

## Capítulo 2.

### Micro-generación.

#### 2.1 Micro-generación.

Se considera como micro-cogeneración a las centrales que producen electricidad y calor con potencias eléctricas entre 30 y 500 kW <sup>1</sup>, produciendo bajas emisiones de óxido de nitrógeno y otros contaminantes.

Sus aplicaciones son normalmente en climatización de edificios: hoteles, escuelas, hospitales, oficinas, centros deportivos, comedores industriales etc. La micro-cogeneración en centros aislados permite minimizar los altos costos que tiene la generación propia. Haciendo además de estos centros de trabajo o esparcimiento lugares que afectan muy poco a la naturaleza.

#### 2.2 Evolución de la Micro generación.

Una de las tecnologías que se tienen en la actualidad para cubrir necesidades de autogeneración energética menores a los 500 Kw son las micro turbinas.

Se puede considerar como micro turbinas a las turbinas de gas cuya potencia unitaria esta en el rango de los 30 a 200 Kw eléctricos, son unidades compactas compuestas por un compresor, un combustor, una turbina de gas y un generador eléctrico. Estos equipos tienen una larga historia en el campo aeronáutico y todos los aviones comerciales de cierto tamaño, disponen de pequeñas turbinas (AP1) para la generación eléctrica en tierra y permitir el arranque de las grandes turbinas de propulsión.

A lo largo de los años 90, en parte debido a la crisis energética de California, se desarrollaron equipos para permitir una generación autónoma simple, de alta disponibilidad y con bajo mantenimiento.

En 1996, CAPSTONE presenta la primera versión de la turbina de 30 kw. Hoy hay más 3500 máquinas funcionando en todo el mundo. A partir de este momento el número de turbinas instaladas crece rápidamente al encontrarse otras aplicaciones donde la generación distribuida a pequeña escala tenía muchas ventajas. Así se desarrollan equipos de recuperación térmica de pequeña potencia para realizar instalaciones de micro-cogeneración.

La evolución tecnológica de estos sistemas ha originado la existencia de máquinas para todo tipo de combustibles desde gas natural a biogás pasando por gas propano, gases residuales, gases de bajo poder calorífico como los obtenidos de rellenos sanitarios y gasolina.

Actualmente casi todos los procesos de generación de energía usados en las grandes centrales pueden ser reproducidos a pequeña escala. A este nivel, tanto los rendimientos energéticos como los costos de instalación por Kw están mejorando e incrementando la competitividad.

A continuación se muestra una comparativa de las tecnologías de cogeneración respecto de su eficiencia eléctrica y térmica.

---

<sup>1</sup>Jornada Técnica sobre Cogeneración. PowerExpo 2006 – Zaragoza. CAPSTONE

Tecnología de cogeneración	Eficiencia	
	Eléctrica (%)	Térmica (%)
Turbina de vapor	33	52
Turbina de gas sin post-combustión.	38	47
Turbina de gas con post-combustión.	38	42
Ciclo combinado	57	33
Motor reciprocante (aprovechando calor de gases de combustión y calor del sistema de enfriamiento)	40	30
Motor reciprocante (aprovechando calor de gases de combustión y calor del sistema de enfriamiento)	40	20
<b>Micro turbina</b>	<b>30</b>	<b>50</b>

**Tabla 1. Eficiencias de diferentes tecnologías de cogeneración**

## 2.3 Micro turbina de Gas

### 2.3.1 Funcionamiento de la Micro turbina de gas

Las micro turbinas difieren en gran parte de la mayoría de los métodos tradicionales de generación de energía eléctrica usados en la industria, con emisiones sumamente bajas de gases, y resultan particularmente útiles en muchas aplicaciones industriales y comerciales. Una micro turbina es esencialmente una planta de poder miniatura, auto contenida. Tiene una sola parte móvil, sin cajas de engranes, bombas u otros subsistemas, y no utiliza lubricantes, aceites o líquidos enfriantes.

