

a que no representan un gran porcentaje de la generación eléctrica y son en general estables (Einpsa, 2013). Como se puede observar en las tablas siguientes:

Tabla 1. Resumen equipos de generación del bloque 16.

Equipo de Generación	Potencia promedio generada (MW)	Porcentaje de generación del equipo (%)
3 Turbinas GE LM2500	42	47.0
7 Motores Wartsila	28	31.3
21 Motores Waukeshas	18	20.1
2 Turbinas Centauro	1.4	1.5
Total	89.4	

Realizado por: Juan Fernando Vera

Fuente: Repsol, 2013

Tabla 2. Resumen equipos de consumo del bloque 16.

Consumidores de Energía	Potencia promedio consumida(MW)	Porcentaje de consumo del proceso (%)
Extracción en Pozos	47	53.0
Inyección de Agua	27	30.3
Otros (Transporte, Plantas de Generación, Consumo campamentos)	15	17.0
Total	89	

Realizado por: Juan Fernando Vera

Fuente: Repsol, 2013

3.1.3. Distribución de la red eléctrica

Las dos plantas de generación NPF y SPF están unidas a la misma red de distribución de energía por lo cual comparten carga operacional. Esta repartición de carga hace que cualquier variación en la demanda de energía sea absorbida por ambos sistemas. Dentro de las consideraciones de operación que existe en el campo se observa que el consumo promedio del Bloque es de aproximadamente 90-95 MW (Repsol 2013). Los motores de combustión interna cubren una carga fija pero las variaciones de carga de encendido y apagado de equipos como bombas se asume por las turbinas.

3.2. Sistema de Generación en Turbinas

3.2.1. Presentación del Equipo

De acuerdo con la información del fabricante, la turbina LM2500-501K es una versión compacta, ligera e industrial de la versión aeronáutica T56/501 que ha estado en producción continua desde 1954. La turbina de gas está controlada electrónicamente y se compone de un compresor axial de alta eficiencia de 14 etapas con una tasa de compresión de 18:1 directamente acoplado a una turbina internamente refrigerada por aire. Existen 6 cámaras de combustión del flujo con una sola cámara en ángulo. El motor está construido en módulos incluidos en sub ensambles totalmente intercambiables. La turbina de diesel está provista de instrumentación que se usa para el control y protección de los componentes rotativos (General Electric, 1991)

En la planta de NPF, existen dos turbinas con esta misma especificación técnica y se nombran de la siguiente manera: Turbina A y Turbina B.

3.2.2. Descripción de Componentes de Turbinas LM2500

Podemos dividir a la turbina en cuatro conjuntos: compresión, cámara de combustión, turbina de generación, intercambiador de calor. Existe un quinto conjunto que es el generador pero este componente no entra dentro del sistema de control del ciclo termodinámico por lo cual no será descrito en detalle. La Figura 3 muestra los diferentes conjuntos del sistema.

