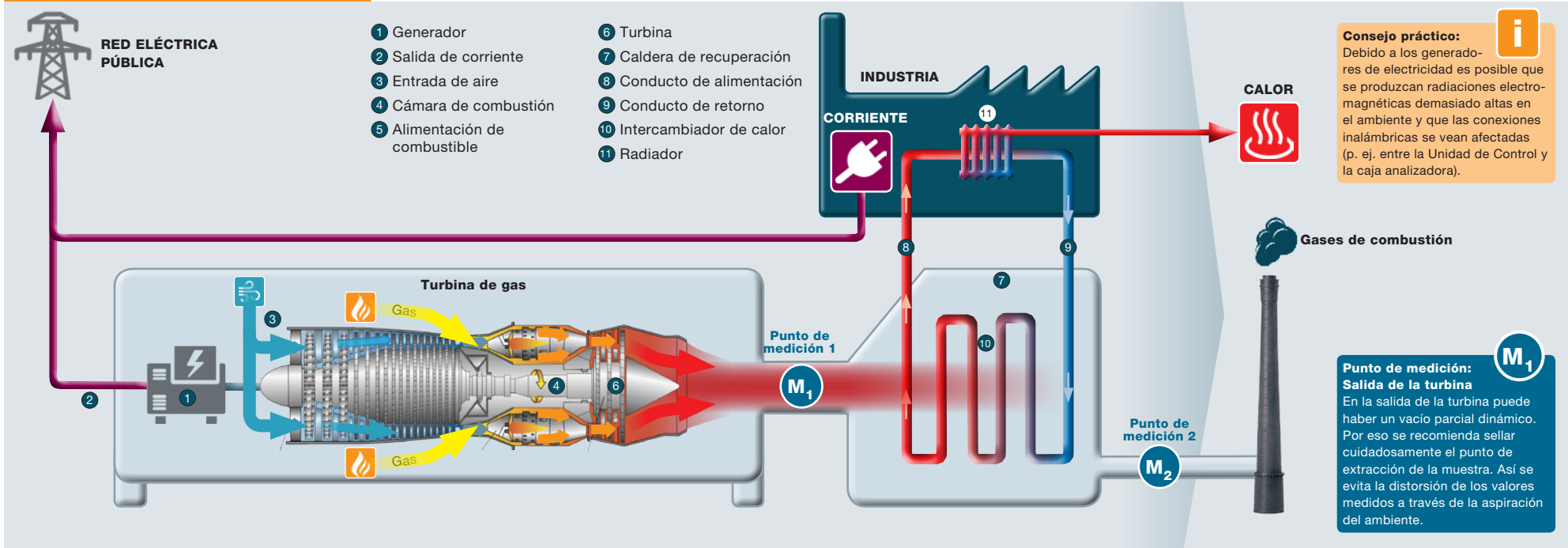


## Descripción de aplicación de la turbina de gas

### Esquema y función



### Procesos de combustión comunes de una turbina de gas:

#### I. Compresor

El compresor aspira aire y lo comprime. En este proceso, la temperatura del aire se incrementa. Hoy en día, los valores comunes para la presión final del compresor en turbinas de gas <10 MW se encuentran por debajo de 20 bar. El dispositivo de arranque de la turbina de gas se encarga del accionamiento del compresor cuando se inicia el proceso de arranque. Para regular la cantidad de aire aspirada, el compresor tiene un mecanismo de ajuste de los álabes mediante el cual varía la sincronización de los álabes y, de esta forma, el flujo másico de aire aspirado.

#### II. Cámara de combustión

El aire fluye desde el compresor hasta la cámara de combustión. Allí se mezcla el combustible que se quema con una presión casi constante. Aquí se calientan los gases de combustión hasta alcanzar temperaturas por encima de +1000 °C. A través de la alimentación de energía en la cámara de combustión se incrementa la velocidad de los gases de combustión.

#### III. Turbina y generador

En la turbina postconectada, los gases de combustión calientes y cargados de energía se expanden casi hasta alcanzar la presión ambiente reduciendo su ve-

locidad. Durante el proceso de expansión los gases de combustión transfieren la potencia a la turbina. Para accionar el compresor (aspiración de aire) se requieren aprox.  $\frac{2}{3}$  de esta potencia; el generador acoplado transforma la energía mecánica en energía eléctrica. En el lado de baja presión aún está disponible  $\frac{1}{3}$  de la potencia útil para un segundo eje, por ejemplo, para accionar un generador o un compresor o accionador de bomba, antes de que se conduzcan los gases de combustión calientes a la caldera de recuperación.

