

CAPÍTULO 1

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 ANTECEDENTES

La Central Térmica Santa Rosa perteneciente a Termopichincha S.A. se ubica en la Provincia de Pichincha, cantón Mejía, parroquia Cutuglagua, Panamericana Sur Km 17.

Posee 3 unidades de generación por medio de turbinas de gas que generan 17 MW cada una. La Central Térmica Santa Rosa colabora con 51 MW al Sistema Nacional Interconectado.

Las turbinas a gas de la Central Térmica Santa Rosa son de tipo AEG – KANIS de procedencia alemana con licencia General Electric y tienen 25 años de funcionamiento.

Las unidades comprenden 5 compartimentos:

- control
- arranque
- combustión
- caja reductora
- excitación

Compartimiento de control.- En este compartimiento están los tableros y paneles de mando de toda la unidad. Los tableros

manejan corriente de 480V, 220V y 110V. Compartimiento de

arranque.- Donde lo conforman el motor diesel que es el que genera la energía mecánica para todo el sistema.

Compartimiento de combustión: Se encuentra conformado por la unidad turbina – compresor.

Compartimiento de la caja reductora: En este compartimento se produce el acople turbina – generador.

Compartimiento de excitación.- Aquí se encuentran tableros de generación de alto voltaje.

Las turbinas a gas de la Central Térmica Santa Rosa poseen un sistema básico contra incendios que es propio de las unidades, y consiste en sensores de temperatura conectados en paralelo, ubicados en los compartimentos de las unidades y calibrados a diferentes temperaturas en razón de que cada compartimento tiene un funcionamiento diferente. Al detectar una temperatura mayor a la calibrada en cualquiera de los compartimentos se activa una válvula selenoide que comanda rociadores de CO₂ e de 100 psi cada uno ubicados en todos los compartimentos.

En caso de producirse un incendio las unidades de generación se apagan y se activa una alarma de aviso.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El sistema contra incendios de las turbinas a gas de la Central Térmica Santa Rosa es un sistema básico que consta únicamente de detectores de temperatura y rociadores de CO₂ que se activan en todos los compartimentos al detectar una temperatura mayor a la calibrada. Los rociadores se activan en todos los compartimentos de las unidades sin tomar en cuenta la ubicación del incendio. El sistema contra incendios no es un sistema que funciona según el desempeño de las instalaciones ya que no tiene una unidad de control programable.

El sistema no tiene sensores de llama, no existen detectores de humo y los actuadores son los mismos para toda la unidad sin tomar en cuenta las probables causas de incendio de las unidades.

Debido a la edad y forma de funcionamiento del sistema actual de detección y extinción se lo considera en obsolescencia técnica.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Realizar el rediseño del sistema de detección y extinción de incendios de las turbinas a gas de la Central Térmica Santa Rosa para una futura implementación basado en el desempeño de las instalaciones.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las probables causas de incendio de las unidades de generación de la Central Térmica Santa Rosa.
- Seleccionar los sensores y el tipo de sistema de protección contra incendios dependiendo del tipo de riesgo para los diferentes compartimentos de las unidades de generación.
- Desarrollar el software para un sistema contra incendios de accionamiento automático.

1.4 ALCANCE

Se va a realizar el rediseño del sistema contra incendios de detección y extinción basado en los requerimientos y las normas de la NFPA (*National Fire Protection Association*) de los Estados Unidos y normas INEN. El sistema a rediseñarse posee sensores y actuadores

según la posible causa de incendio que funcionan a través de un PLC. Al funcionar con un PLC los actuadores son programados para que actúen independientemente según la ubicación y la causa del incendio. El sistema posee también un tablero de control, tablero de señalización, alarmas, etc.

1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El proyecto “Rediseño del sistema de detección y extinción de incendios para las turbinas a gas de la Central Térmica Santa Rosa perteneciente a Termopichincha S.A.” mejorará el sistema de seguridad de las unidades de generación y colaborará en la implementación de un sistema de seguridad completo para la Central de Santa Rosa ya que Termopichincha S.A. tiene como proyecto futuro estar certificados por normas internacionales de seguridad industrial.

Termopichincha S.A. proporciona 51 MW al Sistema Nacional Interconectado.

Para representar la efectividad de la inversión propuesta y poder utilizar las efectividades de coste de diferentes medidas alternativas y encontrar así la acción preventiva mas justificada para la eliminación o reducción de un determinado riesgo se va a calcular el factor de justificación (J) con la siguiente fórmula:

$$J = \frac{R \times F}{d}$$

De este modo, cuando el factor de justificación es inferior a 10 no se justifica la acción propuesta. En este caso la reducción de riesgo es tan pequeña que no se justifica el gasto económico del esfuerzo y tiempo empleados de forma que tales recursos pueden invertirse

mejor en otras actividades o medidas preventivas. Así valores entre 10 y 20 indican que la acción esta justificada, y superiores a 20, que la medida propuesta es lo mas aceptable posible.

Siendo

- J Justificación
- R Magnitud del riesgo
- F Factor de reducción de riesgo
- d Factor de coste (ver tabla 1.1)

$$R = C \times E \times P$$

C Consecuencia (ver tabla 1.2)

E Exposición (ver tabla 1.3)

P Probabilidad (ver tabla 1.4)

$$F = \frac{R_i - R_f}{R_i}$$

R_i Magnitud del riesgo antes de efectuarse la acción correctora

R_f Magnitud del riesgo después de efectuarse la acción correctora

Tablas

Tabla 1.1

Factor de costo

| Costo | Valor |
|------------------------|--------------|
| Mas de 30000 euros | 10 |
| De 12000 a 30000 euros | 8 |
| De 6000 a 12000 euros | 6 |
| De 600 a 6000 euros | 4 |
| De 60 a 600 euros | 2 |
| De 12 a 60 euros | 1 |
| Menos de 12 euros | 0,5 |

Fuente: Métodos de evaluación de riesgos laborales, J.C. Rubio (tabla 2.8)

Tabla 1.2

| Grado de severidad de las consecuencias | Valor |
|--|--------------|
| Catastrófica (Numerosas muertes, grandes daños por encima de 600000 euros, gran quebranto de la actividad) | 100 |
| Desastrosa (varias muertes, daños desde 300000 a 600000 euros) | 40 |
| Muy seria (muerte, daños desde 300000 euros) | 15 |
| Seria (lesiones muy graves: amputación, invalidez, daños de 600 euros a 60000 euros) | 7 |
| Importante (lesiones con baja: incapacidad permanente, temporal; daños de 60 a 600 euros) | 3 |
| Leve (pequeñas heridas, contusiones, daños hasta 60 euros) | 1 |

Fuente: Métodos de evaluación de riesgos laborales, J.C. Rubio (tabla 2.4)

Tabla 1.3

| Frecuencia de exposición | Valor |
|---|--------------|
| Continúa (o muchas veces al día) | 10 |
| Frecuente (se presenta aproximadamente una vez por día) | 6 |
| Ocasional (semanalmente) | 3 |
| Poco usual (mensualmente) | 2 |
| Rara (una pocas veces al año) | 1 |
| Muy rara (anualmente) | 0,5 |
| Inexistente (no se presenta nunca) | 0 |

Fuente: Métodos de evaluación de riesgos laborales, J.C. Rubio (tabla 2.5)

Tabla 1.4

| Escala de probabilidad | Valor |
|---|--------------|
| Casi segura (es el resultado mas probable y esperado si se presenta la situación de riesgo) | 10 |
| Muy posible (es completamente posible, no sería nada extraño; tiene una probabilidad del 50%) | 6 |
| Posible (sería una secuencia o coincidencia rara, | 3 |

| | |
|--|-----|
| pero posible, ha ocurrido) | |
| Poco posible (sería una coincidencia muy rara, aunque se sabe que ha ocurrido) | 1 |
| Remota (extremadamente rara; no ha sucedido hasta el momento) | 0,5 |
| Muy remota (secuencia o coincidencia prácticamente imposible) | 0,2 |
| Casi imposible (virtualmente imposible; se acerca a lo imposible) | 0,1 |

Fuente: Métodos de evaluación de riesgos laborales, J.C. Rubio (tabla 2.6)

1.5.1 CÁLCULO DEL FACTOR DE JUSTIFICACIÓN

Cálculo del factor de costo

De la tabla 1.1 se selecciona (Este valor se selecciona d=6

Cálculo de la magnitud de riesgo

$$R = C \times E \times P$$

$$C = 40$$

$$E = 10$$

$$P = 1$$

$$R = 40 \times 10 \times 1$$

$$R = 400$$

Cálculo del factor de reducción de riesgo

$$F = \frac{R_i - R_f}{R_i}$$

$$R_i = 20\%$$

$$R_f = 5\%$$

$$F = \frac{20 - 5}{20}$$

$$F = 0,75$$

$$J = \frac{R \times F}{d}$$

$$J = \frac{400 \times 0,75}{6}$$

$$J = 50$$

Del resultado obtenido nos damos cuenta que el proyecto se justifica.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 CONCEPTOS GENERALES SOBRE CENTRALES TÉRMICAS

2.1.1 CENTRALES TERMOELÉCTRICAS O TÉRMICAS

Una central térmica es una instalación que produce energía eléctrica a partir de la combustión de carbón, fuel-oil o gas en una caldera diseñada al efecto (esta última menos contaminante).

A continuación se explica el funcionamiento de las mismas. Para ello haremos hincapié en sus componentes, diferentes tipos de combustibles, procedimientos usados para la generación eléctrica y sus consecuencia en el medio ambiente.

Dentro de las centrales termoeléctricas tenemos:

- Centrales térmicas a gas
- Centrales térmicas a vapor
- Centrales térmicas a diesel

Los diferentes tipos de centrales térmicas se irán estudiando posteriormente.

2.1.1.1 Funcionamiento de una Central térmica a vapor

El ejemplo más antiguo de la propulsión por gas puede ser encontrado en un egipcio llamado Hero en 150 A.C.

Hero inventó un juguete que rotaba en la parte superior de una olla hirviendo debido al efecto del aire o vapor caliente saliendo de un

recipiente con salidas organizadas de manera radial en un sólo sentido (Ver Gráfico Siguiente).

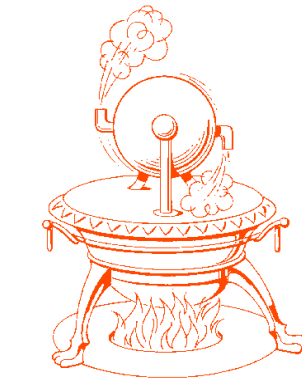


Figura No. 2.1
Mecanismo de rotación por medio de vapor

En 1232, los chinos utilizaron cohetes para asustar a los soldados enemigos.

Alrededor de 1500 D.C., Leonardo Davinci dibujó un esquema de un dispositivo que rotaba debido al efecto de los gases calientes que subían por una chimenea. El dispositivo debería rotar la carne que estaba asando.

En 1629 otro italiano desarrolló un dispositivo que usó el vapor para rotar una turbina que movía maquinaria. Esta fue la primera aplicación práctica de la turbina de vapor.

En 1678 un jesuita llamado Ferdinand Verbiest construyó un modelo de un vehículo automotor que usaba vapor de agua para movilizarse.

El funcionamiento de todas las centrales térmicas, o termoeléctricas, es semejante. El combustible se almacena en parques o depósitos adyacentes, desde donde se suministra a la central, pasando a la caldera.

Una vez en la caldera (pueden ser pirotubulares¹ y acuatubulares²), los quemadores provocan la combustión del carbón, fuel-oil o gas, generando energía calorífica. Esta convierte a su vez el agua en vapor a alta temperatura el que circula por una extensa red formada por tubos que tapizan las paredes de la caldera.

Este vapor entra a gran presión en la turbina de la central, la cual consta de tres cuerpos -de alta, media y baja presión, respectivamente- unidos por un mismo eje.

En el primer cuerpo (alta presión) hay centenares de álabes o paletas de pequeño tamaño. El cuerpo a media presión posee asimismo centenares de álabes pero de mayor tamaño que los anteriores. El de baja presión, por último, tiene álabes aún más grandes que los precedentes. El objetivo de esta triple disposición es aprovechar al máximo la fuerza del vapor, ya que este va perdiendo presión progresivamente, por lo cual los álabes de la turbina se hacen de mayor tamaño cuando se pasa de un cuerpo a otro de la misma., Hay que advertir, por otro lado, que este vapor, antes de entrar en la turbina, ha de ser cuidadosamente deshumidificado. En caso contrario, las pequeñísimas gotas de agua en suspensión que transportaría serían lanzadas a gran velocidad contra los álabes, actuando como si fueran proyectiles y erosionando las paletas hasta dejarlas inservibles.

¹ Pirotubulares significa que los tubos de la caldera son atravesados por fuego

² Acuatubulares significa que a través de los tubos de la caldera pasa agua

El vapor de agua a presión, por lo tanto, hace girar los álabes de la turbina generando energía mecánica. A su vez, el eje que une a los tres cuerpos de la turbina (de alta, media y baja presión) hace girar al mismo tiempo a un generador unido a ella, generando así energía eléctrica. Esta es vertida a la red de transporte a alta tensión mediante la acción de un transformador.

Por su parte, el vapor -debilitada ya su presión- es enviado a unos condensadores. Allí es enfriado y convertido de nuevo en agua. Esta es conducida otra vez al tanque de alimentación de agua y luego a la caldera y finalmente a los tubos que tapizan las paredes de la caldera, con lo cual el ciclo productivo de vapor se reinicia.

Para minimizar los efectos de la combustión de carbón sobre el medio ambiente, la central posee una chimenea de gran altura -las hay de más de 300 metros-, que dispersa los contaminantes en las capas altas de la atmósfera, y precipitadores (que retienen buena parte de los mismos en el interior de la propia central.)

2.1.1.2 Circuitos para la energía

En la central típica se distinguen siempre cinco circuitos, cuya combustión permite la transformación de energía térmica del combustible en la energía eléctrica. Estos circuitos son:

1. Circuito del combustible.
2. Circuito del aire de combustión.
3. Circuito del vapor.
4. Circuito del agua de refrigeración.

5. Circuito de la energía eléctrica.

2.1.1.2.1 Circuito del combustible

Este circuito difiere sobre todo en su primera parte según el tipo de combustible utilizado, carbón, fuel-oil, gas, etc. Consideramos ahora como ejemplo a una central como combustible de carbón pulverizado.

Transporte del combustible: El carbón es descargado en la inmediata cercanía de la sala de calderas. Luego el carbón es secado y llevado sobre cintas transportadoras hasta la casa de trituración, donde una máquina trituradora reduce las dimensiones de los trozos demasiado grandes.

Para eliminar los trozos de hierro que generalmente se mezclan con el carbón durante la extracción y el transporte, el carbón pasa por un separador magnético.

Un sistema de cintas transportadoras lleva el combustible hasta una tolva, ubicada delante de la caldera. Su capacidad es dimensionada de modo de poder alimentar la caldera durante unas horas a plena carga.

Pulverización: Antes de introducirlo en la caldera, se somete el carbón al procesamiento de pulverización, con lo cual se mejora su combustión y se aumenta el rendimiento de la caldera.

Combustión: Del molino pulverizador el carbón reducido a polvo

muy fino fluye a los quemadores ubicados en los cuatro rincones o en frente de la caldera.

Transporte de la ceniza: La ceniza cae en la parte inferior de la cámara de combustión, que tiene la forma de embudo, y de ahí deriva a zanjas, donde una corriente de agua la arrastra a un pozo.

2.1.1.2.2. Circuito del aire de combustión

El aire de combustión es enviado al hogar de las caldera por medio del ventilador de tiro forzado a través del precalentador de aire que tiene por objeto calentar el aire aprovechando parte del calor que contienen los gases antes de pasar a la chimenea.

Una parte de este aire primario, sirve para secar el carbón en el molino y para la inyección del carbón pulverizado en la cámara de combustión, mientras que la parte restante del aire, llamado aire secundario, se suministra alrededor de los quemadores para lograr un contacto íntimo con las partículas del carbón. Así, se obtiene una combustión rápida y una menor cantidad de productos no quemados.

2.1.1.2.3. Circuito del agua – vapor

En la central de condensación, el vapor descargado por la turbina es condensado en el condensador, por medio del agua de circulación. El condensado es aspirado por la bomba de extracción y conducido al desgasificador después de haber sido calentado en

el precalentador. Del tanque el condensado fluye a la bomba de alimentación que manda el agua a la caldera. El agua de alimentación evapora en la caldera y el vapor producido vuelve a la turbina y, completando así el circuito cerrado del agua de alimentación.

2.1.1.2.4 Circuito del agua de refrigeración

La refrigeración de los condensadores exige una cantidad considerable de agua fría. La refrigeración de condensador se efectúa en circuito cerrado. El agua de circulación, que se calienta en el condensador condensando el vapor descargado por la turbina y, es enfriada a su vez en la torre de enfriamiento y luego impulsada por la bomba de circulación.

2.1.1.2.5 Circuito de la energía eléctrica

El generador accionado por la turbina, produce la energía eléctrica y la envía por medio de los cables de conexión al transformador elevador instalado en la casa de alta tensión. Después de la elevación de la tensión la energía eléctrica es enviada desde la barras colectoras u ómnibus a los centros de consumo a través de los cables alimentadores o bien por medio de líneas aéreas

2.1.1.3 Principales Componentes de una Central Térmica

2.1.1.3.1 Turbinas de vapor

Las turbinas de vapor y gas, a pesar de usar fluidos de trabajo muy diferentes, tienen muchos puntos comunes de diseño, construcción y operación. Las mayores diferencias están en las presiones y temperaturas de trabajo de estas máquinas. Para turbinas a vapor, la temperatura máxima está hoy limitada a unos 540 a 600°C. En las turbinas de gas en cambio, la temperatura de ingreso de los gases a la turbina es de unos 1000°C para las de uso industrial y hasta unos 1300°C para turbinas a gas de uso aeronáutico y alta ejecución. Las presiones máximas son de unos 35 MPa para turbinas a vapor (350 bar), y entre 4 y 2 MPa para turbinas a gas. El tener altas presiones de admisión requiere una construcción robusta para las turbinas de vapor, en cambio las turbinas de gas son de construcción mas liviana.

2.1.1.3.2 Torres de Enfriamiento

En las torres de enfriamiento se consigue disminuir la temperatura del agua caliente que proviene de un circuito de refrigeración mediante la transferencia de calor y materia al aire que circula por el interior de la torre. A fin de mejorar el contacto aire-agua, se utiliza un entramado denominado "relleno". El agua entra en la torre por la parte superior y se distribuye uniformemente sobre el relleno utilizando pulverizadores. De esta forma, se consigue un contacto óptimo entre el agua y el aire atmosférico.

2.1.1.3.3 Generador

El generador esta encargado de producir la energía eléctrica, esta energía es producida cuando el rotor gira dentro de una carcaza, esta rotación hace que se produzca energía continúa.

La rotación del generador es producida por el motor.

2.1.1.3.4 Calderas

Las calderas son utilizadas para calentar o hervir el agua, luego este fluido es aprovechado en otros procesos, principalmente para transferir calor a otros fluidos. En el caso de las turbina a vapor la caldera es utilizada para producir el vapor que hace girar la turbina.

2.1.1.3.5 Quemadores

Son los encargados de evaporar el agua que circula por la caldera. La estructura del quemador varia según el combustible que utiliza la central (carbón, gas o fuel-oil).

2.2 CONCEPTOS GENERALES DE LAS TURBINAS A GAS

2.2.1 HISTORIA DE LAS TURBINA DE GAS

La primera patente para una turbina fue otorgada en 1791 a un inglés llamado John Barber. Incorporaba mucho de los elementos de una turbina de gas moderna, pero usaban un compresor alternativo. Hay muchos otros ejemplos de turbina por varios inventores, pero no son consideradas verdaderas turbinas de gas porque utilizaban vapor en cierto punto del proceso.

En 1872, un hombre llamado Stolze diseñó la primera turbina de gas. Incorporaba una turbina de varias etapas y compresión en varias etapas con flujo axial probó sus modelos funcionales en los años 1900.

En 1914 Charles Curtis aplicó para la primera patente en los

Estados Unidos para una turbina de gas. Esta fue otorgada pero generó mucha controversia.

La Compañía General Electric comenzó su división de turbinas de gas en 1903. Un Ingeniero llamado Stanford Moss dirigió la mayoría de los proyectos. Su desarrollo más notable fue el turbo supercargador. Este utilizaba los gases de escape de un motor alternativo para mover una rueda de turbina que, a su vez, movía un compresor centrífugo utilizado para supercargar. Este elemento hizo posible construir las primeras turbinas de gas confiables.

En los años 30, tanto británicos como alemanes diseñaron turbinas de gas para la propulsión de aviones. Los alemanes alcanzaron a diseñar aviones de propulsión a chorro y lograron utilizarlos en la 2° guerra mundial.

2.2.2 FUNCIONAMIENTO

La turbina de gas es una variante de la turbina de vapor y se destina a transformar la expansión del aire caliente y los gases de la combustión en energía cinética. El gas a elevada temperatura y presión es conducido a las toberas de la turbina de gas que transforman su energía calorífica en energía motriz.

En una turbina de gas con una eficiencia del 33%, aproximadamente 2/3 del trabajo producido se usa comprimiendo el aire. El otro 1/3 está disponible para generar electricidad, impulsar un dispositivo mecánico, etc.

Los Sistemas de Cogeneración, que generalmente se encuentran

en plantas industriales y de servicios, es decir allí donde se necesita, utilizan motores de gas y recuperan la energía térmica residual del motor de combustión interna mediante un intercambiador, con un rendimiento final superior al 90%.

La energía térmica presente en el agua de refrigeración y en los gases de escape del motor, se recuperan mediante un intercambiador y se distribuyen en forma de agua caliente sanitaria, para calefacción y, en conexión con una máquina de absorción, para la producción de frío climatizado.

Su utilización viene ya siendo habitual para la producción de electricidad, aire caliente, climatización y producción de agua caliente, y se instalan en Depuradoras, Vertederos, así como en Industrias, Hospitales, Hoteles, Grandes Almacenes, etc.

2.2.3 CICLO TERMODINÁMICO DE LAS TURBINAS DE GAS

El modelo termodinámico de las turbinas de gas se fundamenta en el ciclo de Brayton. A pesar de que se generaliza como ciclo termodinámico, en realidad el fluido de trabajo no cumple un ciclo completo en las turbinas de gas ya que este finaliza con una composición o en un estado diferente al que tenía cuando inició los procesos. Algunos autores como Sonntag, Borgnakke y Van Wylen, clasifican los procesos de una turbina a gas como de ciclo abierto. Las turbinas de gas de ciclo abierto simple utilizan una cámara de combustión interna para suministrar calor al fluido de trabajo y las turbinas de gas de ciclo cerrado simple utilizan un proceso de transferencia para agregar o remover calor del fluido de trabajo.

En los ciclos, Otto y Diesel ocurren una pérdida a la salida de presión, involucrado en el escape. Esta pérdida es evitada por un

ciclo en el cual el escape es mas largo que la compresión, el fluido de trabajo es expandido a presión atmosférica. Tal como el ciclo ha sido diseñado y es llamado ciclo Brayton, es llamado también ciclo de presión constante.

En el ciclo simple de turbina de gas, la combustión y el escape ocurre a presión constante y compresión y expansión ocurre continuamente, en cambio en los ciclos Otto y Diesel ocurre intermitentemente.

Esto significa que la potencia de la turbina a gas es continuamente provechosa.

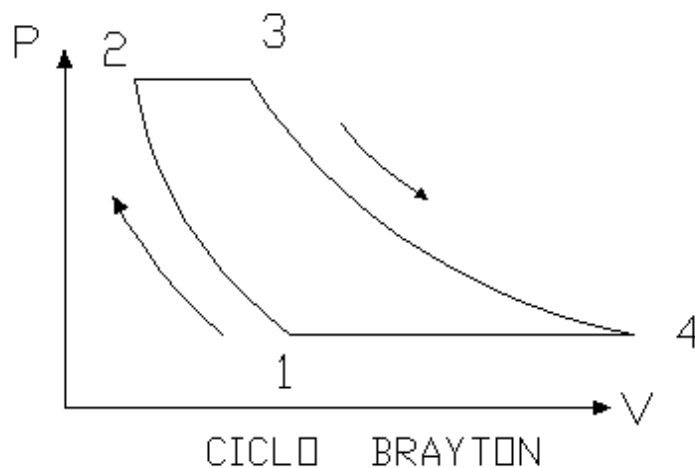


Figura No. 2.2 Ciclo de turbina a gas

La figura representa el ciclo de una turbina a gas.

El ciclo básico de Brayton en condiciones ideales está compuesto por cuatro procesos:

1-2. Compresión isentrópica³ en un compresor.

2-3. Adición de calor al fluido de trabajo a presión constante en un intercambiador de calor o una cámara de combustión.

3-4. Expansión isentrópica en una turbina.

4-1. Remoción de calor del fluido de trabajo a presión constante en un intercambiador de calor o en la atmósfera.

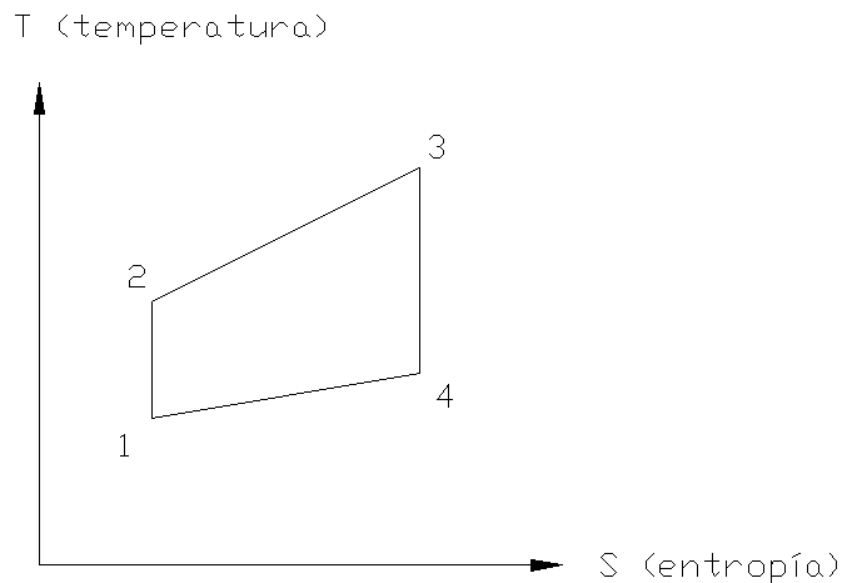


Figura 2.3 Ciclo Brayton

En el ciclo Brayton, el trabajo neto realizado por unidad de masa es la diferencia entre el trabajo obtenido en la expansión y el trabajo invertido en la compresión, es decir:

³ En termodinámica, un **proceso isentrópico** es aquel en el que la entropía del fluido que forma el sistema permanece constante. En un *proceso isentrópico reversible* no hay transferencia de energía calorífica, y por tanto el proceso es también adiabático. En un proceso adiabático irreversible, la entropía se incrementará, de modo que es necesario eliminar el calor del sistema (mediante refrigeración) para mantener una entropía constante. Por lo tanto, un proceso isentrópico irreversible no es adiabático.

