

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE
INGENIERIA**

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



INFORME DE SUFICIENCIA

**“CONVERSION DE UN MOTOR-GENERADOR
DIESEL A DIESEL-GAS”**

PRESENTADO POR:

BUSTAMANTE ARCE ALAN GEORGIE

PARA OPTAR EL GRADO DE:

INGENIERO MECATRONICO

**LIMA, PERU
Mayo - 2005**

TABLA DE CONTENIDOS

TABLA DE CONTENIDOS	I
LISTA DE TABLAS	III
LISTA DE FIGURAS.....	IV
PROLOGO	1
INTRODUCCION.....	4
1.1. Objetivos	5
1.2. Antecedentes	5
1.3. Alcances y Limitaciones del Proyecto.....	7
2. EL GAS NATURAL	10
2.1. Definición.....	10
2.2. Composición del Gas y Propiedades Físicoquímicas	11
2.2.1. Composición del Gas Natural	11
2.2.2. Propiedades Físicoquímicas.....	13
2.3. Ventajas comparativas frente a otros combustibles.....	14
2.3.1. Ventajas Ambientales.....	14
2.3.2. Ventajas Económicas.....	15
2.3.3. Ventajas Operacionales.....	16
3. EL MOTOR-GENERADOR CATERPILLAR 3412	18
3.1. Características Técnicas.....	19
3.2. Regulador de Voltaje SR4A.....	21

3.3.	Controlador de Velocidad 2301	23
3.4.	Actuador EG-3P	26
4.	SISTEMA DE CONVERSION	30
4.1.	Equipos necesarios	30
4.2.	Diseño del Controlador	39
4.3.	Conversión del Motor-Generador.....	46
5.	RESULTADOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS.....	53
5.1.	Puesta en Marcha.....	53
6.	BENEFICIOS LOGRADOS	59
6.1.	Beneficio Económico.....	59
6.2.	Beneficio Ambiental.....	62
7.	CONCLUSIONES	64
8.	BIBLIOGRAFIA	68
9.	APÉNDICE.....	69

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 2.1 Análisis cromatográfico del gas natural de San Jacinto.....	12
Tabla N° 2.2 Emisión de contaminantes de combustibles.....	14
Tabla N° 2.3 Efectos de los contaminantes.....	15
Tabla N° 3.1 Características técnicas del motor-generator	19
Tabla N° 3.2 Especificaciones eléctricas del regulador de voltaje SR4A ...	21
Tabla N° 3.3 Especificaciones físicas del regulador de voltaje SR4A	22
Tabla N° 3.4 Especificaciones técnicas del actuador EG-3P.....	27
Tabla N° 4.1 Parámetros del sistema.....	37
Tabla N° 4.2 Leyenda del esquema de la conversión del motor-generator	52
Tabla N° 5.1 Parámetros medidos al inicio con solo petróleo diesel	54
Tabla N° 5.2 Parámetros haciendo que la presión diferencial tienda a cero	55
Tabla N° 5.3 Parámetros medidos trabajando con petróleo diesel-gas	56
Tabla N° 5.4 Parámetros finales del sistema.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 2.1 Composición del gas natural de Camisea	11
Figura N° 2.2 Análisis cromatográfico del gas natural de San Jacinto	13
Figura N° 2.3 Precios equivalentes de los combustibles en el mercado peruano.....	16
Figura N° 3.1 El motor-generator Caterpillar 3412.....	18
Figura N° 3.2 Diagrama de bloques del regulador de voltaje SR4A.....	22
Figura N° 3.3 Sistema básico del controlador de velocidad 2301.....	24
Figura N° 3.4 Diagrama de boques del controlador de velocidad 2301	25
Figura N° 3.5 Diagrama esquemático del actuador EG-3P	28
Figura N° 4.1 Filtro de gas primario.....	31
Figura N° 4.2 Válvula manual.....	31
Figura N° 4.3 Interruptor de presión baja	32
Figura N° 4.4 Válvula reductora de presión	32
Figura N° 4.5 Esquema de la válvula reductora de presión	33
Figura N° 4.6 Filtro de gas secundario	34
Figura N° 4.7 Válvula reguladora “Zero”.....	35
Figura N° 4.8 Interruptor de presión alta	35
Figura N° 4.9 Esquema de la válvula de corte de gas	36
Figura N° 4.10 Válvula de corte de gas	37

Figura N° 4.11 Válvula de gas de potencia.....	38
Figura N° 4.12 Mezcladores	39
Figura N° 4.13 Panel de control	40
Figura N° 4.14 Menú principal del panel de control	41
Figura N° 4.15 Diagrama de flujo del programa principal del controlador.	43
Figura N° 4.16 Diagrama de flujo del procedimiento “Modo Bifuel”	44
Figura N° 4.17 Diagrama de flujo del procedimiento “Leer Sensores”	45
Figura N° 4.18 Instalación del filtro primario y la válvula reguladora	47
Figura N° 4.19 Instalación del tren de alimentación de gas.....	48
Figura N° 4.20 Instalación de los mezcladores de gas-aire	50
Figura N° 4.21 Esquema de la conversión del motor-generator	51
Figura N° 5.1 Conexión del manómetro diferencial.....	55

PROLOGO

En el presente informe veremos como podemos conseguir que un motor que utiliza como combustible el petróleo diesel pueda trabajar adicionándole gas natural, sin alterar en nada su modo de funcionamiento interno. Esta adaptación fue desarrollada para un motor-generator Caterpillar 3412, y solo sirve para este tipo de motor; si se quiere utilizar en otros tipos de motores se debe hacer ciertas variaciones, las cuales las veremos en la parte de limitaciones del trabajo.

El informe comienza con una introducción, en la cual nos da una mejor idea de todo lo que se espera conseguir con este proyecto, así mismo: los objetivos, los antecedentes para desarrollar el proyecto en el marco de la realidad actual de la empresa y de equipos que existen y hacen lo mismo que se espera lograr con este proyecto; y por ultimo veremos en este capítulo la parte de alcances y limitaciones del proyecto; donde se dará una idea mas clara de todo lo que logró y de lo que no se consiguió.

En el segundo capítulo definiremos que es el gas natural, veremos su composición y propiedades fisicoquímicas tanto de reservas en el Perú, el resto del mundo y especialmente de la empresa donde se desarrollará el proyecto; y por último sus ventajas comparativas frente a otros combustibles para entender por que es ventajoso reemplazar parcialmente el petróleo diesel por gas natural.

En el tercer capítulo veremos al motor-generator Caterpillar 3412 antes de realizarle alguna modificación, veremos como es su funcionamiento, sus características técnicas y parámetros para un óptimo funcionamiento; y por ultimo veremos los controladores que posee, que son: Regulador de voltaje, controlador de velocidad y el actuador EG-3P.

En el cuarto capítulo veremos en si el sistema de conversión, todo lo necesario para lograr el cambio; es decir equipos, sensores y actuadores. También veremos el diseño del controlador y la forma en que puede interactuar el operador con el equipo, los parámetros para la calibración del equipo y correcto funcionamiento del mismo.

En el quinto capítulo veremos como se hace la puesta en marcha del equipo, los resultados experimentales obtenidos para diferentes valores de carga aplicados al generador y por último los parámetros finales del sistema para un óptimo funcionamiento.

En el sexto capítulo abarcaremos lo que tal vez sea lo más relevante del proyecto, es decir, los beneficios logrados. Lo tomaremos desde dos puntos de vista: el beneficio económico y el beneficio ambiental; aquí también veremos el tiempo de recuperación del equipo, para los cálculos de costos de combustible se considera sin precio al gas natural, debido a que la empresa no lo comercializa, y el precio del petróleo diesel solo se considera el costo para producirlo.

Finalmente encontraremos las conclusiones, la bibliografía y los apéndices del proyecto, en donde se anexaran algunos manuales de los elementos empleados en el desarrollo del proyecto.

CAPITULO 1

INTRODUCCION

Al hablar del lote 1AB, zona petrolera que está en medio de la selva, departamento de Loreto, frontera con Ecuador; es lógico suponer que su principal problema es la generación eléctrica, para lo cual cuenta con gran cantidad de generadores Caterpillar, principalmente los modelos 3412, 3512 y 3516. Dichos generadores que trabajan día y noche han sido diseñados para usar el petróleo diesel como combustible.

También se sabe que de los yacimientos petroleros también sale gas natural asociado, el cual antiguamente era arrojado al medio ambiente; actualmente se está quemando ese gas, es decir, no se está aprovechando ese recurso energético.

Pluspetrol se encarga de explotar los yacimientos petroleros del Perú, a su vez dentro de sus instalaciones cuentan con una planta para obtener petróleo diesel y con otra planta para tratamiento de gas natural; y al igual que toda empresa quiere reducir costos operativos.

Por lo dicho anteriormente podemos decir que esta planta petrolera tiene petróleo diesel y gas natural, este último sin aprovechar, es por ello que se decidió transformar el motor-generador para que trabaje con Diesel – Gas Natural, siendo combustible piloto el petróleo diesel, sin que se altere el rendimiento del equipo; lo cual es el tema del presente informe de suficiencia.

También la empresa está tratando de reducir la contaminación ambiental que produce, una razón más que impulsó el desarrollo de este proyecto.

1.1. OBJETIVOS:

- Reducir el consumo de petróleo diesel empleado en la generación eléctrica, reemplazándolo parcialmente por gas natural (con inyección piloto de petróleo diesel) en el Motor-Generador Caterpillar 3412.
- Reducir la contaminación ambiental generada por dicho motor.

1.2. ANTECEDENTES

Actualmente existen kits que se encargan de hacer lo que se plantea conseguir con este proyecto, existen marcas como Argenchip, Altronic, ITG y otros, lo cual demuestra que si se puede alcanzar los objetivos planteados.

Ahora veamos las características principales del sistema Argenchip: En el momento de poner en marcha el motor, el controlador lógico programable (PLC), por medio de sensores, verifica que ciertos parámetros de operación; como la presión de gas de entrada, presión de aceite, restricción de filtro de aire, temperatura del agua y temperatura de los gases de escape, estén dentro de los rangos de operación normal. Si estos parámetros son los correctos, el mismo PLC verifica que el amperaje del generador esté sobre el mínimo programado. Una vez que el sistema realizó, en forma totalmente automatizada, la verificación, da luz verde a la operación bi-fuel; es decir, el solenoide de corte se energiza y las válvulas de regulación de gas y petróleo diesel comienzan a funcionar.

El gas fluye a través del solenoide de corte al regulador de baja presión, saliendo de éste a presión atmosférica. El gas no fluirá si no hay una señal de vacío en la salida del regulador de baja presión. La cantidad de gas es controlada por una válvula electrónica (tipo modulante) que está ubicada después del regulador de baja presión. Esta válvula es operada electrónicamente y recibe su señal del programa incorporado en el PLC. La cantidad de gas es ajustada por medio de unos algoritmos o lazos de regulación que se basan en los diferentes parámetros de operación del motor como por ejemplo: presión de gas, temperatura de gases de escape, temperatura de refrigerante de motor, diferencial de presión de filtro de aire, flujo de alimentación de combustible petróleo diesel y carga del motor [8].

El sistema que se va a desarrollar es bastante similar al desarrollado por Argenchip, aunque si revisamos el funcionamiento de kits de otras marcas, notaremos que son bastantes similares, variando únicamente en la parte de control.

1.3. ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO

Con la conversión de los generadores logramos ahorrar entre 30 y 40 % de petróleo diesel, esto dependiendo del estado del motor. También logramos que la potencia generada no se altere y que el motor siga trabajando a la misma velocidad (1800 RPM).

En cuestiones de seguridad se tiene:

La presión de gas a la entrada de los mezcladores es ligeramente negativa, $\frac{1}{2}$ " de columna de H_2O , para impedir que el gas fluya por si mismo; es decir, sólo ingresará al motor cuando éste lo absorba conjuntamente con el aire.

En el caso que alguno de los parámetros de control salga fuera de los límites fijados, automáticamente la entrada de gas será cortada, y el motor seguirá trabajando sólo con petróleo diesel, y no se repondrá por si sola por más que el parámetro regrese dentro de los límites, esto para evitar posibles daños. Para volver a activar la entrada de gas el operador deberá hacerlo manualmente presionando el pulsador Start.

Para que se abra la electroválvula que corta la entrada de gas, los parámetros deben estar dentro de los rangos establecidos, caso contrario no hará nada, nos podemos dar cuenta fácilmente de esto observando las tres lámparas con que cuenta el módulo; rojo, ámbar y verde. Verde nos indica que el sistema esta trabajando en modo Bifuel, el ámbar nos indica que el motor está trabajando sólo con petróleo diesel , pero que esta listo para trabajar en modo Bifuel, para lo cual solo se debe presionar el pulsador Start/Stop, y el rojo nos indica que existe alguna señal de alarma, es decir, algún parámetro esta fuera de los rangos establecidos, mas adelante veremos como interactuar con el controlador lógico programable con panel de operador (OPLC) para determinar que tipo de alarma es y como hacemos para corregir el problema.

Si el sistema detecta que no hay presión de gas a la entrada del tren de alimentación también cerrará la entrada de gas y el motor trabajara sólo con petróleo diesel.

Las limitaciones que tiene:

Este kit solo es aplicable para el tipo de motor-generator 3412, debido a que tiene diseñado el control para ese tipo de motor, actualmente se esta variando el programa para trabajar con otros tipos de generadores 3512 y 3516, en estos motores se debe colocar una mayor cantidad de sensores.

Otra limitación es la falta de sensores de detonación o preencendido en cada cilindro, para tener una mejor información del estado de la combustión.

Bajo porcentaje de reemplazo del gas, esto debido a que no se modifica en nada el equipo, y sólo nos basamos en las características dadas por el fabricante del motor-generator; esto debido a que estos equipos tienen garantía y técnicos especializados en su mantenimiento, y al variar su estructura interna perdería esa garantía. Con esto queda aclarado que este motor no se transformo para que trabaje únicamente con gas, sino simplemente se hace ingresar gas para reducir parcialmente el consumo de petróleo diesel.

El control realizado es sólo On/Off, por cual sólo se tiene dos estados, abierto o cerrado de la electroválvula, actualmente se quiere conseguir un mejor control que puede ser un control proporcional integral derivativo (PID) o simplemente un control proporcional (P).

Al momento que ingresa el gas el motor se acelera, obteniéndose un pico, el motor toma casi 5 segundos en estabilizarse. La válvula de corte de gas es de doble asiento, y ambas electroválvulas son conectadas en paralelo; uno se abre rápido y el otro lento, en el lento se puede regular el tiempo de apertura, con lo cual se puede lograr una rampa para que ingrese el gas.

CAPITULO II

EL GAS NATURAL

2.1. DEFINICION

El gas natural es un combustible compuesto por un conjunto de hidrocarburos livianos, donde el principal componente es el metano (CH₄); es incoloro e inodoro, no tóxico y más ligero que el aire [9].

El gas natural procede de la descomposición de los sedimentos de materia orgánica atrapada entre estratos rocosos, y se puede encontrar como “gas natural asociado” cuando está acompañando de petróleo, o bien como “gas natural no asociado” cuando son yacimientos exclusivos de gas natural.

El gas natural representa una energía eficaz, rentable y limpia; y por sus precios competitivos y su eficiencia como combustible, permite alcanzar considerables economías a sus utilizadores. Por ser el combustible más limpio de origen fósil, contribuye decisivamente en la lucha contra la contaminación atmosférica, y es una alternativa energética que destacará en el siglo XXI por su creciente participación en los mercados mundiales de la energía.

2.2. COMPOSICIÓN DEL GAS NATURAL Y PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

2.2.1. Composición del Gas Natural

La composición del gas natural varía según la zona geográfica, la formación o la reserva de la que es extraído.