#### IV. Caldera de recuperación

Como los gases de combustión aún tienen una tem-

peratura elevada (+450 ... +600 °C) es posible utilizarlos para generar vapor o en distintos procesos de cogeneración para incrementar el aprovechamiento del combustible. Luego de la relajación en la turbina hasta alcanzar la presión ambiente, los gases de combustión se expulsan al entorno.

#### V. Gases de combustión

A continuación, los gases de combustión enfriados abandonan la planta de cogeneración con una temperatura de aprox. +70 °C por la chimenea.

## Descripción de aplicación de la turbina de gas

### Medición

#### M<sub>1</sub> Punto de medición 1: Control del proceso de combustión

##### ¿Dónde se mide?

- Detrás de la turbina

##### ¿Para qué se mide?

- Cálculo de las emisiones de la turbina
- Optimización de la eficiencia de la combustión en las turbinas
- Configuración de los distintos puntos de carga
- Optimización hasta la eficiencia máxima
- Reducción del consumo de combustible

##### ¿Qué se mide?

- O<sub>2</sub>
- NO
- CO
- NO<sub>2</sub>

##### Propiedades comunes de los gases de combustión:

- Temp. del gas de combustión: +450 ... +600 °C
- Presión en el conducto de gas de combustión: hasta 25 mbar

##### Nota:

En este punto de muestreo predomina una presión negativa dinámica → Este punto debe sellarse obligatoriamente, de lo contrario se aspira y se mide aire del ambiente.



#### M<sub>2</sub> Punto de medición 2: Control del cumplimiento de los valores límite regionales de las emisiones

##### ¿Dónde se mide?

- Después de la caldera de recuperación

##### ¿Para qué se mide?

- Supervisión del cumplimiento de los valores límite en los gases de combustión
- Medición de gases de combustión durante la búsqueda de errores/diagnóstico
- Medición de gases de combustión durante inspecciones y mantenimientos frecuentes

##### ¿Qué se mide?

- O<sub>2</sub>
- NO
- CO
- NO<sub>2</sub>

##### Propiedades comunes de los gases de combustión:

- Temperatura del gas de combustión: +70 ... +90 °C
- Presión en el conducto de gas de combustión: ±2 mbar

### Valores medidos comunes

#### Valores comunes y valores límite de una instalación de turbinas de gas:

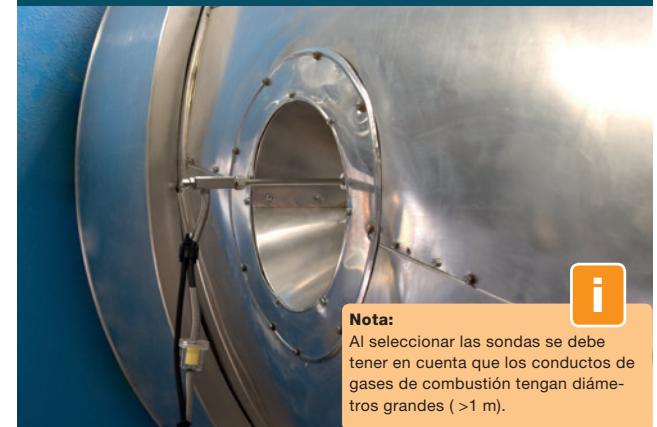
| Parámetro de medición | Valores comunes  |                | Valores límites               |                |
|-----------------------|------------------|----------------|-------------------------------|----------------|
|                       | M <sub>1</sub>   | M <sub>2</sub> | M <sub>1</sub>                | M <sub>2</sub> |
| O <sub>2</sub>        | 15 ... 18 %      |                | 15 % (valor de referencia)    |                |
| NO <sub>x</sub>       | 25 ... 60 ppm    |                | 300 ... 350 mg/m <sup>3</sup> |                |
| CO                    | 0 ... 30 ppm     |                | 100 mg/m <sup>3</sup>         |                |
| CO <sub>2</sub>       |                  |                |                               |                |
| Polvo                 |                  |                |                               |                |
| Temp. del gas         | +300 ... +400 °C |                | +70 ... +90 °C                |                |
| Flujo de gas          |                  |                |                               |                |
| Humedad               |                  |                |                               |                |