Para procesos reversibles, una transformación isentrópica se realiza mediante el aislamiento térmico del sistema respecto a su entorno. La temperatura es la variable termodinámica conjugada de la entropía, de modo que el proceso conjugado será isotérmico, y el sistema estará térmicamente *conectado* a un baño caliente de temperatura constante

$$W_{net} = W_t - W_c \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde:

| | |
|-------|-----------------------|
| W net | trabajo neto |
| Wt | trabajo de expansión |
| Wc | trabajo de compresión |

Para un gas ideal, el trabajo neto puede escribirse como:

Ec. 2.2

$$W_{net} = W_t - W_c$$

$$W_{net} = \dot{m} C_{pt} (T_3 - T_4) - \dot{m} C_{pc} (T_2 - T_1)$$

Donde

| | |
|-----------------|---|
| \dot{m} | flujo másico |
| C _{pt} | calor específico del aire en la turbina |
| C _{pc} | calor específico del aire en el compresor |
| T ₁ | Temperatura en la entrada del compresor |
| T ₂ | Temperatura a la salida del compresor |
| T ₃ | Temperatura a la entrada de la turbina |
| T ₄ | Temperatura a la salida de la turbina |

y el calor de adición por unidad de masa será:

$$q_A = \dot{m} C_{pt} (T_3 - T_2)$$

Ec. 2.3

Donde

q_A=calor de adición

Al igual que en el ciclo Rankine, la eficiencia térmica del ciclo Brayton es la relación

entre el trabajo neto desarrollado y el calor adicionado:

Ec. 2.4

$$n_{ter} = \frac{W_{net}}{q_A}$$

Donde:

n_{ter} eficiencia térmica

La eficiencia térmica del ciclo Brayton para un gas ideal puede escribirse como:

Ec. 2.5

$$n_{ter} = \frac{mCp^*(T_3 - T_4) - mCp^*(T_2 - T_1)}{mCp^*(T_3 - T_2)}$$

2.3 DESCRIPCIÓN DE LAS TURBINAS A GAS DE LA CENTRAL TÉRMICA SANTA ROSA

Tabla No. 2.1

Indicadores Técnicos

| | |
|--------------|------------------|
| MARCA | GENERAL ELECTRIC |
| TIPO | AEG - KANIS |

| | |
|-----------------------|---|
| TIPO | EG Generación eléctrica MD Movimiento mecánico |
| COMBUSTIBLE | Diesel |
| COND. SALIDA | 17000 (KW) |
| CANTIDAD CALOR | 9693 (kj / Kw h) |
| FLUJO MASICO | 405 (kg / seg) |

| | |
|---------------------------------------|------------|
| TEMPERATURA DE ENTRADA TURBINA | 943 (°C) |
| TEMPERATURA SALIDA | 412 (°C) |
| VELOCIDAD DE SALIDA DEL EJE | 3000 (RPM) |

Fuente: Manual de turbinas a gas

El cuadro No. 1 nos indica datos técnicos de las turbina a gas de la Central Térmica Santa Rosa. Se ve claramente datos que posteriormente serán utilizados para el cálculo de cargas térmicas, además nos da una idea clara del tipo de turbina.

2.3.1 COMPONENTES DE LAS TURBINA A GAS

Los principales componentes de una turbina a gas son los componentes dinámicos compuestos por el rotor, primeramente el compresor y la rueda de la turbina. Los componentes estacionarios son principalmente las envoltura, armazón de la turbina y componentes de combustión.

2.3.1.1 Equipo de entrada de aire

El aire se abastece a la turbina a través de un ducto que va al compresor. Este ducto trabaja como un silenciador y como un filtro de aire. El silenciador de aire consiste en un número de silenciadores acústicos, forman una sección en el ducto y bajan la alta frecuencia del sonido creada por los álabes del compresor. El filtro de aire provee la entrada de objetos extraños dentro del compresor.

2.3.1.2 Compresor

La función del compresor es suministrar aire a alta presión a la cámara de combustión para la producción de gases calientes necesariamente para operar la turbina. El compresor también sirve como una fuente de enfriamiento del aire para entrada de la turbina, disco de la turbina, transición de las piezas, y otras partes de la trayectoria del gas caliente.

El aire entra al compresor donde es comprimido desde presión atmosférica a aproximadamente 80 a 150 psi. La relación de compresión (RC) es igual

$$RC = \frac{P_{atm} + P_{compres}}{P_{atm}} \quad \text{Ec. 2.6}$$

La relación de compresión es aproximadamente de 6:1 a 8:1. El aire que continuamente se descarga del compresor, ocupará un volumen menor a la salida del compresor que en la entrada. Durante la compresión, la temperatura del aire tendrá un incremento de la temperatura.

2.3.1.3 Sección de combustión

La función del sistema de combustión es generar la energía necesaria a la turbina de gas. Esto va acompañado de la quema de combustible en la corriente de aire del compresor y diluyendo los productos de combustión con exceso de aire.

El sistema de combustión consiste en un número de cámaras de combustión similares. La descarga de aire del compresor es distribuido a las cámaras. También el combustible es inyectado a la cámara de combustión y cuando debidamente inflamado, se produce la combustión, creando gases calientes con temperaturas

de 3000 F. Adicionalmente, para proteger la cámara de combustión, el relativamente compresor frío (apenas cientos de grados menores a 3000 F) se mezcla con los gases calientes de combustión. El enfriado y diluido gas pasa a través de las piezas de transición a la primera boquilla.

2.3.1.4 Sección de turbina

La turbina es un área de primaria importancia, porque es el punto en el cual la energía cinética de los gases calientes es convertida en energía mecánica el cual produce la potencia necesaria para el movimiento del compresor.

2.3.1.4.1 Envoltura de la turbina

La envoltura de la turbina cubre la estructura de la turbina de gas. Esta estructura tiene los elementos de rotación a través de los apoyos del eje, funciona como un tanque a presión para contener los fluidos de trabajo de la turbina.

2.3.1.4.2 Boquillas

Las boquillas tiene la función principal de convertir el calor y la energía de presión de los gases calientes producidos durante la combustión en alta velocidad o energía cinética el cual es impartida a la turbina.

2.3.1.5 Sección de descarga

Los productos de combustión de la turbina de gas son descargados dentro de la sección de descarga donde son enviados a través de una tubería de escape a la atmósfera.

En el siguiente gráfico se puede observar el ciclo de las turbinas a gas y los principales componentes de las turbinas a gas que son el compresor, cámara de combustión, turbina y generador.

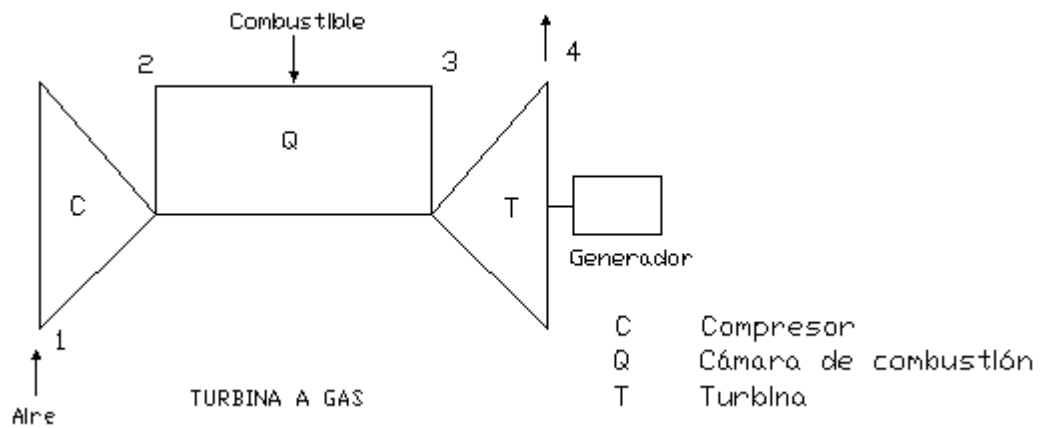


Figura No. 2.4 Ciclo de las turbina a gas

El siguiente gráfico es explicativo del funcionamiento y operación de las turbina a gas.

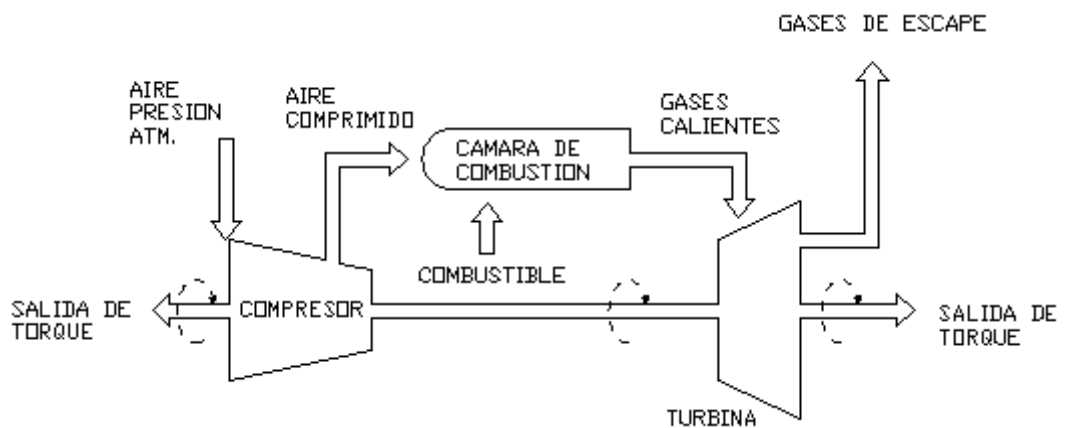


Figura No. 2.5 Operación de turbina a gas

El siguiente gráfico nos esquematiza los principales componentes de las turbina a gas en una vista de 3 dimensiones.

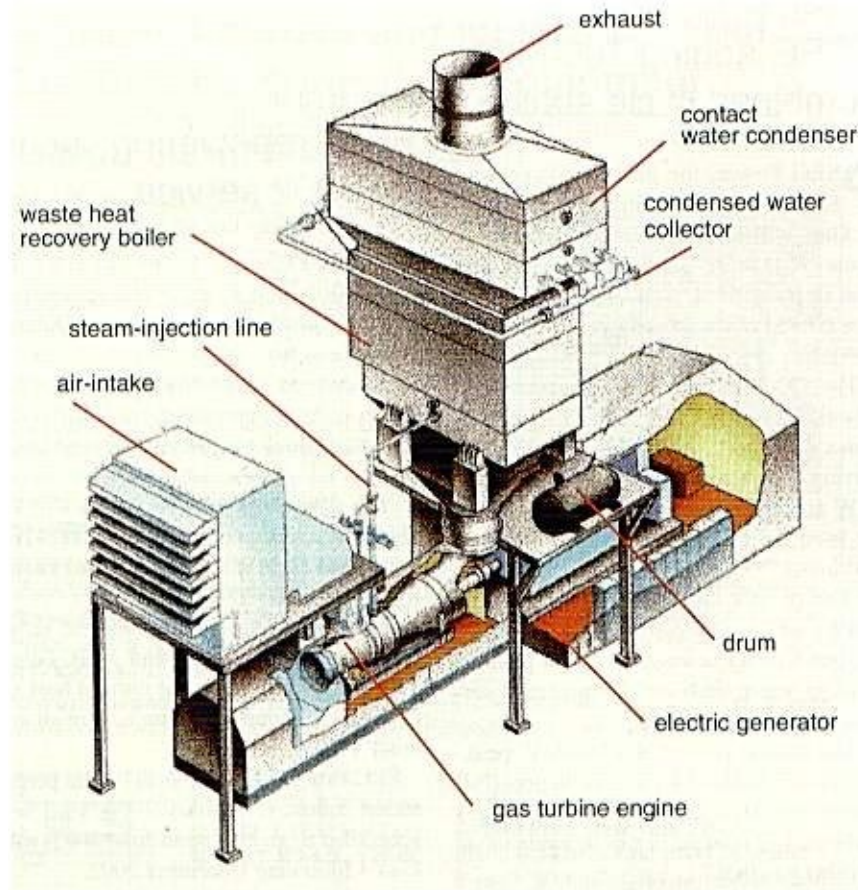


Figura No. 2.6 Turbina a gas

2.4 CONCEPTOS GENERALES SOBRE SISTEMAS CONTRA INCENDIOS

2.4.1 CLASIFICACION DE SISTEMAS FIJOS DE EXTINCIÓN CONTRA INCENDIOS

Las instalaciones fijas de extinción pueden clasificarse:

a. Según el agente extintor:

- Sistemas de agua.
- Sistemas de espuma física.
- Sistemas de anhídrido carbónico.

- Sistemas de polvo seco.
- Sistemas de halones.

b. Según el sistema de accionamiento:

- Manual.
- Automático.
- Mixto.

c. Según la zona que protegen:

- Protección parcial o por objeto (Extintores fijos).
- Inundación total.

2.4.2 DETECCIÓN DE INCENDIOS

Se entiende por detección de incendios el hecho de descubrir y avisar oportunamente que hay un incendio en un determinado lugar.

Las características últimas que deben valorar cualquier sistema de detección en su conjunto son la rapidez y la fiabilidad en la detección. De la rapidez dependerá la demora de actuación oportuna en la puesta en marcha del plan de emergencia y por tanto sus posibilidades de éxito; la fiabilidad es imprescindible para evitar que las fallas en la detección que quiten credibilidad y confianza al sistema, lo que desembocaría en una pérdida de rapidez en la puesta en marcha del plan de emergencia contra incendios.

2.4.2.1 Sistemas de detección de incendios.

La detección de un incendio se puede realizar por:

- Detección humana.
- Una instalación de detección automática.
- Sistemas mixtos.

La elección del sistema de detección viene condicionada por las consecuencias siguientes:

- Las pérdidas humanas o materiales en juego, el servicio que presta y afectación al entorno.
- La posibilidad de vigilancia constante y total por personas.
- La rapidez requerida.
- La fiabilidad requerida.
- Su coherencia con el resto del plan de emergencia.
- Su coste económico, etc.

Hay ocasiones en que los factores de decisión se limitan: por ejemplo, en un lugar donde raramente entran personas, o un lugar inaccesible (por ejemplo un almacén paletizado), la detección humana queda descartada y por tanto la decisión queda limitada a instalar detección automática o no disponer de detección.

2.4.2.1.1 Detección humana

La detección queda confiada a las personas. Durante el día, si hay presencia permanente de personas, en densidad demográfica suficiente, y en las distintas áreas, la detección rápida del incendio queda asegurada en todas las zonas o áreas visibles (no así en zonas "escondidas"). Durante la noche la tarea de detección se confía al servicio de vigilante(s) mediante rondas estratégicas cada cierto tiempo. Salvado que el vigilante es persona de confianza, debe supervisarse necesariamente su labor de vigilancia (detección). Este control se efectúa, por ejemplo, obligando a fichar cada cierto tiempo en su reloj, cuya llave de accionamiento está

situada en puntos clave del itinerario de vigilancia. La ficha impresa por el reloj permite determinar si se han realizado las rondas previstas.

Es obvio que la rapidez de detección en este caso es baja, pudiendo alcanzar una demora igual al tiempo entre la frecuencia de rondas.

Es imprescindible una correcta formación del vigilante en materia de incendio pues es el primer y principal eslabón del plan de emergencia.

2.4.2.1.2 Detección automática de incendios

Las instalaciones fijas de detección de incendios permiten la detección y localización automática del incendio, así como la puesta en marcha automática de aquellas secuencias del plan de alarma incorporadas a la central de detección.

En general la rapidez de detección es superior a la detección por vigilante humana además del riesgo de que se produzcan detecciones erróneas. Pueden detectar permanentemente zonas inaccesibles a la detección humana.

Normalmente la central está supervisada por un vigilante en un puesto de control, si bien puede programarse para actuar automáticamente si no existe esta vigilancia o si el vigilante no actúa correctamente según el plan preestablecido (plan de alarma programable) el riesgo de incendios producido es alto.

El sistema debe poseer seguridad de funcionamiento, por lo que necesariamente debe auto vigilarse. Además una correcta instalación debe tener cierta capacidad de adaptación a los cambios.

En la figura 2.7 se aprecia un esquema genérico de una instalación automática de detección y de una posible secuencia funcional para la misma. Sus componentes principales son:

- Detectores automáticos (sobre la líneas de detección)
- Pulsadores manuales.
- Central de señalización y mando a distancia.
- Líneas.
- Aparatos auxiliares: alarma general, teléfono directo a bomberos, accionamiento sistemas extinción, etc.

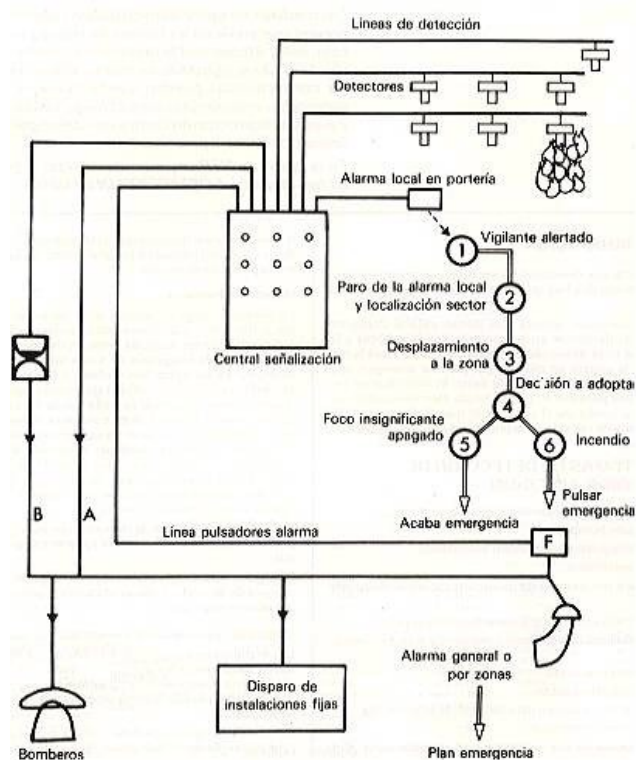


Figura 2.7 Instalación automática de detección de incendios. Componentes y funciones

2.4.3 TIPOS DE DETECTORES

Los detectores son los elementos que detectan el fuego a través de alguno de los fenómenos que le acompañan: gases, humos, temperaturas o radiación UV, visible o infrarroja. Según el fenómeno que detectan se denominan:

- Detector de gases de combustión iónico (humos visibles o invisibles⁴).
- Detector óptico de humos (humos visibles).
- Detector de temperatura:
 - o Fija.
 - o Termovelocimétrico.
- Detector de radiaciones:
 - o Ultravioleta.
 - o Infrarroja (llama).

Como los fenómenos detectados aparecen sucesivamente después de iniciado un incendio, la detección de un detector de gases o humos es más rápida que la de un detector de temperatura (que precisa que el fuego haya tomado un cierto incremento antes de detectarlo).

En la figura 2.8 se esquematiza la fase del incendio en que actúa cada tipo de detector. La curva corresponde al incendio iniciado por sólidos con fuego de incubación.

⁴ Las partículas invisibles o partículas alfa son difíciles de detectar, ya que su margen es corto (menos de 5 pulg en el aire, o 12,5 cm) y son fácilmente absorbidos. Los dispositivos para absorber son por lo común los contadores proporcionales, las cámaras de ionización y los detectores de destello. Estos dispositivos estan equipados con ventanas sumamente angostas, para que las partículas alfa no sean absorbidas antes de ser detectadas. La medición de la radiación beta y gama se realizan normalmente mediante el uso de un dispositivo que emplean una cámara de ionización o un tubo Muller.

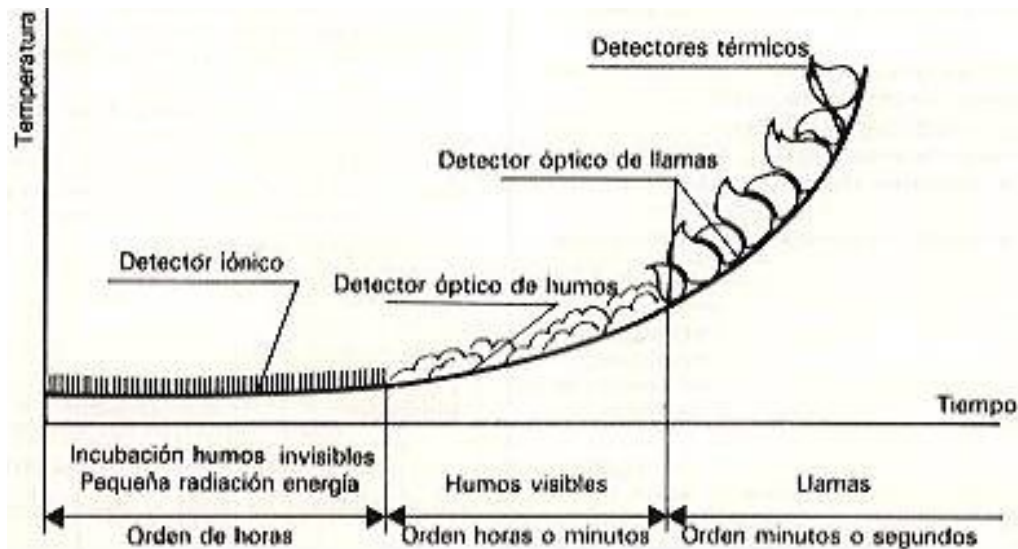


Figura 2.8 Fase de actuación de detectores. Fuego sólidos

2.4.3.1 Detectores de gases de combustión o iónicos

Detectan gases de combustión, es decir, humos visibles o invisibles.

Se llaman iónicos o de ionización por poseer dos cámaras, ionizadas por un elemento radiactivo, una de medida y otra estanca o cámara patrón. Una pequeñísima corriente de iones de oxígeno y nitrógeno se establece en ambas cámaras. Cuando los gases de combustión modifican la corriente de la cámara de medida se establece una variación de tensión entre cámaras que convenientemente amplificada da la señal de alarma.

Como efectos perturbadores hay que señalar:

- Humos no procedentes de incendio (tubos de escape de motores de combustión, calderas, cocinas, etc.).
- Las soluciones a probar son: cambio de ubicación, retardo y aviso por doble detección.
- Corrientes de aire de velocidad superior a $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Se soluciona con paravientos.

Su sensibilidad puede regularse.

2.4.3.2 Detector óptico de humos

Detectan humos visibles. Se basan en la absorción de luz por los humos en la cámara de medida (oscurecimiento), o también en la difusión de luz por los humos (efecto Tyridall).

Son de construcción muy complicada (más que los iónicos) ya que requieren una fuente luminosa permanente o bien intermitente, una célula captadora y un equipo eléctrico muy complejo.

El efecto perturbador principal es el polvo. Las soluciones son difíciles.

2.4.3.3 Detectores de temperatura

El efecto a detectar es la temperatura. Hay dos tipos básicos:

- De temperatura fija (o de máxima temperatura).
- Termovelocimétrico.

Los de temperatura fija que son los más antiguos detectores y actúan cuando se alcanza una determinada temperatura. Se basan en la deformación de un bimetalo o en la fusión de una aleación (caso de los sprinklers). Modernamente en la f.e.m. de pares termoeléctricos, que constituye realmente un nuevo tipo de detectores.

Los termovelocimétricos miden la velocidad de crecimiento de la temperatura. Normalmente se regula su sensibilidad a unos 10°C/min. Se basan en fenómenos diversos como dilatación de una varilla metálica, etc. Comparan el calentamiento de una zona sin inercia térmica con otra zona del detector provista de una inercia

térmica determinada (que permite modificar la sensibilidad del detector).

Actualmente es raro encontrar instalaciones un poco grandes protegidas por detectores de temperatura fija. Se prefiere utilizar detectores termovelocimétricos que incluyen un dispositivo de detección por temperatura fija.

Sus efectos perturbadores son la elevación de temperatura no procedente de incendio (calefacción, cubiertas no aisladas, etc.). Las soluciones son difíciles.

2.4.3.4 Detectores de llamas

Detectan las radiaciones infrarrojas o ultravioletas (según tipos) que acompañan a las llamas. Contienen filtros ópticos, célula captadora y equipo electrónico que amplifica las señales. Son de construcción muy complicada. Requieren mantenimiento similar a los ópticos de humos.

Los efectos perturbadores son radiaciones de cualquier tipo: Sol, cuerpos incandescentes, soldadura, etc. Se limitan a base de filtros, reduciendo la sensibilidad de la célula y mediante mecanismos retardadores de la alarma para evitar alarmas ante radiaciones de corta duración.

2.4.4 TIPOS DE FUEGO

Todos los combustibles arden en fase gas o vapor. La peligrosidad de un combustible depende fundamentalmente de su capacidad de emitir gases o vapores en la unidad de tiempo a una temperatura determinada (bajo el aspecto de ignición y propagación de llama).

Dichos gases o vapores mezclados con el aire pueden inflamarse y si existe suficiente volumen de mezcla, generar una explosión.

2.4.4.1 Clasificación según el tipo de combustible

2.4.4.1.1 Gases

Son los más peligrosos; se mezclan íntimamente con el aire y su ignición puede provocar una explosión. Producen llamas.

2.4.4.1.2 Líquidos

Son tanto más peligrosos cuanto más volátiles sean. Cuando se manejan a temperatura superior a la de inflamación, la mezcla de sus vapores con el aire se inflama con violencia y si hay suficiente volumen de mezcla pueden provocar explosiones. Producen llamas.

2.4.4.1.3 Sólidos

Son tanto más peligrosos cuando menos densos sean. Cualquier combustible reducido a polvo y dispersado en el aire (nube), se inflama con violencia explosiva. Al arder normalmente producen llamas y brasas (excepto la cera, parafina y similares).

2.4.4.2 Fuegos normalizados según norma NFPA

Clase A.

Fuego en material combustible ordinario, tal como, madera, tela papel, caucho y algunos plásticos.

Clase B

Fuego en líquidos materiales, combustibles líquidos, grasas de petróleo, aceites, solventes, alcoholes, y gases inflamables.

Clase C

Fuegos que involucran equipos eléctricos energizados.

Clase D

Fuegos en combustibles metálicos, tales como magnesio, titanio, zirconio, litio, potasio.

Clase K

Fuegos en utensilios de cocción que involucran aceites vegetales o animales.

2.4.5 MÉTODOS DE EXTINCIÓN Y AGENTES EXTINTORES

2.4.5.1 Métodos de extinción

Para que un incendio se inicie o mantenga, hace falta la coexistencia en espacio y tiempo con intensidad suficiente de cuatro factores: Combustible, Comburente (aire), Energía y Reacción en Cadena (radicales libres). Si se elimina uno de los factores o se disminuye su intensidad suficientemente, el fuego se extinguirá. Según el factor que se pretenda eliminar o disminuir el procedimiento o método de extinción recibe el nombre de:

- ELIMINACIÓN Combustible
- SOFOCACIÓN Comburente
- ENFRIAMIENTO Energía

➤ INHIBICIÓN Reacción en cadena

2.4.5.1.1 Eliminación del combustible

El fuego precisa para su mantenimiento de nuevo combustible que lo alimente. Si el combustible es eliminado de las proximidades de la zona de fuego, este se extingue al consumirse los combustibles en ignición. Esto puede conseguirse:

- Directamente cortando el flujo a la zona de fuego de gases o líquidos, o bien quitando sólidos o recipientes que contengan líquidos o gases, de las proximidades de la zona de fuego.
- Indirectamente refrigerando los combustibles alrededor de la zona de fuego.

2.4.5.1.2 Sofocación

La combustión consume grandes cantidades de oxígeno; precisa por tanto de la afluencia de oxígeno fresco a la zona de fuego. Esto puede evitarse:

- Por ruptura de contacto combustible-aire recubriendo el combustible con un material incombustible (manta ignífuga, arena, espuma, polvo, tapa de sartén, etc.)
- Dificultando el acceso de oxígeno fresco a la zona de fuego cerrando puertas y ventanas.
- Por dilución de la mezcla proyectando un gas inerte (N_2 ó CO_2) en suficiente cantidad para que la concentración de oxígeno disminuya por debajo de la concentración mínima necesaria. Se consigue el mismo efecto pero con menor efectividad proyectando agua sobre el fuego, que al evaporarse disminuirá la concentración de oxígeno (más efectivo si es pulverizada).

2.4.5.1.3 Enfriamiento

De la energía desprendida en la combustión, parte es disipada en el ambiente y parte inflama nuevos combustibles propagando el incendio. La eliminación de tal energía supondría la extinción del incendio.

Esto puede conseguirse arrojando sobre el fuego sustancias que por descomposición o cambio de estado absorban energía. El agua o su mezcla con aditivos, es prácticamente el único agente capaz de enfriar notablemente los fuegos, sobre todo si se emplea pulverizada.

2.4.5.1.4 Inhibición

Las reacciones de combustión progresan a nivel atómico por un mecanismo de radicales libres. Si los radicales libres formados son neutralizados, antes de su reunificación en los productos de combustión, la reacción se detiene.

Los halones son los agentes extintores cuya descomposición térmica provoca la inhibición química de la reacción en cadena.

2.4.5.2 Agentes extintores

Existen muchas variables que pueden influir sobre la elección de un agente extintor y su forma de aplicación. Pueden mencionarse entre otros los siguientes parámetros:

- El tipo de fuego: A, B, C, D o K
- Si se pretende la extinción o solo la protección de riesgos vecinos.
- La velocidad con que actuará (accionamiento manual o automático).

- El tamaño y tipo de riesgo.
- El valor del riesgo a proteger.
- La ubicación del riesgo.
- El posible daño a causar por el agente extintor en las instalaciones.
- El costo del equipo que posibilitará la extinción.

De hecho el principio fundamental que guía al diseñador de una protección contra incendios es que, salvo incompatibilidades, la mayoría de los riesgos pueden extinguirse con la mayoría de agentes extintores, si se escoge la forma de aplicación adecuada.