A continuación veremos una composición promedio del yacimiento gasífero de Camisea en Perú.

COMPOSICIÓN DEL GAS NATURAL

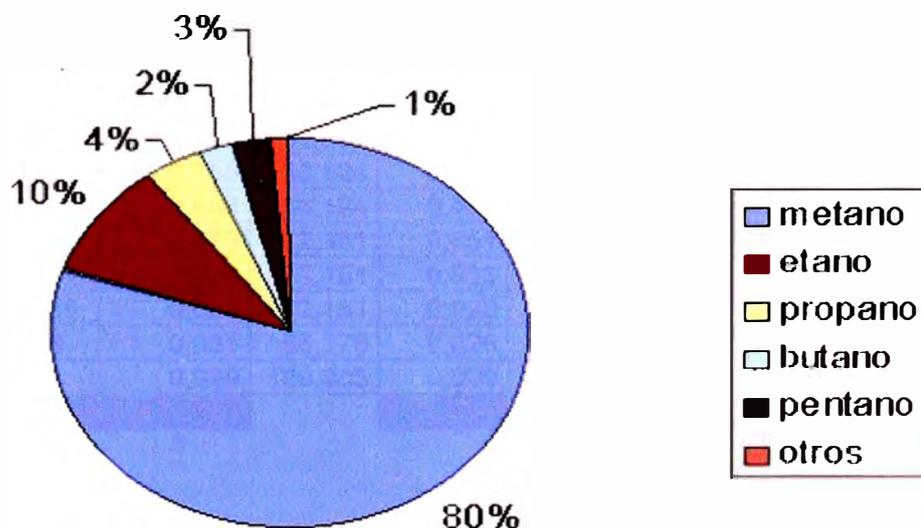


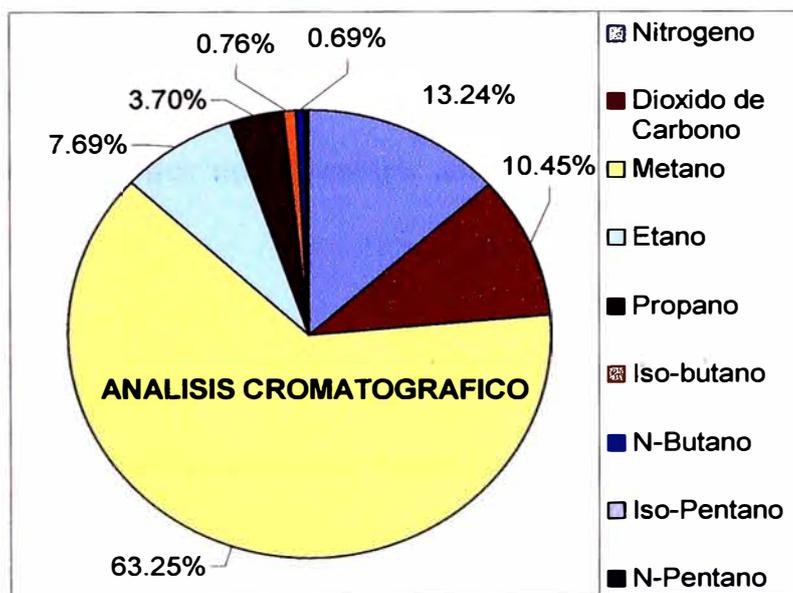
Figura N° 2.1 Composición del Gas Natural de Camisea

Es conveniente aclarar que - en su composición - no aparecen únicamente los hidrocarburos, sino también las impurezas, como el agua, helio, el dióxido de carbono y el sulfuro de hidrógeno [12].

Para nuestro caso trabajaremos con gas natural asociado de los pozos petroleros de San Jacinto, cuya composición es la siguiente:

Tabla N° 2.1 Análisis cromatográfico del gas natural de San Jacinto – Pluspetrol

Nombre	Fórmula	Comp.	Peso Molecular		Densidad del Gas		Valor Calorífico	
		(% MOL)	MW	Valor	AIR = 1	Valor	BTU/ CU.FT	Valor
Nitrógeno	N ₂	13,244	28,013	3,710	0,9672	0,128	0,0	0,00
Dióxido de Carbono	CO ₂	10,448	44,010	4,598	1,5195	0,159	0,0	0,00
Metano	C1	63,245	16,043	10,146	0,5539	0,350	909,1	574,96
Etano	C2	7,688	30,070	2,312	1,0382	0,080	1617,8	124,38
Propano	C3	3,700	44,097	1,631	1,5225	0,056	2316,4	85,70
Iso-butano	i-C4	0,755	58,124	0,439	2,0068	0,015	3001,1	22,66
N-Butano	n-C4	0,688	58,124	0,400	2,0068	0,014	3010,4	20,70
Iso-Pentano	i-C5	0,070	72,151	0,051	2,4911	0,002	3698,3	2,60
N-Pentano	n-C5	0,074	72,151	0,053	2,4911	0,002	3707,5	2,74
Neo-Pentano	neo-C5	0,028	72,151	0,020	2,4911	0,001	3698,3	1,02
N-Hexano	n-C6	0,031	86,178	0,026	2,9753	0,001	4403,7	1,35
N-Heptano	n-C7	0,029	100,205	0,029	3,4596	0,001	5100,2	1,49
TOTAL		100		23,4		0,8		837,6



Fuente: Laboratorio de Capahuari Sur – Pluspetrol
Gas Natural a 110 °F, 150 Psi, Base: San Jacinto

Figura N° 2.2 Análisis cromatográfico del gas natural de San Jacinto – Pluspetrol

2.2.2. Propiedades Físicoquímicas:

- ✓ Es incoloro
- ✓ Es inodoro, por eso se le agrega odorizantes con la finalidad de que pueda ser detectado por el olfato en concentraciones mayores al 0,5 %.
- No es toxico en bajas concentraciones, en altas concentraciones puede causar vómitos y asfixia.
- ✓ Es un gas liviano, más ligero que el aire.
- ✓ Es un gas seco.
- ✓ Alta temperatura de ignición (540°C en comparación a 250°C ó 350°C de petróleo diesel y gasolina, respectivamente).
- ✓ Su componente fundamental es el metano.
- ✓ Es el combustible fósil mas limpio, y el que produce menores contaminantes en su combustión.

2.3. VENTAJAS COMPARATIVAS FRENTE A OTROS COMBUSTIBLES

Las numerosas ventajas que tiene el gas natural frente a otros combustibles fósiles lo dividiremos en tres tipos: ventajas ambientales, ventajas económicas y ventajas operacionales.

2.3.1. Ventajas Ambientales

El gas natural es un combustible muy limpio comparado con los combustibles tradicionales lo que facilita el cumplimiento de exigentes normas ambientales. Una de las grandes ventajas del gas natural respecto a otros combustibles, es la baja emisión de contaminantes en su combustión.

2.3.1.1. Emisión de contaminantes de combustibles (en términos del consumo energético)

Para entender mejor sobre las emisiones producidas por los combustibles se presenta el siguiente cuadro comparativo.

Combustible	MP Material Particulado	SO _x Óxido de Sulfuro	NO _x Óxido de Nitrógeno
Gas Natural	1	1	1
GLP	1,4	23	2
Kerosene	3,4	269	1,5
Diesel	3,3	1 209	1,5
Residual N° 5	15	4 470	4
Residual N° 6	39,4	4 433	4
Carbón	157	5 283	6

Fuente: Innergy soluciones.

Tabla N° 2.2 Emisión de contaminantes de combustibles

En la generación de una determinada cantidad de energía calorífica, el gas natural es el que tiene menos emisiones.

2.3.1.2. Cuadro resumen de efectos de distintos contaminantes sobre la salud de las personas y en el ambiente

Tabla N° 2.3 Efectos de los contaminantes

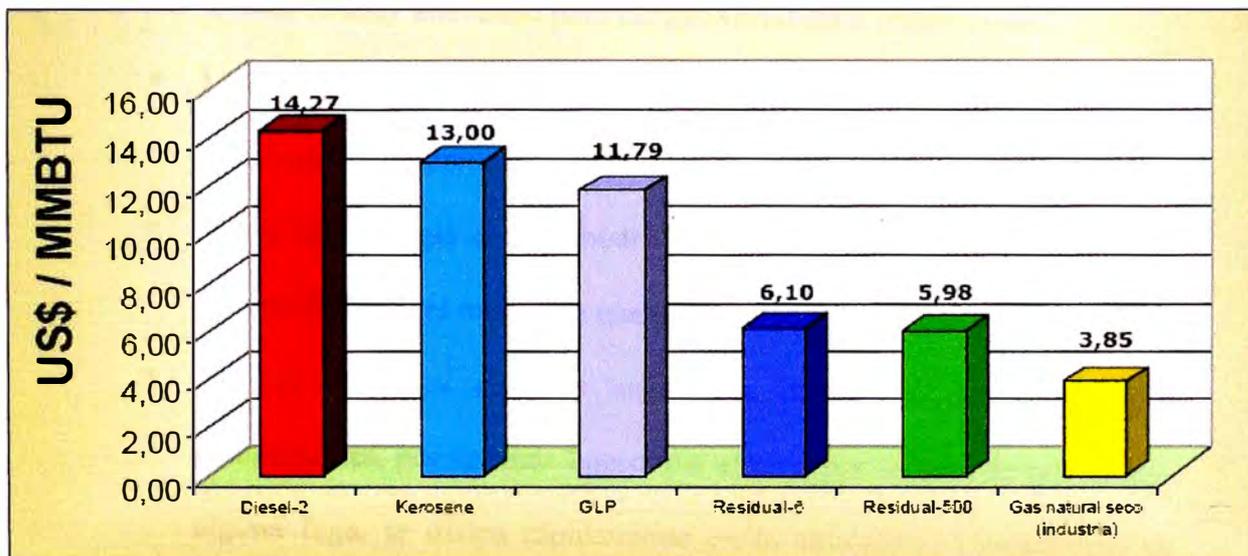
CONTAMINANTE	EFFECTOS SOBRE	
	Las Personas	El Ambiente
MP (Material Particulado)	Disminución de la visibilidad. Aumento de afecciones respiratorias, tos crónica, ronquera. Síntomas respiratorios nocturnos bronquitis. Acceso de asma bronquial.	Daño directo a la vegetación (dificultad en la fotosíntesis).
SO₂ (Dióxido de Sulfuro)	Altamente nocivo en presencia de humedad.	Lluvia ácida.
NO_x (Oxido de Nitrógeno)	Irritante. Potencialmente cancerígeno.	Lluvia ácida Efecto invernadero.

Según el estudio del Banco Mundial "World Development Report".

2.3.2. Ventajas Económicas

El gas natural es el combustible de menor precio y permite obtener importantes ahorros en relación con otros combustibles.

2.3.2.1. Precios Equivalentes de los Combustibles



MMBTU: Millones de BTU.

Fuente: Osinerg

Figura N° 2.3 Precios equivalentes de los combustibles en el mercado peruano

2.3.3. Ventajas Operacionales

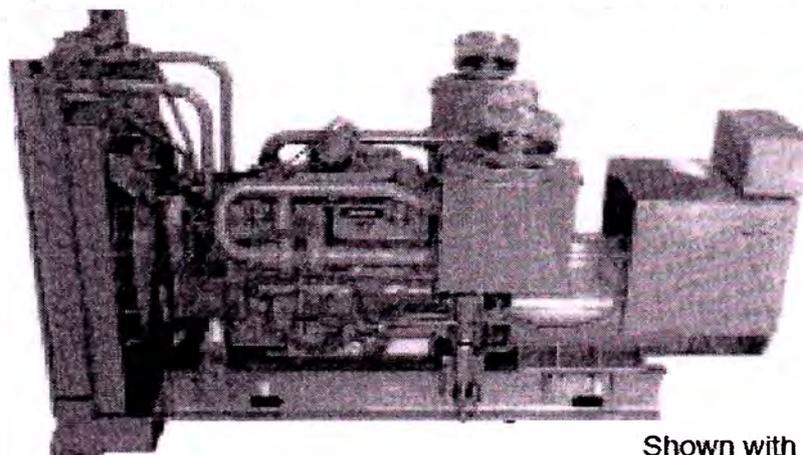
- El gas natural está disponible en forma continua, no requiere tanques de almacenamiento, disminuyendo los riesgos que ello implica y también los costos financieros.
- No requiere preparación previa a su utilización, como por ejemplo, calentarlo, pulverizarlo o bombearlo como ocurre con el petróleo o el carbón.

- La combustión del gas natural puede finalizar instantáneamente tan pronto como cese la demanda de calor de los aparatos que lo utilizan, lo cual es muy adecuado para cargas variables e intermitentes.
- La regulación automática es sencilla y de gran precisión, manteniendo constante la temperatura o la presión al variar la carga.
- Al ser una energía de suministro continuo esta siempre disponible en la cantidad y en el momento que se le necesite.
- El gas naturales es mas seguro, a diferencia de otros gases combustibles, por ser más ligero que el aire, por lo que, de producirse alguna fuga, se disipa rápidamente en la atmósfera. Únicamente, se requiere tener buena ventilación.

CAPITULO III

EL MOTOR-GENERADOR CATERPILLAR 3412

Al hablar de los kits motor-generador de la familia Caterpillar 3412 encontraremos diferentes modelos de generador, en este caso se trata de un generador de 540 kVA, al cual se le realizó el cambio a diesel-gas. A continuación veremos su funcionamiento y los diferentes componentes del kit, asimismo los datos técnicos del motor.



Shown with
Optional Equipment

Figura N° 3.1 El Motor-Generador Caterpillar 3412

3.1. CARACTERISTICAS TECNICAS

El motor Cat 3412 trabaja a 1800 RPM, tiene 12 cilindros ubicados en V, es de 4 tiempos, utiliza el Diesel como combustible y es enfriado con agua. A continuación veremos las características técnicas:

Tabla N° 3.1 Características técnicas del motor-generator

Diámetro – mm (pulg)	137 (5.4)
Carrera – mm (pulg)	152 (6.0)
Cilindrada – Litros (pulg ³)	27,0 (1.649)
Aspiración	Sobrealimentado con aftercooled
Relación de compresión	14,5 a 1
Actuador	EG-3P

KIT MOTOR-GENERADOR CAT® DIESEL

La fábrica certificó el diseño del prototipo con pruebas de análisis de torsión. La producción luego de ser probada es entregada en un paquete que está listo para que se le conecte el combustible y las líneas de poder [10].

El Kit motor-generator es diseñado y fabricado en conformidad con las normas de calidad ISO 9001.

ES FIABLE, POR LA EFICACIA DEL COMBUSTIBLE DIESEL

El motor de 4 tiempos de ciclo Diesel combina la durabilidad con el mínimo peso mientras proporciona confiabilidad y economía.

3.1.1. Equipos Contenidos en el Kit

Motor

Sobrealimentado con aftercooler, limpiador de aire, base con riel de 13 pulgadas, respiradero, cárter, enfriador para aceite lubricante, tubo de escape ajustable y brida, filtros a la mano derecha, actuador EG-3P, bomba para el combustible, bomba para el aceite lubricante, cobertura a prueba de agua, radiador, llave para apagar manualmente y arrancador eléctrico de 24 V DC.

Generador

Escobillas SR4 con VR3, Regulador automático de voltaje e imán permanente.

Panel de Control

Voltímetro y amperímetro digital, interruptor selector de fase, frecuencímetro, módulo de control start-stop, voltímetro digital DC, tacómetro digital, pulsador de parada de emergencia, medidores digitales de presión del aceite y temperatura del agua y termocuplas en los turbos.