### Ventajas de los sensores y el sistema de dilución de Testo:

- Exactitud elevada de la medición en caso de concentraciones bajas mediante los sensores de CO<sub>bajo</sub> y NO<sub>bajo</sub>
- Rango de medición extenso gracias a la ampliación del rango de medición hasta el factor 40 (2x, 5x, 10x, 20x, 40x)
- El encendido automático de la función de dilución brinda protección contra sobrecarga sin interrumpir la medición
- La protección automática del sensor evita daños en este debido a las altas concentraciones
- No se necesitan "sensores altos" adicionales (p. ej. sensor de CO y NO) → Ahorro de costes
- Sensores del rango de medición:  
Sensor de O<sub>2</sub>, 25 vol. %  
Sensor de NO<sub>bajo</sub>\*, 300 ppm, 12.000 ppm\*  
Sensor de CO<sub>bajo</sub>\*, 500 ppm, 20.000 ppm\*  
Sensor de NO<sub>2</sub>, 500 ppm

\* Ampliación del rango de medida para contacto único con factor de dilución 40

### Apertura de medición



##### Nota:

Al seleccionar las sondas se debe tener en cuenta que los conductos de gases de combustión tengan diámetros grandes (>1 m).



### Ventajas del analizador de combustión testo 350:

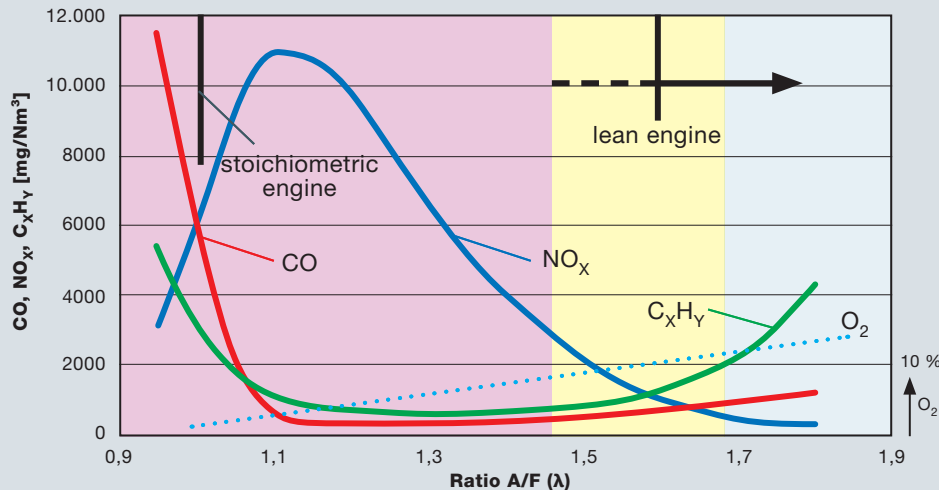
- Disponible para la medición en 30 segundos
- Manejo guiado por el usuario, con útiles ajustes del instrumento
- Ajuste con gas patrón por el usuario fácil y preciso incluso en el lugar de la medición
- Carcasa cerrada, robusta y resistente a los golpes y la suciedad
- Los sensores precalibrados pueden sustituirse en el campo reduciendo así los tiempos de inactividad
- Caja analizadora con conexiones aptas para la industria y aberturas de mantenimiento de fácil acceso
- La preparación integrada del gas protege los valores medidos contra la dilución mediante la humedad y contra lixiviación, por ejemplo de NO<sub>2</sub> mediante condensado en los gases de combustión



# Descripción de aplicación de la turbina de gas

## Conocimiento teórico 1

### Comportamiento de las emisiones en turbinas de gas

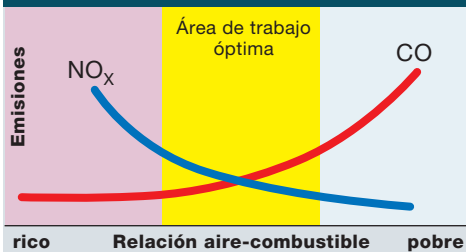


#### Por regla general:

Dependiendo de la relación entre el aire y las proporciones de combustible, el punto de operación se desplaza sobre la curva de combustión.

