datos de fabricante la temperatura de trabajo máxima para evitar “derateo” de la unidad es de 40°C. La temperatura de alarma es de 51°C. El diseño del sistema de ventilación permitirá dirigir el flujo de aire directamente hacia el filtro del turbo, evitando tomar el calor del motor.

La unidad de ventilación estará compuesta de 2 ventiladores de flujo axial diseñada bajo el criterio n+1, significando que 1 unidad se encuentra operando y la segunda stand-by de acuerdo con los requerimientos de ventilación y disponibilidad de esta unidad.

En caso de temperaturas exteriores extremas, sobre 24°C, se debe arrancar el segundo ventilador en caso de que el nivel de carga del motor sea del 100%.

Para realizar labores de mantenimiento de la unidad de ventilación, existe una escotilla que permite acceder a los ventiladores. Para efectos de mantenimiento (recambio del mismo en caso de falla) las unidades deben estar

detenidas, los tableros de fuerza deben estar bloqueados, ya que los ventiladores por lo general no tienen rejillas de protección.

Los estándares de ingeniería para ventilación, refrigeración y aire acondicionado de *ASHRAE 1999 Application Handbook*. Presentan el siguiente método de cálculo para determinar el caudal de aire en una sala en sistemas de motor en funcionamiento, se define:

$$Q = \frac{q}{\rho_o \cdot c_p (t_e - t_s)} = \frac{q}{1.2(t_e - t_s)}$$

**Donde:**

- $q$  = Calor transferido (kcal/h)
- $Q$  = Volumen de aire requerido (m<sup>3</sup>/h)
- $C_p$  = Calor específico del aire (kcal/kg°C)
- $T_e$  = Temperatura exterior
- $T_s$  = Temperatura sala

#### 4.- CALOR EMITIDO POR MOTOR Y ALTERNADOR.

El motor y el alternador emiten calor al cuarto del conjunto generador por radiación y convección. En la Figura 4.a, este calor se identifica como Q<sub>GS</sub>, el cual se obtiene de la ficha técnica del conjunto generador para determinar la cantidad de calor, como se muestra en la Figura.

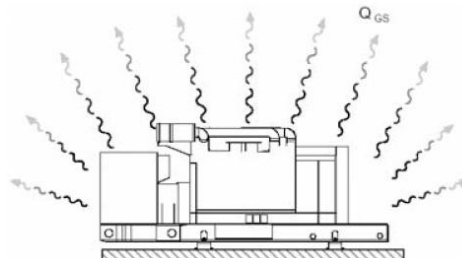


Figura 4.a



## 5.- DATOS TECNICO DEL GRUPO ELECTRÓGENO.

Basados en la información entregada por el fabricante se presentan las siguientes características: Motor Diesel. El motor del sistema de grupo electrógeno corresponde al modelo GE 6L250 y presenta las siguientes características:

Tabla N°1. Parámetros del motor

Número de cilindros	<b>6 en línea</b>
Diámetro/Carrera	<b>250/320 mm</b>
Relación de compresión	<b>16.8:1</b>
Velocidad del motor	<b>1.000 [rpm]</b>
Potencia bruta motor (MCR)	<b>1.598 kW continuo</b>
Presión media efectiva	<b>21,2 [bar]</b>
Consumo de combustible	<b>375,1 l/h</b>
Calor total radiado al ambiente	<b>73,2 kW</b>
Caudal del aire de combustión	<b>175 [m³/min]</b>

Fuente: Guía de Proyecto GE. Ver anexo A.

## 6.- CALOR EMITIDO POR SILENCIADOR Y TUBERIA DE ESCAPE.

El silenciador y la tubería de escape emiten calor al cuarto del conjunto generador, como aparece en la (Figura 6.a). Dicho calor es función de la carga de trabajo del motor y de la aislación de las partes calientes tales como sistema de escape. De la Tabla 3, se muestra el calor irradiado del ducto (QP) y el silenciador (QM).