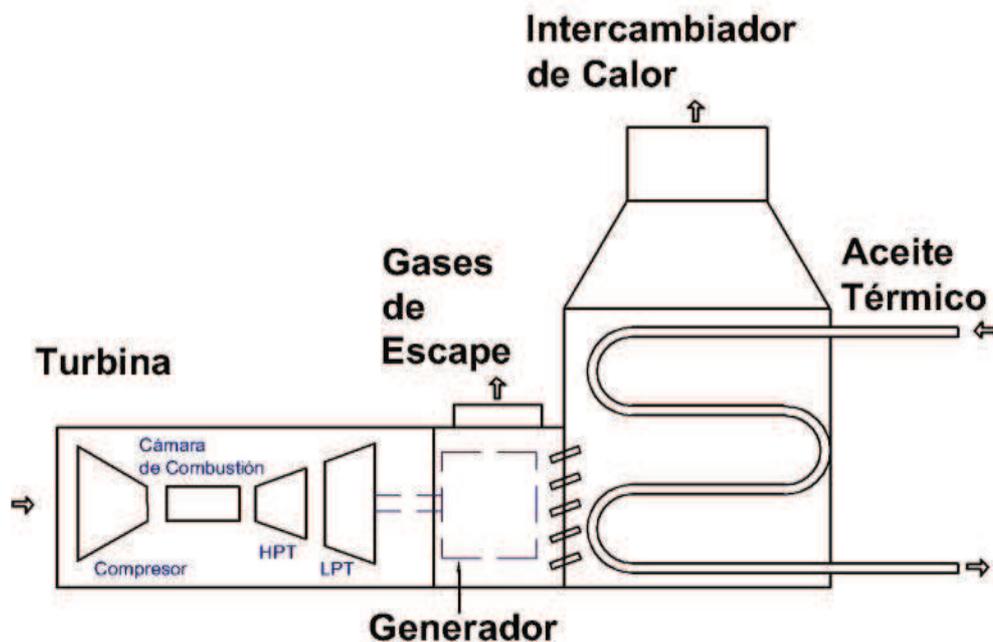


Figura 3. Esquema del sistema de turbina.

Realizado por: Juan Fernando Vera

Fuente: Repsol, 2013

La primera etapa de la Turbina es la toma de aire que consiste en una serie de filtros y deshidratadores para evitar el ingreso de impurezas que pueden ocasionar daños en los álabes que giran a alta velocidad (9000 rpm) y podrían ser susceptibles a desgaste y corrosión (Rangwala, 2005).

Una vez que el flujo pasa por todos los filtros, entra al compresor de 14 etapas. De este componente es importante saber que comprime el flujo de aire en una proporción de 18 a 1 en condiciones normales de operación (Badeer G. H., 2013). Como se aprecia en la Figura 4 el tamaño de los álabes disminuye conforme se aumenta la presión en el compresor. Las primeras etapas sirven para aumentar la velocidad del flujo y crear un efecto de succión, las siguientes etapas aumentan progresivamente la presión del flujo. En la Figura 4 se puede apreciar el detalle del compresor y sus componentes.

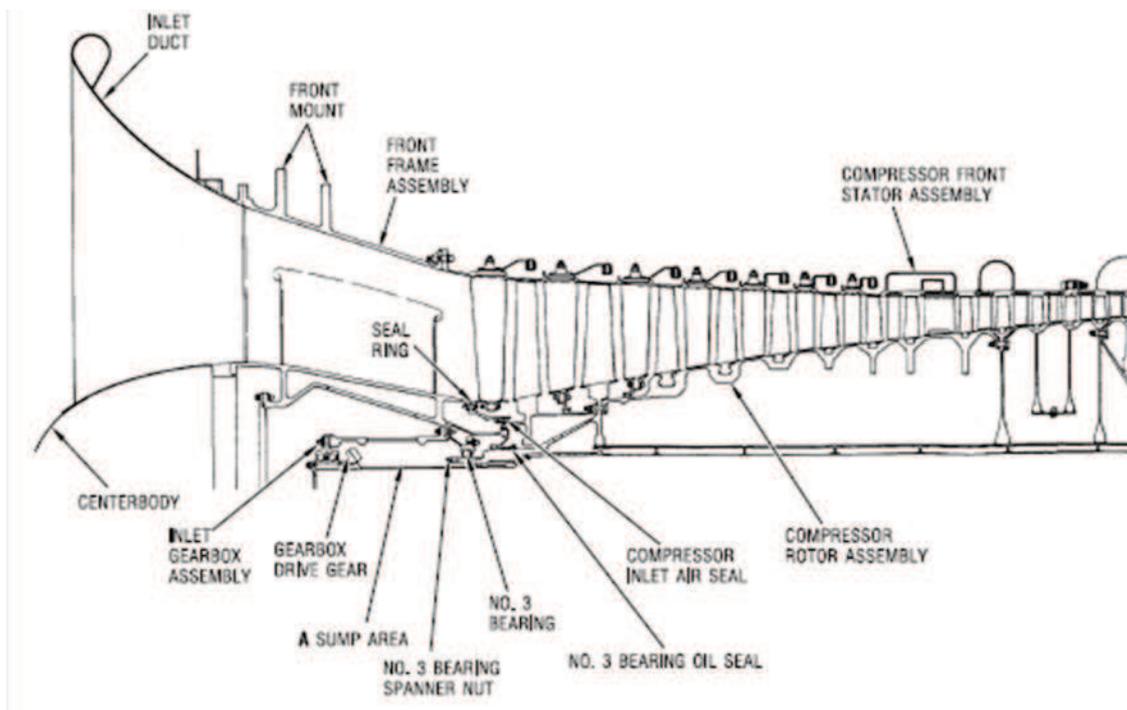


Figura 4. Esquema de los componentes del compresor (General Electric-Manual de Operaciones Turbina LM2500).