- NO<sub>x</sub> = NO + NO<sub>2</sub>**
- Compuesto de combustible NO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub> térmico
  - Las proporciones de NO<sub>2</sub> pueden ser muy bajas → Peligro de lixiviación demasiado alto (→ Recomendación para el refrigerador de gas)
  - También NO en un rango bastante bajo → Sensor de NO<sub>bajo</sub>
- Medición separada de NO<sub>x</sub> = Sensor de NO + NO<sub>2</sub>

### Área de trabajo óptima



#### Emisiones de NO<sub>x</sub> en turbinas de gas

- Las turbinas de gas trabajan con una gran cantidad de exceso de aire.
- La producción de NO<sub>x</sub> térmico crece muy rápido luego de alcanzar la temperatura de la llama estequiométrica.
- Un incremento de la relación aire-combustible en sentido "pobre" (más O<sub>2</sub>) reduce la generación térmica de NO<sub>x</sub>, pero aumenta las emisiones de CO.

| Desde la dirección "rico"   | Área de trabajo óptima | Desde la dirección "pobre"   |
|---|------------------------|--|
| <p><b>Características:</b></p> <p><b>NO<sub>x</sub> (óxidos nítricos):</b><br/>Una entrada de aire elevada genera la reducción de la temperatura de la cámara de combustión. La emisión de NO<sub>x</sub> se reduce ya que se genera menos NO<sub>x</sub> térmico.</p> <p><b>C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> o HC (hidrocarburo, p. ej. metano):</b><br/>Una buena combinación de la mezcla de aire y combustible puede generar valores de C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> muy bajos si se brinda un estado perfecto.</p> <p><b>CO (monóxido de carbono):</b><br/>El exceso de oxígeno provoca en el proceso de combustión que las moléculas de CO puedan reaccionar con O<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub> y de este modo solo se expulsan cantidades mínimas de CO.</p> |                        | <p><b>Características:</b></p> <p><b>NO<sub>x</sub> (óxidos nítricos):</b><br/>Gracias a esta otra reducción de la temperatura de combustión, la emisión de NO<sub>x</sub> térmico disminuye en su mayor parte.</p> <p><b>C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> o HC (hidrocarburo, p. ej. metano):</b><br/>En caso de un exceso elevado de oxígeno, la temperatura de combustión se reduce hasta que la temperatura de la llama no alcance para quemar todo el combustible (HC) → Incremento del valor C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> en los gases de combustión.</p> <p><b>CO (monóxido de carbono):</b><br/>Una temperatura de combustión muy baja provoca una oxidación incompleta del CO, generando nuevamente un incremento del CO.</p> |

### Consejo práctico:

#### Arranque de las turbinas de gas:

Durante el arranque es posible que se generen concentraciones elevadas de CO. En combinación con la función de dilución (ampliación del rango de medición) es posible medir tanto exactitudes elevadas así como altas concentraciones con los sensores de CO<sub>bajo</sub> y NO<sub>bajo</sub>.

#### Turbinas de gas ajustadas perfectamente:

En una turbina óptimamente configurada, los valores de CO y NO pueden ser muy bajos (valores de NO<sub>x</sub> <10 ppm). Los sistemas con preparación del gas impiden una dilución de los valores medidos mediante la humedad así como las absorciones de NO<sub>2</sub> a través del condensado en los gases de combustión. De este modo es posible mantener constante el rendimiento y la exactitud de la medición.

# Descripción de aplicación de la turbina de gas

## Conocimiento teórico 2

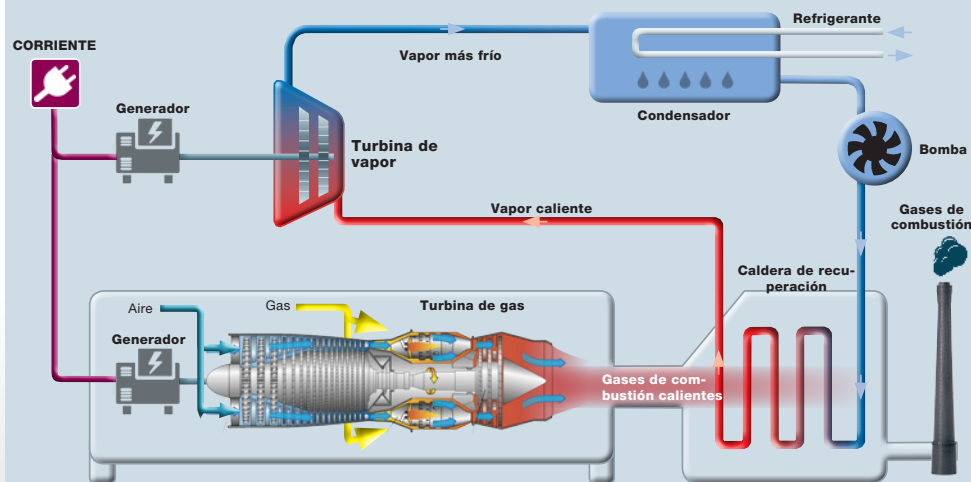
### Diferencias entre la turbina de gas y vapor