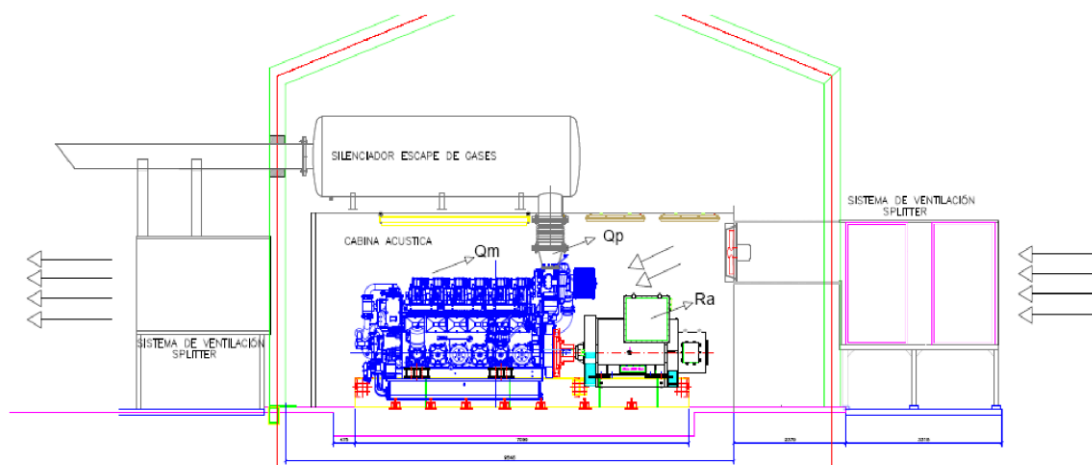


Figura 6.a

### 6.1.- Datos técnicos de los gases de escape.

De la Guía de Producto GE L250 Series Diesel Engine, podemos obtener el caudal y la temperatura de los gases producidos en el grupo electrógeno que salen a la atmósfera.

Caudal de gases de escape	417 [m <sup>3</sup> /min]
Temperatura de gases de escape	370 [°C]

Tabla N°2. Flujo nominal de gases caliente del motor

## 7.- BALANCE TERMICO EN SALA DE GENERACION.

En el balance térmico de la sala de generación se comprobó que el funcionamiento del motor a plena carga genera un aporte de 124 kW<sub>th</sub>. Esto considerando que el tramo de ducto de escape interior a la cabina es aislado térmicamente, y en consecuencia el aporte de calor es mínimo.

Para mantener la temperatura del aire interior por debajo de la temperatura máquina recomendada por el fabricante es necesario introducir una cierta cantidad de aire fresco del ambiente exterior. Dicho volumen de aire se calcula de acuerdo a partir del aporte térmico global interior.





ITEM	FUENTES DE CALOR				NOTAS
1	RADIACIÓN DEL MOTOR	$Q_M$	66.5	$\text{kW}_{th}$	
2	VENTILACIÓN DEL ALTERNADOR	$Q_A$	53	$\text{kW}_{th}$	Se considera eficiencia del alt. de 96,7%
3	CALOR APORTADO POR DUCTO DE ESCAPE	$Q_P$	5	$\text{kW}_{th}$	Solo el tramo interior (flexible y ducto)
4	<b>TOTAL CALOR APORTADO</b>	<b><math>Q_T</math></b>	<b>124</b>	<b><math>\text{kW}_{th}</math></b>	
	<b>TOTAL CALOR APORTADO</b>	<b><math>Q_T</math></b>	<b>106,898</b>	<b><math>\text{kCal/h}</math></b>	

Tabla N°3. Distribución de calor del motor

El calor irradiado por el motor es de 66,5 kW térmicos a 1.000 rpm de acuerdo a lo que indica el fabricante (ver anexo A).

El calor irradiador por el alternador se calcula en función de las pérdidas del mismo. Si la eficiencia eléctrica del alternador es de 96.7% entonces las pérdidas son del 3,3%, lo que nos da un nivel de pérdidas del orden de 53 kW térmicos.