El kit para asegurar que siempre se tenga un voltaje constante a la salida, sin importar la variaciones de carga, viene con un regulador de voltaje Basler Electric SR4A, el cual sensa las 3 líneas y energiza la excitatriz del generador para regular el voltaje. El motor también debe girar a una velocidad constante, que en este caso es 1800 RPM, para lo cual necesita el regulador de velocidad Woodward 2301 Load Sharing & Speed Control, el cual para controlar la velocidad se vale de un actuador, el cual aumenta o disminuye la cantidad de combustible a fin de conseguir una

velocidad constante sin importar la carga; este actuador es el EG-3P, a continuación veremos en detalle estos componentes.

3.2. REGULADOR DE VOLTAJE SR4A

El regulador de voltaje SR4A controla la salida de voltaje de un generador eléctrico de corriente alterna regulando la cantidad de corriente suministrada al campo de la excitatriz.

El regulador consta de rectificadores controlados de silicio (SCR's), transistores, transformadores, diodos de silicio, resistores y capacitores. El regulador de voltaje no contiene capacitores electrolíticos y relativamente no sufre efectos por la temperatura, la humedad, la vibración y choques [2].

Tabla N° 3.2 Especificaciones eléctricas del regulador de voltaje SR4A

Potencia de Entrada	95 – 135 V AC (± 10), 50/60 Hz, 840 VA
Potencia de Salida	63 V DC @ 7 A máximo continuamente, 90 V DC @ 10 A un minuto forzado
Sensado a la Entrada	Estándar NEMA a 60 Hz: 100 – 110/190 – 200 – 208/220 – 230 – 240/380 – 400 – 415/500 V AC; $\pm 10\%$
Carga Sensada a la Entrada	10 VA
Compensación en paralelo	5ª la entrada; 25 VA de carga. Ajuste de deslizamiento a 6%
Resistencia mínima del Campo	9 Ω
Regulación de Voltaje	$< \pm \frac{1}{2} \%$ (Voltaje promedio)
Tiempo de Respuesta	< 17 mS a 60 Hz; < 20 mS a 50 Hz
Rango de Ajuste de Voltaje	$\pm 10\%$ nominal
Disipación de Potencia (Máx.)	60 W
Coefficiente de Temperatura	$\pm \frac{1}{2} \%$ para cambios de 40 °C (104 °F)

Tabla N° 3.3 Especificaciones físicas del regulador de voltaje SR4A

Rango de Temperatura de operación	-55°C (-67°F) a +70°C (+158°F)
Rango de Temperatura de almacenamiento	-65°C (-85°F) a +100°C (+212°F)
Montaje	Esta diseñado para operar cuando es montado directamente a un kit motor-generator. Es muy recomendado que el regulador de voltaje sea montado verticalmente para una ventilación óptima.
Alto:	292 mm (11,5 pulgadas)
Largo:	213 mm (8,38 pulgadas)
Fondo:	127 mm (5,0 pulgadas)
Peso:	5,8 kg (13 libras)

Circuito Funcional

A continuación se muestra el diagrama de bloques del regulador de voltaje.

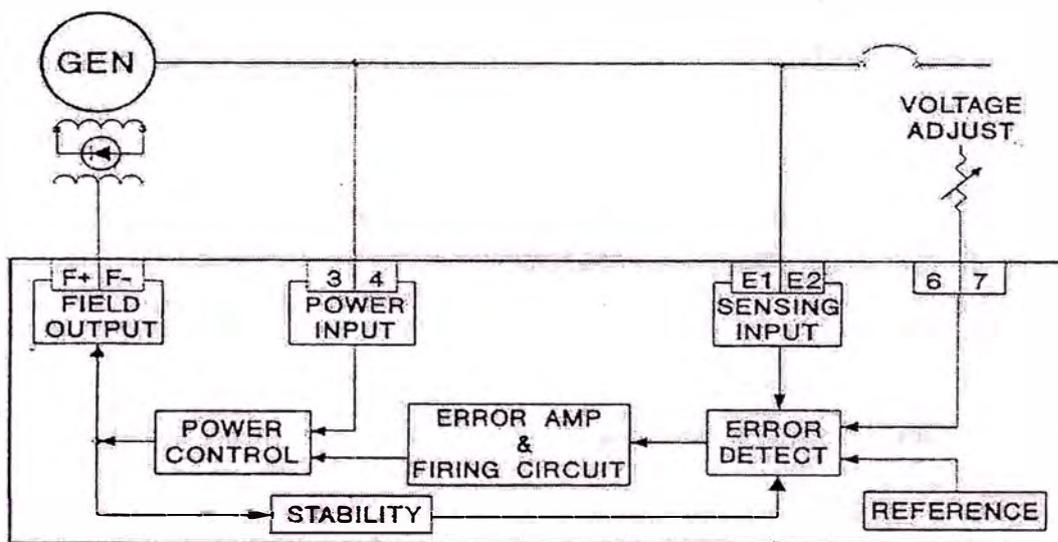


Figura N° 3.2 Diagrama de bloques del regulador de voltaje SR4A

El regulador de voltaje sensa el voltaje del generador, luego lo compara con el valor del voltaje de referencia (diodo zener) y suministra la corriente requerida al campo para mantener la relación predeterminada entre el generador de voltaje y el

voltaje de referencia. Este regulador consta de cinco circuitos básicos; éstos son: circuito de sensado, detector del error, amplificador del error, controlador de potencia y la red de estabilización.

El regulador de voltaje contiene un transformador interno sensor provisto con tomas de corriente para varios voltajes sensados a la entrada. Estos voltajes sensados pueden ser 120, 208, 240, 416, 480 y 600 V AC.

3.3. CONTROLADOR DE VELOCIDAD 2301

El controlador de velocidad 2301 es un gobernador de control eléctrico que proporciona un control síncrono con carga compartida para un ancho rango de tipos y tamaños de primotores (motores, turbinas, etc). El controlador 2301 es alojado en un armazón de metal, el cual contiene una tarjeta de circuito impreso.

La operación síncrona proporciona una velocidad constante al motor para una sola máquina o cuando dos o mas motores están en paralelo, compartiendo carga en un solo bus. La operación opcional de deslizamiento proporciona una regulación de velocidad en función de la carga.

Los componentes del principal sistema de control para un solo motor-generator incluyen un controlador 2301, con fuente de alimentación externa de 20 a 40 V DC, un pickup magnético para sensor la velocidad, un actuador proporcional

electrohidráulico con un dispositivo para medir la cantidad de combustible, y un transformador de corriente para sensar la carga.

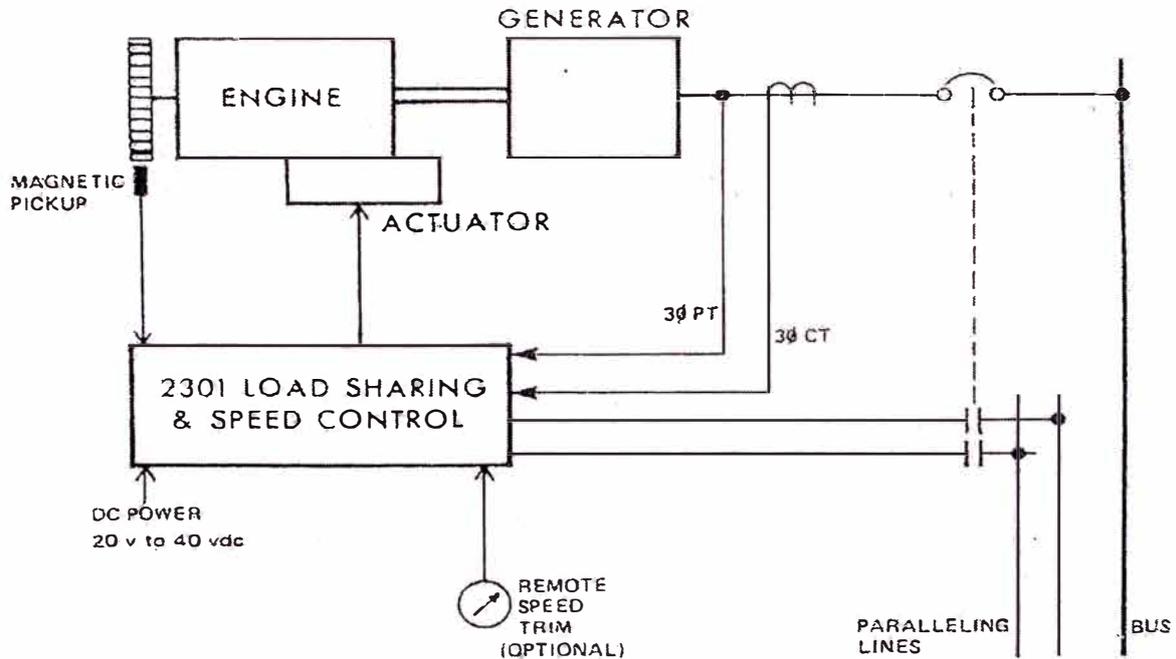


Figura Nº 3.3 Sistema básico del controlador de velocidad 2301

El controlador 2301 tiene las siguientes medidas: largo 178 mm, ancho 387 mm y alto 56 mm.

El controlador 2301 requiere una fuente de voltaje entre 20 y 40 V DC para poder operar. Si se usara una batería como fuente de poder se debe tener un cargador de batería para mantener estable el voltaje de alimentación DC. Si la alimentación excede los 40 V DC se puede dañar al controlador, también muchos picos de voltaje también dañan al controlador [6].

El controlador 2301 es diseñado para operar en el rango de temperatura de -40 a 71 °C (-40 a 160 °F). El controlador debe ser montado de forma que se de una adecuada ventilación.

Funcionamiento del Regulador 2301

El pickup magnético sensa la velocidad actual de la máquina y, mediante un conversor de frecuencia a voltaje, actúa en forma opuesta al voltaje de la referencia de velocidad, que determina la velocidad deseada, en la figura N° 3.4 vemos el diagrama de bloques de este regulador [13].

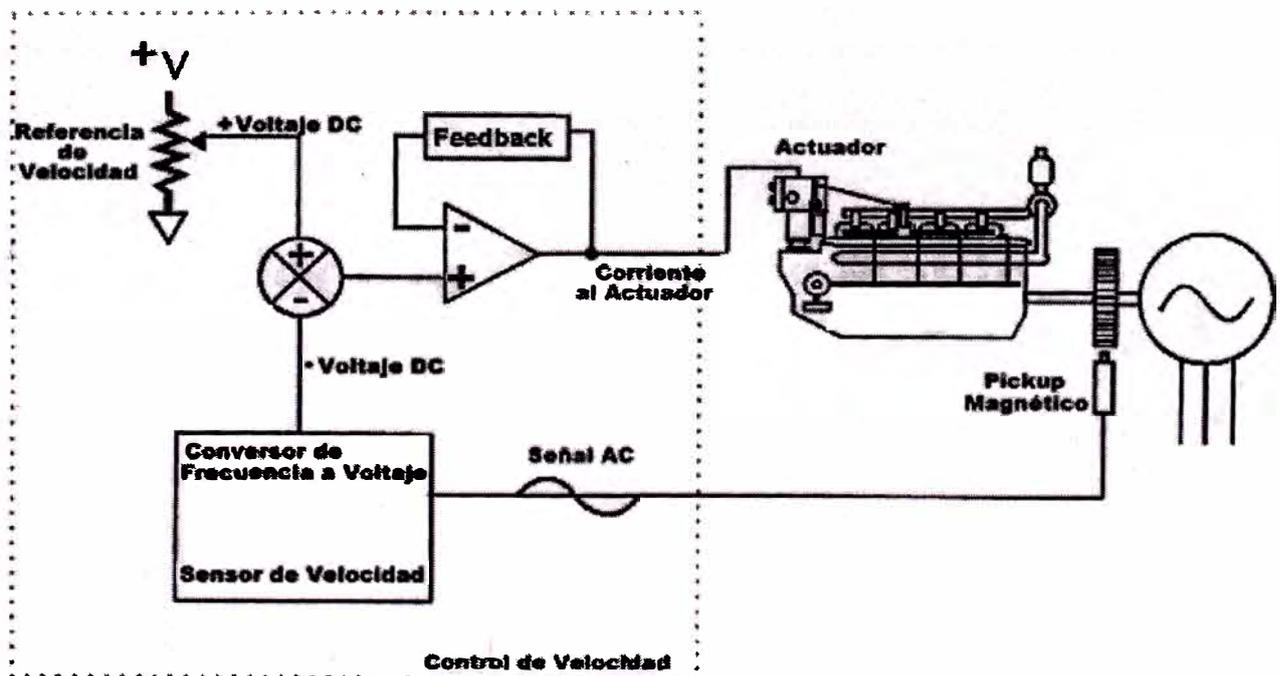


Figura N° 3.4 Diagrama de boques del controlador de velocidad 2301

Si la velocidad real es mayor que la deseada (voltaje generado por el pickup magnético es mayor que el de la referencia), la señal hacia el actuador hará que éste mueva el acelerador en el sentido de disminuir combustible.

Si la velocidad real es menor que la deseada (voltaje generado por el pickup magnético es menor que el de la referencia), la señal hacia el actuador hará que éste mueva el acelerador en el sentido de aumentar combustible.

3.4. ACTUADOR EG-3P

El actuador proporcional EG-3P ha sido diseñado para usar en motores y turbinas a petróleo diesel, gas y gasolina. Es particularmente adecuado para usar en sistemas que requieren una salida mecánica proporcional a una entrada eléctrica.

Este actuador convierte una señal eléctrica a una salida rotatoria proporcional, el cual da la posición al eje para que controle el caudal de combustible o medio de energía al primotor.

Las partes en movimiento críticas son muy duras por tener superficie de acero nitrado, y todas están sumergidas en aceite. El actuador puede ser montado en forma horizontal o vertical.

Tabla N° 3.4 Especificaciones técnicas del actuador EG-3P

Eje de salida	9.5mm (0,375'') - 36 dientes
Desplazamiento angular	42° desplazamiento nominal disponible, se recomienda utilizar 28° de la posición de sin carga a máxima carga
Calibración	De 2° a 3° posición mínima del eje a 20mA, 36° ± 3° de desplazamiento a 160mA.
Linealidad	Dentro del 0,5%
Efecto de la temperatura	Nominalmente ± 1° a la salida por 56°C/100°F
Resistencia de la bobina del transductor	30 a 35 A a 20°C/68°F
Rango de corriente nominal en la entrada	20 a 160 mA
Conector eléctrico	4 pines MS-33682-14S-2P
Alimentación de aceite hidráulico	Aceite de hidrocarburos
Temperatura del aceite en operación constante	60 a 93°C/ 140 a 200°F
Rango de temperatura ambiente	-29 a +93°C/ -20 a +93°F
Material de la caja y la base	Hierro fundido
Material de la cubierta, subcapa y el adaptador del tubo	Aluminio fundido
configuración del montaje	Vertical (puede ser horizontal pero con un apropiado acomodo)
Peso	5 Kg. (11Lb)

Operación del Actuador

El aceite de una fuente externa ingresa a la zona de succión de la bomba de aceite. Los engranajes de la bomba presurizan el aceite, primero llenan las entradas de aceite y luego incrementan la presión hidráulica. Cuando la presión se vuelve tan grande como para vencer el resorte de la válvula de alivio “relief”, se abre la válvula y el aceite recircula a la bomba; en la figura N° 3.4 vemos todas las partes del actuador.