Realizado por: Juan Fernando Vera

Fuente: (GE Industrial AeroDerivative Gas Turbines, 1991)

El segundo componente es la cámara de combustión de la turbina. Como se observa en la Figura 5, la cámara de combustión contiene quemadores que están repartidos simétricamente alrededor del anillo de combustión. Este sistema de inyector es conectado a su vez al sistema de suministro de combustible que consiste en una línea de alta presión y una línea de baja presión.

El combustible para la turbina se produce en NPF en una planta de destilación de diesel llamada Planta Topping. Existe un estudio técnico de la calidad del diesel producido por esta planta, este estudio técnico se realizó por SGS Oil, Gas and Chemicals, el cual presenta valores del combustible que se utilizarán en el cálculo (Anexo A). Una vez que el diesel llega de los tanques a la turbina, se descarga a una presión de 40-50 psi por las bombas de baja presión (bombas “booster”), luego se eleva

a una presión de en promedio 600 psi por las bombas de alta presión hasta línea de abastecimiento de la turbina. De este punto se conecta a los inyectores. El flujo de combustible es controlado electrónicamente según la necesidad de generación de la turbina. Una vez que se realiza la combustión, el aire caliente pasa a la turbina de alta presión (HPT).

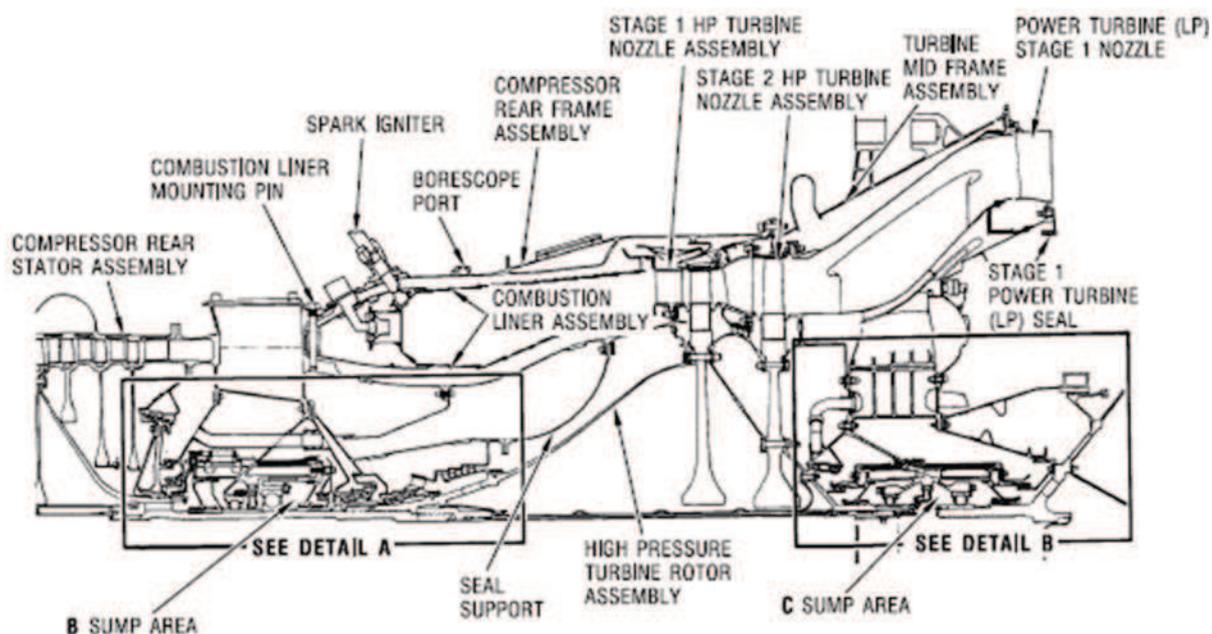


Figura 5. Esquema de cámara de combustión de la turbina (General Electric-Manual de Operaciones Turbina LM2500).