Tanto el flexible como el ducto de escape interior a la cabina deben aislarse para evitar que contribuyan a aumentar el aporte de calor interno.

### 7.1.- Tabla de caudales volumétricos requeridos. SITUACIÓN ESPERADA.

En esta tabla se determinaron los caudales requerido para evacuar el calor de la sala.

- $T_s = 46^\circ\text{C}$  (máxima temperatura interior sala de generación por condición de operación).
- $T_e$  = Temperatura exterior.
- $T_e = 24^\circ\text{C}$  corresponde al promedio de las máximas temperaturas. Se considera este valor para el diseño.

La tabla que a continuación se presenta muestra los distintos flujos de aire según sea la diferencial de temperatura exterior e interior. Cuando el aire exterior está más frío se requiere de menor volumen de aire para refrigeración de que cuando está más caliente.



Ts	Te	(Ts-Te)	Rho (kg/m3)	Cp(Ts-Te)	Q (kcal/h)	Flujo (m3/h)
46	1	45	1.18	10.88	106,898	8,327
46	5	41	1.18	9.91	106,898	9,139
46	10	36	1.18	8.70	106,898	10,409
46	15	31	1.18	7.49	106,898	12,088
46	20	26	1.18	6.29	106,898	14,412
46	22	24	1.18	5.80	106,898	15,613
46	24	22	1.18	5.32	106,898	17,033
46	29	17	1.18	4.11	106,898	22,042
46	30	16	1.18	3.87	106,898	23,420

Tabla N°4. Ventilación requerida versus gradiente térmico.

El caudal volumétrico de aire fresco ( $V_{\text{Cuarto}}$ ), a una temperatura de 24°C, requerido para ventilación de la sala y para mantener la temperatura interior promedio bajo los 46°C cuando el motor trabaja a plena carga, es de 17.033 m<sup>3</sup>/h. Se hace notar de que el aire fresco se debe insuflar lo más directo al turbo para que no tome temperatura adicional.

## 7.2.- Aire de combustión para el grupo electrógeno.

Además del aire de ventilación, es necesario también proveer el flujo requerido por el motor, en las condiciones apropiadas de limpieza y temperatura, para producir la combustión interna ( $V_{\text{COMB}}$ ).

En consecuencia la siguiente expresión nos ayuda a determinar el flujo total para asegurar el correcto funcionamiento del equipo.

$$V_{\text{TOT}} = V_{\text{CUARTO}} + V_{\text{COMB}}$$

Donde:

- $V_{\text{cuarto}}$  = caudal requerido por la sala
- $V_{\text{comb}}$  = caudal de aire requerido para la combustión



Con esta expresión obtenemos el flujo total el cual nos da como resultado lo siguiente:

$$VTOT = 17.033 + 10.500 = \mathbf{27.533 \text{ m}^3/\text{h.}}$$

- Para efectos de diseño se considera como máximo caudal proyectado 28.000 m<sup>3</sup>/h por generador.
- Bajo el criterio n+1, donde n=2, con 1 unidad en operación que pueda cubrir los 28.000 m<sup>3</sup>/h y 1 unidad en stand by.

### 7.3.- Tabla de caudales volumétricos requeridos. SITUACIÓN EXTREMA.

En esta tabla se verifica el funcionamiento apropiado en condiciones extremas de temperatura exterior y funcionamiento del motor a plena carga.

- $T_s = 40^\circ\text{C}$  (máxima temperatura ingreso de aire de combustión al turbo, la especificación de GE indica  $45^\circ\text{C}$  según documento adjunto).
- $T_e =$  Temperatura exterior.
- $T_e = 30^\circ\text{C}$  corresponde a la temperatura máxima histórica.

Un ventilador funcionando aporta 28.100 m<sup>3</sup>/h al cuarto o cabina. El aporte térmico que recibe este aire previo a ingresar al motor es el del alternador, que es la primera fuente térmica que enfrenta, y que a plena carga aporta 53 kW<sub>th</sub> de potencia. El ventilador centrífugo del alternador se encarga de homogeneizar el flujo del ventilador.