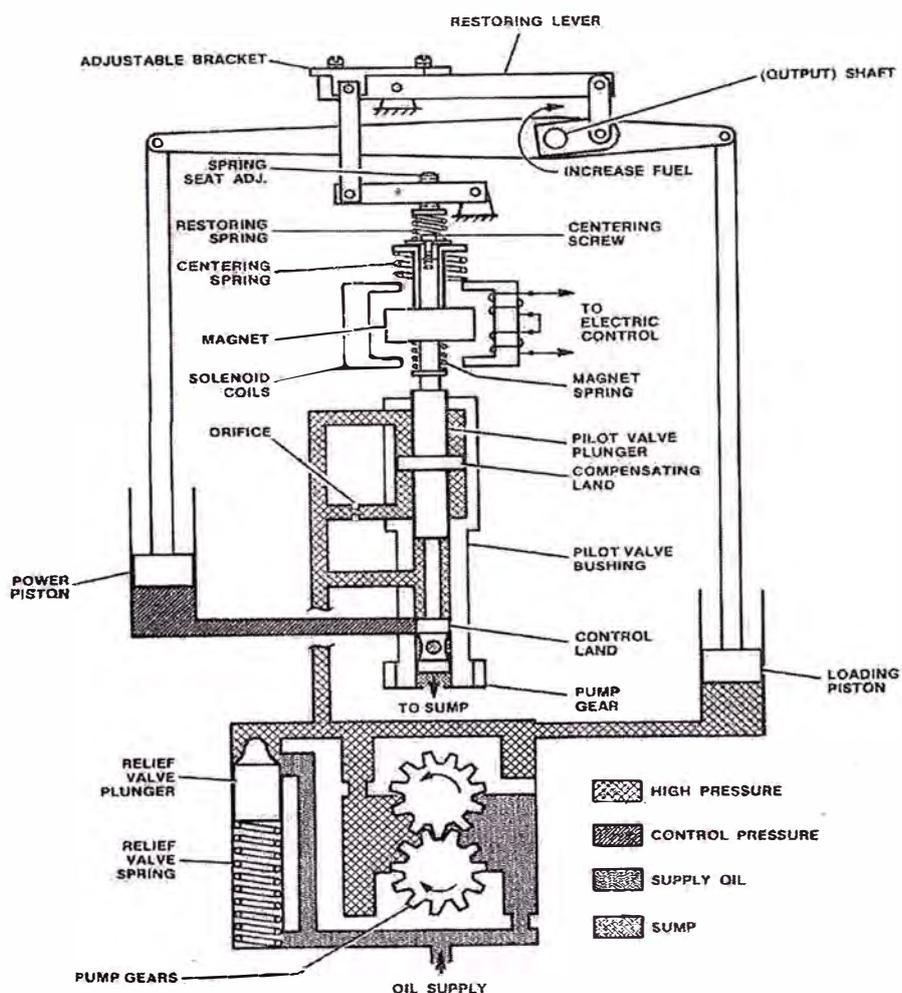


Figura N° 3.5 Diagrama esquemático del actuador EG-3P

El movimiento de los dos pistones opuestos hace rotar el eje del actuador. El alimentador de combustible del primotor está unido al terminal de eje del actuador. El aceite presurizado de la bomba es suministrado directamente por debajo al pistón de carga, haciendo que el pistón se desplace, lo cual origina un giro en el terminal del eje en la dirección de disminuir combustible.

Dado que el acople que conecta el pistón de carga al extremo del eje es más corto que el acople que conecta al pistón de potencia con el extremo del eje, el pistón de

carga no se podrá mover hacia arriba a menos que el pistón de potencia se mueva hacia abajo; esto ocurre sólo cuando el aceite atrapado debajo del pistón escapa al sumidero.

El flujo de aceite y el pistón de potencia es controlado por el émbolo de la válvula piloto, con embolo de la válvula centrada no hay salida de flujo de aceite del pistón de potencia. El embolo de la válvula está centrado cuando su pistón de control cubre exactamente el puerto de control en los cojinetes de la válvula piloto.

El embolo de la válvula piloto está conectado a un imán permanente, dentro del émbolo y pegado al imán hay un resorte suspendido; el imán y el resorte están dentro del campo de dos solenoides, tal como se ve en el figura N° 3.4. La corriente que llega al actuador energiza los solenoides, las cuales ejercen una fuerza que tiende a desplazar el imán hacia abajo; esta fuerza es directamente proporcional al valor de la corriente. Siempre el resorte pegado al imán ejerce una fuerza opuesta a la fuerza de los solenoides. Al desplazarse el émbolo hacia abajo, el aceite presurizado empuja el pistón de potencia, el cual a su vez mueve el terminal del eje en dirección de incrementar combustible.

Entonces al aumentar el valor de la corriente en los solenoides incrementa la cantidad de combustible, y al disminuir la corriente también disminuye la fuerza de los solenoides y el pistón de control comienza a subir, y el aceite presurizado debajo del pistón de potencia empieza a escapar al sumidero, haciendo bajar al pistón y haciendo girar el terminal del eje en la dirección de disminución de combustible [7].

CAPITULO IV

SISTEMA DE CONVERSION

El sistema de conversión ha sido diseñado para permitir que motores diesel convencionales operen con una mezcla de gas natural y petróleo diesel.

El sistema es fácil de instalar, simple de operar y ha sido diseñado para ser usado en condiciones extremas que se dan en casos como generación eléctrica, estaciones de bombeo, inyección de agua en campos de petróleo, co-generación y distribución de energía.

A continuación veremos todos los equipos necesarios para la conversión del motor-generator, también veremos como se diseñó el controlador, asimismo los sensores y actuadores que se utilizan, y por último, el cambio en si.

4.1. EQUIPOS NECESARIOS

Filtro de Gas Primario

Se le ubica al inicio de lo que llamaremos “Tren De Alimentación” de gas al motor. Cumple la función de eliminar partículas sólidas, el condensado del gas que pasará por los distintos componentes del tren de alimentación y que finalmente ingresará al motor. El gas que llega al motor debe entrar tan limpio como el aire de la admisión.

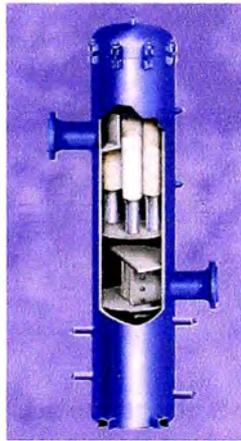


Figura N° 4.1 Filtro de gas primario

Válvula Manual

Se instala inmediatamente después del filtro de gas. Permite cortar o restablecer el flujo de gas a voluntad del operador según sea necesario.



Figura N° 4.2 Válvula manual

Interruptor de Presión Baja (PSL)

Cuando este dispositivo detecte en la alimentación una presión de gas menor a 2 PSI (13,79 kPa), enviará una señal al panel de control para que éste a su vez actúe sobre la válvula de corte. Esta válvula interrumpirá el paso de gas hacia el motor, el cual pasará a funcionar en modo Diesel.



Figura N° 4.3 Interruptor de presión baja

Válvula Reductora de Presión

Sirve para reducir y mantener la presión de alimentación entre 1,5 – 3,5 PSI (10,34 – 24,13 kPa) en la salida de ésta válvula reguladora de acuerdo a las necesidades.

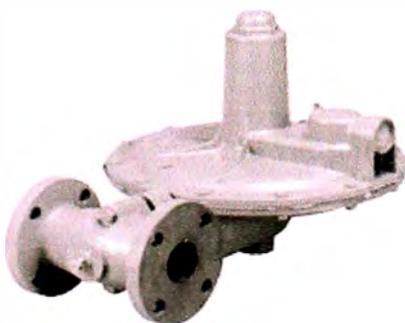


Figura N° 4.4 Válvula reductora de presión

Para disminuir la presión a la salida hacemos girar el “pusher”, ver la figura N° 4.4, en sentido horario; al hacer esto la presión bajo el diafragma se incrementa. Esta presión es la que fija la presión de salida del regulador (el cual es fijado por un resorte). A través de la acción del acoplamiento del “pusher post”, la válvula de disco se mueve cerrando el “seat ring” y reduciendo el flujo de gas. Para aumentar la presión a la salida hacemos girar el “pusher” en sentido antihorario; al hacer esto la presión bajo el diafragma disminuye. La fuerza del resorte sigue empujando el acoplamiento del “pusher post” hacia abajo, la válvula de disco se aleja del “seat ring” y el flujo de gas incrementa.

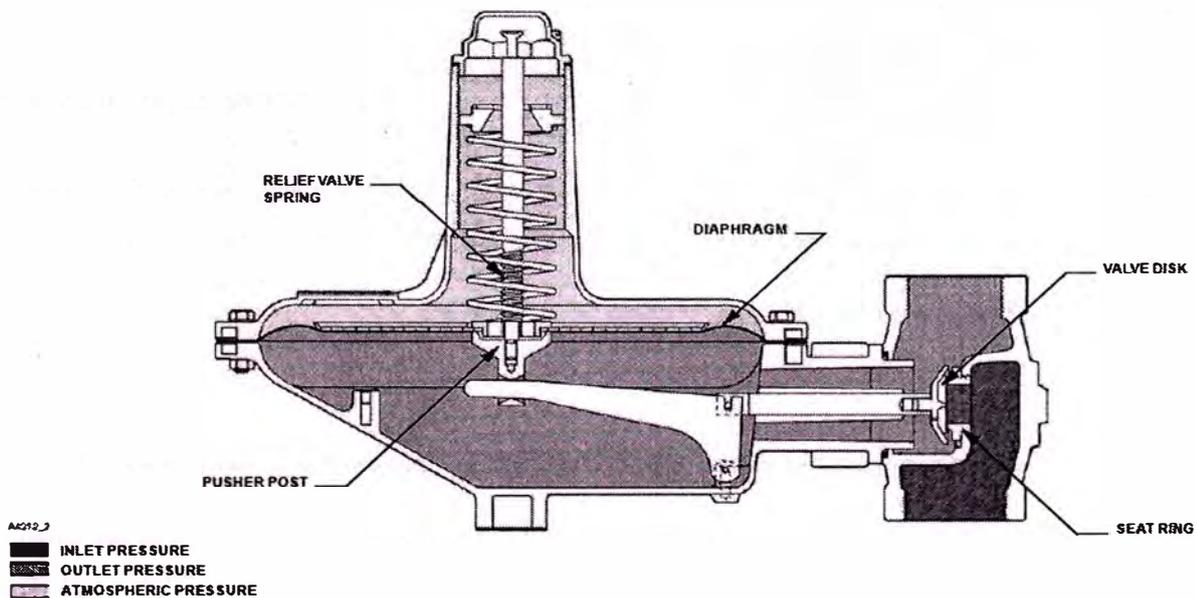


Figura N° 4.5 Esquema de la válvula reductora de presión

Filtro De Gas Secundario

Incluido en el “tren de alimentación” cuyo propósito es impedir el paso de partículas sólidas que podrían presentarse en el gas con la finalidad de asegurar un gas limpio hacia el motor.



Figura N° 4.6 Filtro de gas secundario

Válvula Reguladora “Zero”

Este dispositivo se encarga de bajar la presión del gas que recibe a una presión por debajo de la atmosférica, de 0 a 5 “ de columna de H₂O (0 a 1,25 kPa).

El Gobernador Regulador “Zero” es el que determina que el sistema funcione como un sistema de respuesta a los requerimientos del motor. Al mantener el gas a presión negativa este regulador evita que el gas fluya por si mismo hacia el motor y esperará a que se presente suficiente succión para dejar pasar el gas proporcionalmente a la carga del motor.

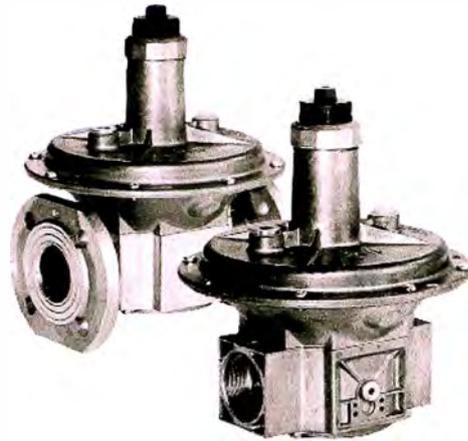


Figura N° 4.7 Válvula reguladora “Zero”

Interruptor de Presión Alta (PSH)

Cuando éste dispositivo ubicado junto a la válvula de corte de gas, detecte en la alimentación una presión de gas mayor a 5” de columna de H₂O (1,25 kPa) Enviará una señal al panel de control electrónico para que éste a su vez actúe sobre la válvula de corte. Esta válvula interrumpirá el paso de gas hacia el motor, el cual pasará a funcionar en modo Diesel.



Figura N° 4.8 Interruptor de presión alta

Válvula de Corte de Gas

Es un dispositivo de 2 posiciones, Abierto / Cerrado; normalmente está cerrado.

Esta válvula de doble asiento, ver figura N° 4.9, especialmente diseñado para control de alimentación de gas, responderá a una señal proveniente del Panel de Control cortando el paso de gas hacia el motor cuando las señales de los sensores queden fuera del rango predefinido para una buena respuesta del motor en modo bi-fuel.

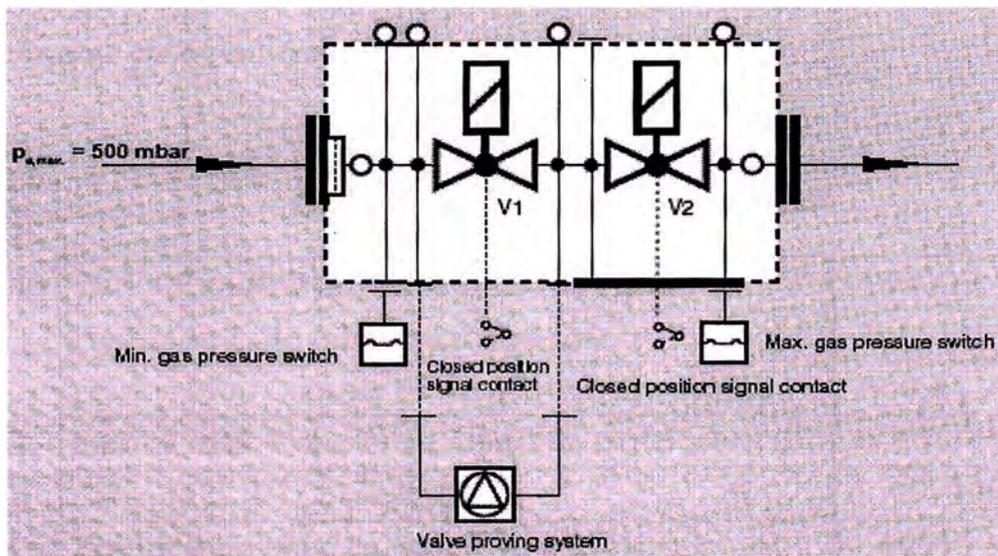


Figura N° 4.9 Esquema de la válvula de corte de gas

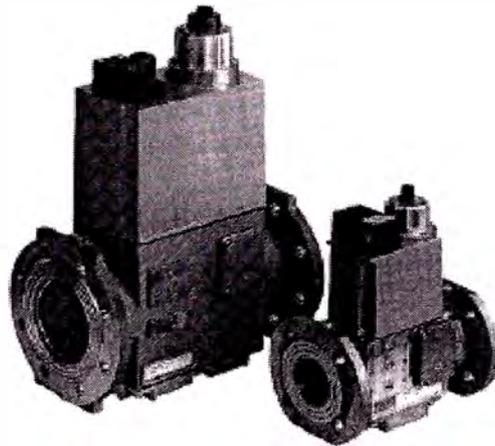


Figura N° 4.10 Válvula de corte de gas

Los valores que controlan la válvula de corte en el caso de la unidad CAT-3412 se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N° 4.1 Parámetros del sistema

PARÁMETROS DEL SISTEMA	VALOR LÍMITE
Presión Mín. de Alimentación de Gas	2 PSI (13,79 kPa)
Presión Mín. Colector de Admisión (Aftercooler)	3 PSI (20,68 kPa)
Presión Máx. Colector de Admisión (Aftercooler)	18 PSI (124,11 kPa)
Carga Mín. del Generador	100 A
Temperatura Máx. de Escape Ambos Bancos	900 °F (482 °C)

Al cerrar la válvula de corte y por tanto cortar el paso de gas hacia el motor, la unidad automáticamente pasará a funcionar en modo Diesel.