Uno de los usos más prácticos y eficientes de la micro turbina está en la cogeneración. Utilizando ambas formas de energía simultáneamente, energía eléctrica y calor, permite maximizar el uso del combustible con eficiencias del sistema entre 70-80%<sup>2</sup>, es por eso una de las principales ventajas de utilizar en la vida práctica una micro turbina para generar energía.

La operación de las micro turbinas, las cuales utilizan gas como combustible, se obtienen ahorros aproximados de 35% sobre los gastos por concepto de electricidad y aprovechamiento térmico (aire acondicionado) en los inmuebles equipados, con un retorno de la inversión estimado en dos años.

La micro turbina Capstone genera una potencia mecánica de 30 kW en un pequeño eje donde se montan la rueda del compresor y la de la turbina (derecha y centro en la foto). Todo el conjunto pesa menos de 10 Kg, y tiene unos 15 cm de diámetro. Para poder generar esta elevada potencia, este eje gira a plena carga a 90,000 rpm. Si lo comparamos contra las actuales turbinas de gas, de 350 MW de potencia, con ejes de

<sup>2</sup> Power expo 2006 – Zaragoza España. Capstone

más de 2 m de diámetro y que giran a unos 1,500 rpm, la cuales están en la frontera de la tecnología de materiales (con alabes de 1 metro de estructura mono cristalina), entenderemos uno de los principales paradigmas de las turbo máquinas, que consiste en la relación inversa que se da entre su potencia y su relación de costo específico.



Figura 12. Eje de la Micro Turbina

### 2.3.2 Esquema

A continuación se muestra en las figuras dos tipos de Micro Turbinas, la primera de la Empresa Capstone y la segunda una Micro Turbina Elliot del Grupo Ebara. En este primer diagrama un compresor alimenta aire a alta presión a una cámara de combustión en la que se inyecta el combustible, que al quemarse generará gases a alta temperatura y presión, que a su vez, alimentan a la turbina donde se expanden generando energía mecánica que se transforma en energía eléctrica a través de un generador acoplado a la flecha de la turbina.