2	VENTILACIÓN DEL ALTERNADOR	Q <sub>A</sub>	53 kW <sub>th</sub>	Se considera eficiencia del alt. de 96,7%
---	----------------------------	----------------	---------------------	---

En consecuencia, el aporte térmico del alternador incrementa el aire de barrido de 30°C a 36°C.

TEMP IN	30	°C
Aporte térmico alternador	45,408	kcal/h
Flujo	28,100	m <sup>3</sup> /h
TEMP OUT	36	°C

Por lo tanto el aire que entra al motor para la combustión entraría con 6°C más respecto de la temperatura exterior, por lo que no hay derateo en el motor por el efecto de la temperatura.

Ahora bien, de los 28.100 m<sup>3</sup>/h que se ingresan al cuarto o cabina, 10.500 m<sup>3</sup>/h se consumirían como aire de combustión a 36°C con el motor a plena carga,



por lo que el aire de barrido remanente para ventilar del cuarto o cabina sería de:

$$V_{\text{cuarto}} = 28.100 - 10.500 = 17.600 \text{ m}^3/\text{h}$$

Este flujo de aire, que en promedio estaría a 36°C, aumenta su temperatura en la medida que recorre la sala recibiendo el aporte del motor (radiación y convección). En este caso el aumento de la temperatura del aire saliendo de la cabina sería de 48°C tal como se muestra en la siguiente tabla.

TEMP IN	36	°C
Aporte térmico partes calientes	61,490	kcal/h
Flujo	17,600	m <sup>3</sup> /h
TEMP OUT	48	°C

No se verifica inconveniente ni para el motor, ni para el sistema de alarma, ni para el operador, por cuanto la salida del aire se encuentra por sobre una altura de 2 m.

En caso extremo que se dé la combinación de plena carga y temperatura máxima histórica y por otro lado se quiera trabajar sobre el motor en funcionamiento sería recomendable encender el segundo ventilador por como cosa excepcional para el confort del operador/mecánico.

#### 7.4.- Flujo de aire corregido por altura del sitio.

La altitud del aeropuerto de Mataveri es de 69 msnm. En estas condiciones no existe derateo por altura por lo que el factor de corrección es 1.

## 8.- ESPECIFICACIONES TECNICAS GENERALES

### 8.1.- Ventiladores de flujo axial.

El sistema de ventilación de la sala estará compuesto de 2 ventiladores de flujo axial de 29.000 m<sup>3</sup>/h cada uno para mantener una ligera sobre presión interior de 5 mmca. La caída de presión total proyectada para el sistema máximo es de



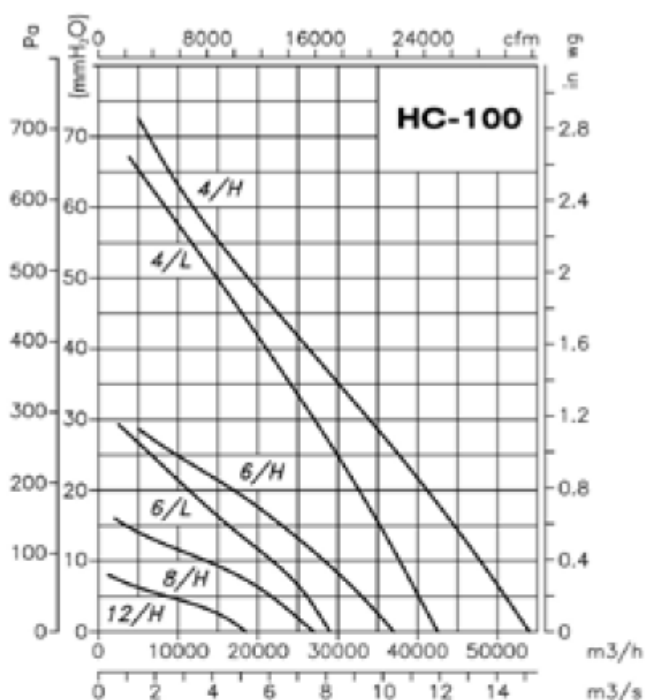
8 mmca considerando la caída de presión tanto en la entrada como en la salida.