Válvula de Gas de Potencia

Es en este dispositivo donde se realizan las calibraciones de paso de gas hacia el motor. Consta de dos reguladores de ajuste manual uno para el mezclador derecho y otro para el izquierdo, tal como lo muestra la figura N° 4.11



Figura N° 4.11 Válvula de gas de potencia

La calibración se realiza considerando los parámetros de funcionamiento en Diesel. Se trata de ajustar el flujo de gas de tal manera que las temperaturas de escape se mantengan dentro de lo establecido por el fabricante del motor.

Al calibrar el flujo de gas que pasará por la “válvula de gas de potencia”, se debe evitar alcanzar el punto en el que el motor comienza a detonar o preencenderse el combustible. De detectarse el sonido de la detonación, se debe proceder a restringir el paso de gas actuando sobre los reguladores manuales hasta que el sonido desaparezca.

Mezcladores

Los mezcladores se instalan entre los filtros de aire y el turbocargador. El flujo de aire a través de éstos crea una succión en la zona de la toma de gas lo que hace que el gas ingrese y se mezcle con el aire. Esta mezcla ingresa al colector de admisión (aftercooler) y de allí a los respectivos cilindros según el orden de encendido de la unidad.



Figura N° 4.12 Mezcladores

4.2. DISEÑO DEL CONTROLADOR

En sistema está provisto de un panel de control electrónico que monitorea los parámetros de funcionamiento del motor y del sistema. Basado en la entrada de señales de sensores, el panel activará o desactivará el modo Bi-fuel según sea necesario. El panel incluirá un controlador principal (OPLC VISION280), el cual monitorea las siguientes señales:

- Temperaturas de los turbocompresores
- Presión diferencial del filtro de aire
- Presión del aftercooler del motor
- Carga en el generador

Para los valores límite ver tabla 4.1. Además de éstos, el panel de control monitorea también presión mínima (PSL) del suministro del gas natural y la presión de salida del regulador (PSH). El panel de control consta de varias partes:

- Pantalla de OPLC Touch Screen HMI con teclado.
- Luces de señalización
- Interruptor ON/OFF
- Pulsador de inicio Start/Stop

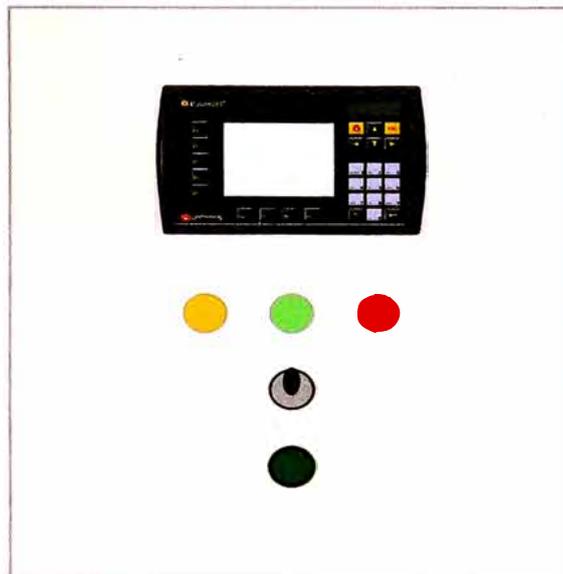


Figura N° 4.13 Panel de control

Nos permite visualizar diversas ventanas, las cuales nos muestran el estado del sistema y los parámetros de funcionamiento en tiempo real, como son la temperatura, presión del aftercooler, presión diferencial de filtro de aire, vibración, carga, horas de trabajo en bi-fuel, entre otras.

El teclado del OPLC es mediante el cual accedemos a los diferentes menús o pantallas. También se ven botones y accesos rápido colocados en la pantalla que nos permiten realizar modificaciones. En la figura N° 4.14 vemos la pantalla principal del controlador, el cual nos muestra el menú principal, y podemos interactuar con el entrando a las opciones que nos permite.



Figura N° 4.14 Menú principal del panel de control

Las unidades de los parámetros mostrados son:

- Temperatura: Grados Fahrenheit (°F)
- Presión: Libras por pulgada cuadrada (PSI)
- Pulgadas de Agua (” WC)
- Carga: Amperios (A)

Luces de señalización

Luz verde “BI-FUEL”: esta luz indica que el sistema está operando en modo bi-fuel, es decir, funcionando con combustible diesel y con gas. Además nos muestra que el sistema no presenta fallas.

Luz amarilla “READY”: esta luz indica que al sistema está 100% petróleo diesel y está listo para pasar a bi-fuel, es decir, no hay ninguna alarma activa.

Luz roja “ALARMA”: esta luz indica que en el sistema se produjo una falla y se debe verificar dicho parámetro, luego de su verificación y corrección se podrá reiniciar a bi-fuel.

Interruptor ON/OFF

Este interruptor sirve para poder encender/apagar el panel de control electrónico.

Pulsador de inicio Start/Stop

Es utilizado para iniciar el modo bi-fuel una vez que el OPLC haya verificado todos los parámetros de funcionamiento del motor – generador. También es utilizado para poder detener el modo bi-fuel y pasar manualmente a modo 100% petróleo diesel. Este pulsador queda inhabilitado si es que se detecta una falla.

Ahora veremos el diagrama de flujo del programa del OPLC.

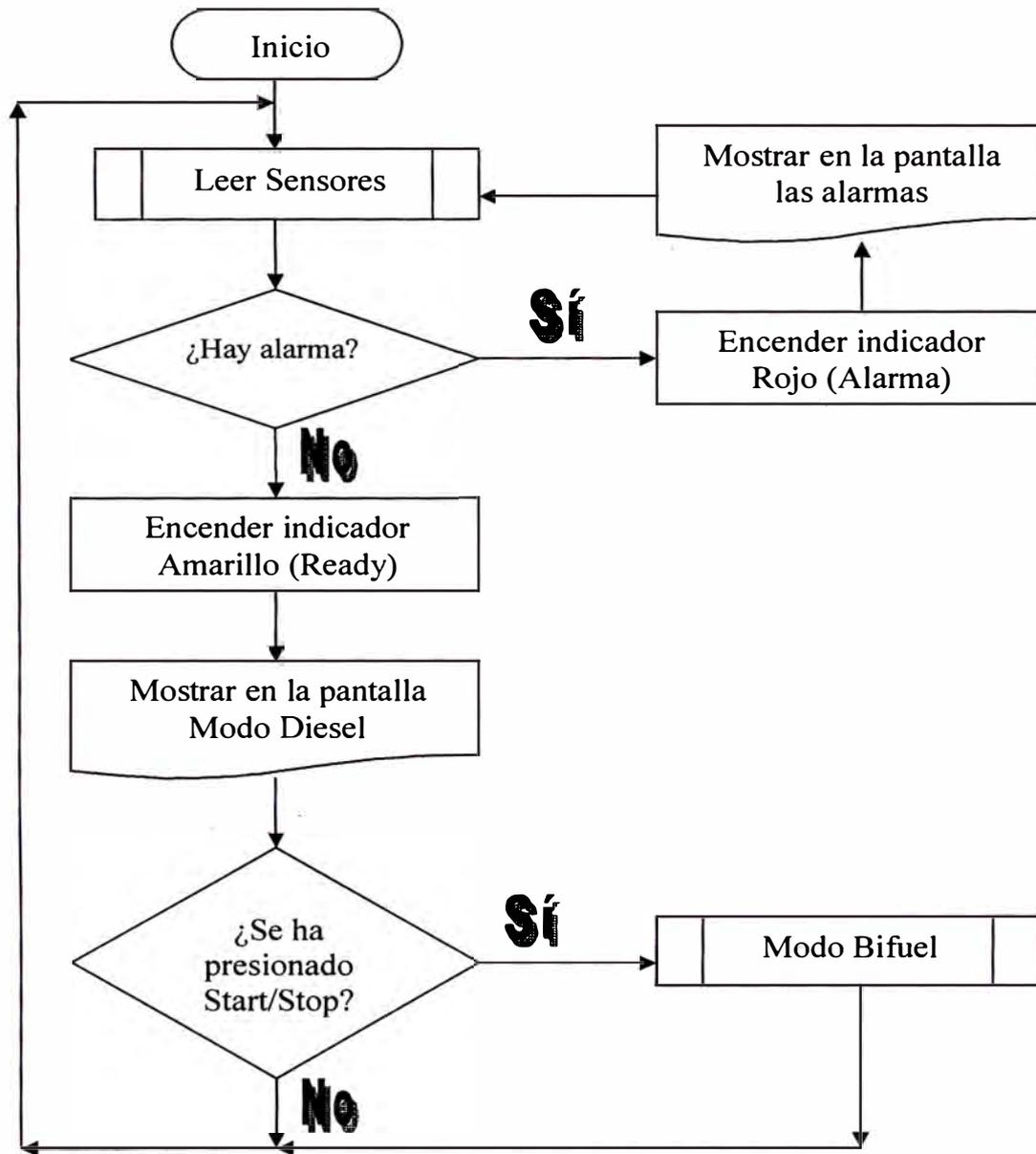


Figura N° 4.15 Diagrama de flujo del programa principal del controlador

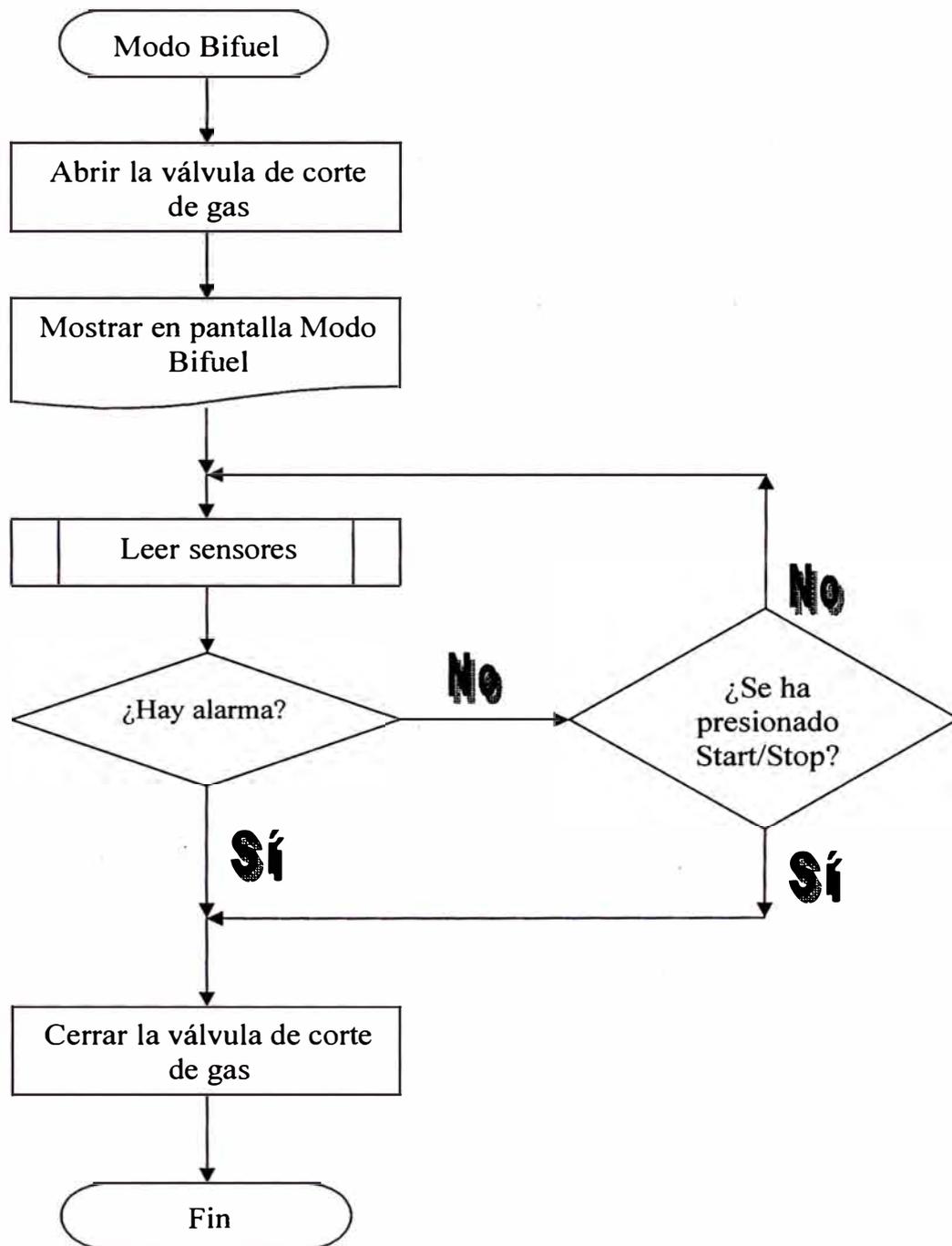


Figura N° 4.16 Diagrama de flujo del procedimiento “Modo Bifuel”

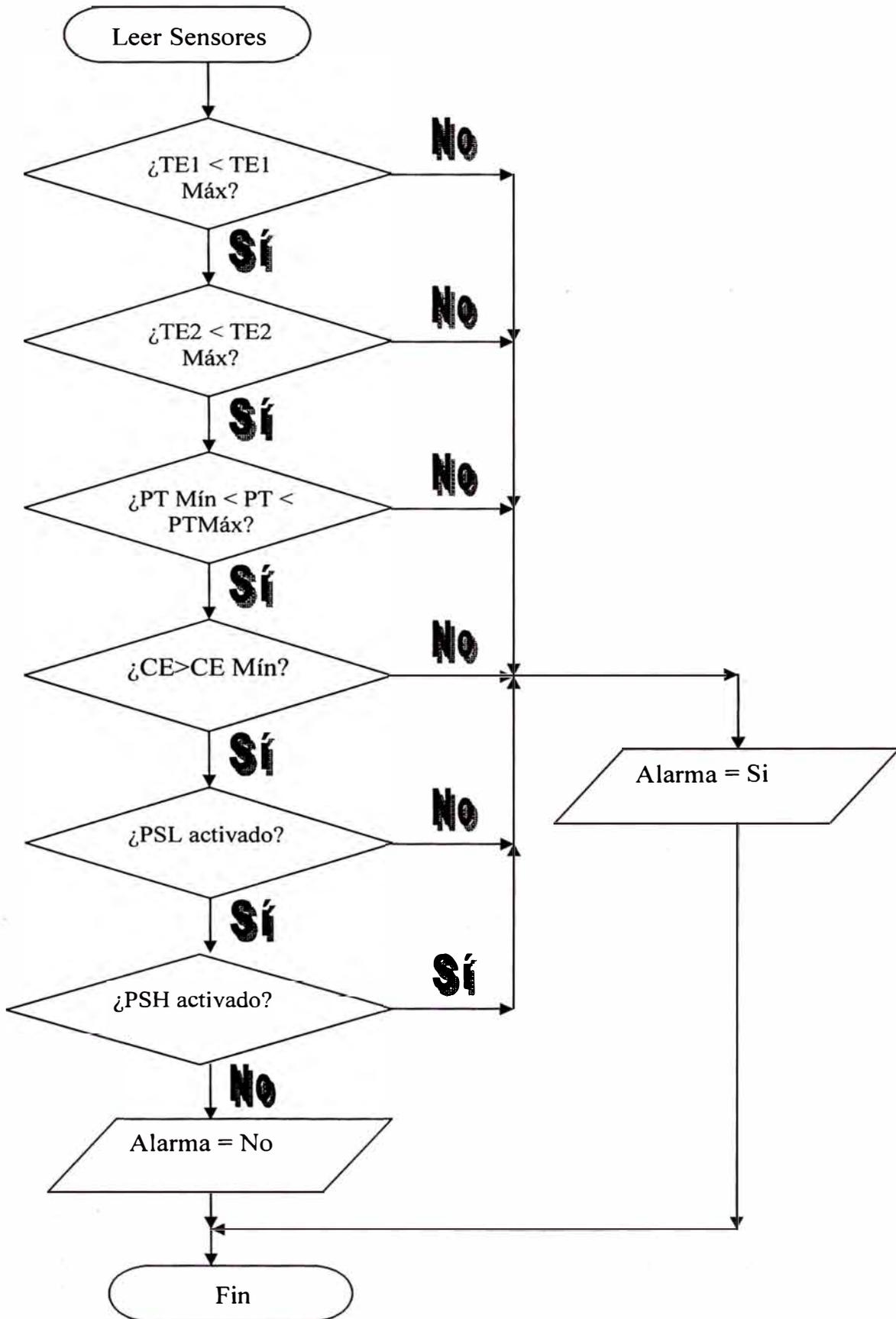


Figura N° 4.17 Diagrama de flujo del procedimiento “Leer Sensores”

Donde:

TE1 : Temperatura en el turbocompresor izquierdo

TE2 : Temperatura en el turbocompresor derecho

PT : Presión en el aftercooler

CE : Carga en el generador medida en Amperios

PSL : Interruptor de presión baja

PSH : Interruptor de presión alta

4.3. CONVERSION DEL MOTOR-GENERADOR

Ahora veremos como se realiza la conversión del motor-generador Diesel a Diesel-gas; tenemos el gas natural que llega al lugar donde se encuentra el motor, entonces procederemos a la conversión.