2.4.5.2.1 Tipos De Agentes Extintores

2.4.5.2.1.1 Sistemas De Extinción Mediante Agua

Sistemas de rociadores automáticos

Funcionamiento

Los sistemas de rociadores son instalaciones automáticas de extinción de incendios. Detectan, avisan, controlan y llegan a extinguir en determinados tipos los incendios que han comenzado, antes de que crezcan y se conviertan en incontrolables. El principio mediante el cual los rociadores funcionan es tan sencillo como seguro.

El rociador está instalado siguiendo una determinada distribución en las áreas que hay que proteger. Si como resultado de un incendio la temperatura de los alrededores de un rociador se incrementa por encima de la temperatura de calibración del mismo, el rociador

se abre y el agua se descarga sólo en la zona del incendio. Al mismo tiempo, el sistema de alarma avisa de su funcionamiento.

Cuando el fuego ha sido extinguido, los rociadores abiertos son cambiados por otros nuevos y el sistema está de nuevo listo para funcionar.

Campos de aplicación

Almacenes, industrias, edificios de producción, zonas de almacenamiento, almacenes de estanterías autoportantes, hoteles, ferias, centros de compras, hipermercados, supermercados, edificios de oficinas, hospitales, industrias alimentarias, industrias cinematográficas, fotografía, pintura, detergentes, plásticos, industrias de procesado de papel y madera, trabajos de galvanizado, tratamiento de residuos, archivos sumamente valiosos y bancos, entre otros.

Sistemas de agua nebulizada

Funcionamiento

El sistema de pulverización de agua nebulizada, diseñado con una segura tecnología de baja presión, dota de un alto nivel de seguridad con un mínimo uso de agua. La fina pulverización multiplica la superficie de la gota de agua, intensificando el nivel de enfriado, que se incrementa por la evaporación del agua. Además, el vapor de agua reduce la concentración de oxígeno en las proximidades de la fuente del incendio, lo que permite sofocarlo. Adicionalmente, tiene la capacidad de evacuar humos, refrigerar y reflejar la radiación del calor. Provee, por tanto, de excelente protección para las personas. El daño posterior, causado por una extinción de agua, se minimiza gracias a las pequeñas cantidades de agua utilizadas. La contaminación medioambiental, en lo referente a residuos de agua contaminada, también se reduce al máximo.

Campos de aplicación

Máquinas-herramientas, bancos de prueba, conductos de cables, aglomerados y prensas, turbinas de gas, transformadores, garajes automáticos, falsos suelos, barcos, vehículos por raíl, etc.

Sistemas de agua pulverizada

Cómo funcionan

El sistema de agua pulverizada funciona principalmente como un sistema de rociadores, salvo que tiene boquillas de extinción abiertas y, en caso de fuego, descarga grandes cantidades de agua sobre todo el área protegida. Se usa para proteger edificios completos o sólo partes de ellos, así como protecciones locales para objetos, con alta sensibilidad al calor, fácilmente inflamables y donde exista el riesgo de que un incendio se expanda rápidamente.

Campos de aplicación

Centrales nucleares, centrales térmicas, almacenes de incineración de desechos, silos, plantas de fabricación, hangares de aeroplanos, escenarios de teatros, estaciones de transformación, galerías de cable, túneles, tanques de gas y petróleo, estaciones de trasiego de combustible líquido, etc.

2.4.5.2.1.2 Sistemas De Extinción Mediante Gas

Funcionamiento

Los sistemas de extinción de incendios usan gases naturales inertes para extinguir los incendios. Básicamente son usados donde los incendios que han comenzado deben ser extinguidos rápidamente, y donde es esencial prevenir subsiguientes daños provocados por los efectos de los agentes de extinción o de residuos.

En los sistemas de gases, la descarga es provocada automáticamente por la detección del fuego, aunque también puede ser activada manualmente. Una vez provocada la alarma y transcurrido el retardo programado, se produce la descarga de gas en la zona del incendio. Cualquier ventilador o equipo de aire acondicionado se parará simultáneamente, y las compuertas de ventilación y puertas se cerrarán para prevenir que entre aire y/o que se escape el gas extintor, perdiendo de esta manera su capacidad de acción.

Los sistemas de gases son especialmente adecuados para áreas que contengan combustibles líquidos u otros materiales que se comporten de forma similar en presencia del fuego, y para áreas que contengan equipos u objetos de alto valor que puedan ser dañados si se utilizan otros agentes extintores.

Tipos de sistemas

Para el gran número de aplicaciones se ha desarrollado varios sistemas de gases, siempre con el objetivo de ofrecer una protección contra incendios óptima, a medida y adaptada para cada edificio en particular. Entre los principales tipos de sistemas tenemos:

- CO2 Alta presión "Sistema Favorito"
- CO2 Baja presión

Campos de aplicación

Manufactura y procesamiento de pintura, almacenes de materiales peligrosos, cabinas de baño de pintura en polvo, sistemas hidráulicos, filtros, prensas de impresión, espumas de plástico, instalaciones CPD, archivos, cableado subterráneo, paneles de control, turbinas, transformadores, procesamiento de metal, máquinas de herramientas, maquinaria textil, almacenes de arte, etc.

2.4.5.2.1.3 Sistemas De Extinción Mediante Polvo

Funcionamiento

Los sistemas de extinción mediante polvo son sistemas fijos para protecciones generales o locales. Los agentes extintores de polvo se usan en fuegos de materiales sólidos, líquidos o gaseosos, así como para incendios de metales.

Campos de aplicación

Plantas químicas, planta de almacenaje en tanques, estaciones de compresión y bombeo, estaciones de transformación de gas o petróleo, talleres de laminación, plataformas petrolíferas, equipamientos hidráulicos, hangares de aviones, tanques de licuado de gas natural, gases derivados del petróleo y productos químicos, laboratorios y equipos de laboratorio, planta de residuos especiales, etc.

2.4.5.2.1.4 Sistemas De Extinción Mediante Espuma

Funcionamiento

Los sistemas de extinción mediante espuma son sistemas fijos. Se usan para fuegos de materiales sólidos y líquidos y, con ciertas restricciones, en incendios de materiales gaseosos. Para generar la espuma, la corriente de agua transcurre a través de diferentes equipos donde se mezcla adecuadamente con la sustancia que genera la espuma, el espumógeno. La combinación de agua y espuma concentrada es, casi siempre, mezclada después con aire.

Campos de aplicación

Plantas de fabricación y de reparación, plantas de almacenaje en tanques, refinerías, aeropuertos, laboratorios, almacenes químicos, tanques techo fijo, tanques techo flotante, cubetas de recogida de derrames, cargaderos, hangares, depósitos GLP, esferas GLP, etc.

CAPÍTULO 3

EVALUACIÓN DE RIESGOS PARA LAS TURBINAS A GAS DE LA CENTRAL TÉRMICA SANTA ROSA

Todo plan debe contemplar los posibles riesgos potenciales en caso de siniestro. La evacuación de cualquier centro de trabajo dependerá en gran medida de la ubicación del mismo. De ahí la necesidad de estudiar, en primer lugar, las particularidades de la edificación y su entorno, la situación, el emplazamiento y accesos. Así como los accesos para la circulación de los vehículos de bomberos y las posibles dificultades debidas al tráfico o las del terreno. Se indicarán los parques de bomberos más próximos, las rutas a seguir.

Se estudiará:

- Situación de medios exteriores de protección y abastecimiento de agua para bomberos.

Se indicará

- La ubicación y características de los hidrantes de uso público, ríos y depósitos de reserva de agua más próximos. También se incluirán las características de la red pública de la zona y de las acometidas de agua al establecimiento (materiales, diámetros, presión residual).
- Características constructivas. Resistencia al fuego y sectores de incendio.
- Ubicación y características de las instalaciones y servicios. Centros de transformación instalaciones eléctricas, calderas,

calefacción, aire acondicionado, aire comprimido, gases, se incluirá también baterías de almacenamiento de gases, cuadros generales de baja tensión, cuadros principales de distribución.

- Actividades desarrolladas en cada planta o sector de incendio de las edificaciones. Por cada planta o sector se indicará la ubicación y superficie ocupadas por cada uno de los usos, identificando todos los procesos que puedan suponer un riesgo de incendio.
- Ocupación. Número máximo de personas a evacuar en cada planta o sector de incendio, incluyendo personal fijo y visitas.
- Comunicaciones verticales. Ascensores, montacargas, conductos de instalaciones.
- Salidas. Se ubicarán todas las salidas al exterior, tanto las de uso normal, como las que puedan utilizarse en caso de emergencias.

Una vez analizado el entorno y las características de la edificación, se realizará un estudio detallado de los riesgos, las vías y condiciones de evacuación.

Para el estudio del riesgo, se enumerarán las distintas situaciones de emergencia de incendios que se pueden dar en las edificaciones tanto en el interior como en el exterior.

Se estudiará el riesgo de incendio existente en cada una de las actividades que se desarrollen empleando el método más adecuado. Así como la posibilidad de explosión por alguna instalación, o incendios provocados por cortocircuitos, los posibles accidentes derivados de la propia actividad, generalmente por actuaciones incorrectas.

Respecto a las vías de evacuación, se establecerán las vías

principales y alternativas, verticales y horizontales, así como las salidas al exterior, que se emplearán en función de la zona donde se produzca el incendio. Incluyendo dimensiones y características de resistencia al fuego de sus elementos y sentido de apertura de las puertas. Todo ello siguiendo las pautas establecidas según las normas que se estudiarán a continuación.

Además se indicará la ubicación y características de la señalización y alumbrado de emergencia. Finalmente las condiciones de evacuación con los medios existentes, se evaluarán como insuficientes o suficientes. Si fuera el primer caso, para considerarlo adecuado, se añade la instrucción sobre la extinción de incendios al personal.

Todos estos análisis se plasmarán en planos para un mejor entendimiento. Cualquier plan debe ser un documento vivo, que esté en continua revisión y constantemente examinado para incorporar todas las reformas que se produzcan en el edificio, por eso cuanto mas breve, claro y gráfico sea, más facilitará su uso y favorecerá la seguridad del edificio y sus ocupantes. Aunque el documento se haga extenso, sí se aconseja por los menos un pequeño resumen o guía final de implantación del mismo que sea muy claro y de fácil entendimiento.

3.1 CLASES DE FUEGOS

A continuación se va a determinar las diferentes clases de fuegos que presentan las turbinas a gas de la Central Térmica Santa Rosa. Las clases de fuegos están divididas para cada compartimiento.

Primeramente se recuerdan los tipos de fuegos normalizados según la norma NFPA 1, Código de Prevención de Fuego (Capítulo 2)

➤ Clase A.

Fuego en material combustible ordinario, tal como, madera, tela papel, caucho y algunos plásticos.

➤ Clase B

Fuego en líquidos materiales, combustibles líquidos, grasas de petróleo, aceites, solventes, alcoholes, y gases inflamables.

➤ Clase C

Fuegos que involucran equipos eléctricos energizados.

➤ Clase D

Fuegos en combustibles metálicos, tales como magnesio, titanio, zirconio, litio, potasio.

➤ Clase K

Fuegos en utensillos de cocción que involucran aceites vegetales o animales.

3.1.1 CLASES DE FUEGO PARA LAS TURBINAS A GAS DE LA CENTRAL TÉRMICA SANTA ROSA

Tabla 3.1 Tipos de fuego para la Central Térmica Santa Rosa

| COMPARTIMEN- TO | TIPO DE FUEGO | | | | |
|---------------------------|---------------|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | K |
| Control | | | X | | |
| Arranque | | X | | | |
| Cámara de com- bustión | | X | | | |
| Caja reductora | | X | | | |
| Excitación | | X | X | | |

Fuente: Norma NFPA 1, Cap. 2

La distribución de materiales combustibles y el principio de funcionamiento se puede observar en PLANO 1 (Turbinas a gas de la Central Térmica Santa Rosa).

3.2 NORMAS

3.2.1 NFPA 101A

Esta guía consiste de un número de diferentes alternativas de ataque para la protección de la vida. Cada capítulo es un sistema independiente de los otros y es usado en conjunto con la edición 1997 de NFPA 101.

Esta edición de NFPA 101 A contiene alternativas de ataque que son involucradas por la NFPA 101, Código de Protección de Vida. Cada de estos literales es reconocido por el Código de Protección de Vida, en el apéndice A, como un método que puede ser usado para asistir la autoridad teniendo jurisdicción en determinar la respectiva condescendencia con varios capítulos del código.

3.2.1.2 Sistema de evaluación de protección de fuego para trabajos de detección y corrección.

3.2.1.2.1 Procedimiento para determinar la equivalencia

Primeramente se escogen los valores de los parámetros según la tabla 4.2 (VER ANEXO 1.1) de la norma 101A de la NFPA según las condiciones y las características de las turbinas a gas.

Se toman en cuenta el tipo de construcción, las áreas peligrosas, el tipo de alarma de fuego, la existencia de rociadores automáticos,

paredes interiores, cuarto de sueño, áreas residenciales, sistemas de salida, acceso a la salida, control de humo.

TIPO DE CONSTRUCCIÓN.- Indica el tipo de construcción según el número de pisos y la resistencia al fuego en horas. Esta clasificación se la realiza según la norma NFPA 220, tabla 3.1, Resistencia al fuego (en horas) para construcciones Tipo I hasta tipo V (VER ANEXO 1.2).

ÁREAS PELIGROSAS.- Son áreas que tienen un grado mayor de propagación del fuego en un edificio o en una estructura tales como áreas usadas para almacenar combustibles, materiales corrosivos o materiales inflamables. Estas áreas son clasificadas según la tabla 3-6.8.1 de la Norma NFPA 101A. (ANEXO 1.3)

ALARMA DE FUEGO.- Toma en cuenta la existencia de alarmas de fuego, si tiene un sistema de aviso con el departamento de bomberos y si las alarmas pueden ser activadas manualmente.

DETECCIÓN DE HUMO.- Toma en cuenta la existencia de detectores de humo, la ubicación y la distribución de detectores de humo.

ROCIADORES AUTOMÁTICOS.- Toma en cuenta la existencia y distribución de rociadores automáticos.

CORREDORES Y SALIDAS INTERIORES.- Toma en cuenta el tipo de edificación con referencia a corredores y salidas interiores. (Cap 10.2.3.2*, NFPA 101).

OTRAS ÁREAS INTERIORES.- Toma en cuenta el tipo de edificación con referencia a otras áreas.

CUARTO DE SUEÑO.- Toma en cuenta la ubicación de los cuartos de sueño con relación a corredores y zonas residenciales de la edificación o estructura.

SEPARACIÓN DE ÁREAS RESIDENCIALES DE OTRAS ÁREAS.- Toma en cuenta la ubicación con respecto a zonas residenciales de la edificación o estructura con respecto a otras áreas.

SISTEMAS DE SALIDA.- Toma en cuenta el número de rutas de salida y la eficiencia de las mismas.

ACCESO A LAS SALIDAS.- Mide la distancia hacia las salidas.

ENTRADAS.- Son valores aplicables a entradas y penetraciones verticales incluyendo rampas, salidas verticales, ductos, ejes de ventilación y otras salidas verticales.

CONTROL DE HUMO.- Toma en cuenta el tipo de control de humo y la existencia de detectores de humo.

Luego se colocan los valores seleccionados de la tabla 4.2 en la tabla 4.3 (Evaluación Individual de Seguridad) y se realizan las sumas individuales obteniéndose los valores de S1, S2, S3 y S4.

Tabla 3.2 Evaluación Individual de Seguridad

| PARAMETROS | Control de fuego | Salidas | Refugio | Proteccion general |
|--------------------------------------|------------------|---------|---------|--------------------|
| | Provisto (S1) | (S2) | (S3) | De fuego (S4) |
| 1. Construcción | | | | |
| 2. Zonas de riesgo | | (+2) | | |
| 3. Alarma de fuego | (+2) | | | |
| 4. Detección de humo | (+2) | | | |
| 5. Rociadores automáticos | | (+2) | (+2) | |
| 6. Corredores y salidas interiores | | | | |
| 7. Otras áreas interiores | (+2) | | | |
| 8. Cuarto de sueño | | | | |
| 9. Separación de Áreas residenciales | | (+2) | | |
| 10. Sistema de salida | | | (+2) | |
| 11. Acceso a la salida | | | | |
| 12. Entradas | (+2) | | | |
| 13. Control de humo | | | | |
| TOTAL | S1 | S2 | S3 | S4 |

Fuente: Tabla 4.3 Evaluación individual de seguridad. Norma NFPA 101A

Luego con la tabla 3.3 (Evaluación de riesgo de fuego). se seleccionan los valores que corresponden a las turbinas a gas obteniéndose los valores de Sa, Sb, Sc, Sd. según el tipo de construcción y la altura de la misma.

Tabla 3.3 Requerimientos de seguridad

| Use condición | Altura | Control de fuego (Sa) | | Salidas (Sb) | | Refugio (Sc) | | General (Sd) | |
|---------------|--------|-----------------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|
| | | Nuevo | Existente | Nuevo | Existente | Nuevo | Existente | Nuevo | Existente |
| I, III, IV | 1 | | | | | | | | |
| | 2 | 2 | 2 | 4 | 2 | -1 | -1 | 2 | 0 |
| | -3 | 7 | 2 | 5 | 2 | 5 | -1 | 8 | 0 |
| V | 1 | | | | | | | | |
| | 2 | 10 | 10 | 8 | 6 | 7 | 7 | 10 | 8 |
| | -3 | 15 | 10 | 10 | 6 | 13 | 7 | 10 | 8 |

Fuente: Tabla 4.4B. Norma NFPA 101A

Luego se tabulan los valores en la tabla 3.4 (Evaluación de seguridad de fuego). Si el valor C es cero o mayor se marca SI, si el valor de C es menor a cero se marca NO.

Tabla 3.4 Evaluación de seguridad de fuego

| | S1 | Sa | C | SI | NO |
|-----------------------------|----|----|---|----|----|
| CONTROL DE FUEGO PROVISTO | | | | | |
| SALIDAS | S2 | Sb | | | |
| REFUGIO PROVISTO | S3 | Sc | | | |
| PROTECCION GENERAL DE FUEGO | S4 | Sd | | | |

Fuente: Tabla 4.5, Norma NFPA 101 A

Finalmente con la tabla 3.5 se obtiene las conclusiones.

Tabla 3.5 Conclusiones

- | |
|---|
| <p>1. ٢. Todos de los recuadros en la tabla 4.5 están en la columna SI. El nivel de seguridad es mínimo equivalente para ser certificado por la NFPA 101, Código de Seguridad de Vida</p> |
| <p>2. ٢. Uno o mas de los recuadros en la tabla 4.5 están en la columna NO. El nivel de seguridad no es suficiente por este sistema para ser certificado por la NFPA 101, Código de Seguridad de Vida</p> |

Fuente: Tabla 4.7, Norma NFPA 101A

3.2.1.2.2 Desarrollo para determinar la equivalencia.

Tabla 3-6 Valores de la evaluación individual de seguridad para las turbina a gas de la Central Térmica

| PARAMETROS | Control de fuego | Salidas | Refugio | Proteccion general |
|--------------------------------------|------------------|---------|---------|--------------------|
| | Provisto (S1) | (S2) | (S3) | De fuego (S4) |
| 1. Construcción | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2. Zonas de riesgo | -4 | -2 | 0 | -4 |
| 3. Alarma de fuego | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4. Detección de humo | -2 | -4 | -4 | -4 |
| 5. Rociadores automáticos | 8 | 4 | 0 | 8 |
| 6. Corredores y salidas interiores | -3 | -3 | -3 | -3 |
| 7. Otras áreas interiores | -1 | -2 | -2 | -2 |
| 8. Cuarto de sueño | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9. Separación de áreas residenciales | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 10. Sistema de salida | -6 | -6 | -3 | -6 |
| 11. Acceso a la salida | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12. Entradas | 0 | 0 | 0 | |
| 13. Control de humo | -2 | -2 | -2 | -2 |
| TOTAL | -8 | -14 | -12 | -11 |

Fuente: Tabla 4.3 Evaluación individual de seguridad. Norma NFPA 101A

Según la tabla 3.3 se obtuvieron los siguientes parámetros.

Tabla 3.7 Valores de requerimientos de seguridad para las turbina a gas

Fuente: Tabla 4.4B. Norma NFPA 101A

| | |
|----|----|
| Sa | 10 |
| Sb | 6 |
| Sc | 7 |
| Sd | 8 |

Se tabulan los valores S1,S2, S3 y S4 de la tabla 3.6 y los valores Sa, Sb, Sc, Sd de la tabla 3.7 obtenidos.

Tabla 3.8 Valores de evaluación de seguridad de fuego

| | S1 | Sa | C | SI | NO |
|-----------------------------|-----------|---------|-----|----|----|
| CONTROL DE FUEGO PROVISTO | -8 | 10 | -18 | | X |
| SALIDAS | S2 -14 | Sb 6 | -20 | | X |
| REFUGIO PROVISTO | S3 -12 | Sc 7 | -19 | | X |
| PROTECCION GENERAL DE FUEGO | S4 -11 | Sd 8 | -19 | | X |

Fuente: Tabla 4.5, Norma NFPA 101 A

Tabla 3.9 Conclusiones para las turbina a gas

| | | |
|---|---|---|
| 1 | | Todos de los valores de la tabla 4.5 están en la columna SI, el nivel De seguridad de fuego es el mínimo equivalente para que sea Aprobado por la NFPA 101. |
| 2 | X | Uno o mas valores de la tabla 4.5 están en la columna NO, el nivel de Seguridad de fuego no es necesario para ser aprobado por la NFPA 101. |

Fuente: Tabla 4.7, Norma NFPA 101A

3.2.2 NORMAS NACIONALES (CUERPOS DE BOMBEROS INEN)

3.2.2.1 Carga de fuego

La carga de fuego es la cantidad de calor en kilocalorías que se libera por metro cuadrado de área de piso de un compartimiento por la combustión de materiales contenidos en el edificio o partes combustibles del mismo. Esta cantidad de calor se usa como base para la clasificación de usos.

La carga de fuego se determina multiplicando los pesos de todos los materiales combustibles por sus valores calóricos y dividiendo este valor para el área de piso en consideración.

Las cargas de fuego deben clasificarse en tres grupos, como se indica a continuación:

a) Carga de fuego baja: Que no exceda de 275000 Kcal / m² aplicada generalmente a edificios residenciales, hoteles, oficinas y edificios similares.

b) Carga de fuego moderada: Mayor de 275000 Kcal / m² , pero que no exceda de 550000 Kcal / m² aplicada generalmente a establecimientos comerciales y fábricas.

c) Carga de fuego alta: Cuando el valor es mayor de 550000 pero no excede 1100000 Kcal / m² aplicada generalmente a almacenes, depósitos y edificios similares.

3.2.2.1.1 Clasificación de los materiales

Los materiales se clasifican para el propósito de clasificación de incendios, en los grupos de no peligrosos (NP), peligrosos (P) y extra peligrosos (EP), basándose en las siguientes características:

- a) tendencias explosivas
- b) alta inflamabilidad
- c) facilidad de intensificar el fuego
- d) generación de calor intenso durante incendio
- e) facilidad de extender la zona del incendio
- f) dificultad de extinción
- g) tendencia a la combustión espontánea

Además de estas consideraciones, algunos procesos industriales emplean calor aplicado a materiales en fabricación que pueden ser combustibles o también puede producirse considerable calor generado en el proceso de fabricación de materiales, que son en sí mismos combustibles y tales riesgos son, naturalmente, posibilidades de estallido de incendios; por lo cual, debe hacerse una distinción clasificando estos casos como anormales, distintos de los usos normales.

Los siguientes grupos de materiales deben considerarse peligrosos y como causantes de un riesgo anormal de incendio:

Tabla 3.10 Grupos de materiales peligrosos

| Designación de Grupo No. | MATERIAL |
|---------------------------------|---|
| 1 | Explosivos |
| 2 | Gases comprimidos, licuados y disueltos permanentes |
| 3 | Sustancias peligrosas por interacción con agua o aire, Las sustancias peligrosas por interacción con la humedad Del aire |
| 4 | Sustancias con punto de inflamación a menos de 65 °C |
| 5 | Sustancias corrosivas |
| 6 | Sustancias venenosas |
| 7A | Agentes oxidantes |
| 7B | Sustancias susceptibles de combustión espontánea |
| 7C | Sólidos de combustión fácil |
| 8 | Sustancias que pueden extender el fuego por fluir de una parte Del edificio a otra, como aceites, grasa, etc. |
| 9 | Sustancias depositadas en forma de fácil combustión Como virutas de madera, papel desplegado, retazos de telas, Limaduras metálicas y polvos semejantes |

Fuente: Norma INEN, Código de práctica sobre protección de edificios, Sección I

3.2.2.1.2 Cálculo de cargas de fuego para los compartimentos de la turbinas a gas

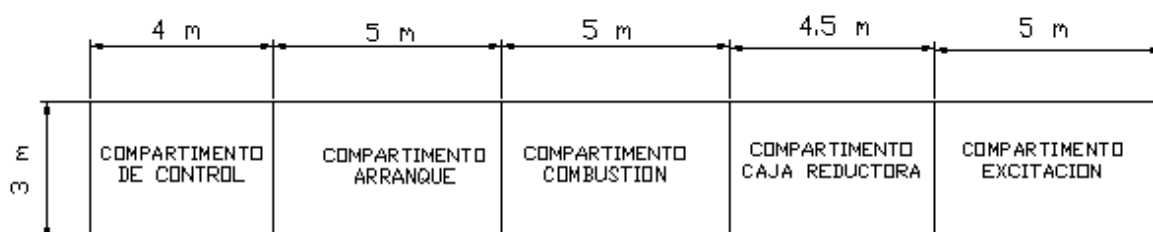
Para el cálculo de cargas de fuego de los compartimentos de las turbinas a gas de la Central Térmica Santa Rosa son necesarios los siguientes valores:

- superficie de los compartimentos
- masa de combustibles
- poder calorífico de materiales

3.2.2.1.2.1 Cálculo de superficie de los compartimentos

Para el cálculo de superficie de los compartimentos se realizaron mediciones en las unidades de generación de la Central Térmica Santa Rosa y se obtuvieron los siguientes valores:

Figura 3.1 Superficies de los compartimentos de las turbinas a gas de la Central Térmica Santa Rosa



Rosa

Tabla 3.11 Dimensiones de los compartimientos de la Central Térmica Santa Rosa

| COMPARTIMENT O | LARGO (m) | ANCHO (m) | SUPERFICIE (m²) |
|---------------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------------|
| Control | 4 | 3 | 12 |
| Arranque | 5 | 3 | 15 |
| Combustión | 5 | 3 | 15 |
| Cámara de | 4.5 | 3 | 13.5 |

| COMPARTIMENTO | LARGO (m) | ANCHO (m) | SUPERFICIE (m²) |
|----------------------|------------------|------------------|-----------------------------------|
| combustión | | | |
| Exitación | 5 | 3 | 15 |

Autor: Pablo Miño

3.2.2.1.2.2 Cálculo de masa de combustibles

3.2.2.1.2.2.1 Cálculo de masa de aceite lubricante

Para el cálculo de masa de aceite lubricante se toma en cuenta la capacidad del tanque de almacenamiento de aceite que se encuentra debajo de los compartimentos, la capacidad según el compartimiento se divide de la siguiente manera:

Tabla 3.12 Volumen del tanque de almacenamiento de aceite

| CONJUNTO | COMPARTIMENTO | CAPACIDAD (lts) |
|-----------------|----------------------|------------------------|
| TURBINA | ARRANQUE | 3200 |
| | COMBUSTION | 3200 |
| GENERADOR | CAJA REDUCTORA | 705 |
| | EXITACION | 795 |

Autor: Pablo Miño

$$\delta_{\text{aceite_lubricante}} := 914 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

COMPARTIMENTO DE ARRANQUE

$$m_{\text{aceite}} := 3.2 \text{m}^3 \cdot 914 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{\text{aceite}} = 2.925 \times 10^3 \text{kg}$$

COMPARTIMENTO DE COMBUSTION

$$m_{\text{aceite}} := 3.2\text{m}^3 \cdot 914 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{\text{aceite}} = 2.925 \times 10^3 \text{kg}$$

COMPARTIMENTO DE CAJA REDUCTORA

$$m_{\text{aceite}} := 0.705\text{m}^3 \cdot 914 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{\text{aceite}} = 644.37\text{kg}$$

COMPARTIMENTO DE EXITACION

$$m_{\text{aceite}} := 0.795\text{m}^3 \cdot 914 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{\text{aceite}} = 726.63\text{kg}$$

3.2.2.1.2.2.2 Cálculo de masa de diesel

3.2.2.1.2.2.2.1 Compartimiento de arranque

La mayor cantidad de diesel presente en este compartimento está dada por el combustible que se encuentra en el motor. Se toma en cuenta el diesel que se deposita en las cañerías y en los filtros. El valor calculado de diesel para este compartimiento es de 12 lts. ⁵

COMPARTIMENTO DE ARRANQUE

$$m_{\text{diesel}} = 0.012\text{m}^3 \cdot 850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

⁵El valor de 12 lt es un valor aproximado facilitado por el personal de mantenimiento de las turbinas de la Central Térmica Santa Rosa basado su experiencia laboral.

$$m_{\text{diesel}} := 12.2 \text{ kg}$$

3.2.2.1.2.2.2.2 Compartimiento de combustión

En el compartimiento de combustión se quema el diesel dentro de las cámaras de combustión. El flujo de diesel de las turbinas a gas de la Central Térmica Santa Rosa es de 17000 gal / hora. Para el cálculo de masa se toma en cuenta un tiempo mínimo.