Realizado por: Juan Fernando Vera

Fuente: (GE Industrial AeroDerivative Gas Turbines, 1991)

El tercer componente de la turbina LM2500 es la turbina de generación en sí. Este componente contiene dos etapas: una turbina de alta presión de compresión (HPT) y una turbina de potencia de baja presión (LPT). La Figura 5 de la cámara de combustión incluye el diagrama de la turbina HPT, en este diagrama se observa que esta turbina se encuentra junto a la cámara de combustión. Esta turbina tiene dos etapas de

expansión y está conectada al eje del compresor. La temperatura de esta sección es bastante elevada, puede llegar en condiciones de operación máxima a 1800°C (General Electric, 1991). A continuación, se encuentra la turbina LPT que posee 6 etapas de expansión y también se conecta al rotor de la turbina, que gira a 3600 rpm constantemente, este es un valor de control para operación, para generar una corriente eléctrica a 60Hz (GE Industrial AeroDerivative Gas Turbines, 1991). En esta turbina se tiene un elemento de medición de temperatura a la entrada de la misma con una temperatura APX promedio de 1040°C. Finalmente la salida de esta turbina se conecta con el escape. A continuación se presenta el esquema de la turbina LPT y fotografías de las secciones de compresión, turbina y cámara de combustión, en las cuales se observa las características anteriormente mencionadas.

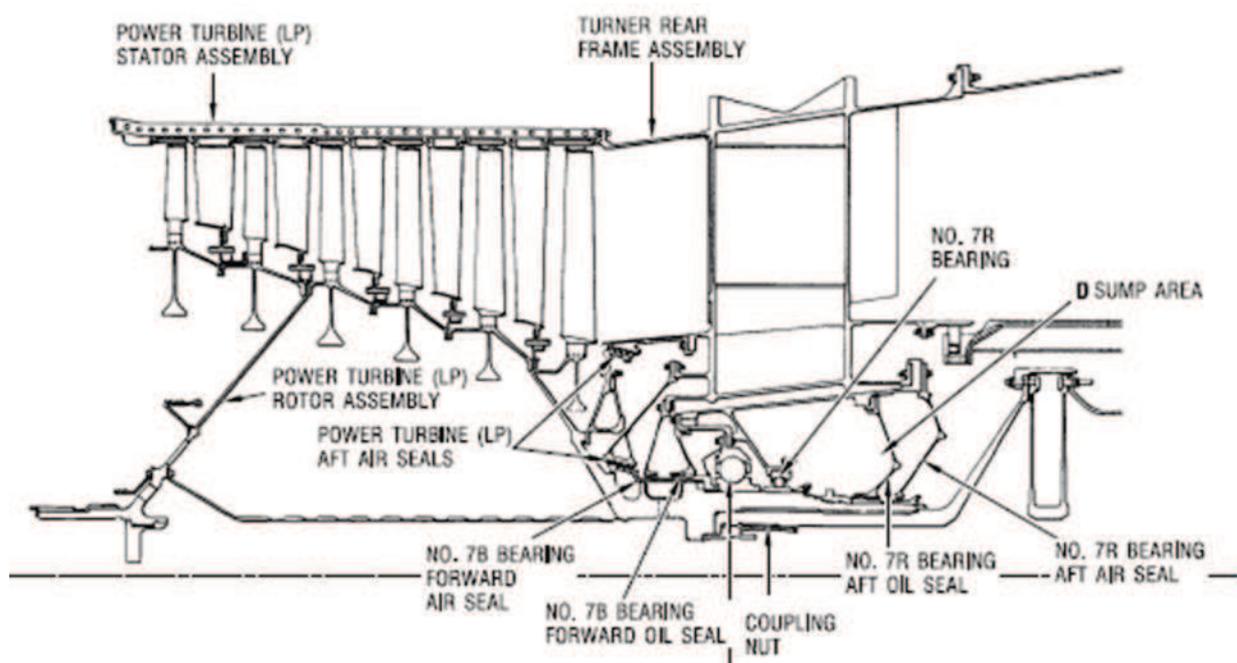


Figura 6. Esquema de la turbina de baja presión ((General Electric-Manual de Operaciones Turbina LM2500).