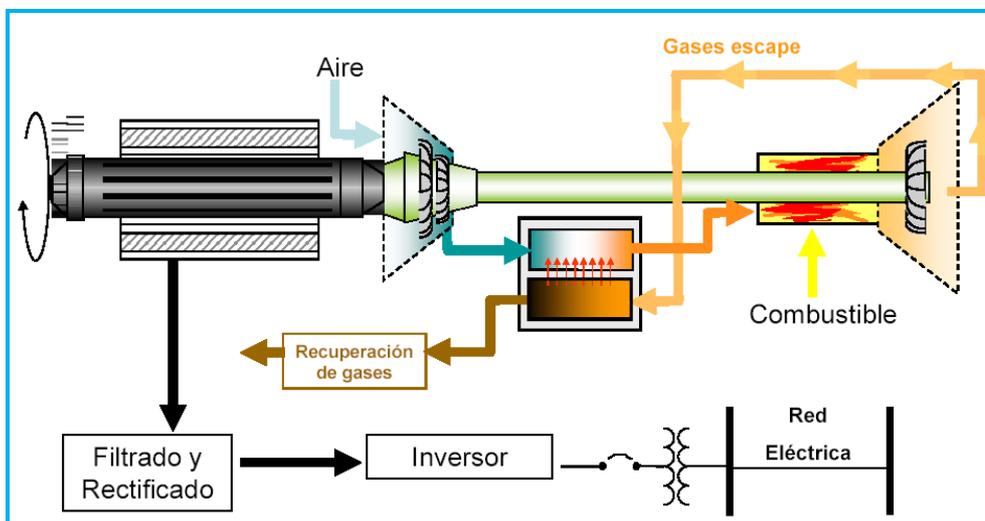


Figura 13. Micro Turbina Capstone

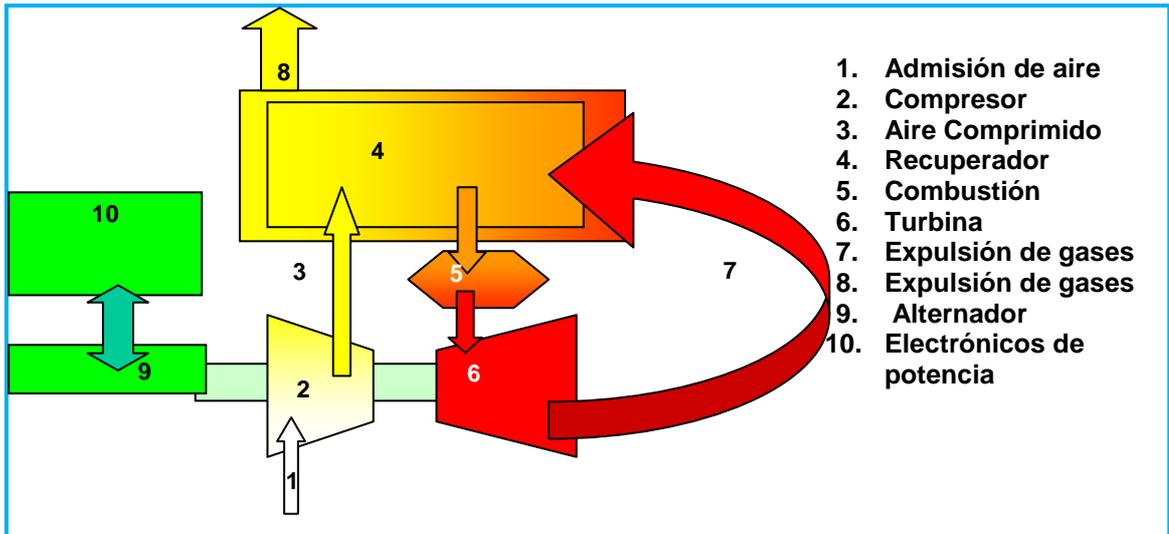


Figura 14. Diagrama de Bloques de una Micro turbina Elliot (Ebara Group) Distribuida en México por Planelec.