Del cálculo se obtiene 0,15 kg.

COMPARTIMENTOP DE COMBUSTION

$$t := 0.01$$

$$m_{\text{diesel}} = 17000 \frac{\text{gal}}{3600} \cdot \frac{0.00376^3}{\text{gal}} \cdot 850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot t$$

$$m_{\text{diesel}} := 0,152 \text{ kg}$$

3.2.2.1.2.2.2Cálculo de masa del material eléctrico

El valor de masa de material eléctrico es un valor aproximado de los componentes eléctricos de los diferentes compartimentos. Los valores aproximados para el compartimiento de control y excitación son 50 y 30 kg. respectivamente.

3.2.2.1.3 Cálculo de cargas de fuego (INEN) para los compartimentos de la turbinas a gas

Tabla 3.13 Valores de cargas de fuego para las turbinas a gas de la central Térmica Santa Rosa

COMPARTIMENTO DE CONTROL

| COMBUSTIBLE | MASA DE | PODER | SUPERFICIE | CARGA DE FUEGO |
|-------------------|------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| | COMBUSTIBLE (Kg) | CALORIFICO (Mcal / Kg) | CONSTRUIDA (m ²) | PONDERADA (Mcal/m ²) |
| | P | H | A | Qp |
| Material | | | | |
| Eléctrico (Cobre) | 50 | 0,05 | 12 | 0,21 |

COMPARTIMENTO DE ARRANQUE

| COMBUSTIBLE | MASA DE | PODER | SUPERFICIE | CARGA DE FUEGO |
|-------------------|------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| | COMBUSTIBLE (Kg) | CALORIFICO (Mcal / Kg) | CONSTRUIDA (m ²) | PONDERADA (Mcal/m ²) |
| | P | H | A | Qp |
| Diesel | 12 | 10,85 | | |
| Aceite lubricante | 2925 | 9,5 | 15 | 1861,18 |

COMPARTIMENTO DE COMBUSTION

| COMBUSTIBLE | MASA DE | PODER | SUPERFICIE | CARGA DE FUEGO |
|-------------------|------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| | COMBUSTIBLE (Kg) | CALORIFICO (Mcal / Kg) | CONSTRUIDA (m ²) | PONDERADA (Mcal/m ²) |
| | P | H | A | Qp |
| Diesel | 0,15 | 10,85 | | |
| Aceite lubricante | 2925 | 9,5 | 15 | 1852,61 |

COMPARTIMENTO DE CAJA REDUCTORA

| COMBUSTIBLE | MASA DE | PODER | SUPERFICIE | CARGA DE FUEGO |
|-------------------|------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| | COMBUSTIBLE (Kg) | CALORIFICO (Mcal / Kg) | CONSTRUIDA (m ²) | PONDERADA (Mcal/m ²) |
| | P | H | A | Qp |
| Aceite lubricante | 644 | 9,5 | 13,5 | 453,19 |

COMPARTIMENTO DE EXCITACION

| COMBUSTIBLE | MASA DE | PODER | SUPERFICIE | CARGA DE FUEGO |
|-------------------|------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| | COMBUSTIBLE (Kg) | CALORIFICO (Mcal / Kg) | CONSTRUIDA (m ²) | PONDERADA (Mcal/m ²) |
| | P | H | A | Qp |
| Material | | | | |
| Eléctrico (Cobre) | 30 | 0,05 | | |
| Aceite lubricante | 726 | 9,5 | 15 | 459,9 |

Fuente: Normas INEN, Código de Práctica sobre Protección de Incendios

Tabla 3.14 Cargas de fuego para los compartimentos de la Central Térmica Santa Rosa

| COMPARTIMENT O | CARGA FUEGO Mcal / m² | DE | CLASIFICACION CARGA DE FUEGO (INEN) |
|---------------------------|---|-----------|--|
| CONTROL | 0.21 | | Baja |
| ARRANQUE | 1861.18 | | Alta |
| COMBUSTION | 1852.61 | | Alta |
| CAJA REDUCTORA | 453.19 | | Moderada |
| EXITACION | 459.9 | | Moderada |

Autor: Pablo Miño

Según el método de evaluación de riesgo propuesto por del INEN los compartimientos mas peligrosos son el compartimiento de arranque y el de combustión, los compartimientos de la caja reductora y excitación tiene un nivel de carga ponderada moderado mientras que el compartimiento de control tiene una carga de fuego baja.

3.3 ÍNDICES BASADOS EN CARGAS DE FUEGO

3.3.1 ÍNDICE DE MESERI

El método MESERI, acrónimo de Método Simplificado de Evaluación del Riesgo de Incendio, fue desarrollado en 1990. Propone el cálculo de un índice simplificado del riesgo de incendio y está especialmente orientado a evaluar el riesgo en edificios de uso general.

Se basa en el cálculo del factor P.

$$P = \frac{5x}{129} + \frac{5y}{34} \quad \text{Ec. 3.1}$$

$$x = \sum_{i=1}^{i=18} x_i \quad \text{Ec. 3.2}$$

$$y = \sum_{i=1}^{i=6} y_i \quad \text{Ec. 3.3}$$

En la ecuación (3.2), x son los factores de protección “pasivos” (construcción, situación, proceso industrial, concentración, propagación y destructibilidad) y en la Ec (3.3), y son los factores “activos” (extintores, bocas de incendio equipadas, columnas hidrantes extintores, detectores automáticos de incendio, rociadores automáticos, instalaciones fijas de extinción).

Se considera aceptable un riesgo si se obtienen valores de P superiores o iguales a cinco.

En general, el índice MESERI es de muy fácil aplicación. Implica el conocimiento de las reglas técnicas de protección contra incendios, permitiendo obtener una idea aproximada del nivel de riesgo de incendio asumido en una instalación a partir de un conocimiento muy superficial de la misma. Sin embargo esta sencillez le resta cualquier especificidad, y resulta muy limitada su aplicación sobre riesgos del sector industrial, ya que los factores determinantes (proceso, materiales y procedimientos de trabajo) son totalmente subjetivos o simplemente no se contemplan (reactividad, toxicidad,...).

La descripción del método no especifica el proceso seguido para la determinación de los pesos relativos de cada factor en el conjunto,

y al parecer estos se limitan a intentar imitar de forma intuitiva el juicio experto.

No se contemplan otros daños que no sean los daños materiales y directos derivados del incendio, estando restringido en su aplicación al incendio en edificios y sin analizar ningún otro factor de riesgo adicional (fugas, derrames, contaminaciones, etc.)

Considerando que los valores máximos y mínimos que pueden tomar los factores “activos” y los factores “pasivos” son los siguientes:

$$0 \leq x \leq 129$$

$$0 \leq y \leq 34$$

se desprende que el valor mínimo del índice P es 0 y el máximo es 10

A continuación se recopilan los coeficientes propuestos para cada factor de riesgo. Junto al texto descriptivo se indica el peso relativo de cada factor.

3.3.1.1 Factores de protección pasivos

3.3.1.1.1 Construcción: 1) Altura del edificio: 3%, 2) mayor sector de incendio: 8%, 3) resistencia al fuego: 8% y 4) falsos techos: 2,5%.

Valora los riesgos inherentes al tipo de edificación. El método resulta aplicable solo a edificaciones, por lo que difícilmente podría ser utilizado para instalaciones con presencia de equipos ubicados al exterior sobre estructuras portantes simples o a parques de almacenamiento al aire libre, situación muy frecuente en instalaciones de tipo químico.

Los pesos relativos atribuidos a cada característica descriptiva se basan exclusivamente en el juicio experto y se desconoce por completo la base empírica o experimental que respalda estos valores.

3.3.1.1.2 Situación de riesgo: 1) Distancia de los bomberos: 5%, 2) Accesibilidad del edificio: 2%.

Valora las posibilidades de intervención desde el exterior por parte de los servicios públicos de extinción. En este sentido valora la proximidad de estos servicios al riesgo y la facilidad de acceso, tanto desde el punto de vista de la distribución de cales, como desde la perspectiva de los accesos al edificio desde el exterior (fachadas y puertas).

Este análisis de accesibilidad se basa en la Norma Básica de la Edificación NBE-CPI-96 y es un aspecto que otros índices (gretnener, Eric, Purt, etc.) no contemplan en su desarrollo.

3.3.1.1.3 Procesos: 1) Peligro de activación: 12%, 2) Carga térmica: 6%, 3) Combustibilidad: 10%, 4) Orden y limpieza: 3%, 5) Almacenamiento en altura: 1,5%.

Evalúa la peligrosidad intrínseca de la activación industrial desarrollada en el interior del edificio. Para ello se analiza el peligro de activación, la carga combustible en el interior, la combustibilidad de los materiales contenidos (materias primas, productos intermedios o terminados), el orden y limpieza de los locales y la altura de almacenamiento de mercancías.

La propiedad “peligro de activación” se valora de manera subjetiva, por lo que el resultado es totalmente arbitrario y excesivamente superficial.

La carga térmica por unidad de superficie se describe solo como alta ($Q \geq 200 \text{ Mcal/ m}^2$ o $Q \geq 840 \text{ MJ/m}^2$), media ($100 \leq Q \leq 200 \text{ Mcal/ m}^2$ o $420 \leq Q < 840 \text{ MJ/ m}^2$) o baja ($Q < 100 \text{ Mcal/ m}^2$ o $Q < 420 \text{ MJ/ m}^2$).

La combustibilidad de los materiales presentes en la planta no considera la forma ni las condiciones de almacenamiento de los mismos y sin embargo este aspecto es, en la industria química, un factor altamente determinante del riesgo presente.

Asimismo se obvian totalmente toda una serie de peligros inherentes a la manipulación de sustancias peligrosas y la posibilidad de reacciones inestables o incontroladas.

Los criterios de orden y limpieza y de altura de almacenamiento están claramente orientados a almacenes en estanterías o pallets y no consideran la presencia de parques de tanques, zonas de almacenamiento de inflamables, presencia de bidones o botellas de gases comprimidos, etc. Estos criterios resultan muy limitantes a la hora de intentar utilizar este índice en instalaciones de tipo químico.

3.3.1.1.4 Factor de concentración: Concentración de capitales: 8%. Valora la posible magnitud del evento (dólares / m^2), exclusivamente desde la perspectiva económica.

3.3.1.1.5 Propagabilidad: 1) En vertical: 4%, 2) En horizontal: 4%.

Evalúa la facilidad con la que el fuego se transmite en vertical de una planta a otra y la velocidad de propagación horizontal.

3.3.1.1.6 Destructibilidad: 1) Calor: 6%, 2) Humo: 6%, 3) Corrosión: 6%, 4) Agua: 5%.

Evalúa la facilidad con la que la maquinaria y las instalaciones en general se verán afectadas por los efectos de un incendio: calor, humo, corrosión y agua.

Los materiales almacenados y los propios equipos de proceso pueden verse afectados por una o varias de las consecuencias citadas, derivadas de un incendio.

La sensibilidad de los diferentes contenidos al humo, el calor, la corrosión o el agua variará de uno a otro. Sin embargo el método MESERI atribuye a todos ellos los mismos coeficientes (y en definitiva el mismo peso relativo sobre el índice P).

3.3.1.2 Factores activos

3.3.1.2.1 Factores de protección: 1) Extintores: 18%, 2) Bocas de incendio equipadas: 15%, 3) Columnas hidrantes exteriores: 13%, 4) Detección automática de incendios: 18%, 5) Rociadores automáticos: 18% y 6) Instalaciones fijas de extinción (CO₂ o similares): 18%.

Propone añadir un punto al coeficiente P cuando la instalación dispone de una brigada contra incendios propia, convenientemente formada y equipada. El peso relativo de la brigada contra incendios en el conjunto es del 18%.

Tabla 3.15 Calificación de riesgo por el método de Meseri

Calificación de riesgo

| | | | | |
|----------|------|--------|-------|-----------|
| Muy malo | Malo | Normal | Bueno | Muy bueno |
| 0-2 | 3-4 | 5-6 | 7-8 | 9-10 |

Fuente: Métodos de Evaluación de riesgos Laborales

(Autor: Juan Carlos Rubio)

Tabla 3.16 Cálculo del índice de Meseri para las Turbina a gas de la Central Térmica Santa Rosa

| FACTORES PASIVOS | | % | Xi max | C. Control | | C. Arranque | | C. Combustión | | C. C. Reduc-tora | | C. Excita-ción | |
|---------------------------|-------------------------------|-----|--------|------------|----------|-------------|----------|---------------|------|------------------|------|----------------|-------|
| | | | | Valor | | Valor | | Valor | | Valor | | Valor | |
| | | | | / 10 pts. | Xi | / 10 pts. | Xi | / 10 pts. | Xi | / 10 pts. | Xi | / 10 pts. | Xi |
| Construcción | 1) Altura del edificio | 3 | 3,87 | 8 | 3 ,10 | 8 | 3 ,10 | 8 | 3,10 | 8 | 3,10 | 8 | 3,10 |
| | 2) Mayor sector de incendio | 8 | 10,32 | 8 | 8 ,26 | 5 | 5 ,16 | 4 | 4,13 | 4 | 4,13 | 8 | 8,26 |
| | 3) Resistencia al fuego | 8 | 10,32 | 3 | 3 ,10 | 3 | 3 ,10 | 3 | 3,10 | 4 | 4,13 | 3 | 3,10 |
| | 4) Falsos techos | 2,5 | 3,23 | 8 | 2 ,58 | 8 | 2 ,58 | 8 | 2,58 | 8 | 2,58 | 8 | 2,58 |
| Situación | 1) Distancia de los bomberos | 5 | 6,45 | 4 | 2 ,58 | 4 | 2 ,58 | 4 | 2,58 | 4 | 2,58 | 1 | 0,65 |
| | 2) Accesibilidad del edificio | 2 | 2,58 | 7 | 1 ,81 | 7 | 1 ,81 | 7 | 1,81 | 7 | 1,81 | 7 | 1,81 |
| Proceso industrial | 1) Peligro de activación | 12 | 15,48 | 5 | 7 ,74 | 3 | 4 ,64 | 5 | 7,74 | 4 | 6,19 | 5 | 7,74 |
| | 2) Carga térmica | 6 | 7,74 | 8 | 6 ,19 | 4 | 3 ,10 | 4 | 3,10 | 4 | 3,10 | 7 | 5,42 |
| | 3) Combustibilidad | 10 | 12,90 | 6 | 7 ,74 | 3 | 3 ,87 | 4 | 5,16 | 5 | 6,45 | 8 | 10,32 |
| | 4) Orden y limpieza | 3 | 3,87 | 8 | 3 ,10 | 8 | 3 ,10 | 8 | 3,10 | 8 | 3,10 | 8 | 3,10 |
| | 5) Almacenamiento en altura | 1,5 | 1,94 | 8 | 1 ,55 | 8 | 1 ,55 | 8 | 1,55 | 8 | 1,55 | 8 | 1,55 |
| Concentración | 1) Concentración de capitales | 8 | 10,32 | 5 | 5 ,16 | 3 | 3 ,10 | 2 | 2,06 | 2 | 2,06 | 5 | 5,16 |
| Propagación | 1) En vertical | 4 | 5,16 | 7 | 3 ,61 | 7 | 3 ,61 | 7 | 3,61 | 7 | 3,61 | 6 | 3,10 |
| | 2) En horizontal | 4 | 5,16 | 4 | 2 ,06 | 2 | 1 ,03 | 2 | 1,03 | 2 | 1,03 | 5 | 2,58 |
| Destructibili- | 1) Calor | 6 | 7,74 | 8 | 6 | 6 | 4 | 8 | 6,19 | 2 | 1,55 | 8 | 6,19 |

| | | | | | | | | | | | | |
|------------|--------------|-----|------|---|------|-----|---|-------|---|-------|---|-------|
| dad | | | | | ,19 | ,64 | | | | | | |
| | 2) Humo | 6 | 7,74 | 8 | ,19 | ,64 | 8 | 6,19 | 5 | 3,87 | 9 | 6,97 |
| | 3) Corrosión | 6 | 7,74 | 8 | ,19 | ,42 | 8 | 6,19 | 7 | 5,42 | 7 | 5,42 |
| | 4) Agua | 5 | 6,45 | 3 | ,94 | ,94 | 3 | 1,94 | 3 | 1,94 | 3 | 1,94 |
| | Σ | 100 | 129 | | 7,91 | 59 | | 65,15 | | 58,18 | | 78,95 |

| FACTORES ACTIVOS | % | Yi max | C. Control | | C. Arranque | | C. Combustión | | C. C. Reductora | | C. Excitación | |
|--|-----|--------|-----------------|------|-----------------|-------|-----------------|------|-----------------|------|-----------------|------|
| | | | Valor / 10 pts. | Yi | Valor / 10 pts. | Yi | Valor / 10 pts. | Yi | Valor / 10 pts. | Yi | Valor / 10 pts. | Yi |
| 1) Extintores | 18 | 6,12 | 8 | 4,9 | 8 | 4,9 | 8 | 4,90 | 8 | 4,90 | 8 | 4,90 |
| 2) Bocas de incendio equipadas | 15 | 5,1 | 8 | ,08 | 8 | ,08 | 8 | 4,08 | 8 | 4,08 | 8 | 4,08 |
| 3) Columnas hidrantes extintores | 13 | 4,42 | 4 | ,77 | 4 | ,77 | 4 | 1,77 | 4 | 1,77 | 4 | 1,77 |
| 4) Detectores automáticos de incendios | 18 | 6,12 | 8 | 4,9 | 8 | 4,9 | 8 | 4,90 | 8 | 4,90 | 8 | 4,90 |
| 5) Rociadores automáticos | 18 | 6,12 | 8 | 4,9 | 8 | 4,9 | 8 | 4,90 | 8 | 4,90 | 8 | 4,90 |
| 6) Instalaciones fijas de extinción | 18 | 6,12 | 8 | 4,9 | 8 | 4,9 | 8 | 4,90 | 8 | 4,90 | 8 | 4,90 |
| Σ | 100 | 34 | | 25,4 | | 25,43 | | 3 | | 2 | | 3 |

| | | | | | |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| P | 6,81 | 6,03 | 6,27 | 6,00 | 6,80 |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|

Fuente: Métodos de Evaluación de Riesgos Laborales

(Autor: Juan Carlos Rubio)

Tabla 3.17 Índice de Meseri para las turbina a gas de la Central Térmica Santa

Rosa

Calificación de riesgo

| | | | | |
|---------|----------|---------------|-----------------|------------|
| C. | C. | C. Combustión | C. C. Reductora | C. |
| Control | Arranque | | | Excitación |
| Bueno | Normal | Normal | Normal | Bueno |

Autor: Pablo Miño

3.3.2 MÉTODO DE GREENER

Este método fue desarrollado entre 1960 y 1965 por el ingeniero suizo Max Greener y está orientado a la evaluación matemática del riesgo de incendio de las construcciones industriales y de edificios.

Asume como punto de partida que el riesgo cumple las normativas vigentes en materias de seguridad tales como distancias entre edificios, vías de evacuación, iluminación de seguridad, etc.

El cálculo del índice se basa en:

$$y_{fi} = 1.3 \frac{N * S * E}{R * A * M} \quad \text{Ec. 3.4}$$

El índice es aceptable si y_{fi} es mayor o igual a 1.

donde:

N = Factor que depende de las medidas normales de protección

S = Factor que depende de las medidas especiales de protección

E = Factor que depende de las medidas constructivas de construcción del edificio

R = Factor asociado con el riesgo de incendio

A = Factor de riesgo de activación

M = Factor asociado con la movilidad de las personas

donde:

$$N = n_1 * n_2 * n_3 * n_4 * n_5 \quad \text{Ec. 3.5}$$

n_1 = factor asociado con la presencia de extintores portátiles (VER ANEXO 1.4)

n2= factor asociado con la presencia de hidrantes interiores (VER ANEXO 1.5)

n3= factor asociado con la confiabilidad de reservorio de agua (VER ANEXO 1.6)

n4= factor asociado con la presencia de hidrantes externos (VER ANEXO 1.7)

n5= factor asociado con la presencia de personal entrenado (VER ANEXO 1.8)

$$S = s1*s2*s3*s4*s5*s6 \quad \text{Ec 3.6}$$

s1= factor asociado al modo de detección de fuego (VER ANEXO 1.9)

s2= factor asociado al modo de transmisión de alarma (VER ANEXO 1.10)

s3= factor asociado a la calidad del cuerpo de bomberos local (VER ANEXO 1.11)

s4= factor asociado al tiempo de respuesta del cuerpo de bomberos (VER ANEXO 1.12)

s5= factor asociado al tipo de equipamiento de extinción (VER ANEXO 1.14)

s6= factor asociado al equipamiento de desfogue de calor y humo (VER ANEXO 1.15)

$$E = e1*e2*e3*e4 \quad \text{Ec. 3.7}$$

e1= factor asociado a la resistencia al fuego de la estructura (VER ANEXO 1.16)

e2= factor asociado a la resistencia al fuego de las fachadas (VER ANEXO 1.17)

e3= factor asociado a la resistencia al fuego de forjados horizontales (VER ANEXO 1.13)

e4= factor asociado a las dimensiones de las células corta – fuego (VER ANEXO 1.18)

$$R = q \cdot c \cdot f \cdot k \cdot i \cdot h \cdot a$$

Ec. 3.8

q= factor asociado a la carga de incendio mobiliaria (VER ANEXO 1.19)

c= factor asociado a la combustibilidad de carga de incendio (VER ANEXO 1.20)

f= factor asociado con la presencia de humo causado por la carga de incendio
(VER ANEXO 1.21)

k= factor asociado a la toxicidad de los gases (VER ANEXO 1.22)

i= factor asociado a la carga de incendio inmobiliaria (VER ANEXO 1.23)

h= factor asociado a la carga de incendio en función de la altura (VER ANEXO 1.24)

a= factor asociado al área del compartimiento (VER ANEXO 1.25)

A= factor que considera el riesgo de activación de incendio (VER ANEXO 1.26)

M= factor relacionado con la movilidad de las personas (VER ANEXOS 1.27)

Tabla 3.18 VALORACIÓN DEL RIESGO DE INCENDIO POR EL MÉTODO DE GREENER

| Tipo de concepto | C. CON-TROL | C. ARRAN-QUE | C. COMBUS-TION | C. C. REDUCTO-RA | C. EXCITA-CION |
|---|--------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
| n1 Extintores portátiles | 1 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| n2 Hidrantes exteriores | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| n3 Fuentes de agua- fiabilidad | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 |
| n4 Conductos transportadores de agua | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| n5 Personal instruido en extinción | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| N Medidas normales | 0,61 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 |
| s1 Detección de fuego | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| s2 Transmisión de alarma | 1,05 | 1,05 | 1,05 | 1,05 | 1,05 |
| s3 Disponibilidad de bomberos | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 |
| s4 Tiempo para intervención | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| s5 Instalación de extinción | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 |
| s6 Instalación evacuación de humo | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| S Medidas especiales | 2,48 | 2,48 | 2,48 | 2,48 | 2,48 |
| e1 Resistencia al fuego | 1 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1 |
| e2 Fachadas | 1,15 | 1,15 | 1,15 | 1,15 | 1,15 |
| e3 Forjados horizontales | 1 | 1,05 | 1,05 | 1,05 | 1 |
| e4 Dimensiones de las células | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| E Medidas de la construcción | 1,38 | 1,73 | 1,73 | 1,73 | 1,38 |
| q carga térmica mobiliaria | 0,6 | 2,1 | 2,1 | 1,7 | 1,7 |
| c combustibilidad | 1 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1 |
| f Peligro de humos | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,2 |
| k Toxicidad | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| i Carga térmica inmobiliaria | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| h Carga en función de la altura | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| a Area del compartimiento | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| R Riesgo de incendio | 0,72 | 2,77 | 2,77 | 2,24 | 2,04 |
| A Riesgo de activación de incendio | 1,2 | 1,45 | 1,45 | 1,2 | 1,2 |
| M Movilidad de las personas | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| yfi INDICE DE GREENER | 3,15 | 0,76 | 0,76 | 1,14 | 1,001 |

Fuente: Métodos de Evaluación de Riesgos Laborales (Autor: Rubio Juan Carlos)

Según el método de Gretener el índice es aceptable si es mayor a 1, Según los resultados obtenidos los índices para cada compartimiento son los siguientes:

Tabla 3.19 Índice de Gretener para las turbinas a gas de la Central Térmica Santa Rosa

| COMPARTIMENTO | ÍNDICE DE GREENER |
|----------------------|--------------------------|
| | ACEPTABLE |
| | SI |
| | NO |
| Control | X |
| Arranque | |
| Combustión | X |
| Caja reductora | X |
| Excitación | X |

Fuente: Métodos de evaluación de riesgos laborales (Autor Rubio Juan Carlos)

3.3.3 ÍNDICE DE CÁLCULO DE LA CARGA DE FUEGO PONDERADA.

Este método se considera aplicable a los edificios o establecimientos de uso industrial o almacenamientos que estén ubicados en edificios destinados exclusivamente a estos usos. Incluye las secciones de oficina y servicios auxiliares que estén ubicados en el mismo edificio.

Se basa en el cálculo de Q (carga de fuego ponderada) y clasifica el riesgo en tres categorías: riesgo bajo para $Q < 200 \text{ Mcal} / \text{m}^2$ ($840 \text{ MJ} / \text{m}^2$), riesgo medio para Q entre 200 y 800 Mcal / m^2 (entre 840 y $3340 \text{ MJ} / \text{m}^2$) y riesgo alto para Q superior a $800 \text{ Mcal} / \text{m}^2$ ($3340 \text{ MJ} / \text{m}^2$):

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} P_i * H_i * C_i}{A} * Ra \quad \text{Ec 3.9}$$

donde: Q : carga de fuego ponderada (Mcal / m^2 o MJ / m^2)

Pi: masa de cada una de las sustancias combustibles (Kg)

Hi: poder calorífico de cada una de las sustancias en Mcal/ Kg
o MJ/ Kg

Ci: coeficiente adimensional que valora la peligrosidad de los productos

A: superficie construída del local en m²

Ra: coeficiente del riesgo de activación inherente a la actividad (adimensional)

i: cada uno de los productos almacenados considerados.

Los tres primeros parámetros se pueden obtener de tablas bibliográficas generales o de las mediciones hechas sobre el proyecto de la instalación. Lo mismo puede indicarse del parámetro área (A). Para el índice C, se propone 1,6 para riesgos altos, 1,2 para riesgos medios y 1,0 para riesgos bajos (por ejemplo, líquidos con puntos de inflamación superiores a 61 C).

Para la estimación del parámetro R, el índice propone tres niveles en función del riesgo de activación: 3,0 para riesgo alto, 1,2 para riesgo medio y 1,0 para riesgo bajo.

En líneas generales, la aplicación de este método de evaluación de riesgo sigue la descripción matemática del mismo, ya que el parámetro R evalúa las posibilidades de activación (probabilidad o frecuencia) y el resto de la ec. Estima las consecuencias o magnitud de incendio.

Pese al fundamento termodinámico de la Ec.3.9, la aplicación de este procedimiento adolece de ciertas indefiniciones. Los valores de los coeficientes C y Ra son un tanto arbitrarios y en particular la estimación de Ra es tan generalista como sucedía en el método de Gretener, con el agravante de que algunos de los ejemplos aportados no se han ponderado convenientemente (sorprende, por ejemplo, que a la fabricación de textiles se le atribuya un peligro de activación bajo, equivalente al de macanizados metálicos y que a la destilación de productos se le atribuya un peligro de activación medio).