Realizado por: Juan Fernando Vera

Fuente: (GE Industrial AeroDerivative Gas Turbines, 1991)

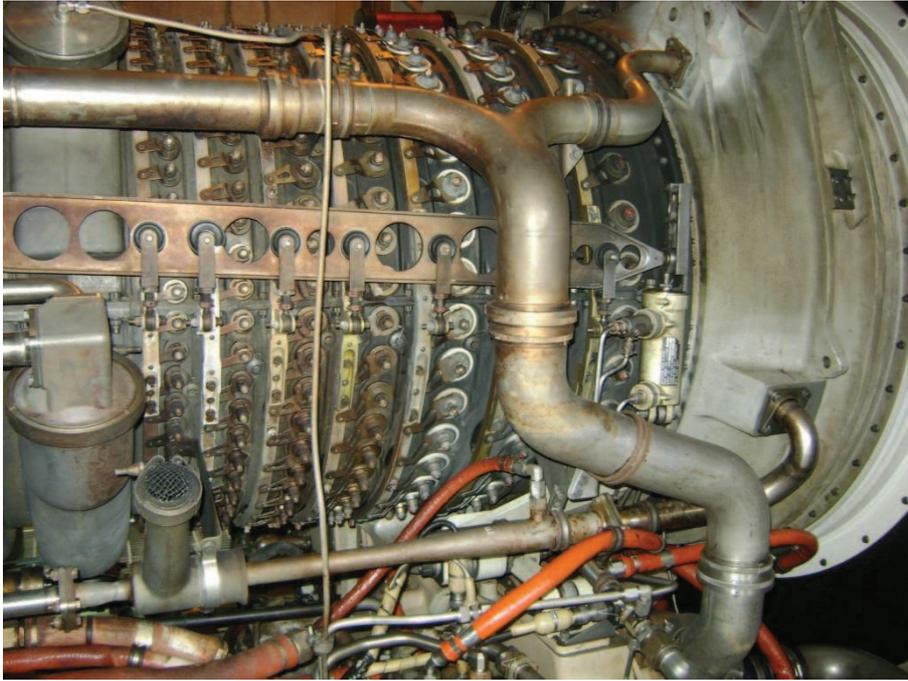


Figura 7. Fotografía del conjunto de compresión de la Turbina B.

Realizado por: Juan Fernando Vera

Fuente: Juan Fernando Vera, 2013



Figura 8. Fotografía del conjunto de turbina de la Turbina B.

Realizado por: Juan Fernando Vera

Fuente: Juan Fernando Vera, 2013



Figura 9. . Fotografía del conjunto de cámara de combustión de la Turbina B.

Realizado por: Juan Fernando Vera

Fuente: Juan Fernando Vera, 2013

El último componente siguiendo la línea de flujo del aire es el intercambiador de calor que utiliza los gases de escape para recalentar el aceite térmico de procesos de la planta de producción. El sistema de intercambiador de calor tiene la particularidad de ser independiente del sistema de turbina ya que su control se hace con las persianas de entrada al horno, es decir que la turbina de generación puede funcionar sin este sistema (Repsol, 2013). Este componente no será tomado en cuenta dentro del cálculo del ciclo ya que es otro sistema de transporte de energía y se sujeta a otras condiciones de operación. El estudio de este sistema se puede ver en detalle en un trabajo de tesis

realizado sobre la recuperación de calor en los gases de escape del intercambiador de calor (Noroña, 2012).

3.2.3. Control e Instrumentación de las Turbinas

De los P&IDs (Piping and Instrumentation Diagram) proporcionados por el fabricante en los manuales de operación y mantenimiento se puede obtener un listado de las variables medidas en la turbina:

- 1) Temperatura de ingreso al compresor (TE-1815)
- 2) Temperatura de la turbina entrada (TE-1801)
- 3) Velocidad del Generador (SE-1800)
- 4) Presión de Descarga del Compresor (PT-1804)
- 5) Velocidad de la Turbina de Potencia (SE-1802)
- 6) Medidor de Vibraciones de la Turbina (XE-1805)
- 7) Medidor de Vibraciones del Generador (XE-1807)
- 8) Temperatura de Ingreso (TE-1884)

Como se aprecia en el listado toda variable tiene su etiqueta asociada al instrumento usado en la medición, esta etiqueta es consistente con cualquier reporte que se tenga sobre la turbina. El sistema de control de operaciones de las turbinas es el centro de control de generación eléctrica de la planta NPF (Repsol, 2013). Aquí se manejan las cargas que se requiere en la red eléctrica de los motores Waukesha y de las turbinas LM2500. En este centro de control también se muestran las mediciones de control para las turbinas en un panel de control numérico y en un sistema SCADA, estas mediciones se presentan de la siguiente forma Figura 10, Figura 11 y Figura 12:

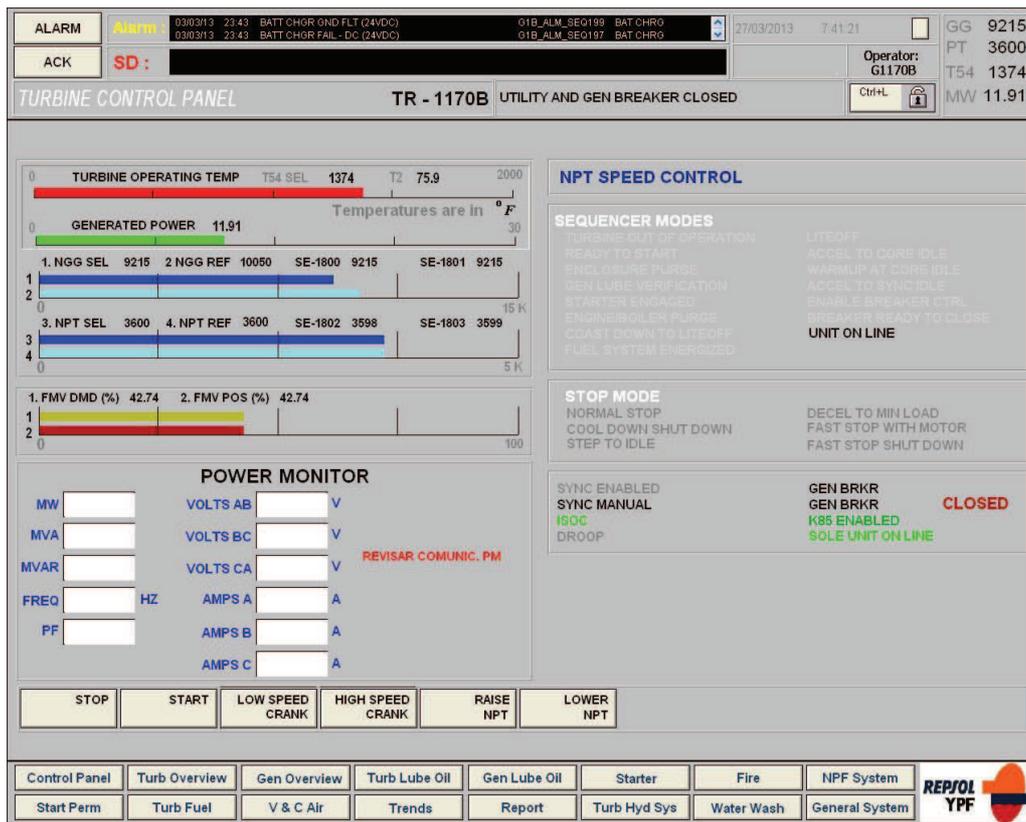


Figura 10. Pantalla del panel de control de Turbina B.