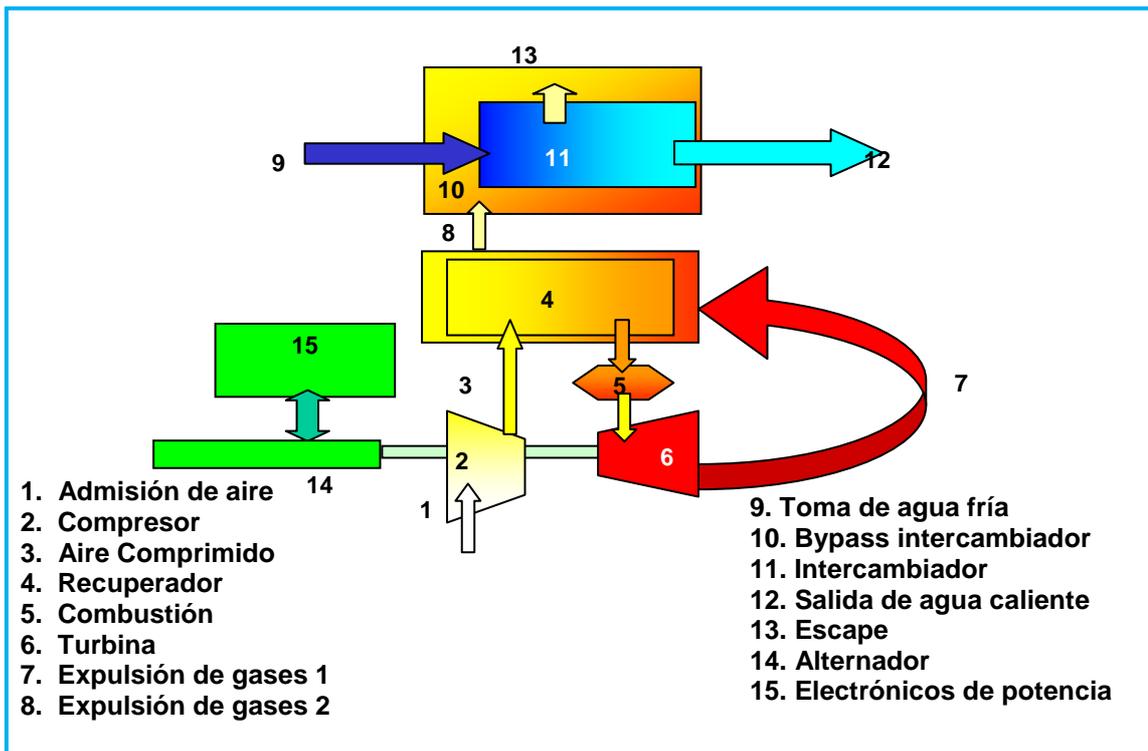


Figura 15. Diagrama de Micro Turbina Elliot (Ebara Group) CHP Primera unidad de recuperación totalmente integrada año 2001 con compresor de gas.

### 2.3.3 Parte Móvil

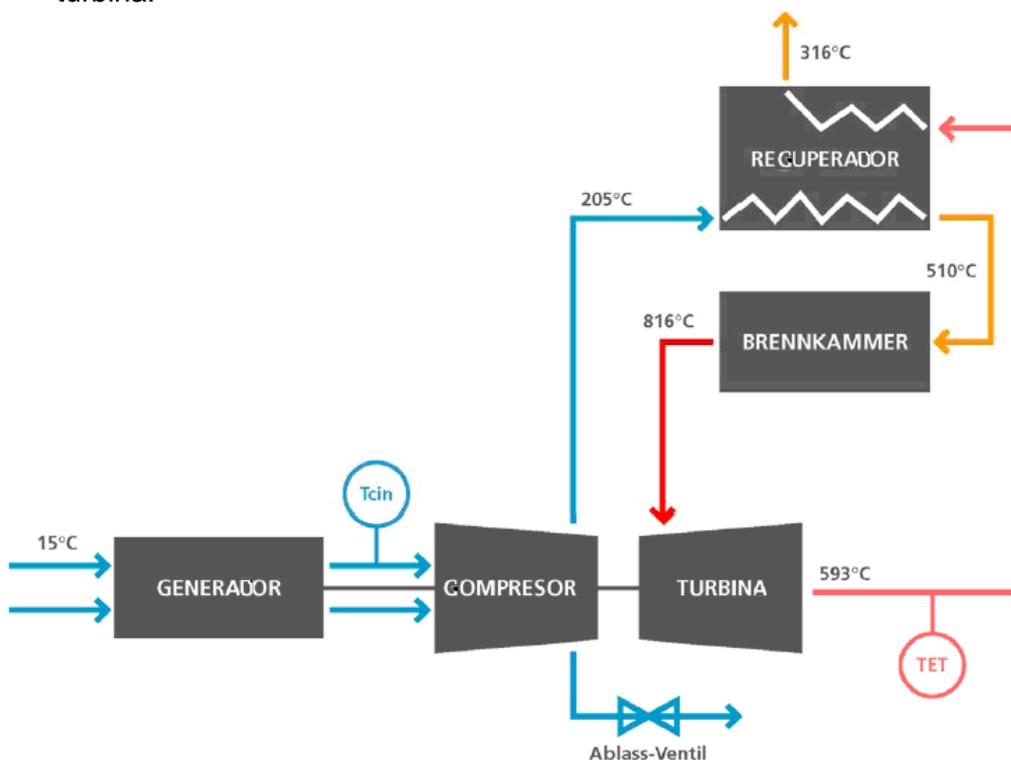


Figura 16. Parte Móvil

En la figura se muestra la única parte móvil de una micro turbina. En realidad una micro turbina no tiene cambios considerables de una turbina común o convencional, la principal diferencia que podríamos encontrar es que se tiene un ciclo de recuperación para mejorar el rendimiento eléctrico.