Tabla 3.20 CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CARGA DE FUEGO

COMPARTIMENTO DE CONTROL

| COMBUSTIBLE | MASA DE | PODER | COEFICIENTE | SUPERFICIE | COEFICIENTRE | CARGA DE FUEGO |
|-------------------|------------------|------------------------|--------------|------------------------------|--------------|----------------------------------|
| | COMBUSTIBLE (Kg) | CALORIFICO (Mcal / Kg) | PELIGROSIDAD | CONSTRUIDA (m ²) | DE RIESGO | PONDERADA (Mcal/m ²) |
| Material | P | H | C | A | R | Qp |
| Eléctrico (Cobre) | 50 | 0,05 | 1 | 12 | 1,2 | 0,25 |

COMPARTIMENTO DE ARRANQUE

| COMBUSTIBLE | MASA DE | PODER | COEFICIENTE | SUPERFICIE | COEFICIENTRE | CARGA DE FUEGO |
|-------------------|------------------|------------------------|--------------|------------------------------|--------------|----------------------------------|
| | COMBUSTIBLE (Kg) | CALORIFICO (Mcal / Kg) | PELIGROSIDAD | CONSTRUIDA (m ²) | DE RIESGO | PONDERADA (Mcal/m ²) |
| Material | P | H | C | A | R | Qp |
| Diesel | 12 | 10,85 | 1,2 | 15 | 3 | 6700,248 |
| Aceite lubricante | 2925 | 9,5 | 1,2 | | | |

COMPARTIMENTO DE COMBUSTION

| COMBUSTIBLE | MASA DE | PODER | COEFICIENTE | SUPERFICIE | COEFICIENTRE | CARGA DE FUEGO |
|-------------------|------------------|------------------------|--------------|------------------------------|--------------|----------------------------------|
| | COMBUSTIBLE (Kg) | CALORIFICO (Mcal / Kg) | PELIGROSIDAD | CONSTRUIDA (m ²) | DE RIESGO | PONDERADA (Mcal/m ²) |
| Material | P | H | C | A | R | Qp |
| Diesel | 0,15 | 10,85 | 1,2 | 15 | 3 | 6669,3906 |
| Aceite lubricante | 2925 | 9,5 | 1,2 | | | |

COMPARTIMENTO DE CAJ A REDUCTORA

| COMBUSTIBLE | MASA DE | PODER | COEFICIENTE | SUPERFICIE | COEFICIENTRE | CARGA DE FUEGO |
|-------------------|------------------|------------------------|--------------|------------------------------|--------------|----------------------------------|
| | COMBUSTIBLE (Kg) | CALORIFICO (Mcal / Kg) | PELIGROSIDAD | CONSTRUIDA (m ²) | DE RIESGO | PONDERADA (Mcal/m ²) |
| Material | P | H | C | A | R | Qp |
| Aceite lubricante | 644 | 9,5 | 1,2 | 13,5 | 1,2 | 652,5866667 |

COMPARTIMENTO DE EXCITACION

| COMBUSTIBLE | MASA DE | PODER | COEFICIENTE | SUPERFICIE | COEFICIENTRE | CARGA DE FUEGO |
|-------------------|------------------|------------------------|--------------|------------------------------|--------------|----------------------------------|
| | COMBUSTIBLE (Kg) | CALORIFICO (Mcal / Kg) | PELIGROSIDAD | CONSTRUIDA (m ²) | DE RIESGO | PONDERADA (Mcal/m ²) |
| Material | P | H | C | A | R | Qp |
| Eléctrico (Cobre) | 30 | 9,45 | 1 | 15 | 3 | 1711,98 |
| Aceite lubricante | 726 | 9,5 | 1,2 | | | |

Fuente: Métodos de Evaluación de Riesgos Laborales (Autor: Rubio J.C.)

Tabla 3.21 Índice de Carga de fuego para las turbina a gas de la Central Térmica Santa Rosa

| COMPARTIMENT O | CARGA FUEGO Mcal / m² | DE | CLASIFICACIÓN CARGA DE FUEGO |
|---------------------------|---|-----------|---|
| CONTROL | 0.25 | | Baja |
| ARRANQUE | 6700.24 | | Riesgo alto |
| COMBUSTION | 6669.33 | | Riesgo alto |
| CAJA REDUCTORA | 652.58 | | Riesgo alto |
| EXITACION | 1711.98 | | Riesgo alto |

Fuente: Métodos de Evaluación de Riesgos Laborales (Autor: Rubio J.C)

Según los valores obtenidos por el método de índice de carga de fuego el compartimento de control tiene una clasificación de fuego baja, mientras que los compartimentos de arranque, combustión, caja reductora y excitación tienen una clasificación de riesgo alto.

3.4 ESTUDIO DEL SISTEMA ACTUAL CONTRA INCENDIOS

El sistema contra incendios de la Central Térmica Santa Rosa en un sistema del tipo convencional ya que esta compuestos por dispositivos iniciadores y anunciadores sin que necesariamente cuenten con un panel de control que especifique el lugar ó zona donde se genere la alarma ó el tipo de alarma.

El sistema contra incendios de la Central Térmica Santa Rosa es un sistema básico que es propio de las unidades. El sistema actual contra incendios consta de sensores de temperatura ubicados en los diferentes compartimentos de las turbina a gas. Los sensores de temperatura al detectar una temperatura mayor a la calibrada manda

una señal a las válvulas selenoides que se activan y hacen funcionar los rociadores de CO₂ en todos los compartimentos, también se pueden activar los rociadores manualmente por medio de un pulsador. El sistema actual del sistema contra incendios consta de 12 cilindros que contienen 100 lb de CO₂ cada uno. El sistema de rociadores es un sistema que se activa en todos los compartimentos de las turbinas, sin tomar en cuenta la ubicación del incendio.

El sistema contra incendios de la Central Térmica Santa Rosa posee una alarma de aviso.

Las unidades de generación o turbinas a gas tienen un tiempo de funcionamiento de 25 años.

Tabla 3.22

Elementos del sistema actual contra incendios

C.T.S.R.

| COMPARTIMENTO | ELEMENTOS | OBSERVACIÓN |
|----------------------|---|--|
| CONTROL | 2 válvulas selenoides 1 válvulas neumática circuito pulsador 12 cilindros de CO ₂ | Cilindros de CO ₂ de 100 lbs. cada uno No existen sensores de temperatura No existen rociadores |
| ARRANQUE | <ul style="list-style-type: none"> • alarma sonora en caso de incendio • 3 boquillas rociadoras de CO₂ • 2 sensores de temperatura (163 °C) | |
| CAMARA DE COMBUSTION | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 3 boquillas rociadoras de CO₂ ▪ 2 sensores de temperatura (232 °C) ▪ 1 sensor de temperatura (315 °C) | |
| CAJA REDUCTORA | <ul style="list-style-type: none"> • 1 sensor de temperatura (315 | |

| COMPARTIMENTO | ELEMENTOS | OBSERVACIÓN |
|----------------------------|--|---|
| | ^o C) • 3 boquillas rociadoras de CO ₂ | |
| COMPARTIMENTO DE EXITACION | | • No existen sensores de temperatura • No existen rociadores |

Fuente: Central Térmica Santa Rosa

El esquema del sistema actual contra incendios se puede observar en PLANO 2 (Diagrama del sistema actual contra incendios).

3.5 CAUSAS POTENCIALES DE INCENDIO

3.5.1 CAUSAS DE ACCIDENTES.

Los accidentes se producen cuando una serie de factores se combinan en circunstancias propicias; en muy pocos casos o casi nunca es una Sola la causa que ocasiona el accidente.

Es posible prevenir o controlar las causas de los accidente. Si bien no siempre se dispone de los recursos necesarios, es una evidencia que la empresa promedio puede alcanzar un alto grado de éxito en el control de los accidentes.

La información disponible ha llevado a los profesionales de seguridad a aceptar las siguientes conclusiones:

- Los accidentes que deterioran nuestras empresas no suceden; son causados.

- Las causas de los accidentes pueden ser determinadas y controladas.

Para considerar mejor las causas de los accidentes no deseados, consideraremos los cuatro elementos o sub - sistemas involucrados en la operación total de la empresa.

Estos cuatro elementos son:

- Gente.
- Equipo.
- Material.
- Ambiente.

Estos cuatro elementos se deben relacionar o interactuar correctamente, para evitar así un accidente. En el caso que en alguno de estos sub - sistemas ocurra un problema, este afectara a los otros. Cualquiera de estos cuatro puede ser considerado un “agresor” de los demás.

Examinaremos cada elemento.

- Gente: este elemento incluye al personal de producción, mantención, administrativo y ejecutivo de la empresa. Deben considerarse las personas relacionadas con el trabajador (la familia). El trabajador generalmente se encuentra involucrado en la mayoría de los accidentes.
- Equipo: este elemento incluye las herramientas y maquinarias con las que trabaja el personal. Este es un elemento que es

blanco de las causas de accidentes con mayor gravedad.

- **Material:** el material con que la gente trabaja, usa o fabrica es otra fuente de accidentes. Los materiales pueden ser: cortantes, pesados, tóxicos, inflamables, abrasivos o pueden estar calientes. Año a año miles de materiales ingresan a las industrias como materias primas y/o salen al mercado desconociéndose, en muchos casos, los peligros que pueden presentar.
- **Ambiente:** el ambiente está formado por todo material o físico que rodea a la gente y que incluye el aire que respira, los edificios que la albergan, la iluminación, humedad, intensidad de ruido, condiciones atmosféricas, etc. Este elemento representa la fuente de las causas de un número en aumento de enfermedades y ha sido señalado como la causa del ausentismo y la mala calidad del trabajo.

Los cuatro elementos (GEMA) de la operación, individualmente o combinados, proveen las causas a que se produzcan accidentes. En la evaluación de cada causa de un accidente, el profesional, supervisor o trabajador deberá asegurarse que ha considerado la posibilidad de participación de cada uno de los elementos.

3.5.2 CAUSAS DE INCENDIOS

Para eliminar las causas de los incendios y así evitar pérdidas, es importante saber como y donde estos empiezan. En un estudio efectuado durante diez años, donde se analizaron 25.000 incendios industriales ocurridos en los Estados Unidos, se llegó a determinar las siguientes causas:

Tabla 3.23 Causas de incendios en EEUU

| Causas de incendios. | Porcentaje |
|-------------------------------|------------|
| electricidad | 23% |
| el fumar | 18% |
| fricción | 10% |
| recalentamiento de materiales | 8% |
| superficies calientes | 7% |
| llamas de quemadores | 7% |
| chispas de la combustión | 5% |
| ignición espontánea | 4% |
| cortes y soldaduras | 4% |
| exposición | 3% |
| incendios premeditados | 3% |
| chispas mecánicas | 2% |
| sustancias derretidas | 2% |
| acción química | 1% |
| chispas estáticas | 1% |
| rayos | 1% |

| | |
|--------|----|
| varios | 1% |
|--------|----|

Fuente: www.usfa.dhs.gov

Lo importante es que cada empresa determine sus propias causas potenciales, para lo cual deben identificarse las zonas de mayor peligro, la potencialidad de cada peligro, etc.

El primer paso para que una empresa pueda prevenir incendios es determinar sus propios peligros que pueden ser causas de incendios.

En el caso de la Central Térmica Santa Rosa la mayor causa potencial de incendio es la relacionada con el funcionamiento propio de las turbinas a gas.

Según la Norma NFPA 850 en el artículo 6-5.1.3, el mayor peligro asociado con turbinas de combustión o unidades eléctricas de generación diesel son las siguientes:

- Combustibles
- Aceites hidráulicos y de lubricación

3.5.2.1 Clasificación de las causas de incendio

El incendio de algún artefacto o edificación puede ser iniciado por varias causas que pueden ser clasificadas como causas naturales, causas físico – químicas y causas humanas.

3.5.2.1.1 Causas naturales

- rayos
- excesiva temperatura

3.5.2.1.2 Causas físico – químicas

- Sobrecargas en instalaciones
- Desperfectos en equipos eléctricos
- Falta de control en llamas abiertas u otras fuentes de calor
- Colocar elementos combustibles cerca de fuentes de calor o llama

3.5.2.1.3 Causas humanas

- Fumar en lugares no autorizados
- Arrojar fósforos o colillas desaprensivamente
- Falta de orden y limpieza

3.5.2.2 **Situaciones y actividades comunes de peligro de incendio en la industria**

3.5.2.2.1 Instalaciones eléctricas

- Contactos sobre saturados.
- Empalmes de cables eléctricos de diferentes calibres.
- Empalmes de cables eléctricos de diferentes tipos.
- Cables eléctricos fuera de ductos.
- Terminales eléctricas mal aisladas o flojas.
- Instalaciones provisionales.
- Cables con añadiduras diversas.
- Tableros eléctricos expuestos.
- Almacenamiento de materiales diversos en cuartos eléctricos y subestaciones.
- Uso de instalaciones no adecuadas para intemperie.
- Instalaciones eléctricas estándar en áreas de proceso donde existen polvos combustibles en suspensión o vapores

inflamables.

- Conexiones a tierra física pintadas.
- Falta de conexión a tierra física de equipos eléctricos
- Cables eléctricos con aislante carbonizado, roto o dañado

3.5.2.2.2 Sistemas de control

- Falta de procedimientos de seguridad para operaciones de alto riesgo (corte, soldadura, espacios confinados, trabajos en alturas, trasvase de sustancias tóxicas, trasvase de inflamables, etc).
- Falta de definición de trabajos de alto riesgo.
- No se siguen procedimientos de seguridad establecidos.
- Falta de control de fumadores.
- Falta de control de actividades de contratistas en las áreas de trabajo.

3.5.2.2.3 Sistemas contra incendios

- Extintores e hidrantes obstruidos.
- Hidrantes y extintores en mal estado.
- Extintores e hidrantes mal ubicados (en el piso).
- Alarmas desconectadas.
- Detectores dañados o desconectados.
- Bombas contra incendio desconectadas.
- Bombas de combustión interna sin combustible.
- Válvulas de paso cerradas o abiertas según sea el caso.
- Cuarto de bombas en medio de almacenes de combustibles.
- Insuficiencia de extintores
- Falta de programas de mantenimiento a extintores.

3.5.3 ÁREAS PELIGROSAS DE LA CENTRAL TÉRMICA SANTA ROSA

3.5.3.1 Compartimiento de Control

El compartimiento de control es el encargado del mando eléctrico de la unidad. En el se encuentran tableros de control, interruptores, material eléctrico, alambrado, etc.

En el compartimiento de control se manejan altos voltajes (480V, 220V y 110V). El compartimiento en funcionamiento trabaja a temperatura ambiente, no existen desperdicios combustibles y el compartimiento se encuentra limpio. La principal causa potencial de incendio para este compartimiento está relacionada con el alto voltaje que puede producir una chispa y originar un incendio.

Los materiales combustibles para el compartimiento de control están relacionados con material eléctrico.

Tabla 3.24 Materiales peligrosos (C. Control)

| COMPARTIMENT O | MATERIAL COMBUSTIBLE |
|---------------------------|---------------------------------|
| Control | Material eléctrico |

Fuente: Central Térmica Santa Rosa



Figura 3.2 Compartimiento de control

3.5.3.2 **Compartimiento de arranque**

El compartimiento de arranque es el encargado de activar el ciclo de la turbina. Aquí se encuentra el motor diesel que se prende hasta iniciar el ciclo, en el se encuentra materiales combustibles propios del motor como el diesel y aceites lubricantes. En el compartimiento de arranque se observan pequeñas cantidades de aceite regadas en el suelo, trabaja a temperatura ambiente, no existe presencia de humo ni calor. Debajo del compartimiento de arranque se encuentra parte del tanque de almacenamiento de aceite (VER PLANO 2). La principal causa de incendio para este compartimiento es la relacionada con la presencia de materiales combustibles.

Tabla 3.25 Materiales peligrosos (C. Arranque)

| COMPARTIMENT O | MATERIAL COMBUSTIBLE |
|---------------------------|---------------------------------|
| Arranque | Diesel |
| | Aceite lubricante |

Fuente: Central Térmica Santa Rosa



Figura 3.3 Compartimiento de arranque

3.5.3.3 **Compartimiento de combustión**

En el compartimiento de combustión se encuentran las cámaras de combustión, aquí entra el aire comprimido y se quema el diesel en grandes cantidades (17000 gal / hora) para proporcionar aire caliente a la turbina, si bien todo el diesel se quema, este compartimiento es uno de los mas peligrosos en el caso de un incendio. La presión del combustible a la entrada de las cámaras de combustión es de 20 psi. Debajo del compartimiento de arranque se encuentra parte del tanque de almacenamiento de aceite (VER PLANO 2). En este compartimiento no existen emisiones de humo ni presencia de calor.

Tabla 3.26 Materiales peligrosos (C. Combustión)

| COMPARTIMENT O | MATERIAL COMBUSTIBLE |
|---------------------------|---------------------------------|
| Combustión | Diesel |
| | Aceite lubricante |

Fuente: Central Térmica Santa Rosa

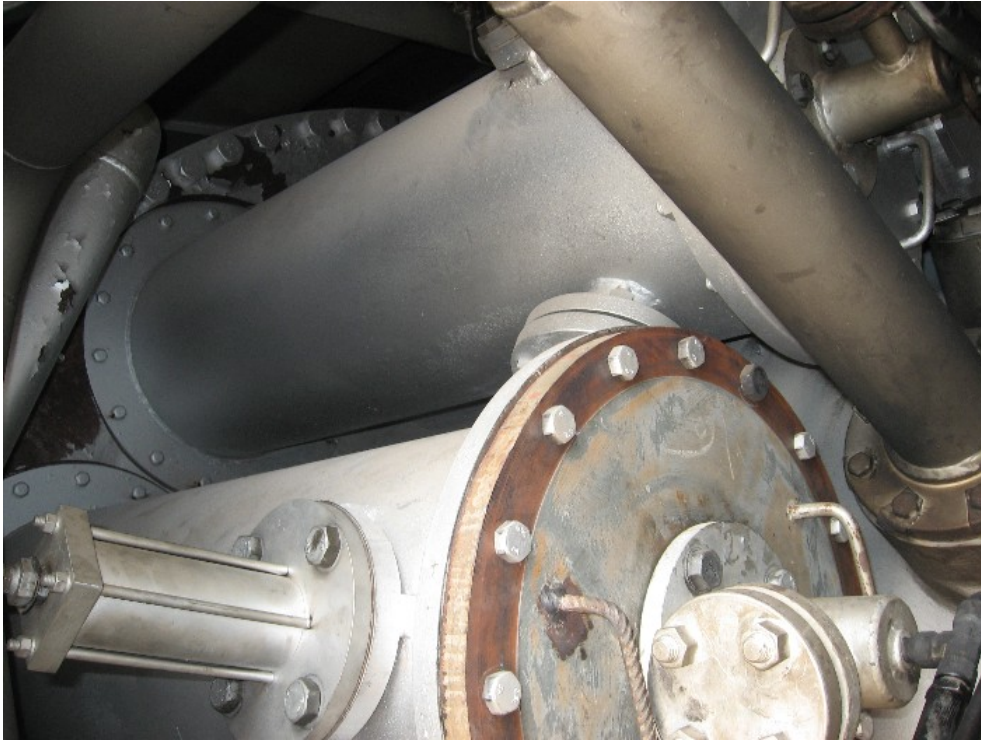


Figura 3.4 Compartimiento de combustión

3.5.3.4 **Compartimiento de Caja Reductora**

El compartimiento de la caja reductora está encargado de disminuir las revoluciones del eje de la turbina. Debajo del compartimiento de arranque se encuentra parte del tanque de almacenamiento de aceite (VER PLANO 1). En el compartimiento de la caja reductora encontramos elementos sometidos a fricción y por lo tanto materiales combustibles como aceites lubricantes que se encuentran dentro de la caja reductora.

Cuando está en funcionamiento el compartimiento de la caja reductora se encuentra a una temperatura de 45 °C aproximadamente. Esta elevada temperatura se debe al calor producido por las cámaras de combustión, en este compartimiento no existe presencia de humo. La principal causa de incendio para este compartimiento está relacionada con la presencia de combustibles.

Tabla 3.27 Materiales peligrosos (C. Caja Reductora)

| COMPARTIMENTO | MATERIAL COMBUSTIBLE |
|----------------------|-----------------------------|
| Caja – Reductora | Aceite lubricante |

Fuente: Central Térmica Santa Rosa



Figura 3.5 Compartimiento de caja reductora

3.5.3.5 **Compartimiento de Excitación**

El último compartimiento es el de excitación donde se produce el voltaje. En el compartimiento de excitación se operan altos voltajes. Aquí se encuentran materiales eléctricos, tableros eléctricos, tarjetas, etc. Debajo del compartimiento de arranque se encuentra parte del tanque de almacenamiento de aceite (VER PLANO 2). La principal causa de incendio en este compartimiento es el alto voltaje porque puede producir chispas que pueden originar un incendio.

Tabla 3.28 Materiales peligrosos (C. Excitación)

| COMPARTIMENT O | MATERIAL COMBUSTIBLE |
|---------------------------|---------------------------------|
| Excitation | Material eléctrico |
| | Aceite lubricante |

Fuente: Central Térmica Santa Rosa

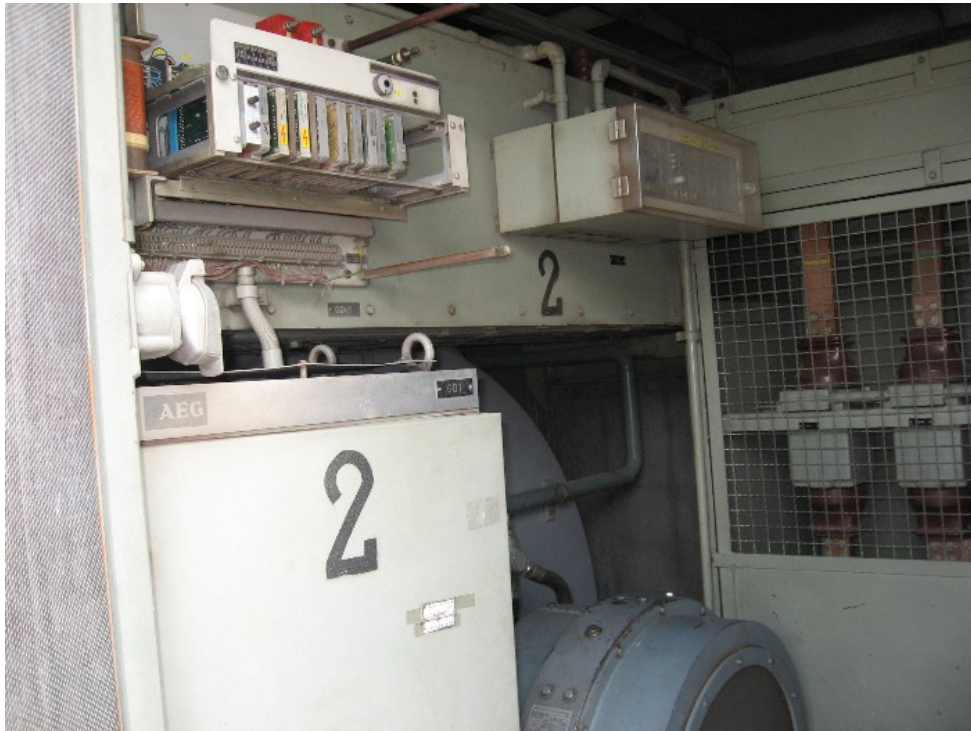


Figura 3.6 Compartimiento de excitación

3.6 EVALUACIÓN DE LAS POSIBLES CONSECUENCIAS

Incendio es un accidente producido por un fuego no controlado.

Un incendio puede tener distintos grados de intensidad, según lo cual tenemos:

- Amago: es un principio de incendio. Es un fuego incipiente descubierto y controlado o extinguido oportunamente.
- Siniestro: incendio de grandes proporciones.

- Pérdidas directas.

Cualquiera sea el grado de intensidad o magnitud de un incendio, siempre van a ver daños y estos, a su vez, representan pérdidas, es decir, tiene un costo.

Normalmente solo se cuantifican las pérdidas directas, que son las que se pueden valorar más fácilmente. Por ejemplo:

Pérdidas directas por incendio:

- Equipos.
- Mercaderías.
- Materias primas.
- Instalaciones.
- Edificios.
- Otros.
- Pérdidas indirectas.

Las pérdidas indirectas son igualmente reales y, en algunos casos, hasta más desastrosas que las pérdidas directas, pero es muy difícil asignarles un valor en dinero. Por ejemplo:

Pérdidas indirectas por incendio:

- Pérdida de clientela.
- Pérdida de utilidades por artículos dañados.

- Pérdida de confianza de los accionistas.
- Pérdida de prestigio.
- Pérdida de empleados (empresa).
- Pérdida fuente de trabajo (trabajador).
- Otras.

A estas pérdidas directas e indirectas debemos agregar las que tienen mayor importancia para todos: las numerosas personas que mueren anualmente a consecuencia de los incendios y las miles que quedan lesionadas.

3.6.1 EVALUACIÓN TÉCNICA

En caso de incendio se pierden equipos como paneles de control, paneles de corriente, un compresor, la turbina, equipos eléctricos de generación, etc. Estos equipos en el caso de un incendio que no sea extinguido rápidamente serán afectados en un 80% y muy poco de estos equipos podrán ser reutilizados nuevamente. Además las tres turbinas de la Central Térmica Santa Rosa se encuentran a una distancia de 10 m. por lo que en caso de incendio pueden ser afectadas las turbinas cercanas.

3.6.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA

El valor económico en caso de una pérdida de las unidades de generación es de 5 millones de dólares, este valor puede ser protegido por un sistema contra incendio fijo que trabaje permanentemente.

3.6.3 EVALUACIÓN HUMANA

La Central Térmica Santa Rosa consta con un total de 10 personas que manejan y controlan su funcionamiento. En caso de un incendio el personal es evacuado del interior de las turbinas. El valor de una vida humana no tiene precio. El sistema contra incendios además de proteger las instalaciones protege también la vida de las personas que trabajan en esta central.

3.6.4 EVALUACIÓN AL MEDIO AMBIENTE

El impacto ambiental en caso de un incendio es muy alto ya que en su mayoría está compuesto por aceite lubricante (OIL 32 de TEXACO) y en caso de incendio emanaría gran cantidad de gases tóxicos al ambiente, entre ellos monóxido de carbono, partículas de carbono, dióxido de carbono y otros.

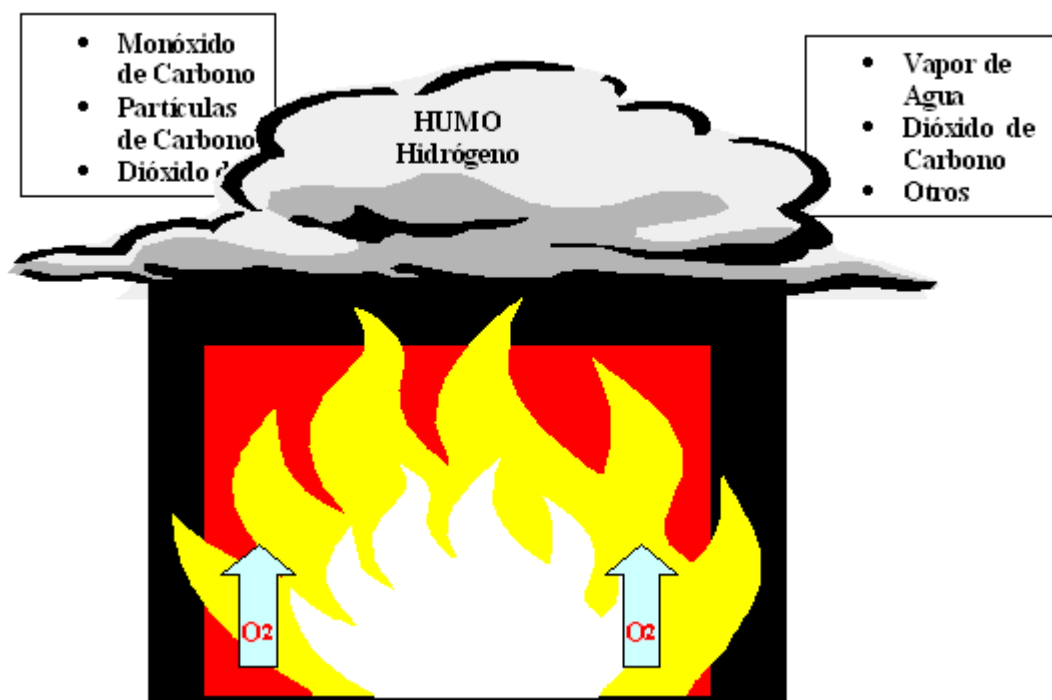


Figura 3.7 Productos de la combustión

3.7 CONCLUSIONES SOBRE LA EVALUACIÓN DE RIESGOS PARA LAS TURBINAS A GAS DE LA CENTRAL TÉRMICA SANTA ROSA

Según el método de evaluación propuesto por la norma NFPA, las turbinas a gas de la Central Térmica Santa Rosa no cumplen con el mínimo para ser certificadas por las normas NFPA. Este método es completo que toma en cuenta parámetros como tipo de construcción, entradas, salidas, métodos de detección de fuego, métodos de extinción, etc.