| Turbina                 | Combustible   | Rango de temperatura  |
|-------------------------|---|---|
| <b>Turbina de gas</b>   | Combustibles gaseosos y líquidos (p. ej. gas natural, gasolina, propano, combustible diésel y queroseno).   | Mayor rango de temperatura por encima de +1.000 °C durante la combustión.   |
| <b>Turbina de vapor</b> | Vapor caliente (generalmente vapor de agua), el calor puede ser utilizado, por ejemplo, por reactores nucleares, cámaras de combustión de carbón o turbinas de gas.<br>→ <b>Importante:</b> Las turbinas de vapor solo entran en contacto con el vapor de agua producido y no con el combustible utilizado. | Menor rango de temperatura entre aprox +450 y +600 °C (la temperatura de los gases de combustión del proceso de combustión primario genera el vapor de agua requerido). |

### La eficiencia energética se incrementa gracias a la combinación entre la turbina de gas y de vapor:

→ Una mayor eficiencia eléctrica se logra combinando una turbina de gas con una turbina de vapor. En una planta de ciclo combinado se utilizan los gases de combustión calientes de la planta con turbina de gas para calentar la caldera de vapor. De este modo se incrementa el grado de eficiencia considerablemente ya que generalmente la turbina de vapor postconectada alcanza la mitad del rendimiento de la turbina de gas.

### Principio de una planta de ciclo combinado



### Combinación de ampliación del rango de medición y sensores bajos

#### Ajustes del instrumento:

La función de dilución (factores 2, 5, 10, 20, 40) de sensores se activa en función de la aplicación → El testo 350 comprueba automáticamente si los sensores de gas pertinentes se encuentran en los zócalos de dilución previstos.



#### Funcionamiento:

- Definición de los umbrales de desconexión para los sensores
- Para contacto 6: Activación de la ampliación del rango de medición → Seleccionar factor de dilución 2, 5, 10, 20, 40
- Si se alcanza el valor límite de desconexión, el gas de medición se diluye de forma controlada y automática para el sensor ubicado en el contacto 6 con aire del ambiente (otra posibilidad es el nitrógeno). → Una bomba y una válvula introducen el gas de dilución por la entrada de aire separada teniendo como base la modulación de anchura de impulsos. → Para proteger las líneas de gas de polvo se dispone de un filtro previo de protección.
- Si se alcanza nuevamente el límite de desconexión a pesar de la dilución, la protección del sensor se enciende automáticamente para evitar que los sensores se destruyan.

#### Ejemplo de cálculo: **x40**

| Comparación de exposición del sensor y la visualización del dispositivo | Rango de medición del sensor de CO <sub>bajo</sub> | Rango de medición del sensor de CO <sub>bajo</sub> con factor de dilución 40* | Protección del sensor: Rango de medición del sensor CO <sub>bajo</sub> con dilución 40**             |
|---|--|---|--|
| <b>Visualización del dispositivo</b>                                    | 500 ppm  | 10.000 ppm  | 20.000 ppm   |
| <b>Sensor de CO<sub>bajo</sub></b>                                      | 500 ppm  | 250 ppm   | 500 ppm → Protección del sensor mediante el lavado con aire fresco en caso de exceder las 20.000 ppm |

\*Incertidumbre de medición adicional al utilizar la dilución individual del 2 % del v.m.

\*\*Rango de medición del sensor CO<sub>bajo</sub>: 20.000 ppm

### Consejo práctico:

- En caso de gases perturbadores presentes en el ambiente, se debe conectar la manguera en la entrada de dilución para proporcionar una atmósfera limpia\*.
- En caso de utilizar cilindros de gas (p. ej. nitrógeno) observe la presión máx. de 30 hPa.
- La dilución modifica la resolución en la visualización de los valores medidos.  
Ejemplo: Sin dilución con resolución de 1 ppm y factor 10, resolución 10 ppm.

\* Observe las limitaciones con respecto al diámetro y el tamaño.