### 2.3.4 Flujo de Gases

La eficiencia eléctrica varía entre el 15% y el 30%, esto depende si hay o no recuperación térmica después del compresor. En la figura se muestran las temperaturas de los gases después de pasar por cada parte de la micro turbina.



Los gases de escape tienen una temperatura que va de 500 a 650 °C. Estos gases son relativamente limpios y por lo tanto se pueden aplicar directamente a procesos de secado, o pueden ser aprovechados para procesos de combustión posteriores, ya que tienen un contenido de oxígeno de alrededor del 15%. Debido a su alta temperatura, estos gases suelen ser empleados a su vez, para producir vapor, que se utiliza en los procesos industriales e inclusive, para generar más energía eléctrica por medio de una turbina de vapor.

### 2.3.5 Identificación de Componentes de una Micro Turbina

CORTE TRANSVERSAL DE UNA MICRO TURBINA DE GAS DE 30 kW

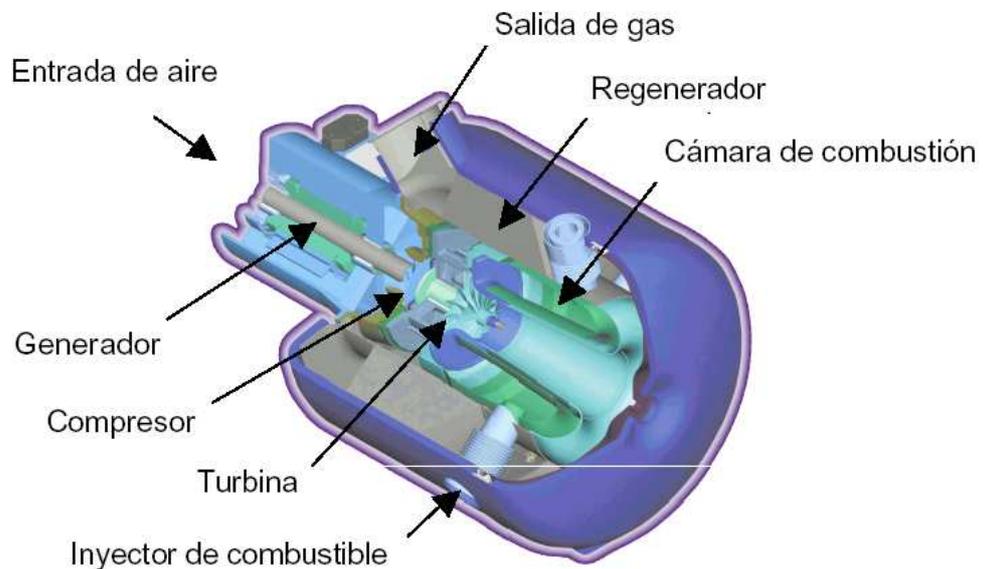


Figura 17. Corte transversal de una Micro Turbina.