Según el método de evaluación de cargas ponderadas propuesto por el INEN, el compartimiento de control tiene una carga baja, el compartimiento de caja reductora y excitación tienen un nivel de carga ponderada moderada, mientras que el compartimiento de arranque y combustión son los más peligrosos.

Según el método de Gretener los compartimientos de control, caja reductora y excitación tienen un nivel aceptable de riesgo mientras que los compartimientos de arranque y combustión tienen un índice no aceptable.

Según el método de carga de fuego ponderada el compartimiento de control tiene un riesgo bajo de carga de fuego, mientras que el compartimiento de arranque, combustión, caja reductora y excitación. tienen una clasificación de riesgo alto.

Según el método de Meseri se observa un resultado similar que en los otros métodos porque en el compartimiento de Control y Excitación la calificación de riesgo es bueno, mientras en los

compartimentos de arranque, combustión y caja reductora la calificación de riesgo es normal.

Estos diferentes métodos nos indican que las Turbinas a Gas de la Central Térmica no cumplen con los parámetros mínimos para ser certificados por la NFPA, por lo que es muy recomendable realizar el rediseño del sistema contra incendios para aumentar la seguridad de las instalaciones y del personal.

CAPÍTULO 4

REDISEÑO DEL SISTEMA ACTUAL CONTRA INCENDIOS

4.1 REQUERIMIENTOS DEL DISEÑO

El nuevo sistema es un sistema automático que detecta el fuego, llama o humo en los diferentes compartimentos por medio de temperatura y energía radiante. La señal es recibida por un PLC que a su vez manda una señal a los actuadores. El PLC está programado para actuar en el compartimiento donde se detecta fuego. Además posee un panel de control donde se visualiza el estado de la turbina en todo momento. Este panel de control debe estar ubicado en una sala de control o en algún lugar de monitoreo permanente. El sistema contra incendios comprende una alarma sonora que anuncia la evacuación y evita daños en el personal por la activación de los sistemas de supresión. También comprende un sistema de accionamiento manual.

4.1.1 PARÁMETROS DE DISEÑO:

- Los detectores de humo deben activar el indicador de alarma y activar la señal de alarma sonora (Figura A-7.5.2 (9) NFPA)
- Los sistemas de fuego que estén aplicados en diferentes zonas deben identificar la zona de origen, (NFPA 72 / 1-5.7.1.2*), esto se puede visualizar en el panel de control.
- Los detectores de calor deben activar el indicador de alarma y activar la señal de alarma sonora (Figura A-7.5.2 (9) NFPA)
- Los motores diesel deben poseer válvulas de corte de combustible que deben activarse en caso de inflamación⁶.

⁶ El motor de arranque de las turbinas a gas de la Central Térmica Santa Rosa es un motor de marca Detroit Diesel del tipo 12V71. Estos motores poseen un módulo propio que regula el funcionamiento del motor por medio de sensores entre ellos sensores de alta temperatura, sobre velocidad, y corte automático en caso de falta

(NFPA 37 / 8-4.1)

- Los agentes con agentes secos deben activarse por un tiempo de veinte segundos o hasta que la temperatura descienda lo suficiente como para estar por debajo de la temperatura de auto ignición. (NFPA 37 / 10-4.4.1)
- El tiempo entre la alarma sonora y la activación de los actuadores no debe exceder veinte segundos. (NFPA 72 / 1-5.4.1.2*)
- Detectores de energía radiante son previstos para todos los compartimentos. (NFPA 850 / 6.5.2.1)
- La señal de alarma de predescarga, se debe prever con un retardador de tiempo para permitir la evacuación aún en las peores condiciones.
- Todas las válvulas que controlan la descarga y distribución del bióxido de carbono, se deben suministrar con un control manual de emergencia adicional al disparo automático. (NFPA 12)
- Se debe cerrar automáticamente la fuente de energía o de combustible, donde la operación continua de equipo asociado a un riesgo que se está protegiendo, pudiera contribuir a sostener el incendio.
- La locación y espacio de detectores de humo deben resultar de una evaluación en guías detalladas en este código y sobre una opinión mecánica. Algunas de las condiciones que son incluidas en la evaluación son las siguientes:
 - Apariencia y superficie del techo
 - Altura del techo
 - Configuración de contenidos en el área al ser protegida
 - Características de quemado de materiales combustibles presentes
 - Ventilación
 - Medio ambiente

de aceite.

(NFPA 72, 2-3.4.1.1)

- Turbinas de combustión deben tener detectores de llama en la sección de combustión para detectar fuego o una falla en la ignición durante el encendido. En el caso de llama el combustible debe ser rápidamente apagado. Si la ignición no se realiza en un tiempo correcto, el sistema de control deberá abortar el encendido y cerrar las válvulas.

(NFPA 850, 6-5.2.1*)

- Las temperaturas de calibración de los sensores son las mismas que las que están calibradas en el sistema original, estas temperaturas son las siguientes:

Tabla 4.1 Temperaturas de calibración de los sensores de temperatura

| COMPARTIMIENTO | TEMPERATURAS DE CALIBRACION DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA |
|-----------------------|---|
| ARRANQUE | 232 °C |
| CAMARA DE COMBUSTIÓN | 232 °C, 315 °C |
| CAJA REDUCTORA | 315 °C |

Fuente: Central Térmica Santa Rosa

Los detectores de humo, calor o energía radiante ubicados en todos los compartimentos al detectar cualquier señal de humo, calor o llama activan la alarma sonora, al activarse la alarma sonora y visible, el PLC manda una señal a una válvula para el corte automático de combustible de motor diesel y se activa un temporizador por veinte segundos hasta activar los sistemas de supresión por veinte segundos o hasta que se enfríen los materiales combustibles.

4.2 NORMATIVIDAD

El presente proyecto está elaborado en base a normas como la norma NFPA (Nacional Fire Protection Association) Esta norma nos da especificaciones, recomendaciones, métodos de evaluación, etc. con respecto a control, prevención y métodos de extinción de incendios. Se realizó la investigación de normas referentes a incendios en el INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización) pero la información no es actualizada y no hay temas específicos referentes al tema. Actualmente el Colegio de Ingenieros Mecánicos de Pichincha junto con ASME (Sociedad Americana de Ingeniería Mecánica) se encuentran en un proyecto para normalizar temas referentes a incendios. La norma NFPA es la mas avanzada referente a incendios y una de las mas utilizadas en el mundo.

4.2.1 NORMA NFPA

4.2.1.1 Antecedentes

El proceso que genera los Códigos y Normas de la NFPA comenzó en 1896 cuando un pequeño grupo de profesionales interesados se reunieron en Boston para discutir las inconsistencias en el diseño y la instalación de sistemas de rociadores contra incendio. En aquel momento solo existían nueve normas diferentes que versaban sobre el tamaño de los caños y la distancia entre rociador y rociador cuando estos hombres de negocios se dieron cuenta de que a menos de que estas discrepancias se resolvieran, la eficiencia y confianza depositada en estos sistemas de rociadores se vería comprometida.

Trabajando conjuntamente, este pequeño grupo creó una norma para la instalación uniforme de sistemas de rociadores que se transformó en la base para la NFPA 13, *Norma para la Instalación de Sistemas de*

Rociadores. El proceso generador de los Códigos y Normas de la NFPA había comenzado.

Por más de 100 años la NFPA ha desarrollado y modernizado sus Códigos y Normas vinculados a todas las áreas de la seguridad contra incendio. Esta organización posee miembros, es de carácter internacional y sin fines de lucro cuya misión es la de reducir el impacto que tienen los incendios en la calidad de vida mediante los Códigos y Normas consensuadas de base científica que genera, como así también su investigación y la educación para la prevención de incendios y otros temas vinculados. En tanto la NFPA se encuentra abocada a una extensa investigación para prevenir los incendios y genera numerosos programas y materiales educativos para prevenirlos, su eje central radica en el sistema generador de sus Códigos y Normas. Actualmente existen más de 300 Códigos y Normas contra incendio de la NFPA que se utilizan en todo el mundo.

4.2.1.2 Normas investigadas

Para la elaboración del proyecto se investigó la norma NFPA tomando énfasis en los siguientes temas:

➤ **NFPA 37**

Norma para la instalación y uso de turbinas a gas y motores de combustión estacionarios

Edición 1998

➤ **NFPA 850**

Recomendación práctica para protección de fuego para plantas de generación eléctrica y alto voltaje

Edición 2000

➤ NFPA 72

Código nacional de alarma de fuego

Edición 1999

➤ NFPA 69

Estandar Sobre Sistemas De Prevención De Explosión

1997 Edición

➤ NFPA 75

Estandar para la protección de equipos electrónicos

Edición 1999

➤ NFPA 12

Estándar sobre sistemas de dióxido de carbono

Edición 2000

4.3 SELECCIÓN DE ELEMENTOS DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS

Aunque cada tipo de sistema funciona con sus componentes específicos podemos generalizar afirmando que los elementos típicos y mínimos de una instalación de extinción automática son:

- Sistema de detección: constituido por iniciadores de incendio que captan y revelan la presencia del fuego,

pudiendo estar integrados en el equipo (rociadores) o formar parte del sistema ajeno de detección automática de incendios.

- Central de alarma: procesa las señales recibidas de los equipos detectores y actúa en función de parámetros programados: comunicar la alarma, activar el mecanismo de disparo (en ciertos equipos -rociadores- está vinculado al detector directamente y en otros también es posible hacerlo manualmente), conectar otros sistemas, etc.
- Dispositivos de descarga: son los elementos que deben proyectar el agente extintor sobre el espacio incendiado (rociadores, difusores, emisores,...).
- Depósito de almacenamiento del agente extintor: dependiendo de éste se pueden contener en recipientes de características, formas y tamaños muy variados.

La selección de elementos de detección y extinción contra incendios está basada en normas como la NFPA. Las principales normas tomadas en cuenta para la selección de sensores y actuadores son:

| | |
|----------|---|
| NFPA 37 | Norma para la Instalación y uso de Turbinas a Gas y Motores de Combustión Estacionarios |
| NFPA 850 | Recomendación Práctica para Protección de Fuego para Plantas de Generación Eléctrica y Alto Voltaje |
| NFPA 75 | Estandar para la protección de equipos electrónicos |
| NFPA 12 | Estándar de Extinción con Dióxido de Carbono |

4.3.1 SELECCIÓN DE SENSORES

Luego de analizar las normas NFPA antes señaladas se seleccionan los sensores para el sistema de detección y extinción de incendios de la Central Térmica Santa Rosa.

Se seleccionaron para la implementación sensores de temperatura (NFPA 72 / 1-5.6) que trabajan a diferentes rangos de temperatura según el funcionamiento de cada compartimento y sensores de energía radiante (NFPA 850 / 65-5.2.1) para todos los compartimentos.

Tabla 4.2 Selección de sensores

| COMPARTIMEN- TO | SENSOR DE TEMPERATURA | SENSOR DE ENERGÍA RA- DIANTE |
|----------------------------|----------------------------------|---|
| C. de Control | NFPA 72 / 1-5.6 | NFPA 850 / 65 - 5- 21 |
| C. de Arranque | NFPA 72 / 1-5.6 | NFPA 850 / 65 - 5- 21 |
| C. de Combustión | NFPA 72 / 1-5.6 | NFPA 850 / 65 - 5- 21 |
| C. de C. Reducto- ra | NFPA 72 / 1-5.6 | NFPA 850 / 65 - 5- 21 |
| C. Exitación | NFPA 72 / 1-5.6 | NFPA 850 / 65 - 5- 21 |

Fuente: Normas NFPA

4.3.1.1 Sensores de temperatura

4.3.1.1.1 Unidades de detección de fuego horizontales

Los detectores horizontales son diseñados para espacios donde la apariencia es un factor. Este atractivo, diseño funcional brinda protección física principalmente para comercio, industrias, edificios públicos y mercantiles, instituciones en locaciones no peligrosas. Pueden trabajar hasta temperaturas máximas de 325 °F.

HORIZONTAL DETECT-A-FIRE-UNITS

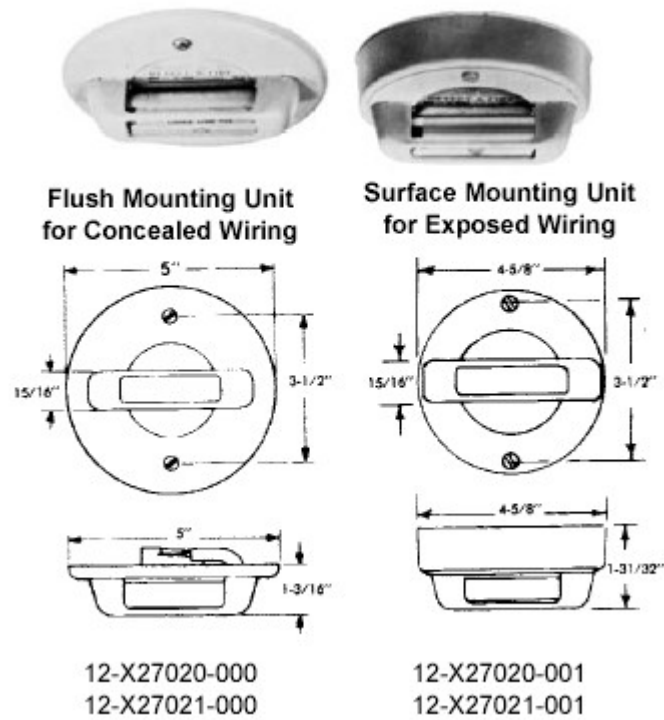


Figura 4.1 Sensores de fuego horizontales

4.3.1.1.2 Unidades de detección verticales

Detectores verticales son diseñados para ambos usos, espacios ordinarios y peligrosos.

VERTICAL DETECT-A-FIRE-UNITS
For Concealed and Exposed Wiring
(Hexagonal Head)

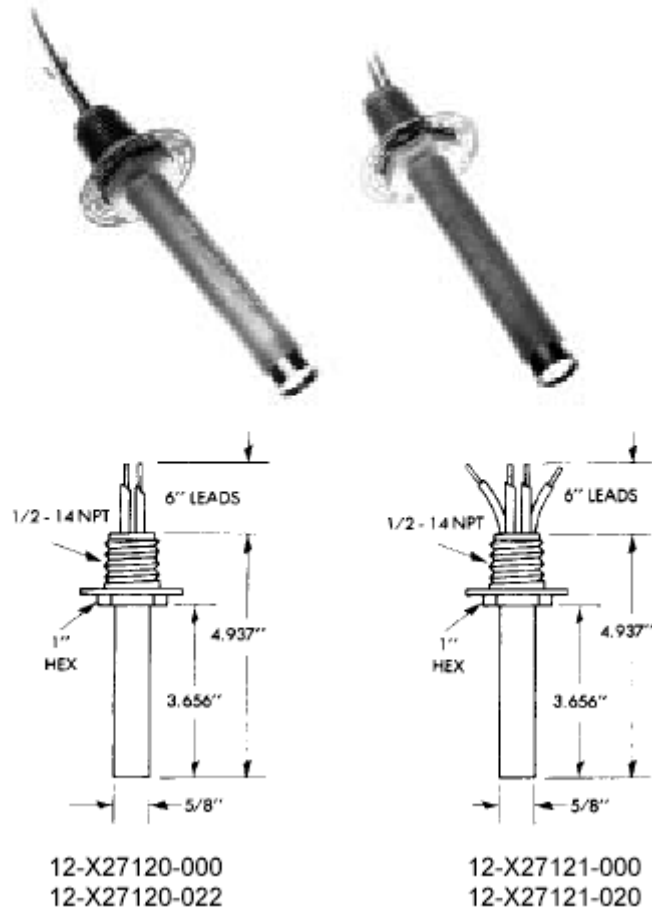


Figura 4.2 Sensores de fuego verticales

Los sensores de temperatura se seleccionan según la tabla 4.10 según el rango de temperatura para el que se va a utilizar. Pueden trabajar con temperaturas de 450 °F.

El número de sensores de temperatura se eligen según el área que cubren los sensores y el área que van a cubrir. Las especificaciones de este tipo de sensor nos indican una distancia entre sensores de 25 ft según los requerimientos de la FM⁷, para el caso de la turbinas a gas de la Central Térmica Santa Rosa se va tomar en cuenta el número de sensores del sistema original.

⁷ FM (Factory Mutual, requerimientos aprobados para locaciones peligrosas)

Tabla 4.3 Modelos y temperaturas de sensores

| MODELO | RANGO DE TEMPERATURA (°F) | | | | | | | | | |
|---------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 140 | 160 | 190 | 225 | 275 | 325 | 360 | 450 | 600 | 725 |
| 12-X27020-000 | X | | X | | | | | | | |
| 12-X27020-001 | X | | | | | | | | | |
| 12-X27021-000 | X | | X | | | | | | | |
| 12-X27021-001 | X | | X | | | | | | | |
| 12-X27120-000 | | X | X | X | | X | | | | |
| 12-X27121-000 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| 12-X28021-005 | | | | X | | | | X | | |

Fuente: www.fenwalcontrols.com

La distribución de los sensores de temperatura para los diferentes compartimentos queda de la siguiente manera:

Tabla 4.4 Selección de sensores de temperatura

| COMPARTIMEN-TO | SENSOR DE TEMPERATURA | | |
|----------------|--|-------------------|-----------|
| | TEMPERATURA DE CALIBRACION (°C) ⁸ | MODELO | CANTI-DAD |
| CONTROL | 87 | 12-X27021-000-190 | 2 |
| ARRANQUE | 163 | 12-X27121-000-325 | 2 |
| COMBUSTION | 232 | 12-X27121-000-450 | 2 |
| | 315 | 12-X27121-000-600 | 1 |
| CAJA REDUCTORA | 315 | 12-X27121-000-600 | 2 |
| EXITACION | 87 | 12-X27021-000-190 | 2 |

Fuente: www.fenwalcontrols.com

4.3.1.2 Sensores de energía radiante



Figura 4.3 Sensor de energía radiante

⁸ Las de temperatura de operación están basadas en el sistema original de las turbinas a gas de la Central Térmica Santa Rosa.

Marca Sharpeye
 Tipo de detector Infrarrojo individual (IR)

Aplicaciones

- Incendio de hidrocarburos
- Interiores

Ventajas

- Velocidad moderada
- Sensibilidad moderada
- No afectado por la radiación solar
- Bajo costo

Desventajas

- Sujeto a falsas alarmas en presencia de fuentes IR centellantes

Sensibilidad

Capaces de detectar incendios de 0,1 m² a una distancia de 15 m.⁹

Cono de visión 90°

Temperatura de operación -40 °C a 70 °C

Tabla 4.5 Sensores de energía radiante para las turbina a gas (CTSR)

| SENSORES DE ENERGIA RADIANTE | | |
|-------------------------------------|----------------|-----------------------|
| Compartimen- to | Tipo | Canti- dad |
| Control | Infra- rojo | 1 |
| Arranque | Infra- rojo | 1 |
| Combustión | Infra- rojo | 1 |
| C. Reductora | Infra- rojo | 1 |
| Excitación | Infra- rojo | 1 |

Fuente: www.spectrex-inc.com

⁹ Según la Ley del cuadrado inverso para una distancia de 2,5 m se pueden detectar incendios de hasta 1x10⁻⁴ m²

4.3.1.3 Otras entradas digitales

4.3.1.3.1 Estación manual

La estación manual son contactos que permiten activar el sistema contra incendios manualmente desde cualquiera de los compartimentos.

4.3.1.3.2 Estación de aborto

La estación de aborto permite detener el sistema en caso de emergencia o en alguna otra situación extrema.

4.3.1.3.3 Switch de descarga

Indican la baja presión en los cilindros, esta presión se puede observar en el panel de control.

4.3.2 SELECCIÓN DE ACTUADORES

Tabla 4.6
Selección de actuadores y sistemas de supresión

| AREA PROTEGIDA | DISPOSITIVO DE APAGADO AUTOMATICO | VÁLVULA DE CORTE DE COMBUSTIBLE | DIÓXIDO DE CARBONO |
|----------------------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------|
| Reservorio de aceite | | | NFPA 37 / 6-2.4 |
| Motor diesel | NFPA 37 / 8-3 | NFPA 37 / 8-3 | NFPA 12 / 1-5.2.1 |
| C. de Control | | | NFPA 75 / 6-4.2 |
| C. de Arranque | | | NFPA 12 / 1-5.2.1 |
| C. de Combustión | | | NFPA 12 / 1-5.2.1 |
| C. de C. Reductora | | | NFPA 12 / 1-5.2.1 |
| C. Excitación | | | NFPA 75 / 6-4.2 |

Fuente: Normas NFPA

4.3.2.1 Sistema de extinción a base de bióxido de carbono

Dióxido de carbono ha sido usado por algunos años para extinguir líquidos inflamables, fuegos de gases, fuegos que involucran equipos eléctricos energizados, y fuegos de materiales combustibles ordinarios. Este agente extinguirá el fuego efectivamente en la mayoría de materiales combustibles.

El gas de dióxido de carbono es un gas inerte incoloro, inodoro, eléctricamente no conductible que es un medio conveniente para extinguir incendios. El dióxido de carbono líquido forma hielo seco sólido cuando se desprende directamente dentro de la atmósfera. El Gas de Dióxido de Carbono es 1.5 veces más pesado que el aire. Dióxido de Carbono extingue el fuego por reducción de las concentraciones de oxígeno, la fase de vapor del combustible, o ambos en el aire al punto donde la combustión para. (NFPA 12, 1-5.1*)

4.3.2.1.1 Almacenamiento

El líquido de dióxido de carbono puede ser almacenado en cilindros de alta presión con temperatura de almacenamiento variando con la temperatura ambiente o en recipientes de baja presión diseñados para mantener un almacenamiento a temperaturas cerca de 0 °F.

El principal mecanismo por el cual el dióxido de carbono extingue el fuego es la reducción de oxígeno. El efecto refrigerante de dióxido de carbono es relativamente pequeño pero hace una contribución para la extinción del fuego, particularmente cuando el dióxido de carbono es aplicado directamente el material quemado.

4.3.2.1.2 Descarga extendida

La descarga extendida de CO₂ es usada cuando un área no es suficiente para retener la concentración de extinción por el tiempo necesario. La descarga extendida es normalmente de una cantidad reducida, seguida de una alta cantidad inicial usada para desarrollar la concentración de extinción en un razonable corto tiempo.

La descarga extendida es particularmente aplicable para equipos eléctricos rotativos, tales como generadores, donde es difícil prevenir hasta que pare la rotación. La descarga extendida puede ser aplicada para sistemas de inundación total, como sistemas de aplicación local donde se requiere un enfriamiento prolongado.

4.3.2.1.3 Tubería

El sistema de tubería, normalmente vacío, lleva el dióxido de carbono desde los cilindros de almacenamiento a los rociadores donde está el fuego. Desde la apropiada cantidad de flujo es un requerimiento crítico para la extinción de fuego, esto es importante que la tubería sea diseñada e instalada adecuadamente. Mínima presión en la tubería debe ser mantenida sobre el triple punto de presión de 75 psi. Si la presión de flujo de dióxido de carbono cae debajo del triple punto de presión, hielo seco se formara en la tubería y en los orificios de descarga de los rociadores, esto puede frenar el flujo de CO₂. NFPA 12 limita el diseño de presión de los rociadores a un mínimo de 300 psi para almacenamiento de alta presión y un mínimo de 150 psi para baja presión de almacenamiento.

4.3.2.1.4 Rociadores

Algunos tipos de rociadores son útiles para aplicaciones de extinción. La cantidad de descarga usada es basada sobre el alto del rociador

por encima del peligro o la superficie combustible. La máxima área de fuego que el rociador extinguirá esta basada en el alto sobre la superficie de peligro, usando la cantidad de flujo de diseño.

4.3.2.2 Diseño del sistema de CO₂

4.3.2.2.1 Concentración mínima de diseño CO₂

La concentración mínima de diseño de CO₂ se obtiene según tabla 6-20 A (FIRE Protection Handbook, 8^o Edition NFPA), tomando como referencia el tipo de combustible. Para las turbinas a gas se toma como referencia aceite lubricante porque es el combustible que se encuentra en mayor cantidad. La concentración mínima de diseño nos indica el porcentaje de CO₂ necesario en el ambiente para realizar la extinción. Según la tabla el valor de la concentración mínima de diseño el porcentaje es del 34%. Mayor información consultar (NFPA 12, 2-3.2.1)

4.3.2.2.2 Cálculo de la cantidad requerida de CO₂

Para el cálculo de cantidad requerida de CO₂ se toma en cuenta el factor de volumen dado en la NFPA 12.

Tabla 4.7 Factor de volumen

| Volumen del espacio (pies ³) | | Factor de volumen | | Cantidad calculada (lb) (No menor a) |
|---|-------|--|---------------------------------------|--|
| | | Pies ³ / lb CO ₂ | lb CO ₂ / pie ³ | |
| Hasta | 140 | 14 | 0.072 | |
| 141 | 500 | 15 | 0.067 | 10 |
| 501 | 1600 | 16 | 0.063 | 35 |
| 1601 | 4500 | 18 | 0.056 | 100 |
| 4501 | 50000 | 20 | 0.050 | 250 |
| Arriba | 50000 | 22 | 0.046 | 2500 |

Fuente: NFPA 12, Tabla 2-3.3

Para los compartimentos de las unidades de generación tenemos:

Tabla 4.8 CANTIDADES DE CO2 NECESARIAS

| Compartimiento | Volumen (ft ³) | Factor de volumen (lb CO ₂ / ft ³) | Cantidad requerida de CO ₂ (lb) |
|----------------|----------------------------|---|--|
| Control | 1059.44 | 0,063 | 66,74 |
| Arranque | 1324.30 | 0,063 | 83,43 |
| Combustión | 1324.30 | 0,063 | 83,43 |
| Caja reductora | 1191.87 | 0,063 | 75,08 |
| Excitación | 1324.30 | 0,063 | 83,43 |

Fuente: NFPA 12, Tabla 2-3.3

Elaboración: Autor

La efectiva cantidad de flujo diseñada debe continuar por un mínimo de 30 seg.

4.3.2.2.3 Número de rociadores

El número de rociadores se elije según la figura 4.10 que indica el área máxima de cobertura de cada rociador según su altura.

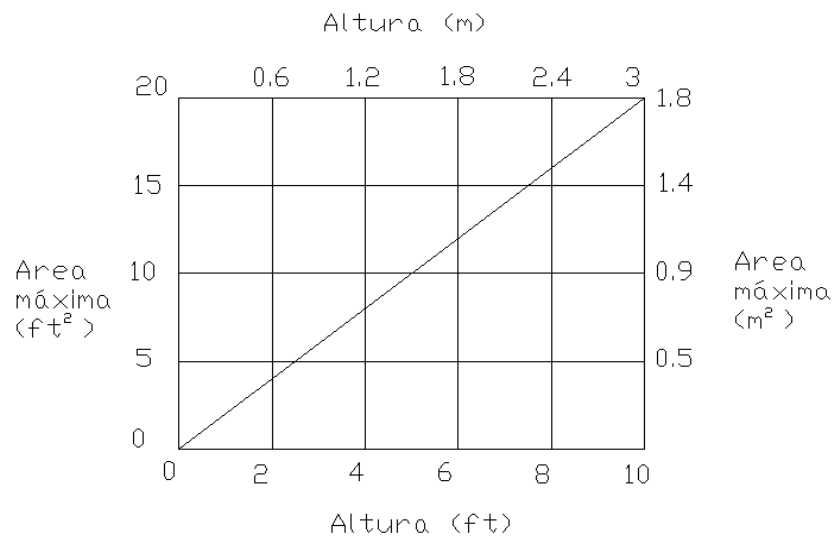


Figura 4.4

Curva típica de rociadores de dióxido de carbono mostrando el área máxima vs. Altura sobre el peligro.

Para una altura de los compartimentos de 2,5 m (8,2 ft) tenemos un área máxima de 1,5 m². (16,14 ft²).