Se ha seleccionado la unidad SODECA HC-100-6T/L de bajas revoluciones (950 rpm) que tiene un nivel de presión sonora de 76 dBA y que no contribuye a aumentar el nivel de la cabina.

- Cantidad: 2 unidades
- Flujo Unitario: 29.000 m<sup>3</sup>/h MAXIMO.
- Motor de 1,1 kW
- Velocidad: 945 rpm
- Caída de Presión Sistema: max 8 mm ca
- Tipo de ventilador: de flujo axial y tiro forzado.
- IP requerido: 55

#### Características técnicas

Modelo	Velocidad (r/min)	Intensidad máxima admisible (A)			Potencia instalada (kW)	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /h)	Nivel presión sonora dB(A)	Peso aprox. (Kg)
		230V	400V	690V				
HC-100-6/12T/H	970 / 470		4,6 / 1,9		1,50/0,25	37000/18500	78/69	79
HC-100-6T/L	945	4,88	2,82		1,10	29000	76	58
HC-100-8T/H	705	4,68	2,70		0,75	26950	72	61





## ANEXO A

### FICHA TÉCNICA GE 6L250

FUENTE: PRODUCT GUIDE GE L250 SERIES DIESEL ENGINE





TABLE 2-3. GE 6L250 ENGINE DATA

<b>Engine: GE 6L250 (84A221676, Rev. J)</b>		<b>Type: 4-Stroke, Electronic Fuel Injection (EFI)</b> <b>Aspiration: Turbocharged and Intercooled</b> <b>Fuel Type: No. 2 Diesel, ASTM D-975</b> <b>Emissions Standard: EPA Tier 2</b> <b>Reference Conditions: per ISO 3046;</b> <b>Raw Water Temperature: 27°C (81°F)</b>		
Specification	Unit	Rated Engine Speed (RPM)		
		900	1000	1050
<b>General Engine Data</b>				
Maximum Continuous Rating (MCR)	kW (hp)	1498 (2009)	1664 (2232)	1748 (2344)
Overload Rating (1 hr per 12 hr period)	kW (hp)	1648 (2210)	1831 (2455)	1922 (2578)
Bore	mm (in.)	250 (9.8)	250 (9.8)	250 (9.8)
Stroke	mm (in.)	320 (12.6)	320 (12.6)	320 (12.6)
Arrangement and Number of Cylinders	--	Inline 6 cyl.	Inline 6 cyl.	Inline 6 cyl.
Cylinder Volume	Liters (in <sup>3</sup> )	15.7 (958)	15.7 (958)	15.7 (958)
BMEP (at max. rating)	bar (psi)	21.2 (308)	21.2 (308)	21.2 (308)
Firing Order		6-2-4-1-5-3	6-2-4-1-5-3	6-2-4-1-5-3
Mean Piston Speed	m/s (ft./min.)	9.6 (1890)	10.7 (2100)	11.2 (2205)
Compression Ratio	--	16.8 : 1	16.8 : 1	16.8 : 1
Weight (Dry) <sup>1</sup>	kg (lbs.)	17295 (38129)	17295 (38129)	17295 (38129)
Weight (Wet) <sup>1</sup>	kg (lbs.)	18411 (40590)	18411 (40590)	18411 (40590)
Idle Speed	rpm	330	330	330
<b>Heat Balance at Rated Load<sup>2</sup></b>				
Radiated Heat	kW (BTU/min.)	66 (3753)	66.5 (3788)	70 (3963)
Low Temperature Stage 2 Air Cooler and Oil Cooler	kW (BTU/min.)	330 (18764)	366 (20847)	385 (21893)
High Temperature Cylinder Water and Stage 1 Air Cooler	kW (BTU/min.)	586 (33349)	651 (37051)	684 (38910)
<b>Heat Balance at 110%<sup>2</sup></b>				