Lo primero es colocar un filtro principal a la entrada, donde se eliminara el condensado que pueda llegar con el gas. Este condensado provocaría detonaciones en el motor de llegar el condensado, por ello se debe siempre purgar si no se tiene un gas natural seco, a la salida del filtro instalamos una válvula manual que nos permita cerrar el paso de gas si fuera necesario. Es recomendable colocar a continuación un manómetro y un termómetro para saber en que presión y temperatura está el gas a la salida del filtro primario.



Figura N° 4.18 Instalación del filtro primario y la válvula reguladora

Como el gas natural generalmente llega entre 15 a 60 PSI (103 a 413 kPa), siendo esta última la máxima permitida, se debe colocar una válvula reguladora de presión Fisher, la cual se encarga de bajar la presión a 3 PSI. Pero para asegurar que este llegando gas natural se coloca un transductor de presión PSL, el cual está calibrado para cerrarse cuando la presión es mayor que 2 PSI.

Luego el gas ingresa a lo que denominamos el tren de alimentación, el cual está compuesto por un filtro secundario, una válvula reguladora “Zero” y una válvula eléctrica de corte de gas.

El filtro secundario se encarga de filtrar las partículas sólidas que pueden estar entrando con el gas; la válvula reguladora “Zero” se encarga de llevar la presión del gas a una temperatura negativa, aproximadamente $-0,5''$ WC ($-0,1$ kPa), para evitar que el gas fluya por si mismo al motor; es decir, el gas sólo ingresara al motor cuando éste lo aspire. Y por último la válvula eléctrica de corte gas se encarga de no dejar pasar el gas a menos que se energicen sus bobinas; esta válvula es especialmente diseñada para trabajar con gas, es de doble asiento, una es rápida – para cortar rápidamente el gas – y la otra es lenta – para que la entrada de gas al motor al inicio no sea muy brusca -, ambas bobinas se energizan en paralelo.



Figura N° 4.19 Instalación del tren de alimentación de gas

Para asegurar de que la presión que sale de la válvula reguladora “Zero” sea pequeña se coloca un transductor de presión PSH seteado a 5” WC (1,2 kPa), es decir, si la presión supera dicho valor éste cerrará su contacto, enviando una señal al OPLC para que corte la entrada de gas.

Ya tenemos el gas, ahora nos falta hacerlo ingresar al motor, para esto debemos colocar los mezcladores, los cuales van entre el filtro de aire y los turbocargadores, es por aquí que entrara el gas cuando el motor succione, este gas se mezclará con el aire que ingresa, esta mezcla luego entra al colector de admisión (aftercooler) y de allí a los cilindros, según el orden de encendido. La presión en el aftercooler debe estar siempre entre 3 y 18 PSI (20,6 y 124,1 kPa), para asegurar esto se coloca un sensor de presión, el cual en todo instante envía al OPLC la presión del aftercooler, y si saliera fuera de este rango la presión, se cerrará la válvula de corte de gas, y el motor seguirá trabajando con sólo petróleo diesel.

Para delimitar la cantidad de gas que ingresará al motor a través de los mezcladores se utiliza unas válvulas manuales de gas, dicha válvula tiene forma de “Y”, las ramas son las que se conectan a los mezcladores, cada rama tiene su propio regulador manual, ambos se abren en la misma proporción, teniendo en cuenta que una vuelta es aproximadamente un reemplazo de 11% de petróleo diesel; y por el otro lado se conecta a la salida de la válvula de corte de gas. Generalmente, se deja en un reemplazo de 30 a 40 % de petróleo diesel, esto depende de varios factores, como: la calidad del gas y el estado en que se encuentra el motor.

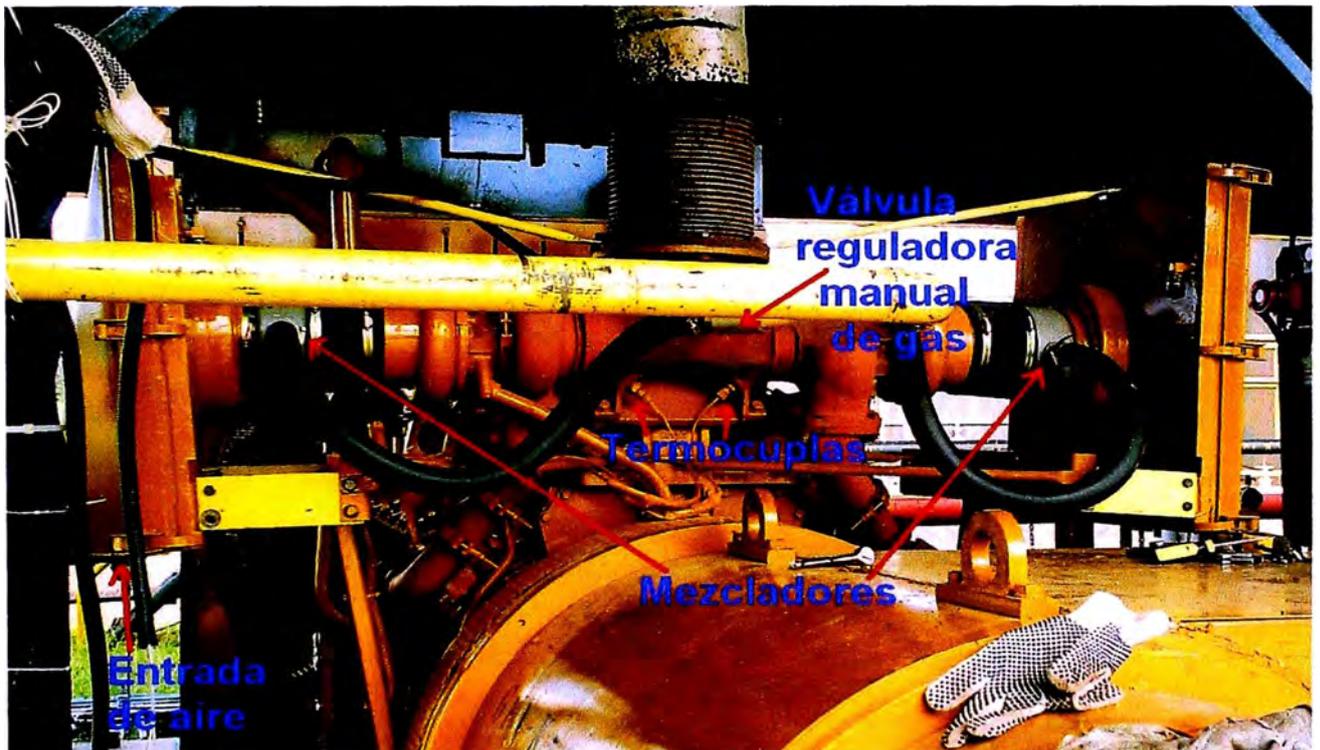


Figura N° 4.20 Instalación de los mezcladores de gas-aire

Otro de los parámetros que también debemos medir es la temperatura en los turbocompresores; sabemos que al ingresar gas la temperatura comenzará a elevarse, y la temperatura en dichos puntos no debe ser mayor que 1000 °F (538 °C), para lo cual se colocan termocuplas tipo K en los turbocompresores. Si la temperatura sobrepasa este valor se cerrará la válvula de corte de gas, y el motor seguirá trabajando sólo con petróleo diesel.

También se sabe que este sistema no es eficiente a bajas cargas, motivo por el cual para que trabaje en modo bi-fuel es necesario que haya una carga, como mínimo 100 A; para poder medir la carga del generador se ha colocado un transformador de corriente a la salida del generador, así sabemos cuánto de carga está entregando el

Tabla N° 4.2 Leyenda del esquema de la conversión del motor-generator

A	PT Transmisor de presión
B	Mezclador de gas
C	TE Termocupla
D	Manguera de gas
E	Válvula de gas
F	Válvula de corte de gas
G	PSH Interruptor de presión alta
H	Válvula reguladora "Zero"
I	Filtro secundario
J	Válvula reguladora Fisher
K	PSL Interruptor de presión baja
L	Válvula de bola de 2''
M	Panel de control
N	CE Transformador de corriente

CAPITULO 5

RESULTADOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS

En el capítulo anterior vimos todo lo que era necesario para realizar la conversión, en este punto se considera que ya se hizo todo el cambio, es decir, ya se armo todo el tren de alimentación de gas, se colocaron los mezcladores, los sensores y actuadores, se realizó el cableado al panel de control; ahora sólo falta la puesta en marcha, es decir calibrar con que porcentaje máximo de reemplazo de petróleo diesel por gas va a trabajar este motor-generator, recordemos que el porcentaje varía de acuerdo a la calidad del gas y el estado del motor.

5.1. PUESTA EN MARCHA

Lo primero que debemos hacer es encender el motor sin carga, haciéndolo trabajar con sólo petróleo diesel, y “setearlo” a la velocidad de 1800 RPM (velocidad normal de funcionamiento, la cual se debe mantener constante). A esta velocidad se miden todos los parámetros de control para verificar que se podrá hacer trabajar con gas, ver los parámetros iniciales en la tabla N° 5.1.

Tabla N° 5.1 Parámetros medidos al inicio con solo petróleo diesel

Presión Diferencial (" WC)	0,65	0,8	2,3
Presión Aftercooler (PSI)	1,10	3,6	10,8
Temperatura Izquierda (°F)	309	551	640
Temperatura Derecha (°F)	316	567	655
Carga (Amperios)	0	115	373

Del gráfico anterior se puede observar que la presión en el aftercooler está dentro del rango permitido cuando tiene carga, es decir, está entre 3 y 18 PSI (20,6 y 124,1 kPa) para una carga mayor a 100 A; la temperatura en los turbocompresores tanto derecho como izquierdo es menor que 900 °F (482 °C), y notamos que la presión diferencial aumenta conforme aumenta la carga, estando todo normal, ahora se debe hacer que la presión diferencial tienda a cero, pero teniendo la válvula de potencia de gas cerrada, es decir sin ingresar gas al motor.

Para medir la presión diferencial se utilizó un manómetro diferencial de columna de agua, este manómetro se coloca a la salida de la válvula de corte de gas; esta presión se debe hacer cero para que se pueda trabajar con el gas; para lograr esto se regula la presión con la válvula "Zero" (ver la conexión del manómetro diferencial en la figura 5.1).



Figura 5.1 Conexión del manómetro diferencial

En este punto, ya hicimos que la presión diferencial tienda a cero, pero estamos en un 55% de carga, ahora debemos aumentar la carga y seguir haciendo que la presión diferencial siga tendiendo a cero o siendo ligeramente negativo en el lado de la válvula reguladora “Zero”, tal como lo muestra la tabla N° 5.2; y seguimos haciendo trabajar el motor con sólo petróleo diesel.

Tabla N° 5.2 Parámetros haciendo que la presión diferencial tienda a cero

Presión Diferencial (" WC)	0,3	0,1
Presión Aftercooler (PSI)	11	15
Temperatura Izquierda (°F)	755	827
Temperatura Derecha (°F)	772	841
Carga (Amperios)	367	484

Después de esto ya se puede empezar a hacer ingresar gas al motor, para lo cual debemos abrir las válvulas de gas de potencia, hacemos girar ambas válvulas la misma cantidad de vueltas para que el ingreso de gas sea igual en ambos extremos; se abre las válvulas hasta el momento que el motor empiece a golpetear, es decir, en el momento en que ingresa tanta cantidad de gas que no se quema todo en la cámara de combustión por falta de aire; y al tener una mezcla muy rica la temperatura de autoencendido disminuye, y al alcanzar la temperatura de autoencendido prematuro se origina un comportamiento anómalo en el motor. Este fenómeno hace que la temperatura se incremente notablemente y se generen los golpeteos; y en consecuencia se daña el motor. Al detectar este punto se deben cerrar ligeramente las válvulas de gas de potencia y verificar si continúan los golpeteos, de no ser así tenemos la máxima cantidad de gas que se puede hacer ingresar a este motor, que para nuestro caso fue un 35 %, este valor se calcula contando el numero de vueltas que se dio al regulador de la válvula de gas de potencia, una vuelta en ambos equivale a un 11% de reemplazo de petróleo diesel. En la tabla N° 5.3 veremos los parámetros medidos ya trabajando con petróleo diesel- gas.

Tabla N° 5.3 Parámetros medidos trabajando con petróleo diesel-gas

Presión Diferencial (" WC)	1,5
Presión Aftercooler (PSI)	14,8
Temperatura Izquierda (°F)	830
Temperatura Derecha (°F)	843
Carga (Amperios)	483

Ese ahorro logrado de petróleo diesel ha sido comprobado midiendo el consumo diario del motor-generador convertido y comparándolo con lo que consumía antes de que se realice la conversión; verificando que efectivamente se está ahorrando aproximadamente un 35 % de petróleo diesel.

En la tabla N° 5.4 vemos un resumen de cómo quedan los valores y/o rangos para un trabajo normal de éste motor-generador.

Tabla N° 5.4 Parámetros finales del sistema

PARÁMETROS DEL SISTEMA	VALOR LÍMITE
Presión Mín. de Alimentación de Gas	2 PSI
Presión Mín. Colector de Admisión (Aftercooler)	3 PSI
Presión Máx. Colector de Admisión (Aftercooler)	18 PSI
Carga Mín. del Generador	100 A
Temperatura Máx. de Escape Ambos Bancos	900 °F
Presión Máx. de Alimentación de Gas a la Salida de la Válvula de Corte de Gas	5'' WC
Presión a la Salida de la Válvula Fisher	3 PSI
Numero de Vueltas de los Reguladores de la Válvula de Gas de Potencia	3,2
Porcentaje de Reemplazo de Petróleo diesel por Gas	35 %

Con esto queda terminada la puesta en marcha del motor, ahora sólo falta hacerlo trabajar con carga real, ya no con un banco de prueba resistivo, para ver su desempeño. El tiempo que demora en estabilizarse la velocidad una vez que se inyecta gas es de aproximadamente 5 segundos, este tiempo es similar cuando se corta el gas, es decir, cuando pasa a trabajar sólo con petróleo diesel; éste tiempo parecía muy largo, pero al realizar pruebas variando la carga del generador trabajando solo con petróleo diesel, se notó que el tiempo que tarda en estabilizarse la velocidad es también de 5 segundos; esto debido a que se usa el mismo regulador de velocidad en ambos casos.