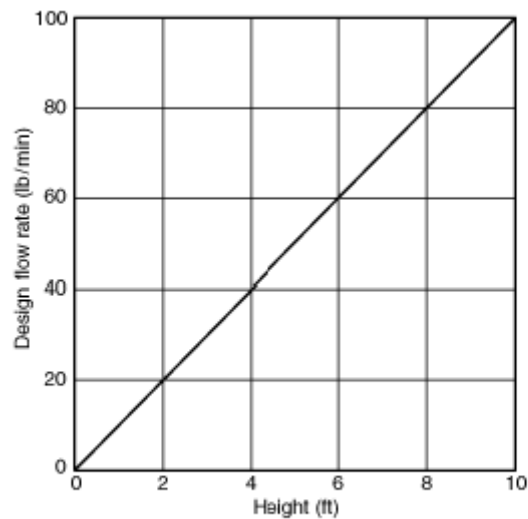
Tabla 4.9 Número de rociadores por compartimento

| COMPARTIMEN- TO | AREA | | NUMERO DE ROCIADORES |
|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------------|
| | (m ²) | (ft ²) | |
| Control | 12 | 129,16 | 8 |
| Arranque | 15 | 161,45 | 10 |
| Combustión | 15 | 161,45 | 10 |
| C. Reductora | 13,5 | 145,31 | 10 |
| Excitación | 15 | 161,45 | 10 |

Fuente: Elaboración Autor

4.3.2.2.4 Flujo requerido

El flujo se elije según la figura según la altura desde la superficie.



For SI units, 1 ft = 0.305 m; 1 lb/min = 0.454 kg/min.

**Figura 4.5
Flujo de diseño Vs altura**

Para una altura de 2,5 m (8,2 ft) tenemos un flujo de 82 lb/ min.

4.3.2.2.5 Diámetro de tubería

Según la Norma NFPA 12, 1-10.1* en sistemas que usan sistemas de alta presión¹⁰ se debe usar tubería de ¾ pulg. o mayor son permitidos al ser cédula 40. La tubería que es 1 pulg. Hasta 4 pulg. Debe ser de cédula mínima 80.

Se selecciona tubería de ¾ pulg. Cédula 40.

4.3.2.2.6 Cálculo de pérdidas de presión

Para el cálculo de pérdidas de presión primeramente encontramos la longitud equivalente para los diferentes puntos donde se encuentran ubicados los rociadores.

La longitud equivalente es igual a la longitud de la tubería mas la longitud equivalente de accesorios como válvulas codos 90° y codos en T.

Tabla 4.10 Pérdidas para accesorios de tubería

| Diámetro de tubería (pulg.) | Codo Std. de 45° | Codo Std. de 90° | Codo de 90° radio largo y flujo a través de una tee | Tee lateral | Válvula de compuerta |
|-----------------------------|------------------|------------------|---|-------------|----------------------|
| 3/8 | 0.2 | 0.7 | 0.5 | 1.6 | 0.3 |
| ½ | 0.3 | 0.8 | 0.7 | 2.1 | 0.4 |
| ¾ | 0.4 | 1.1 | 0.9 | 2.8 | 0.5 |
| 1 | 0.5 | 1.4 | 1.1 | 3.5 | 0.6 |
| 1 ¼ | 0.7 | 1.8 | 1.5 | 4.6 | 0.8 |
| 1 ½ | 0.8 | 2.1 | 1.7 | 5.4 | 0.9 |
| 2 | 1.0 | 2.8 | 2.2 | 6.9 | 1.2 |
| 2 ½ | 1.2 | 3.3 | 2.7 | 8.2 | 1.4 |
| 3 | 3.8 | 4.1 | 3.3 | 10.2 | 1.8 |
| 4 | 2.0 | 5.4 | 4.4 | 13.4 | 2.4 |
| 5 | 2.5 | 6.7 | 5.5 | 16.8 | 3.0 |
| 6 | 3.0 | 8.1 | 6.6 | 20.2 | 3.5 |

Fuente: NFPA 12

¹⁰ Alta presión indica que el dióxido de carbono es almacenado en contenedores de presión a temperatura ambiente. A 21 °C, la presión para este tipo de almacenamiento es 300 psi (2068 KPa).

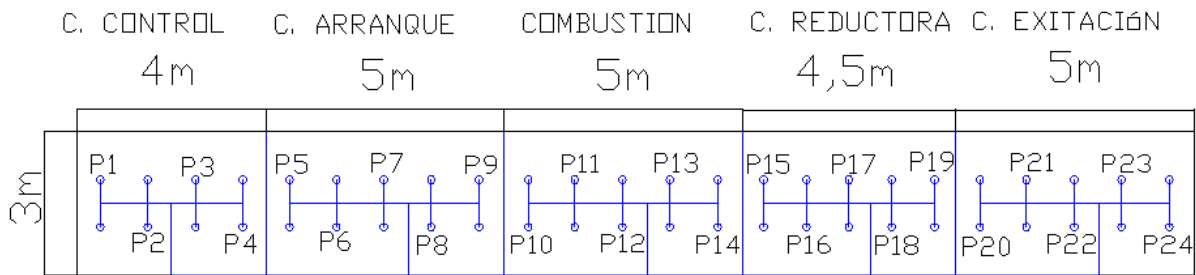


Figura 4.6 Sistema de rociadores

La longitud equivalente para los diferentes puntos es:

Tabla 4.11

Longitud equivalente para los diferentes puntos del sistema de rociadores

| Punto No | Longitud de tubería (m) | Longitud de tubería (ft) | No. codo 90 | No. T lateral | No. Válvulas | Longitud equivalente total (ft) |
|----------|---------------------------|--------------------------|-------------|---------------|--------------|---------------------------------|
| 1 | 6 | 19,68 | 3 | 6 | 4 | 55,28 |
| 2 | 5 | 16,40 | 3 | 5 | 4 | 47,5 |
| 3 | 5 | 16,40 | 3 | 5 | 4 | 47,5 |
| 4 | 6 | 19,68 | 3 | 6 | 4 | 55,28 |
| 5 | 12 | 39,36 | 2 | 8 | 4 | 81,76 |
| 6 | 11 | 36,08 | 2 | 7 | 4 | 73,98 |
| 7 | 10 | 32,80 | 2 | 6 | 4 | 66,2 |
| 8 | 10 | 32,80 | 2 | 6 | 4 | 66,2 |
| 9 | 11 | 36,08 | 2 | 7 | 4 | 73,98 |
| 10 | 17 | 55,76 | 2 | 9 | 4 | 102,66 |
| 11 | 16 | 52,48 | 2 | 8 | 4 | 94,88 |
| 12 | 15 | 49,20 | 2 | 7 | 4 | 87,1 |
| 13 | 15 | 49,20 | 2 | 7 | 4 | 87,1 |
| 14 | 16 | 52,48 | 2 | 8 | 4 | 94,88 |
| 15 | 21,45 | 70,36 | 2 | 10 | 4 | 121,756 |
| 16 | 20,55 | 67,40 | 2 | 9 | 4 | 114,304 |
| 17 | 16,65 | 54,61 | 2 | 8 | 4 | 97,012 |
| 18 | 16,55 | 54,28 | 2 | 8 | 4 | 96,684 |
| 19 | 20,55 | 67,40 | 2 | 9 | 4 | 114,304 |
| 20 | 26,5 | 86,92 | 3 | 10 | 4 | 140,52 |
| 21 | 25,5 | 83,64 | 3 | 9 | 4 | 132,74 |
| 22 | 24,5 | 80,36 | 3 | 8 | 4 | 124,96 |
| 23 | 24,5 | 80,36 | 3 | 8 | 4 | 124,96 |
| 24 | 25,5 | 83,64 | 3 | 9 | 4 | 132,74 |

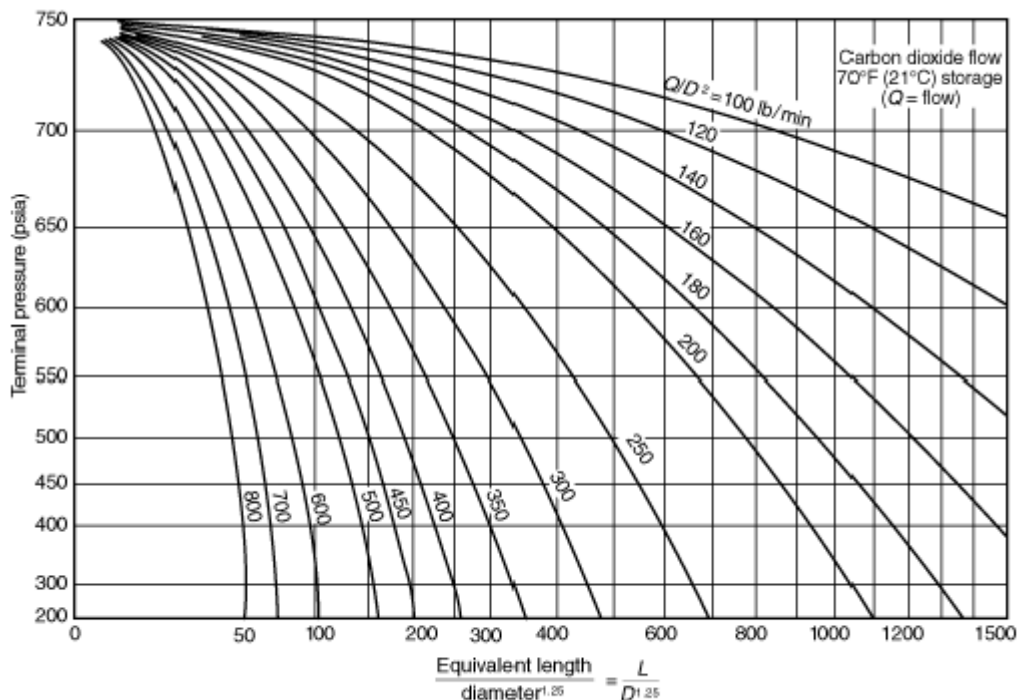
Fuente: Elaboración autor

Con la longitud equivalente, el flujo y el diámetro de la tubería obtenemos los valores:

$$a = \frac{Q}{D^2} \quad \text{Ec (4.1)} \quad \text{y}$$

$$b = \frac{L \cdot eq}{D^{1.25}} \quad \text{Ec (4.2)}$$

Con los valores de a y b, podemos ver el punto de corte entre las dos líneas y podemos obtener la presión final en los diferentes puntos.



For SI units, 1 psia = 6.89 kPa; 1 lb/min = 0.454 kg/min.

Figura 4.7
Pérdidas de presión en tubería de alta presión de almacenamiento

Tabla 4.12 Cálculos de presión en tubería

| Punto No | Longitud equivalente (ft) | Q / D ² (lb / min*D ²) | L. eq / D ^{1.25} (ft * D ^{1.25}) | Presión final (Psi) |
|----------|-----------------------------|---|---|---------------------|
| 1 | 55,28 | 145,78 | 79,20 | 740 |
| 2 | 47,5 | 145,78 | 68,06 | 745 |
| 3 | 47,5 | 145,78 | 68,06 | 745 |
| 4 | 55,28 | 145,78 | 79,20 | 740 |

| | | | | |
|----|---------|--------|--------|-------|
| 5 | 81,76 | 145,78 | 117,14 | 735 |
| 6 | 73,98 | 145,78 | 106,00 | 737 |
| 7 | 66,2 | 145,78 | 94,85 | 738 |
| 8 | 66,2 | 145,78 | 94,85 | 738 |
| 9 | 73,98 | 145,78 | 106,00 | 737 |
| 10 | 102,66 | 145,78 | 147,09 | 730 |
| 11 | 94,88 | 145,78 | 135,94 | 732 |
| 12 | 87,1 | 145,78 | 124,79 | 734 |
| 13 | 87,1 | 145,78 | 124,79 | 734 |
| 14 | 94,88 | 145,78 | 135,94 | 732 |
| 15 | 121,756 | 145,78 | 174,45 | 728 |
| 16 | 114,304 | 145,78 | 163,77 | 729 |
| 17 | 97,012 | 145,78 | 138,99 | 731 |
| 18 | 96,684 | 145,78 | 138,52 | 731 |
| 19 | 114,304 | 145,78 | 163,77 | 729 |
| 20 | 140,52 | 145,78 | 201,33 | 726 |
| 21 | 132,74 | 145,78 | 190,18 | 727 |
| 22 | 124,96 | 145,78 | 179,04 | 727,5 |
| 23 | 124,96 | 145,78 | 179,04 | 727,5 |
| 24 | 132,74 | 145,78 | 190,18 | 727 |

Fuente: Figura A-1-10.5(b) NFPA 12

4.3.2.2.7 Cálculo del valor de descarga

El valor de descarga se obtiene según la presión del orificio para cada punto.

Tabla 4.13 Valores de descarga

| Presión del orificio | | Valor de descarga | |
|----------------------|------|--------------------------------|------------------------------|
| Psia | Kpa | lb / min *pulg ² | kg / min* mm ² |
| 750 | 5171 | 4630 | 3.258 |
| 725 | 4999 | 3845 | 2.706 |
| 700 | 4826 | 3415 | 2.403 |
| 675 | 4654 | 3090 | 2.174 |
| 650 | 4481 | 2835 | 1.995 |
| 625 | 4309 | 2615 | 1.840 |
| 600 | 4137 | 2425 | 1.706 |
| 575 | 3964 | 2260 | 1.590 |
| 550 | 3792 | 2115 | 1.488 |
| 525 | 3620 | 1985 | 1.397 |
| 500 | 3447 | 1860 | 1.309 |
| 475 | 3275 | 1740 | 1.224 |
| 450 | 3103 | 1620 | 1.140 |
| 425 | 2930 | 1510 | 1.063 |
| 400 | 2758 | 1400 | 0.985 |
| 375 | 2586 | 1290 | 0.908 |
| 350 | 2413 | 1180 | 0.830 |

| | | | |
|-----|------|------|-------|
| 325 | 2241 | 1080 | 0.760 |
| 300 | 2068 | 980 | 0.690 |

Fuente: NFPA 1-10.4.4*

Los valores de descarga para los diferentes puntos son:

Tabla 4.14 Valores de descarga para la C.T.S.R.

| Punto No | Presión final (Psi) | Descarga (lb / min*pulg²) |
|-----------------|----------------------------|--|
| 1 | 740 | 4316 |
| 2 | 745 | 4473 |
| 3 | 745 | 4473 |
| 4 | 740 | 4316 |
| 5 | 735 | 4159 |
| 6 | 737 | 4222 |
| 7 | 738 | 4253 |
| 8 | 738 | 4253 |
| 9 | 737 | 4222 |
| 10 | 730 | 4002 |
| 11 | 732 | 4065 |
| 12 | 734 | 4128 |
| 13 | 734 | 4128 |
| 14 | 732 | 4065 |
| 15 | 728 | 3939 |
| 16 | 729 | 3971 |
| 17 | 731 | 4033 |
| 18 | 731 | 4033 |
| 19 | 729 | 3971 |
| 20 | 726 | 4999 |
| 21 | 727 | 3876 |
| 22 | 727,5 | 3924 |
| 23 | 727,5 | 3924 |

Fuente: NFPA 1-10.4.4*

Elaboración autor

4.3.2.2.8 Cálculo del área del orificio

El área del orificio se obtiene dividiendo el flujo para el factor de descarga.

Para los diferentes puntos tenemos:

Tabla 4.15 Valores de áreas de orificios

| Punto No | Descarga (lb / min*pulg²) | Área del orificio (pulg²) |
|-----------------|--|--|
| 1 | 4316 | 0,019 |
| 2 | 4473 | 0,018 |
| 3 | 4473 | 0,018 |
| 4 | 4316 | 0,019 |
| 5 | 4159 | 0,020 |
| 6 | 4222 | 0,019 |
| 7 | 4253 | 0,019 |
| 8 | 4253 | 0,019 |
| 9 | 4222 | 0,019 |
| 10 | 4002 | 0,020 |
| 11 | 4065 | 0,020 |
| 12 | 4128 | 0,020 |
| 13 | 4128 | 0,020 |
| 14 | 4065 | 0,020 |
| 15 | 3939 | 0,021 |
| 16 | 3971 | 0,021 |
| 17 | 4033 | 0,020 |
| 18 | 4033 | 0,020 |
| 19 | 3971 | 0,021 |
| 20 | 4999 | 0,016 |
| 21 | 3876 | 0,021 |
| 22 | 3924 | 0,021 |
| 23 | 3924 | 0,021 |
| 24 | 3908 | 0,021 |

Fuente: Elaboración autor

4.3.2.2.9Tiempo mínimo de descarga

Tomando en cuenta el flujo de todo el sistema de 82 lb/min y el número de rociadores para cada compartimento se calcula el tiempo mínimo necesario para llegar a la cantidad requerida en cada compartimento. El tiempo mínimo necesario para cada compartimento es:

Tabla 4.16**Tiempo mínimo de extinción para los diferentes compartimentos de la C.T.S.R.**

| COMPARTIMENTO | CANTIDAD REQUERIDA DE CO2 (lb) | No. DE ROCIADORES | TIEMPO MÍNIMO DE EXTINCIÓN (seg) |
|---------------|--------------------------------|-------------------|----------------------------------|
| Control | 66,74 | 8 | 6,10 |
| Arranque | 83,43 | 10 | 6,10 |
| Combustión | 83,43 | 10 | 6,10 |
| C. Reductora | 75,08 | 10 | 5,49 |
| Excitación | 83,43 | 10 | 6,10 |

Fuente: Elaboración autor

Con cilindros de CO2 de 100 lb se alcanza el siguiente tiempo de extinción para cada compartimento:

Tabla 4.17 Tiempo mínimo de extinción por compartimento

| COMPARTIMENTO | Tiempo de extinción por cilindro (seg) |
|---------------|--|
| Control | 9,15 |
| Arranque | 7,32 |
| Combustión | 7,32 |
| C. Reductora | 7,32 |
| Excitación | 7,32 |

Fuente: Elaboración autor

Se comprueba que con un cilindro se alcanza la cantidad mínima necesaria pero se colocan dos cilindros por compartimento para un tiempo mayor de extinción.

4.3.2.3 Otras salidas digitales**4.3.2.3.1 Válvulas selenoides**

Son las encargadas de activar la descarga inicial y la extendida. También encontramos válvulas selenoides que sirven para direccional el flujo hacia las zonas de descarga.

4.3.2.3.2 Campanas de alarma

Estan encargadas de anunciar la activación del sistema de supresión. Las campanas de alarma estan ubicadas en cada compartimento.

4.3.2.3.3 Luz estroboscópica

Esta luz también tiene la función de anunciar la activación del sistema de supresión para proteger al personal.

4.3.3 SELECCIÓN DE PLC

Para la selección del PLC se toman en cuenta el número de entradas y salidas que se requieren.

Tabla 4.18 Entradas digitales

| SIMBOLO | DESCRIP- CION |
|---|---------------------------|
| DT1 DT2 DT3 DT4 DT5 DT6 DT7 DT8 DT9 DT10 | Detectores temperatura |
| EM1 EM2 EM3 EM4 EM5 | Estación manual |
| EA1 EA2 EA3 EA4 EA5 | Estación de aborto |
| PSZ1 PSZ2 PSZ3 | Swith de descarga |

| | |
|---------------------------------|----------------------|
| PSZ4 PSZ5 | |
| IR1 IR2 IR3 IR4 IR5 | Sensores de llama |

Fuente: Elaboración autor

Tabla 4.19 Salidas digitales

| SIMBO- LO | DESCRIP- CION |
|---|---|
| S1 SE1 S2 SE2 S3 SE3 S4 SE4 S5 SE5 | Válvula selenoide |
| I1 I2 I3 I4 I5 | Campana de alarma |
| ST1 ST2 ST3 ST4 ST5 | Luz estroboscópi- ca |
| SUT | Tablero |
| SCC1 SCC2 | Válvulas de corte |
| SF1 SF2 SF3 SF4 SF5 | Válvulas para direc- ción de flujo |

Fuente: Elaboración autor

Entradas digitales 30

Salidas digitales 28

Según el número de entradas y salidas digitales se elige el PLC que cumpla con los requerimientos.



Figura 4.8
Controlador lógico programable koyo (dl06)

**El controlador lógico programable (PLC)
combina fijadas entradas (I) y salidas (O)**

De 20 entradas y 16 salidas con cuatro opciones para cuatro cartas para expansión (discretas, análogas, módulos de comunicación), todos en el mismo conjunto. Con el PLC DL06, se puede usar el mismo panel del PLC para todas las aplicaciones desde 36 a 100 I/O. Este potente micro PLC es ideal para manejar una variedad de procesos de control industriales.

El DL06 CPU ofrece compatibilidad PID, alta velocidad, y un set de instrucciones muy similar al DL205D2-260 CPU. Algunas potentes instrucciones son incluidas. Todos los PLC DL06 tiene dos puertos que pueden ser usados para programación, interfase con el operador, red, etc. Uno de los puertos es un puerto multifunción capaz de mantener comunicación con RS232C, RS422, o RS485.

4.3.3.1 Características:

- 14.8 KB de memoria total
- 229 instrucciones, incluidos 8 PID
- Dos puertos de comunicación, incluyendo compatibilidad RS232 / 422 / 485
- Alta velocidad integrada de entradas y pulsos de salida
- Entradas de termocuplas y RTD
- Construido en tiempo real reloj / calendario
- LCD genera un panel opcional para monitoreo, alarma o mantenimiento.

4.3.3.2 Características del hardware

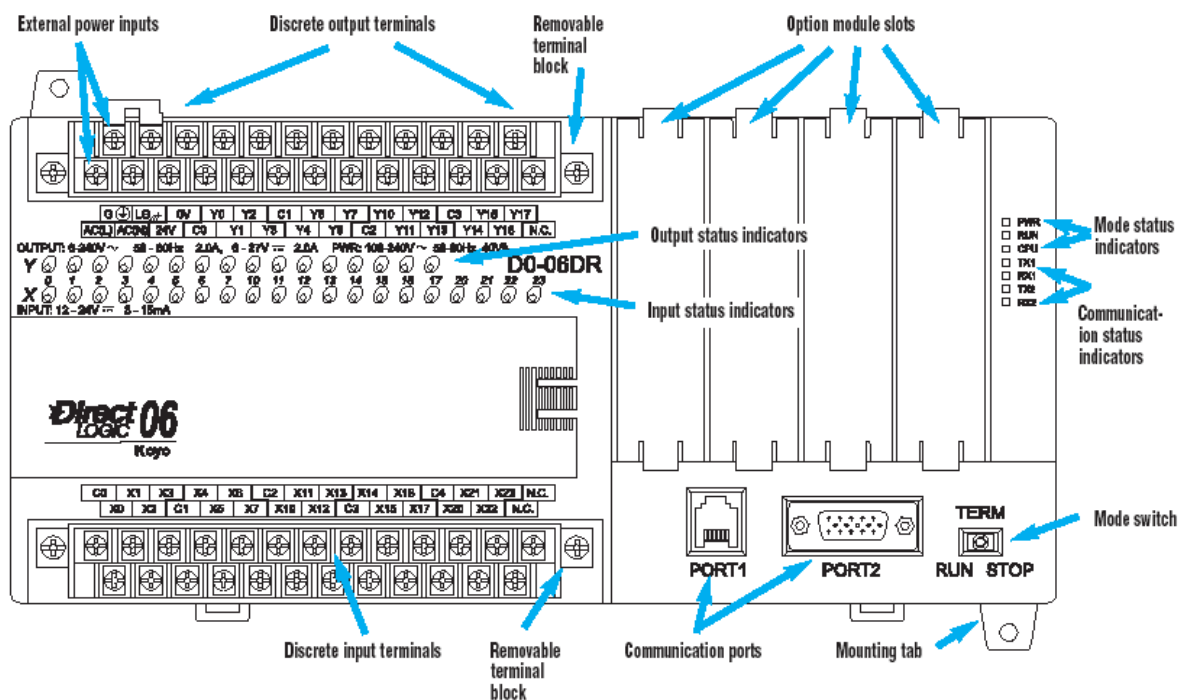
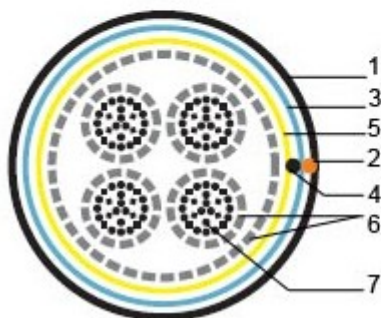


Figura 4.9 Características PLC Koyo

Fuente: www.automationdirect.com

4.3.4 SELECCIÓN DE CABLEADO



- 1 - Revestimiento exterior
- 2 - Rip cord
- 3 - Pantalla de aluminio
- 4 - Alambre de drenaje
- 5 - Membrana protectora
- 6 - Cinta polimérica
- 7 - Par trenzado solid

Figura 4.10 Cable FTP

4.3.4.1 Descripción

Cable de cobre apantallado, 100 pares, aislamiento — polietileno, forro — PVC. En conformidad con el estándar EIA/TIA 568-A para cables de la categoría 3.

4.3.4.2 Características técnicas

- El material conductor consiste en un alambre de cobre electrolítico estañado blando. El diámetro del conductor (hilo) es de 0.5 mm.
- La prolongación relativa del conductor es de un mínimo de 14%.
- Los hilos están aislados con un forro de polietileno resistente. El diámetro exterior del conductor aislado es de 0.9 mm.
- Los conductores están enrollados en pares. Paso máximo del trenzado 150 mm.
- Los pares trenzados están divididos en 4 haces de 25 pares cada uno.
- Los haces están separados entre sí con una cinta fina de plástico de color:
 - 1° haz - con cinta de color rojo,
 - 2° haz - de color verde,

- 3° haz - de color azul,
- 4° haz - de color marrón.
- El núcleo del cable está cubierto con una cinta de polipropileno espumado.
- Pantalla de cinta de aluminio, tendida a lo largo del núcleo del cable, o bien enrollada en forma espiral con superposición de 25% o 5 mm. Por la parte exterior, la pantalla tiene una cobertura de plástico.
- Alambre de drenaje estañado de 0.5 mm de diámetro.
- Rip-cord trenzado, carga de ruptura del rip-cord 10 kg.
- Forro de PVC de color gris, resistente al influjo de rayos ultravioleta. Grosor del forro 1.5 mm.
- Diámetro exterior del cable de 22 mm. aproximadamente.
- Peso del cable 570 kg/km.
- Temperatura de funcionamiento: a partir de -10°C hasta +50°C.
- Cable en conformidad con el estándar de seguridad contra incendios IEC 332-1.



Figura 4.11 Cable FTP

4.3.4.3 Características eléctricas

Resistencia máxima en corriente
continua en temperatura de 20°C
9,38 Ohms/100 m

Desequilibrio de resistencia 3%

Capacidad de desequilibrio del par en
relación con tierra en frecuencia de 1 kHz 330
pF/100m

Resistencia en frecuencia de 1-16 MHz 85-115
Ohms

| | |
|--|------------|
| Pérdidas de retorno mínimas en frecuencia de hasta 10 MHz | 12 dB |
| en frecuencia de 16 MHz | 10 dB |
| Atenuación máxima en temperatura de 20°C en frecuencia de 772 kHz dB/100 m | 2,2 |
| en frecuencia de 1 MHz m | 2,6 dB/100 |
| en frecuencia de 4 MHz m | 5,6 dB/100 |
| en frecuencia de 8 MHz m | 8,5 dB/100 |
| en frecuencia de 10 MHz dB/100 m | 9,7 |
| en frecuencia de 16 MHz dB/100 m | 13,1 |
| Pérdidas mínimas NEXT entre los pares en frecuencia de 772 kHz | 43 dB |
| en frecuencia de 1 MHz | 41 dB |
| en frecuencia de 4 MHz | 32 dB |
| en frecuencia de 8 MHz | 27 dB |
| en frecuencia de 10 MHz | 26 dB |
| en frecuencia de 16 MHz | 23 dB |
| Velocidad de propagación relativa mínima en frecuencia de 10 MHz | 0,585 |

4.4 DESARROLLO DEL SOFTWARE

Para el desarrollo del software primeramente se asignan las entradas y salidas digitales a los puertos del PLC.