Realizado por: Juan Fernando Vera

Fuente: Repsol, 2013

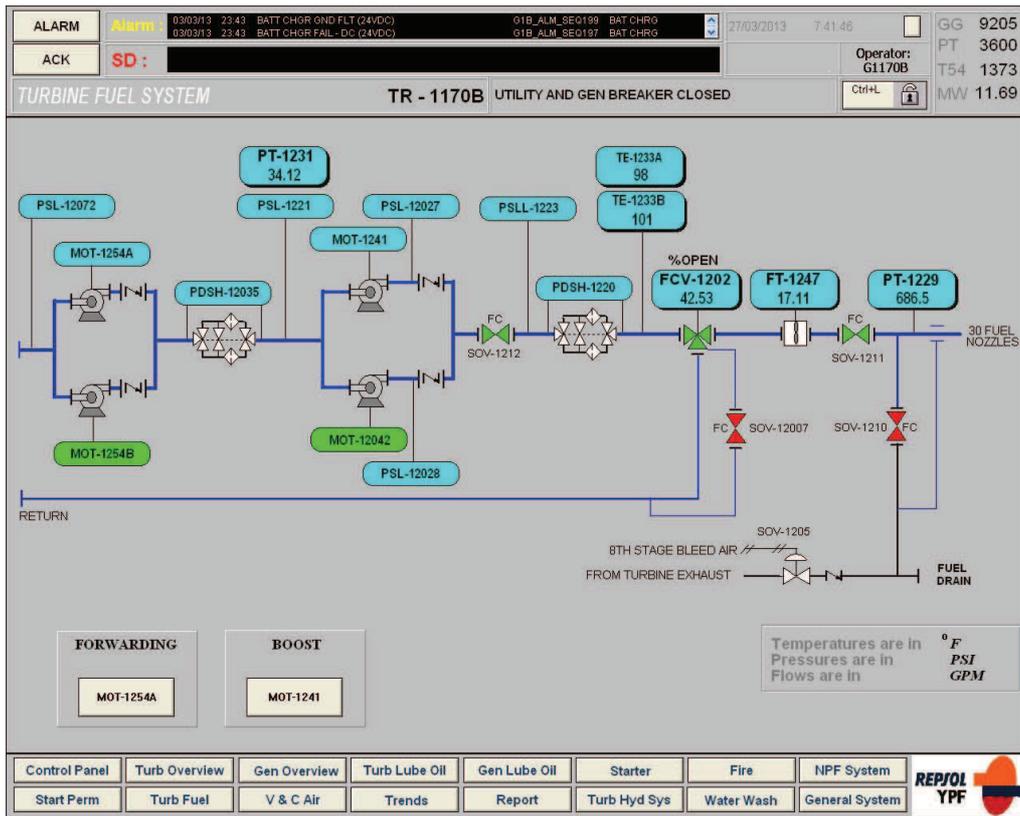


Figura 11. Pantalla del sistema de control de combustible.

Realizado por: Juan Fernando Vera

Fuente: Repsol, 2013

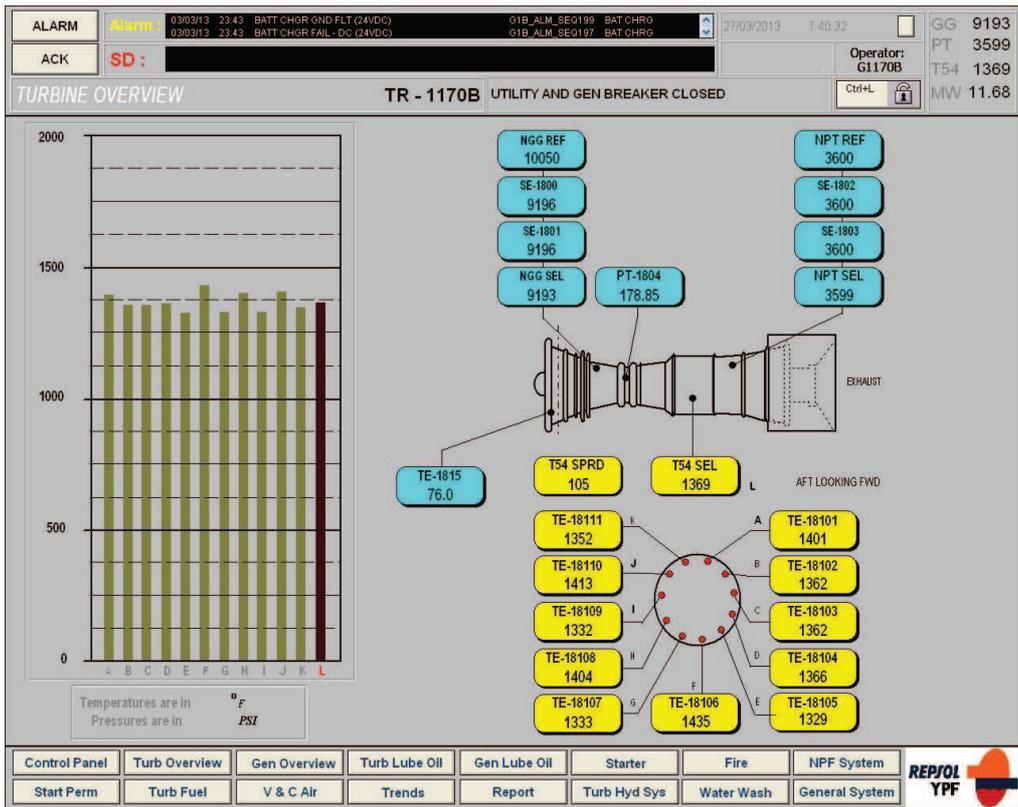


Figura 12. Pantalla del sistema de control de la Turbina B.

Realizado por: Juan Fernando Vera

Fuente: Repsol, 2013