Figura 18. Micro Turbina Capstone

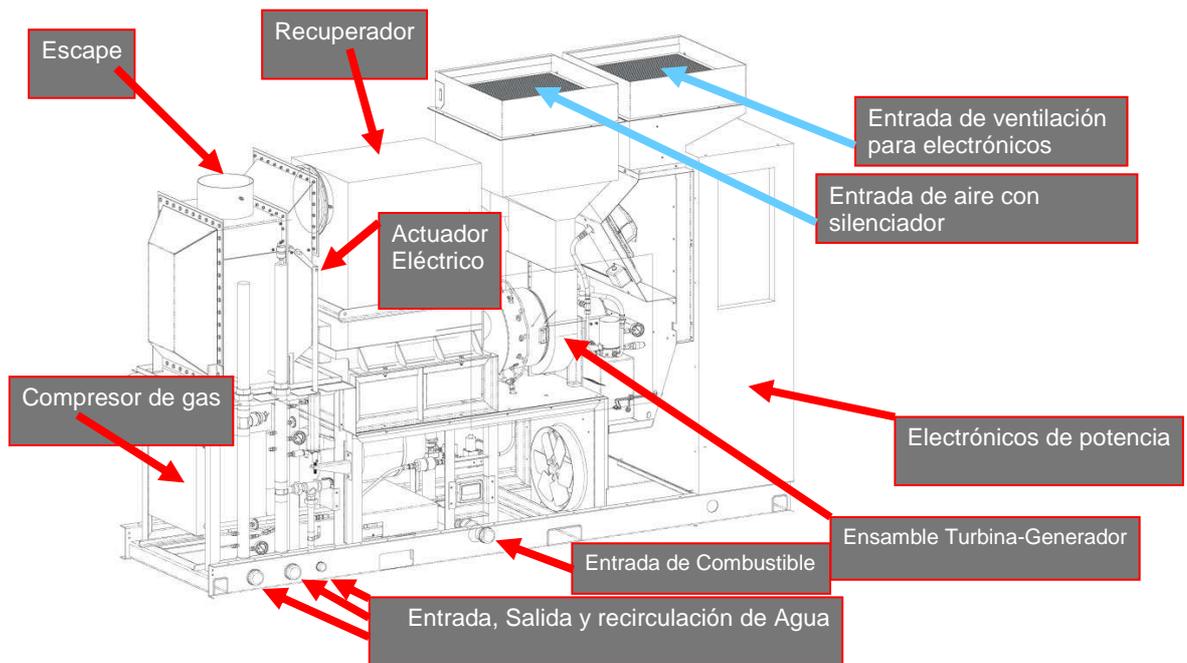


Figura 19. Micro Turbina TA 100 de Elliot Micro turbinas distribuida en México por Planelec.

### 2.3.6 Aprovechamiento Térmico

Las micro turbinas dan todo el calor del resultado de la generación de la electricidad en forma de gases de escape, por lo que el aprovechamiento es mas sencillo que en motores donde se tiene la misma parte del calor en agua y la otra mitad en gases. Su limitación para la potencia es debido a la electrónica, esto permite que cuando existen otras limitaciones como la altura se puedan compensar por la temperatura.

## CR65 Potencia neta y Rendimiento

A Temperatura Ambiente, Nivel del mar

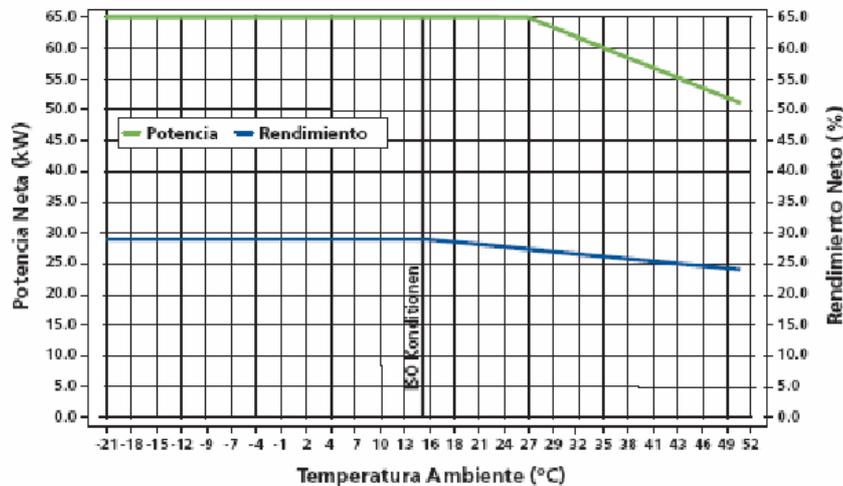


Figura 18. Obtenida de la CR 65 de Capstone Micro turbine

Se muestra la variación de la potencia y rendimiento en comparación con la temperatura ambiente, de esta manera podemos observar que un incremento en la temperatura ambiente perjudica la potencia neta obtenida por la micro turbina y su rendimiento.