Como ya se dijo en el capítulo anterior, al salir un valor fuera del rango, o superar el valor límite, se cortará la entrada de gas y el motor seguirá trabajando sólo con petróleo diesel; y por más que el valor regrese a un valor permitido, el motor seguirá trabajando sólo con petróleo diesel; esto es por cuestiones de seguridad. Al presionar la parada de emergencia del motor también se cortará la entrada de gas, ya que la alimentación del panel de control sale del interruptor de parada de emergencia, y al no haber voltaje, la válvula de corte de gas cortará la entrada de gas por ser normalmente cerrada.

CAPITULO 6

BENEFICIOS LOGRADOS

En este capítulo veremos, en base a los objetivos planteados, que logramos, es decir que tanto fue el ahorro económico logrado y cómo influye ambientalmente este cambio; así mismo veremos cuanto tiempo toma recuperar el monto invertido en la conversión.

6.1. BENEFICIO ECONOMICO

Por lo visto en el capítulo 2 podemos decir que el gas es más barato que el petróleo diesel, por lo tanto, si usamos gas en lugar de petróleo diesel para realizar lo mismo, estaremos ahorrando. Pero como el trabajo se hizo para una empresa petrolera, en donde sale gas natural asociado, se considera como cero el costo del gas, ya que de no ser utilizado, éste es quemado por no ser comercializable; motivo por el cual se considera con costo cero. El petróleo diesel si bien tiene un precio comercial no consideraremos ese precio, sino simplemente el costo de producir ese petróleo diesel, ya que como es sabido el petróleo diesel es un derivado del petróleo, y al tener petróleo crudo solo se gasta en el proceso de extraerle el petróleo diesel al crudo; el petróleo restante se mezcla con el demás crudo y así se vende.

El costo para producir un barril de petróleo diesel es de 14 dólares.

El motor-generator consume, a 1800 RPM, un promedio de 30 galones por hora, es decir, 720 galones diarios porque estos generadores trabajan las 24 horas. Pasando a barriles sería:

$$720 \text{ galones} = \frac{720}{42} = 17,14 \text{ barriles}$$

Pero como estamos ahorrando un 35% de petróleo diesel, entonces en un día estaríamos ahorrando:

$$17,14 * \frac{35}{100} = 6 \text{ barriles}$$

Entonces estamos ahorrando 6 barriles de petróleo diesel por día, que transformado a dinero sería:

$$6 * 14 = 84 \text{ dólares}$$

El costo para convertir este motor-generator es aproximadamente 12 000 dólares, incluido mano de obra, entonces veremos en cuanto tiempo se recupera esta cantidad.

$$\frac{12000}{84} = 142,86 \text{ días} = 4,76 \text{ meses}$$

Entonces en 4,76 meses se recuperaría el monto invertido en la conversión, pero una forma mas real de calcular esto sería también considerando el costo del barril de petróleo que se deja de vender, es decir, aumentar a esos 14 dólares de costo de producción los 50 dólares que se deja de obtener por no vender ese barril; entonces estaríamos hablando de un costo de 64 dólares por barril de petróleo diesel. Con este nuevo valor realizamos los cálculos para ver en cuánto tiempo recuperamos el monto invertido en la conversión.

Con un ahorro de 6 barriles por día, a 64 dólares el barril, tenemos:

$$6 * 64 = 384 \text{dólares}$$

Ahora sería 384 dólares de ahorro por día; y para recuperar los 12 000 dólares tardaríamos

$$\frac{12.000}{384} = 31,25 \text{días} = 1,04 \text{meses}$$

Y en 31,25 días estaríamos recuperando la inversión, es decir, en un tiempo muy corto, por lo que resulta muy rentable este tipo de conversiones, debido a la gran cantidad de combustible que consume y a que trabaja las 24 horas del día. Pero el beneficio no es sólo económico, sino también disminuye la contaminación ambiental, como lo veremos a continuación.

Estos cálculos han sido desarrollados sin tomar en cuenta los intereses, ya que por tratarse de un tiempo muy corto de recuperación, éstos no afectan mucho.

6.2. BENEFICIO AMBIENTAL

Vamos a ver el beneficio logrado en forma teórica, ya que no se pudo realizar las pruebas para determinar cuánto está disminuyendo la contaminación; lo veremos en dos partes: En primer lugar el desempeño, ya que al ser mas eficiente contaminará menos; y por último la contaminación ambiental.

En cuanto al desempeño:

La modificación del sistema de combustible del motor no afecta negativamente las características más resaltantes de las condiciones de operación del mismo, manteniendo los parámetros para los cuales el equipo fue diseñado. Por el contrario, con el sistema bi-fuel se observó un pequeño aumento en el torque del motor y la potencia, provocando así una mayor capacidad de repuesta (aumenta la versatilidad del equipo bajo exigentes condiciones de operación) [1].

Grandes fabricantes de motores como son Caterpillar y Mack avalan la conversión de sus motores (manteniendo su garantía), ya que la implementación del sistema bi-fuel en motores 100% petróleo diesel no requiere una modificación estructural del diseño original y mantiene sus condiciones de operación.

Pruebas realizadas por Argenchip, encontraron que el porcentaje óptimo de sustitución de petróleo diesel por gas natural experimental es de alrededor de 60%, sustitución donde se obtiene la mejor eficiencia, y las concentraciones mínimas de gases tóxicos, como son: CO, NO_x y HC no quemados [1].

En cuanto a la contaminación ambiental:

Con este sistema se consigue disminuir significativamente las concentraciones de óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO) y HC no quemados en las emisiones de escape [1].

Los índices de opacidad en los motores con sistema bi-fuel son menores que en motores 100% petróleo diesel ya que la cantidad de hollín en los productos de la combustión es menor, viéndose esto en la reducción de las emisiones de humos negros por el escape. Las emisiones al ambiente producto de la combustión (NO_x, CO, HC no quemados y PM10) disminuyeron significativamente con el uso del sistema, en comparación al sistema 100% petróleo diesel, cumpliendo así con las regulaciones ambientales establecidas por organizaciones como EPA y CARB [1].

El gas natural siempre es quemado, es decir, siempre se está arrojando monóxido de carbono (CO₂) al medioambiente; y al usar este gas en los motores se evita que se produzca la contaminación en vano. Se quema el gas, porque es más perjudicial arrojar metano (CH₄) al ambiente que arrojar monóxido de carbono (CO₂).

CONCLUSIONES

1. Si se puede lograr que un motor diseñado para trabajar con petróleo diesel pueda trabajar empleando petróleo diesel-gas natural como combustible (con inyección piloto de petróleo diesel) sin realizar ninguna modificación interna al motor.
2. Se logró ahorrar 35% de petróleo diesel en el motor-generator, que en términos de consumo equivalen a seis barriles de petróleo diesel por día; lo cual representa un ahorro de 384 dólares diarios.
3. En tan sólo 32 días se recupera el monto invertido en la conversión del motor-generator.
4. Con este sistema se consigue disminuir significativamente las concentraciones de óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO) y HC no quemados en las emisiones de escape.

5. Los índices de opacidad en los motores con sistema bi-fuel son menores que en motores 100% petróleo diesel ya que la cantidad de hollín en los productos de la combustión es menor, viéndose esto en la reducción de las emisiones de humos negros por el escape.
6. Con la conversión del motor se prolonga la vida del lubricante permitiendo la extensión de los periodos de cambio de aceite.
7. El usar gas natural es muy seguro por tener el gas una densidad menor al aire, y de ocurrir una fuga de gas, éste se disipará rápidamente en la atmósfera. Además el gas natural no es tóxico.
8. La entrada del gas al motor al inicio debe ser lenta, y el corte de gas debe ser rápido, motivo por el cual nuestra válvula de corte de gas es de doble asiento; siendo una de rápida respuesta, justamente para el corte de gas, y la otra de respuesta lenta, para permitir que el gas ingrese lentamente al inicio.
9. Los reguladores y actuadores del motor no son alterados, es decir siguen trabajando tal como lo hacen con petróleo diesel, justamente; son éstos los que se encargan de disminuir la cantidad de petróleo diesel al ingresar una mezcla rica de gas-aire.

10. El intervalo de tiempo que demora el motor-generator en estabilizarse al entrar o cortarse el gas es de aproximadamente 5 segundos, siendo el mismo tiempo que al variar la carga del generador.
11. El porcentaje de reemplazo de petróleo diesel por gas varía de acuerdo a la calidad del gas y al estado del motor.
12. Para determinar el punto de máximo reemplazo se va haciendo ingresar gas hasta que el motor empiece a golpetear, punto en el cual ya empieza a existir un exceso de gas, es decir, no se quema todo el gas que ingresa.
13. El gas que ingresa debe ser seco, ya que de ingresar condensado a la cámara de combustión se producirían detonaciones que dañarían al cilindro y pistón.
14. Al salir cualquier parámetro fuera de los valores permitidos, automáticamente se corta la entrada de gas y el motor sigue trabajando sólo con petróleo diesel.
15. Al parar el motor presionando el interruptor de emergencia, también se corta la entrada de gas, ya que la alimentación del panel de control sale de ese interruptor.

16. El ahorro se da porque al hacer ingresar gas el motor, éste se acelera. El regulador de velocidad manda una señal al actuador para que éste disminuya la cantidad de combustible y así se pueda disminuir la velocidad; ese combustible que ya no se inyecta es el que produce el ahorro.

17. Al no hacerse modificaciones internas al motor, las marcas Caterpillar y Mack siguen manteniendo la garantía del motor-generator.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Argenchip. Motores Bi-Fuel y Conservación del Medio Ambiente, Buenos Aires, 2004
- [2] Besler Electric, Manual de Instrucciones del Regulador de Voltaje SR4A & SR8A, USA, Setiembre de 1997
- [3] BJ Gamma Control, Manual de Operaciones del Panel de Control Bi-Fuel para Unidades CAT-3412, Lima, 2004
- [4] Caterpillar, Generator Set 3412, USA, 1993
- [5] W. Bolton, Mecatrónica Sistemas de Control Electrónico en Ingeniería Mecánica y Eléctrica 2ª Edición, México, 2001
- [6] Woodward Governor Company, 2301 Load Sharing & Speed Control, USA, 1997
- [7] Woodward Governor Company, EG-3P Actuator, USA, 1997

Internet:

- [8] <http://www.argenchip.com.ar/bifuelcaracteristicas.htm>
- [9] <http://www.bibliotecavirtual.com.do/Geografia/ElPetroleoyGasNatural.htm>
- [10] <http://www.cat.com>
- [11] <http://www.gas-training.com/Articulos.htm>
- [12] <http://gasnaturalperu.tripod.com.pe/elgasnatural/id4.html>
- [13] <http://www.turbodal.cl/woodward/FuncionamientoHistoria/FuncionamientoElectronico.html>

APENDICE

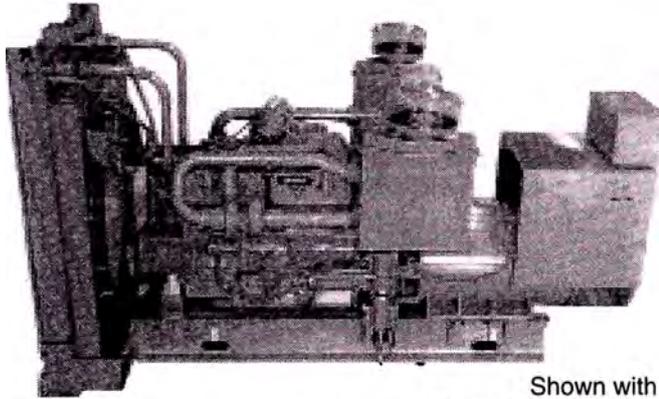


Generator Set

3412

50/60 Hz Standby

Standby Power 700 kV•A at 50 Hz, 700 kW at 60 Hz
Standby Power 750 kV•A at 50 Hz, 750 kW at 60 Hz
Standby Power 800 kV•A at 50 Hz, 800 kW at 60 Hz



Shown with
Optional Equipment

CATERPILLAR ENGINE SPECIFICATIONS

Cat® 3412 Engine, 1500 rpm or 1800 rpm
Watercooled Diesel, four stroke, V-12
Bore – mm (in) 137 (5.4)
Stroke – mm (in) 152 (6.0)
Displacement – L (cu in) 27.0 (1,649)
Aspiration twin turbocharged, aftercooled (TTA);
or series turbocharged, aftercooled (STA)
Compression ratio
TTA 14.5:1
STA 13.0:1
Governor..... CAT® Electronic

FEATURES

■ CAT® DIESEL GENERATOR SETS

Factory designed, certified prototype tested with torsional analysis. Production tested and delivered to you in a package that is ready to be connected to your fuel and power lines. EPG Designer computer sizing available.

Supported 100% by your Caterpillar dealer with warranty on parts and labor. Extended warranty available in some areas. Generator Set designed and manufactured in conformance with ISO 9001 Quality System Standard; and generator set and components meet or exceed the following specifications: AS1359, AS2789, ABGSM TM3, BS4999, DIN6271, DIN6280, EGSA101P, JEM1359, IEC 34/1, ISO 3046/1, ISO DIS 8528, NEMA MG1-22, 89/392 EEC.

■ RELIABLE, FUEL EFFICIENT DIESEL

The compact, four-stroke-cycle diesel engine combines durability with minimum weight while providing dependability and economy. The fuel system operates on a variety of fuels.

■ CATERPILLAR SR4 GENERATOR

Single bearing, wye connected, brushless, permanent magnet excited generator designed to match the performance and output characteristics of the Caterpillar diesel engine that drives it.

■ EXCLUSIVE CATERPILLAR VOLTAGE REGULATOR

Three phase sensing and Volts per Hertz regulation with constant voltage in the normal operating range gives precise control, excellent block loading.