Radiated Heat	kW (BTU/min.)	66 (3753)	73.2 (4167)	77 (4359)
Low Temperature Stage 2 Air Cooler and Oil Cooler	kW (BTU/min.)	363 (20641)	403 (22930)	423 (24079)
High Temperature Cylinder Water and Stage 1 Air Cooler	kW (BTU/min.)	645 (36686)	717 (40753)	752 (42795)
<b>High Temperature Cooling Water System (Jackets and 1<sup>st</sup> Stage Air Cooler)</b>				
Engine-driven HT Circuit Pump Flow Rate	m <sup>3</sup> /hr (gpm)	44 (195)	49 (215)	51 (225)
Water Volume in Engine	Liters (gallons)	220 (58)	220 (58)	220 (58)
Temperature Before Engine, Nominal	°C (°F)	74 (165)	74 (165)	74 (165)
Temperature Before Engine, Alarm	°C (°F)	93 (200)	93 (200)	93 (200)
Temperature After Engine, Approx.	°C (°F)	85 (185)	85 (185)	85 (185)
Temperature After Engine (at 110%)	°C (°F)	85 (185)	85 (185)	85 (185)
HT Max. Allowable Ext. Pressure Drop <sup>3</sup>	bar (psi)	0.69 (10)	0.69 (10)	0.69 (10)
<b>Low Temperature Cooling Water System (2<sup>nd</sup> Stage Air Cooler and Oil Cooler)</b>				
Engine-driven LT Circuit Pump Flow Rate	m <sup>3</sup> /hr (gpm)	44 (195)	49 (215)	51 (225)
Water Volume in Engine	Liters (gallons)	114 (30)	114 (30)	114 (30)
Water Temp. Before Intercooler, Nominal	°C (°F)	38 (100)	38 (100)	38 (100)
Water Temp. After Intercooler, Approx.	°C (°F)	44 (112)	44 (112)	44 (112)
Water Temp. After Intercooler (at 110%)	°C (°F)	45 (113)	45 (113)	45 (113)
LT Max. Allowable Ext. Pressure Drop <sup>3</sup>	bar (psi)	0.69 (10)	0.69 (10)	0.69 (10)



GEK-114909A

Section 2. Engine Specifications

Table 1. GE 6L250 ENGINE DATA SHEET. (Continued)

Header Pressure	kPa (psi)	620 (90)
Maximum Suction Lift	m (in.)	2.3 (90)
Fuel temperature at inlet, minimum	°C (°F)	4 (40)
Fuel temperature at inlet, maximum	°C (°F)	53 (127)
<b>Intake Air System</b>		
Combustion Air at Rated Load	m <sup>3</sup> /m (cfm)	175 (6188)
Combustion Air at 110% Load	m <sup>3</sup> /m (cfm)	193 (6808)
Combustion Air Temperature, Nominal	°C (°F)	45 (113)
Combustion Air Temperature, Alarm	°C (°F)	51.7 (125)
Maximum Intake Vacuum (dirty filter)	mbar (in. H <sub>2</sub> O)	35 (14)
<b>Exhaust System</b>		
Exhaust Flow at Rated Load	m <sup>3</sup> /m (cfm)	379 (13391)
Exhaust Flow at 110% Load	m <sup>3</sup> /m (cfm)	417 (14731)
Exhaust Gas Temperature at Rated Load	°C (°F)	370 (700)
Maximum Back Pressure	mbar (in. H <sub>2</sub> O)	30 (12)
<b>Starting System</b>		
Pressure at Starter with Engine Cranking	kPa (psi)	620 (90)
Maximum System Pressure	bar (psi)	30 (435)
Nominal Cranking Time (warm engine)	seconds	6
Nominal Cranking Flow	m <sup>3</sup> /m (cfm)	48.1 (1700)