### 2.4 Instalación de Turbinas de Gas.

A continuación se presentan algunos de los aspectos generales para la instalación de micro turbinas de gas, la cual tiene como referencia al Standard 37 de la NFPA, que se refiere a la Instalación de Turbinas de Gas y Motores de Combustión interna.

En los siguientes párrafos se hace mención de los principales apartados referentes a la instalación de turbinas de gas y de los cuales se pensó era necesario su mención como referencia, para la seguridad del personal de trabajo y de las instalaciones involucradas.

#### 2.4.1 Equivalencia.

Nada en este Standard tiene la intención para impedir el uso de sistemas, métodos, o dispositivos equivalentes o de calidad superior, fuerza, resistencia al fuego, efectividad, durabilidad, y seguridad.

#### 2.4.2 General.

Los siguientes párrafos son extraídos del Standard 37 de la NFPA.

Turbina de Combustión de Gas. Un motor que produce energía mediante un eje utilizando el ciclo Bryton, donde la presión del aire (atmosférica) es drenada a un compresor; el aire comprimido entonces fluye a una cámara donde el combustible es inyectado y ocurre una combustión continua, resultando un gas caliente a alta presión para su expansión en esta sección (turbina) donde la energía del calor es convertida rotativamente en energía mecánica.

Todos los motores deberán ser situados en lugares accesibles para poder realizar el mantenimiento, reparaciones y lejos de lugares donde se puedan tener chispas que ocasionen algún incendio.

El aire deberá ser suministrado con los requerimientos mínimos para la combustión, enfriamiento, con la ventilación adecuada, y para evitar fugas de gas que se encuentren en otros dispositivos de combustión.

Los materiales combustibles no deben ser almacenados en casas de máquinas cerradas y en lugares donde se realicen operaciones o mantenimiento a diario. Cada uno de los materiales combustibles deberá ser almacenado apropiadamente.

Motores alimentados con gas no deben ser instalados en cuartos que contengan equipo como calderas o con llamas sin equipo de protección.

Los filtros de aire deben ser del tipo contra incendio cuando se lleguen a exponer a algún tipo de fuego.

### **2.4.3 Instalación Eléctrica.**

La Instalación Eléctrica en cuartos que contengan motores debe llevarse a cabo con el NEC. Código Eléctrico Nacional. Para nuestro caso se utiliza la NOM-001-SEDE-2005 como referencia para la instalación eléctrica.

Cableado de Motores. Cables y materiales aislados deberán tener todas las siguientes características.

- 1) Capacidad para mantener flexibilidad bajo las operaciones típicas del motor y sus rangos de temperaturas.
- 2) Capacidad para tener la absorción mínima posible de aceites, combustibles, y otros fluidos comúnmente encontrados en el área cercana al motor.
- 3) Información para el uso continuo en los rangos de temperatura que ocurrirán en el lugar donde sea instalado.

Los cables deben ser protegidos por fusibles o interruptores de acuerdo con su ampacidad.

Los cables deberán ser de cobre.

Los circuitos de Tierra en el cableado del motor debe distinguirse adecuadamente como en los siguientes casos.

- (1) Verde.
- (2) Verde con una franja amarilla.
- (3) Cable trenzado desnudo.

Los circuitos de control eléctrico en los motores que no tengan uso de emergencia, deben ser diseñados para cerrar automáticamente el motor cuando sea activado el circuito interruptor, desconectado o el cable sea cortado.