CATERPILLAR SR4 GENERATOR

Frame size..... 590 Family
Type..... Static regulated brushless excited
Construction..... Single bearing, close coupled
Three phase Wye connected
Insulation..... Class H with tropicalization
Terminal box..... Drip proof IP 22
Overspeed capability 150%
Paralleling capability Standard with adjustable
voltage droop
Voltage regulator ... 3 phase sensing with Volts-per-Hertz
adjustable – 25% + 10%
Voltage regulation..... Less than $\pm 1/2\%$ (steady state)
Less than $\pm 1\%$ (no load to full load)
Voltage gain Adjustable to compensate line loss
Wave form..... Less than 5% deviation
TIF..... Less than 50
THD..... Less than 5%

CATERPILLAR CONTROL PANEL

24 Volt DC Control

Terminal box mounted
Vibration isolated
NEMA 1, IP 22 enclosure
Electrically dead front
Lockable door
Generator instruments meet ANSI C-39-1

Voltages Available
(Consult Price List)



STANDARD EQUIPMENT

Engine

Aftercooler
 Air cleaner
 Base, 13 inch rails
 Breather, crankcase
 Cooler, lubricating oil
 Exhaust fitting and flange
 Filters, right hand
 Fuel, full flow
 Lubricating oil, gear driven
 Governor, Cat® electronic
 Lifting eyes
 Manifold, exhaust, dry
 Pumps,
 Fuel transfer, gear driven
 Lubricating oil,
 gear driven
 Jacket water, gear driven
 Radiator
 Shutoff, manual
 Starting, electric, 24 Volt DC

Generator

SR4 brushless with VR3
 Automatic voltage regulator
 Permanent magnet
 excitation system

Control Panel

Digital ammeter, voltmeter
 Phase selector switch,
 frequency meter
 Auto start-stop control module
 w/cycle crank
 and cooldown
 Digital DC Voltmeter,
 tachometer, hourmeter
 Emergency stop pushbutton
 Engine control switch for
 auto, start/run, off/reset,
 stop
 Digital oil pressure and water
 temperature gauges
 Shutoffs with indicators for:
 Low oil pressure
 High water temperature
 Overspeed
 Overcrank
 Emergency stop push-
 button
 Voltage adjust rheostat
 Speed adjust rheostat
 System diagnostic codes –
 Digital readout
 Lamp display

OPTIONAL EQUIPMENT

Engine/Base

Air cleaner, heavy duty
 Air precleaner
 Battery chargers
 Battery/racks
 Charging alternator
 Cooling system
 High ambient radiator
 Exhaust fittings
 Fittings, elbows, pipe
 Flex, mufflers
 Jacketwater heater
 Load share module
 Mounting system
 Fuel tank base
 Lifting arch
 Vibration isolators
 Primary fuel filter
 Protection devices

Generator

Coastal protected generator
 Manual voltage control
 Space heater
 MIL Std. 461B
 RFI N Level (VDE 875),
 BS800
 Self excited

Switchgear

Circuit breaker
 Manual
 Automatic transfer switch

Control Panel

Enclosure, NEMA 12/IP 44
 Provision for:
 Alarm module–std
 Alarm module–NFPA 99
 Alarm module–NFPA 110
 Auxiliary relay
 Illuminating lights
 Low coolant level
 Reverse power relay
 Starting aid switch
 Synchronizing lights

Caterpillar® EMCP II

Electronic Modular Control Panel

The Electronic Modular Control Panel (EMCP) is a generator-mounted control panel, available on all Caterpillar packaged generator sets. It utilizes environmentally sealed, solid-state, microprocessor-based modules for engine control and AC metering. This new application of mature, high-tech electronics to generator monitoring provides more features, accuracy and reliability than present electro-mechanical and many competitive panel systems.

The EMCP provides these standard control and monitoring features, many of which are options on other panels:

- Automatic/manual start-stop engine control with programmable safety shutdowns and associated flashing LED indicators for low oil pressure, high coolant temperature, overspeed, overcrank and emergency stop
- Cycle cranking—adjustable 1-60 second crank/rest periods
- Cooldown timer—adjustable 0-30 minutes
- Energized to run or shutdown fuel control systems
- LCD digital readout for: Engine oil pressure; coolant temperature; engine rpm; system DC volts; engine running hours; eight system diagnostic codes; generator AC volts; generator AC amps; and generator frequency
- Engine control switch
- Ammeter-voltmeter phase selector switch
- Emergency stop pushbutton
- Indicator/display test switch
- Voltage adjust potentiometer
- Rugged NEMA 1/IP 22 cabinet
- Three spare inputs for customer use



TECHNICAL DATA – 700 kW/kV•A

3412 TTA Standby Power Generator Set (Twin Turbo)			50 Hz–1500 RPM	60 Hz–1800 RPM
Rating Information	Power Rating @ 0.8 PF with Fan	kW	560	700
	Power Rating @ 0.8 PF with Fan	kV•A	700	875
Dimensions	Generator Frame Size		595	595
	Length	mm in	3,772 148.5	3,772 148.5
	Width	mm in	1,483 58.4	1,483 58.4
	Height	mm in	2,143 84.4	2,143 84.4
	Weight (Dry)	kg lb	5,334 11,760	5,334 11,760
Lubrication & Cooling Systems	Engine Lubricating Oil Capacity	L qts	117 124	117 124
	Engine Coolant Capacity without Radiator	L gal	60.6 16.0	60.6 16.0
	Engine Coolant Capacity with Radiator	L gal	117.3 31.0	117.3 31.0
	Standard Radiator Arrangement Data:			
	Air Flow (Max @ Rated Speed)	m ³ /min cfm	820 28,966	984 34,759
	Air Flow Restriction (after radiator)	kPa in water	.06 0.25	.06 0.25
	Ambient Air Temperature with standard radiator (Consult T.M.I.)	Deg. C Deg. F	46 116	44 112
	Coolant Pump External Resistance (max. allowable)	m water ft water	5.1 16.8	5.1 16.8
Coolant Pump Flow at Max. Allowable Resistance	L min gpm	530.6 140	530.6 140	
Exhaust System	System Backpressure (Max. Allowable)	kPa in water	6.7 27	6.7 27
	Exhaust Flange Size (Internal Diameter)	mm in	200.2 8	200.2 8
Performance Data @ Rated Conditions	Fuel Consumption (100% load) with Fan	L/Hr gph	155.1 41.0	189.6 50.1
	Fuel Consumption (75% load) with Fan	L/Hr gph	119.2 31.5	143.6 37.9
	Combustion Air Inlet Flow Rate	m ³ /min cfm	38.6 1,363	55.1 1,946
	Exhaust Gas Flow Rate	m ³ /min cfm	116.2 4,104	153.3 5,414
	Heat Rejection to Coolant (total)	kW Btu/min	364 20,700	444 25,250
	Heat Rejection to Exhaust (total)	kW Btu/min	545 30,994	666 37,875
	Heat Rejection to Atmosphere from Engine	kW Btu/min	131 7,450	134 7,620
	Heat Rejection to Atmosphere from Generator	kW Btu/min	30.2 1,717	35.7 2,030
	Exhaust Gas Stack Temperature	Deg. C Deg. F	613 1,135	551 1,024

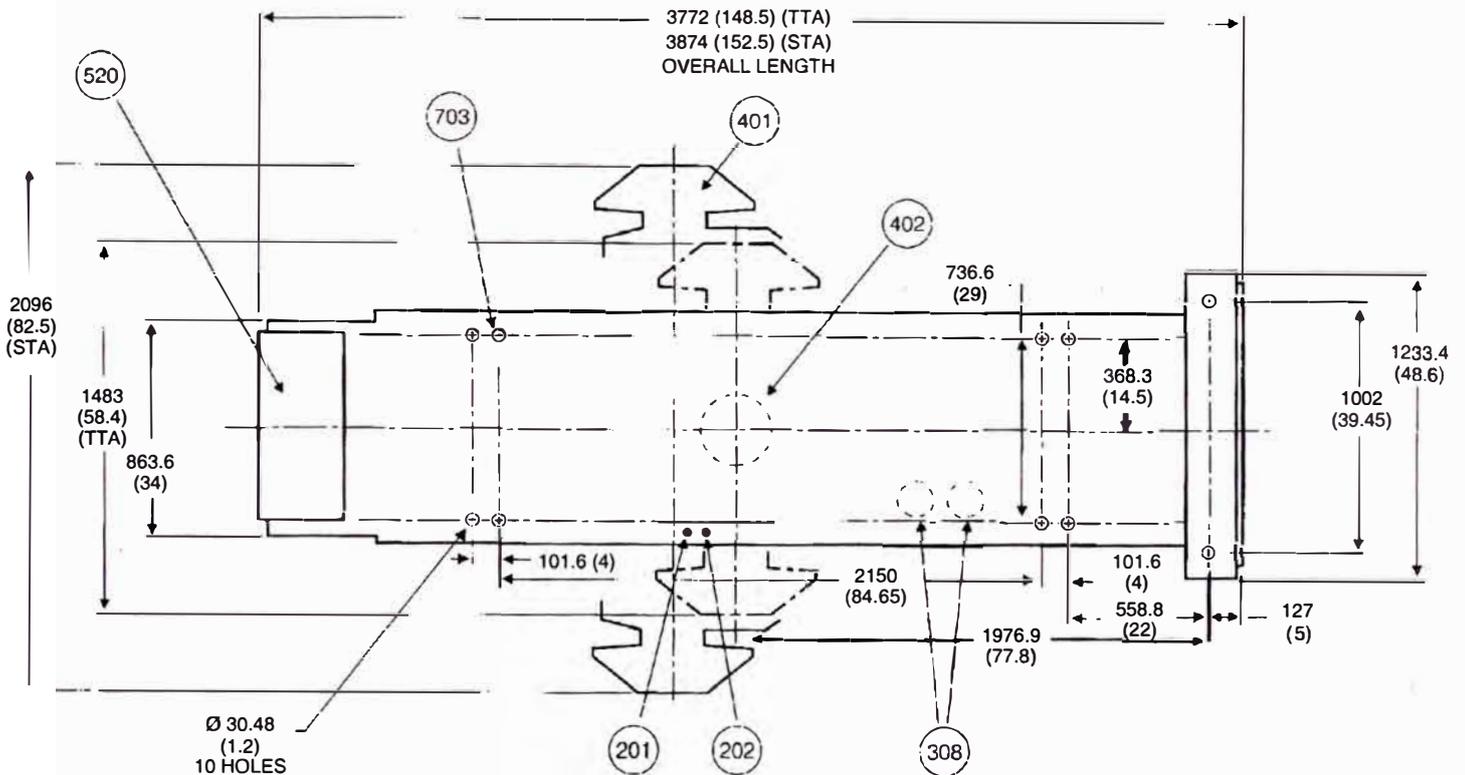
TECHNICAL DATA – 750 kW/kV•A

3412 STA Standby Power Generator Set (Series Turbo)			50 Hz–1500 RPM	60 Hz–1800 RPM	
Rating Information	Power Rating @ 0.8 PF with Fan	kW	600	750	
	Power Rating @ 0.8 PF with Fan	kV•A	750	938	
Dimensions	Generator Frame Size		596	596	
	Length	mm	3,874	3,874	
		in	152.5	152.5	
	Width	mm	2,096	2,096	
		in	82.5	82.5	
Height	mm	2,143	2,143		
	in	84.4	84.4		
Weight (Dry)	kg	5,543	5,543		
	lb	12,220	12,220		
Lubrication & Cooling Systems	Engine Lubricating Oil Capacity	L	117	117	
		qts	124	124	
	Engine Coolant Capacity without Radiator	L	60.6	60.6	
		gal	16.0	16.0	
	Engine Coolant Capacity with Radiator	L	117.3	117.3	
		gal	31.0	31.0	
	Standard Radiator Arrangement Data:	Air Flow (Max @ Rated Speed)	m ³ /min	820	984
			cfm	28,966	34,759
Air Flow Restriction (after radiator)	kPa	.06	.06		
	in water	0.25	0.25		
Ambient Air Temperature with standard radiator (Consult T.M.I.)	Deg. C	48	43		
	Deg. F	119	110		
Coolant Pump External Resistance (max. allowable)	m water	5.1	5.1		
	ft water	16.8	16.8		
Coolant Pump Flow at Max. Allowable Resistance	L min	530.6	530.6		
	gpm	140	140		
Exhaust System	System Backpressure (Max. Allowable)	kPa	6.7	6.7	
		in water	27	27	
Exhaust Flange Size (Internal Diameter)	mm	200.2	200.2		
	in	8	8		
Performance Data @ Rated Conditions	Fuel Consumption (100% load) with Fan	L/Hr	160.8	222.6	
		gph	42.3	58.8	
	Fuel Consumption (75% load) with Fan	L/Hr	120.6	155.1	
		gph	31.9	40.9	
	Combustion Air Inlet Flow Rate	m ³ /min	47.9	68.7	
		cfm	1,692	2,426	
	Exhaust Gas Flow Rate	m ³ /min	130.5	181.8	
		cfm	4,609	6,420	
	Heat Rejection to Coolant (total)	kW	374	486	
		Btu/min	21,269	27,638	
Heat Rejection to Exhaust (total)	kW	562	730		
	Btu/min	31,960	41,514		
Heat Rejection to Atmosphere from Engine	kW	111	168		
	Btu/min	6,312	9,554		
Heat Rejection to Atmosphere from Generator	kW	31.2	36.8		
	Btu/min	1,774	2,093		
Exhaust Gas Stack Temperature	Deg. C	535	514		
	Deg. F	995	957		

TECHNICAL DATA – 800 kW/kV•A

3412 STA Standby Power Generator Set (Series Turbo)			50 Hz–1500 RPM	60 Hz–1800 RPM
Rating Information	Power Rating @ 0.8 PF with Fan	kW	640	800
	Power Rating @ 0.8 PF with Fan	kV•A	800	1000
Dimensions	Generator Frame Size	597	597	597
	Length	mm	3,874	3,874
		in	152.5	152.5
	Width	mm	2,096	2,096
		in	82.5	82.5
Height	mm	2,143	2,143	
	in	84.4	84.4	
Weight (Dry)	kg	5,729	5,729	
	lb	12,630	12,630	
Lubrication & Cooling Systems	Engine Lubricating Oil Capacity	L qts	117 124	117 124
	Engine Coolant Capacity without Radiator	L gal	60.6 16.0	60.6 16.0
	Engine Coolant Capacity with Radiator	L gal	117.3 31.0	117.3 31.0
	Standard Radiator Arrangement Data:	kPa	820	984
		Air Flow (Max @ rated speed)	cfm	28,966
	Air Flow Restriction (after radiator)	m ³ /min in water	.06 0.25	.06 0.25
	Ambient Air Temperature with standard radiator (Consult T.M.I.)	Deg. C Deg. F	41 107	39 103
	Coolant Pump External Resistance (max. allowable)	m water ft water	5.1 16.8	5.1 16.8
Coolant Pump Flow at Max. Allowable Resistance	L min gpm	530.6 140	530.6 140	
Exhaust System	System Backpressure (Max. Allowable)	kPa in water	6.7 27	6.7 27
	Exhaust Flange Size (Internal Diameter)	mm in	200.2 8	200.2 8
Performance Data @ Rated Conditions	Fuel Consumption (100% load) with Fan	L/Hr gph	170.9 45.1	224.0 59.2
	Fuel Consumption (75% load) with Fan	L/Hr gph	129.2 34.1	165.1 43.6
	Combustion Air Inlet Flow Rate	m ³ /min cfm	50.3 1,776	73.3 2,589
	Exhaust Gas Flow Rate	m ³ /min cfm	137.5 4,856	194.8 6,879
	Heat Rejection to Coolant (total)	kW BTU/min	398 22,634	523 29,743
	Heat Rejection to Exhaust (total)	kW Btu/min	598 34,007	784 44,585
	Heat Rejection to Atmosphere from Engine	kW Btu/min	118 6,711	189 10,748
	Heat Rejection to Atmosphere from Generator	kW Btu/min	32.6 1,854	38.4 2,184
	Exhaust Gas Stack Temperature	Deg. C Deg. F	536 997	518 964

STANDBY POWER GEN SET PACKAGE



- | | | |
|--------------------------|------------------|-------------------------------|
| (202) Excess Fuel Return | (401) Air Inlet | (520) Control and Power Panel |
| (201) Fuel Inlet | (308) Oil Filter | (402) Exhaust |
| | | (703) Customer Mounting Holes |

Note: General configuration not to be used for installation.
See general dimension drawings for detail.

CONDITIONS AND DEFINITIONS

Prime — Output available with varying load for an unlimited time. Prime power in accordance with ISO8528, Overload power in accordance with ISO3046/1, AS2789, DIN6271, and BS5514.

Standby — Output available with varying load for the duration of the interruption of the normal source power.

* Fuel stop power in accordance with ISO3046/1, AS2789, DIN6271, and BS5514.

Continuous — Output available without varying load for an unlimited time. Continuous power in accordance with ISO8528, ISO3046/1, AS2789, DIN6271 and BS5514.

Ratings are based on SAE J1349 standard conditions. These ratings also apply at ISO3046/1, DIN6271 and BS5514 standard conditions. Fuel rates are based on ISO3046 and on fuel oil of 35° API (16° C or 60° F) gravity having a LHV of 42 780 kJ/kg (18,390 Btu/lb) when used at 29° C (85° F) and weighing 838.9 g/L (7.001 lbs/U.S. gal.).