Las baterías, cables y demás dispositivos eléctricos deben ser protegidos contra arcos y cortos accidentales.

Requerimientos generales para la instalación.

Los motores deben ser instalados de acuerdo con lo siguiente:

- (1) Aplicando los estándares y códigos de la NFPA.
- (2) Estándares industriales.
- (3) Requerimientos de uso.

#### **2.4.4. Suministro de Gas Combustible**

Pipas de Gas. Las pipas de gas deben ser instaladas por uno de los siguientes métodos.

- (1) Todos los sistemas de gas con presiones en servicio iguales o menores a 861.8 kPa (125psig) deben ser instaladas de acuerdo con el estándar NFPA 54.
- (2) Los sistemas de gas LP, licuado o vapor, deben ser instalados de acuerdo con NFPA 58.

Está aprobado el uso de conectores y tubería flexible para protección contra daño causado por hundimiento, vibración, contracción o corrosión.

Está aprobado el uso de conectores y tubería no metálica para protección contra daño causado por hundimiento, vibración, contracción o corrosión, excepto para la fase de gas líquido.

Reguladores. Un regulador de la presión de gas debe estar ventilado dentro de un espacio de 1.5 m o encontrarse en una estructura abierta.

Cuando la presión del gas en el lado superior de un regulador sea mayor a una presión de 3.5 kPa, debe ser instalada una válvula de alivio en el lado inferior del regulador y estar ventilado.

Válvulas. Manual de Válvulas de Cierre.

Si la válvula de cierre esta abierta, la llave de seguridad debe estar bien marcada, y en una localidad cercana y accesible a la válvula.

Válvulas de seguridad de cierre automático. Las válvulas de seguridad de cierre automático deben parar el flujo del combustible al motor, cuando el motor llegue a parar por alguna causa.

Turbinas de Combustión de Gas.

Los depósitos de aceite lubricante provistos con calentadores, deberán tener un interruptor que indique el nivel bajo de aceite del calentador, para poder apagar el calentador antes de que el nivel de aceite este por debajo de la tapa del elemento del calentador.

Las reservas del aceite lubricante provistas con una bomba como dispositivo de desplazamiento del aceite lubricante, debe estar provista de una válvula de alivio de presión.

Las reservas del aceite lubricante de las pipas para turbinas de combustión de gas que manejen compresores, tomen gases flaméales, que además utilicen una combinación de aceites y junten sistemas de aceite, no deben de terminar en la trayectoria del gas de escape.

#### **2.4.5 Protección contra Fuego.**

Una evaluación del riesgo de fuego debe ser realizada para cada instalación de equipo de motor con respecto a lo siguiente:

- (1) Diseño.
- (2) Disposición.
- (3) Requerimientos de operación.

Los extinguidores de Fuego Portátiles, deben de estar de acuerdo a lo que indica el apartado de la NFPA 10 para Extinguidores de fuego.

El personal implicado en la instalación y operación de motores debe ser entrenada en el uso de extintores de fuego portátiles.

Sistemas de Alarma y Detección de Fuego.

Las válvulas de paro automático de combustibles, que son requeridas por otras secciones de este estándar deben ser arregladas para cerrarse cuando sea activado el sistema de detección de fuego dentro de la zona de alarma de incendio que cubre el motor incluyendo sus equipos auxiliares.

Sistemas y equipo de protección contra incendios.

Las válvulas automáticas de paro de combustible que son usadas por motores de emergencia o motores que son constantemente usados deben permitir la reactivación del sistema de detección.

Los sistemas de ventilación mecánica, deben ser arreglados para cerrarse bajo la activación del sistema supresor de fuego dentro del recinto del motor.

Con todas estas recomendaciones es posible llevar a cabo una instalación segura y efectiva de una turbina de gas, teniendo en cuenta que nuestro propósito es utilizar micro turbinas de gas, las cuales como es de suponerse su tamaño es mucho menor como se ha mostrado en los primeros capítulos.