Tabla 4.20
Direccionamiento i/o plc koyo dl06
Entradas digitales

| TERMI- NAL PLC | SIMBO- LO | DESCRIP- CION |
|--|---|--------------------------------------|
| X0 X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7 X10 X11 | DT1 DT2 DT3 DT4 DT5 DT6 DT7 DT8 DT9 DT10 | Detectores temperatura |
| X12 X13 X14 X15 X16 | EM1 EM2 EM3 EM4 EM5 | Estación manual |
| X17 X20 X21 X22 X23 | EA1 EA2 EA3 EA4 EA5 | Estación de aborto |
| X100 X101 X102 X103 X104 | PSZ1 PSZ2 PSZ3 PSZ4 PSZ5 | Swith de aviso de baja presión |
| X105 X106 X107 X110 X111 | IR1 IR2 IR3 IR4 IR5 | Sensores de llama |

Fuente: Elaboración autor

Tabla 4.21
Direccionamiento i/o plc koyo dl06
Salidas digitales

| TERMI- NAL | SIMBO- LO | DESCRIP- CION |
|-----------------------|----------------------|--------------------------------------|
| Y0 | S1 | Válvula selenoide |
| Y1 | SE1 | |
| Y2 | S2 | |
| Y3 | SE2 | |
| Y4 | S3 | |
| Y5 | SE3 | |
| Y6 | S4 | |
| Y7 | SE4 | |
| Y10 | S5 | |
| Y11 | SE5 | |
| Y12 | I1 | |
| Y13 | I2 | |
| Y14 | I3 | |
| Y15 | I4 | |
| Y16 | I5 | |
| Y17 | ST1 | Luz estroboscópi- ca |
| Y100 | ST2 | |
| Y101 | ST3 | |
| Y102 | ST4 | |
| Y103 | ST5 | |
| Y104 | SUT | Tablero |
| Y105 | SCC1 | Válvulas de corte |
| Y106 | SCC2 | |
| Y107 | SF1 | Válvulas de dirección de flujo |
| Y110 | SF2 | |
| Y111 | SF3 | |
| Y200 | SF4 | |
| Y201 | SF5 | |

Fuente: Elaboración autor

Tabla 4.22
Memorias internas

| SIMBO- LO | DESCRIPCION |
|----------------------|---|
| C0 | Bandera Z1 |
| C1 | Bandera Z2 |
| C2 | Bandera Z3 |
| C3 | Bandera Z4 |
| C4 | Bandera Z5 |
| T0 | Timer espera de extinción Z1 |
| T1 | Timer espera de extinción extendi- da Z1 |
| T2 | Timer espera de extinción Z2 |
| T3 | Timer espera de extinción extendi- da Z2 |

| | |
|-------|---|
| T4 | Timer espera de extinción Z3 |
| T5 | Timer espera de extinción extendida Z3 |
| T6 | Timer espera de extinción Z4 |
| T7 | Timer espera de extinción extendida Z4 |
| T8 | Timer espera de extinción Z5 |
| T9 | Timer espera de extinción extendida Z5 |
| V2000 | Tiempo espera extinción |
| V2001 | Tiempo de espera de extinción extendida |

Fuente: Elaboración autor

VER PLANO 3 (Diagrama de detección, extinción y alarma del sistema a implementarse)

4.4.1 CENTRAL DE INCENDIOS

Lógica Ladder. VER PLANO 4

4.4.2 ARQUITECTURA DE CONTROL

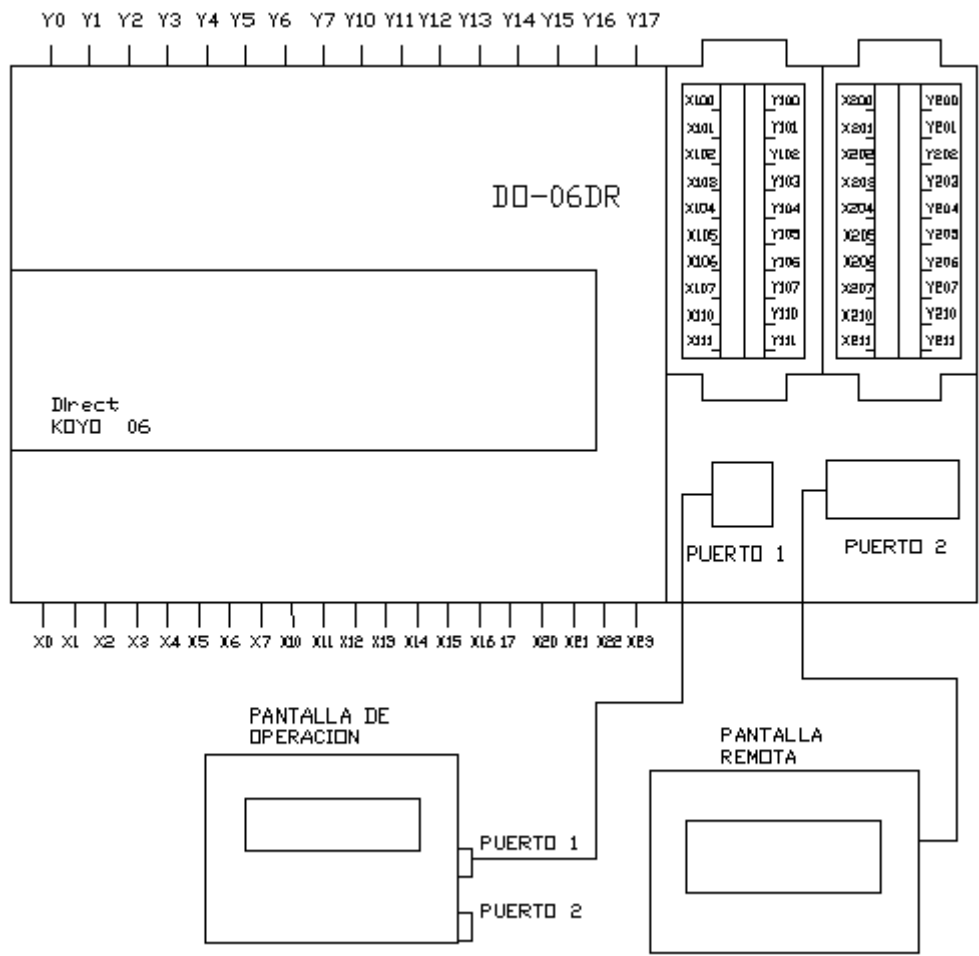


Figura 4.12 Arquitectura de control

4.5 LOCALIZACION DE ELEMENTOS DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS

4.5.1 COMPARTIMENTO DE CONTROL.

4.5.1.1 UBICACIÓN DE SENSORES Y ALARMAS

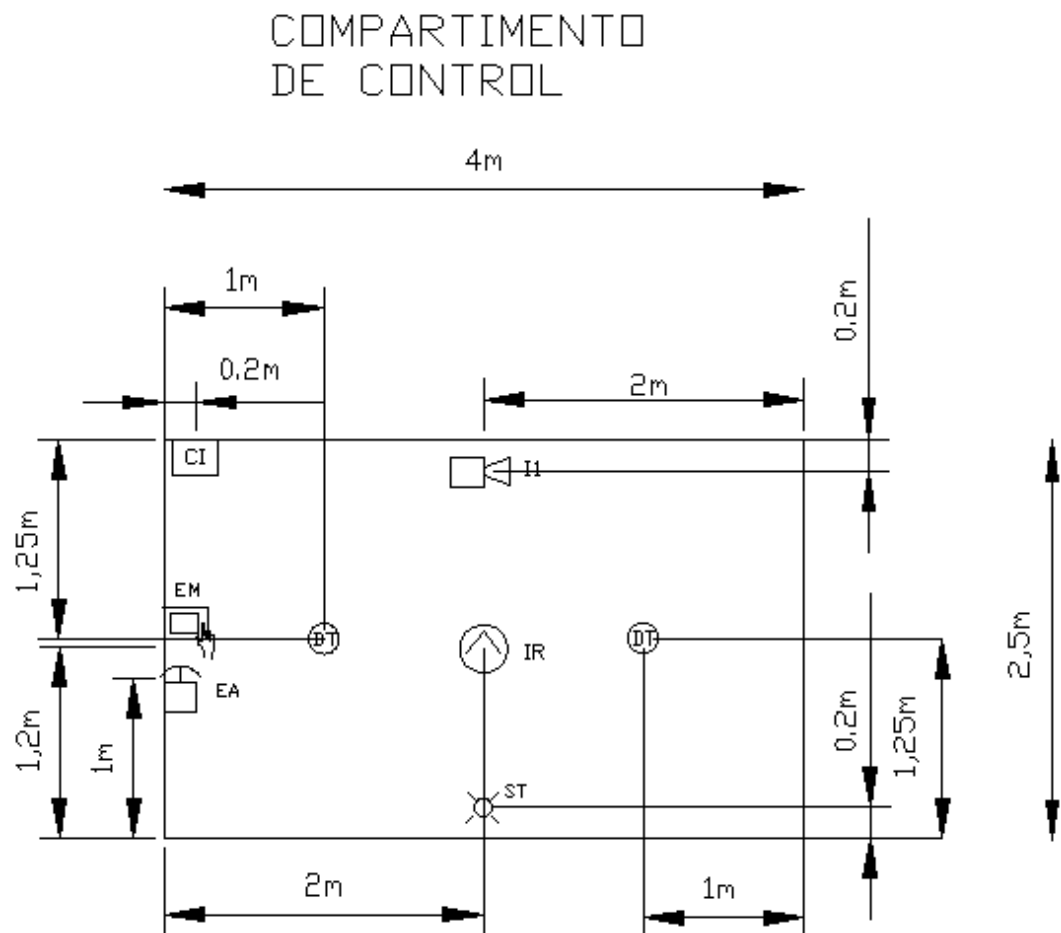









Figura 4.13 Compartimento de control

Tabla 4.23 Simbología

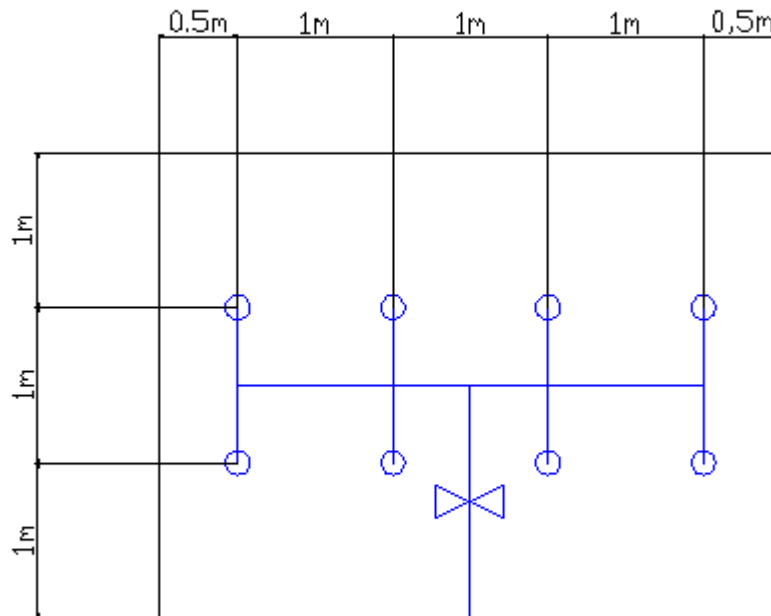
| SIMBOLOGIA | DESCRIPCION |
|--|-------------------------|
|  CI | CENTRAL DE INCENDIOS |
|  DT | SENSOR DE TEMPERATURA |
|  EM | ESTACION MANUAL |
|  EA | ESTACION DE ABORTO |
|  II | CAMPANA DE ALARMA |
|  ST | LUZ ELECTROSCOPICA |
|  IR | SENSOR ENERGIA RADIANTE |

SIMBOLOGIA SEGUN NORMA NFPA 170

Fuente: Normas NFPA

4.5.1.2 UBICACIÓN DE BOQUILLAS ROCIADORAS Y TUBERÍA

C. CONTROL



 VALVULA
SELENOIDE

Figura 4.14 Compartimento de control

4.5.2 COMPARTIMENTO DE ARRANQUE.

4.5.2.1 UBICACIÓN DE SENSORES Y ALARMAS

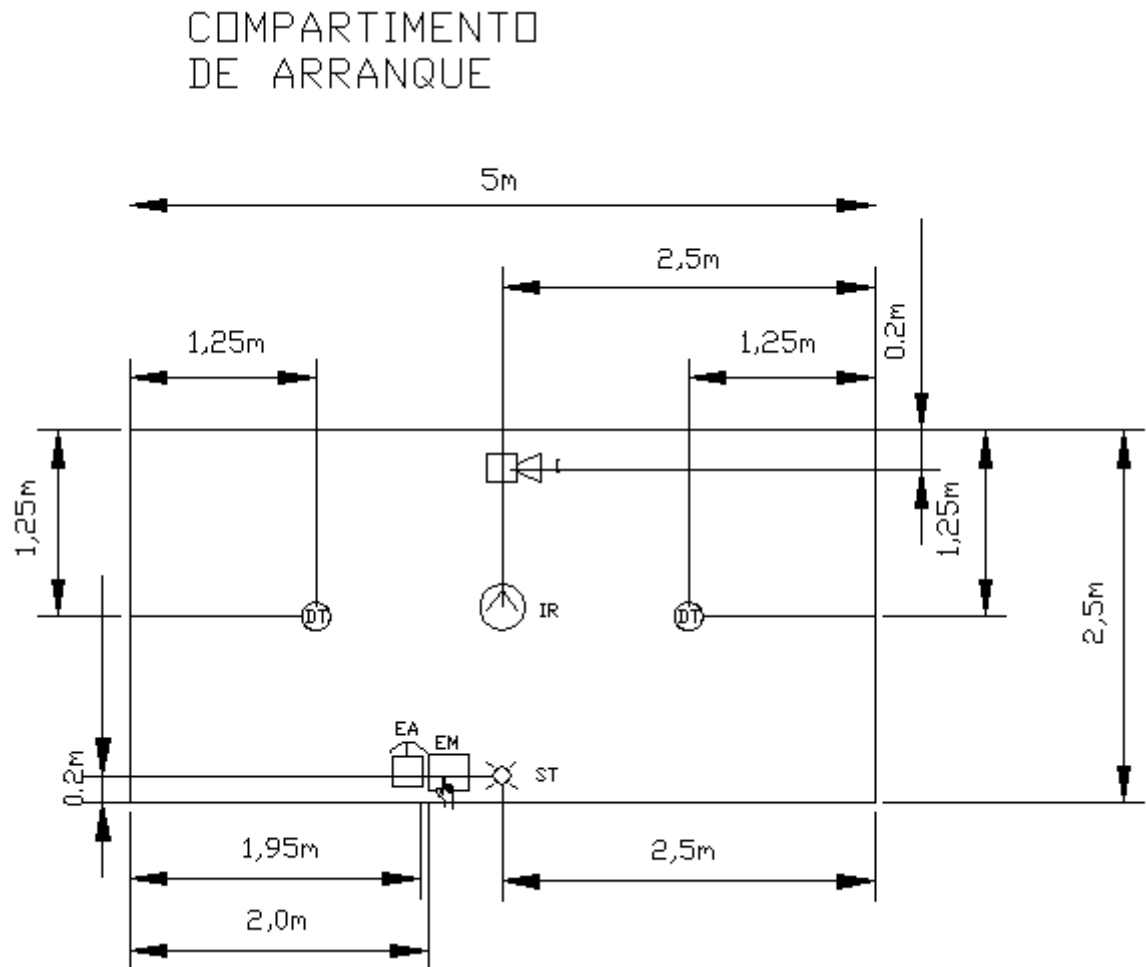


Figura 4.15 Compartimento de arranque

4.5.2.2 UBICACIÓN DE BOQUILLAS ROCIADORAS Y TUBERÍA

C. ARRANQUE

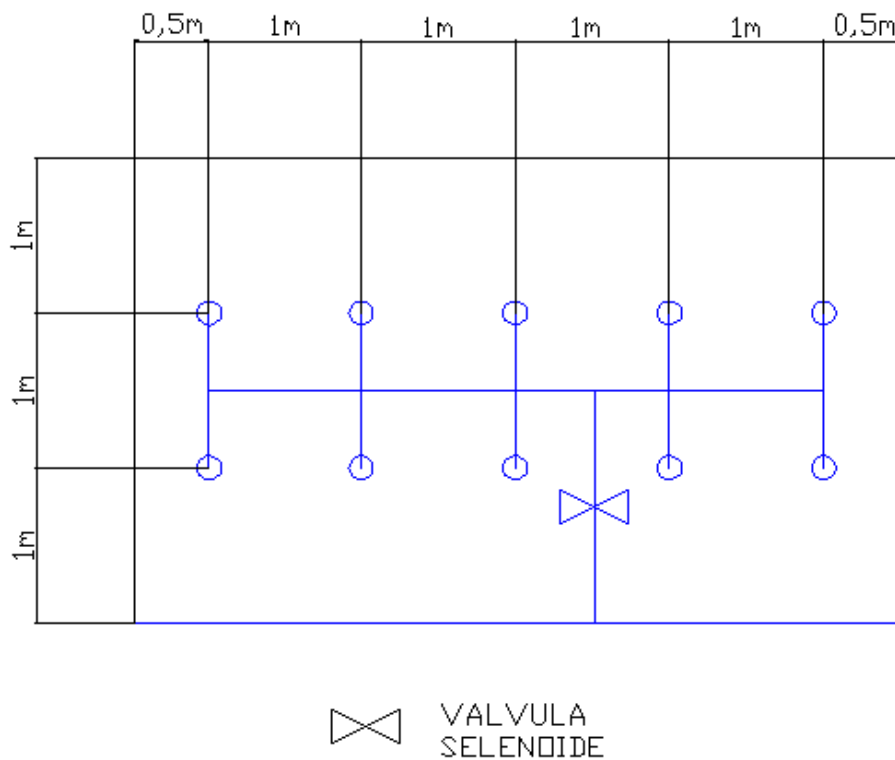


Figura 4.16 Compartimento de arranque

4.5.3 COMPARTIMENTO DE CÁMARA DE COMBUSTIÓN.

4.5.3.1 UBICACIÓN DE SENSORES Y ALARMAS

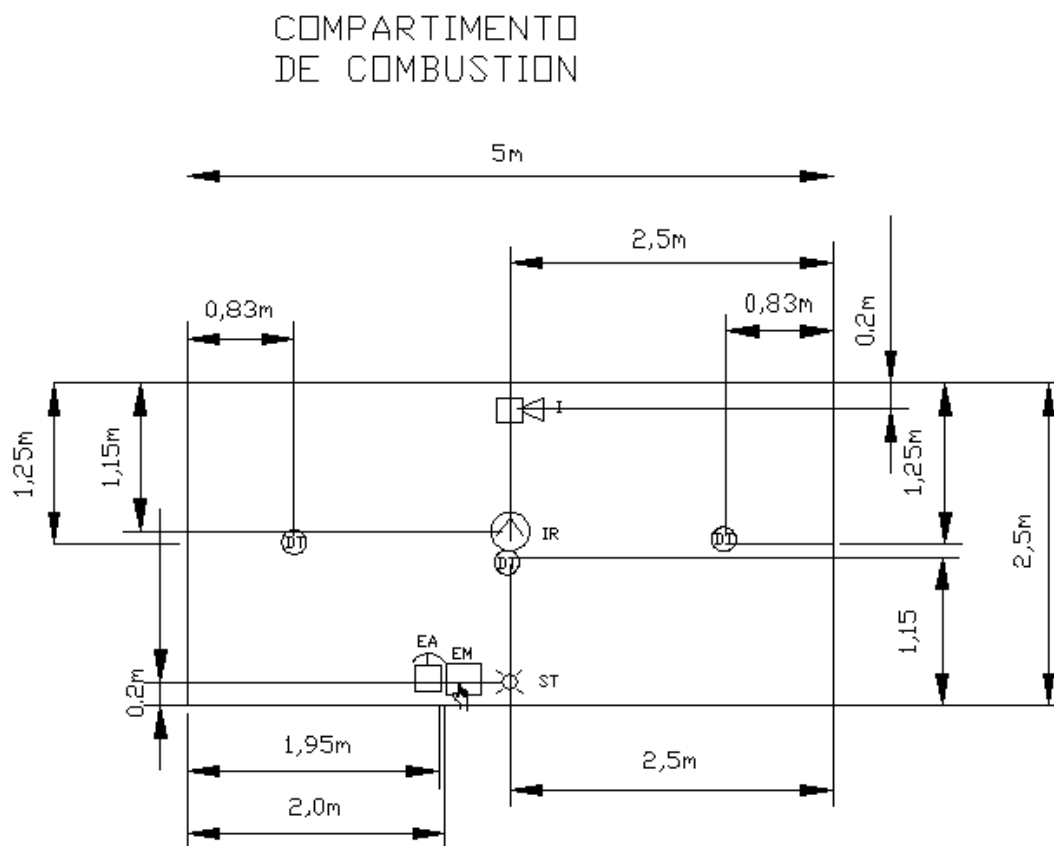


Figura 4.17 Compartimento de combustión

4.5.3.2 UBICACIÓN DE BOQUILLAS ROCIADORAS Y TUBERÍA

COMBUSTION

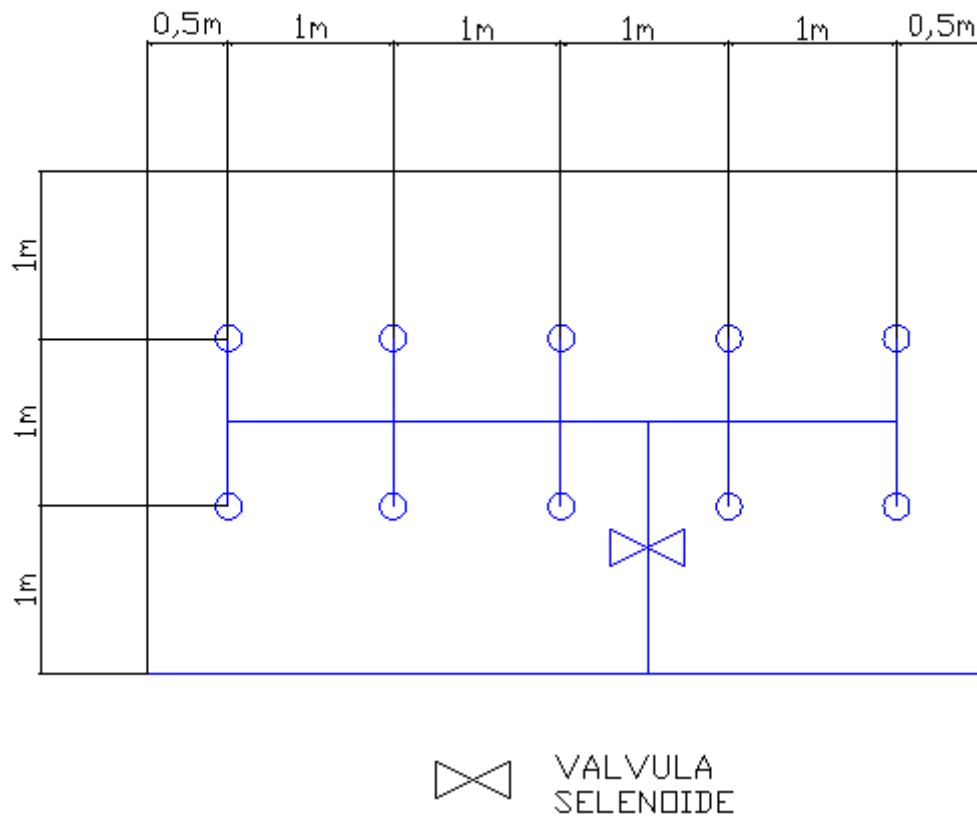


Figura 4.18 Compartimento de combustión

4.5.4 COMPARTIMENTO DE CAJA REDUCTORA.

4.5.4.1 UBICACIÓN DE SENSORES Y ALARMAS

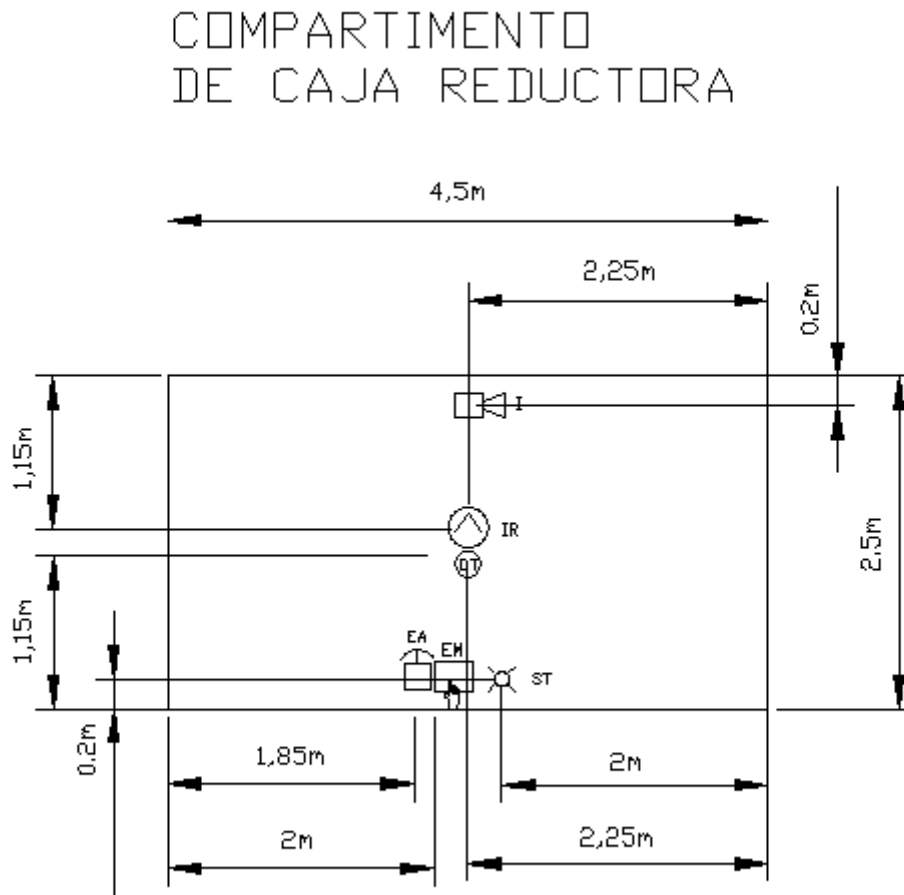


Figura 4.19 Compartimento de caja reductora

4.5.4.2 UBICACIÓN DE BOQUILLAS ROCIADORAS Y TUBERÍA

C. REDUCTORA

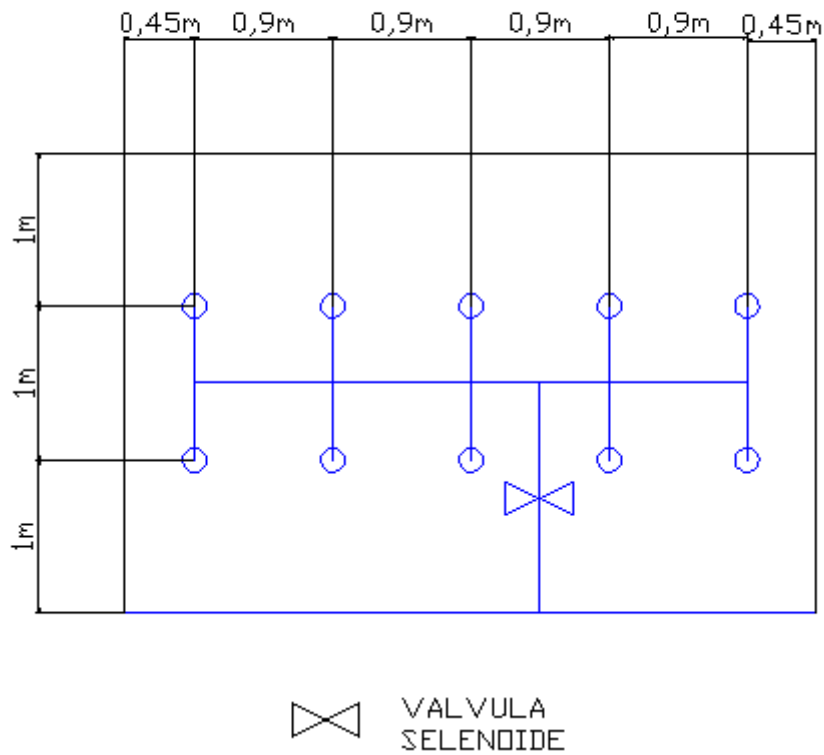


Figura 4.20 Compartimento de caja reductora

4.5.5 COMPARTIMENTO DE EXCITACIÓN.

4.5.5.1 UBICACIÓN DE SENSORES Y ALARMAS

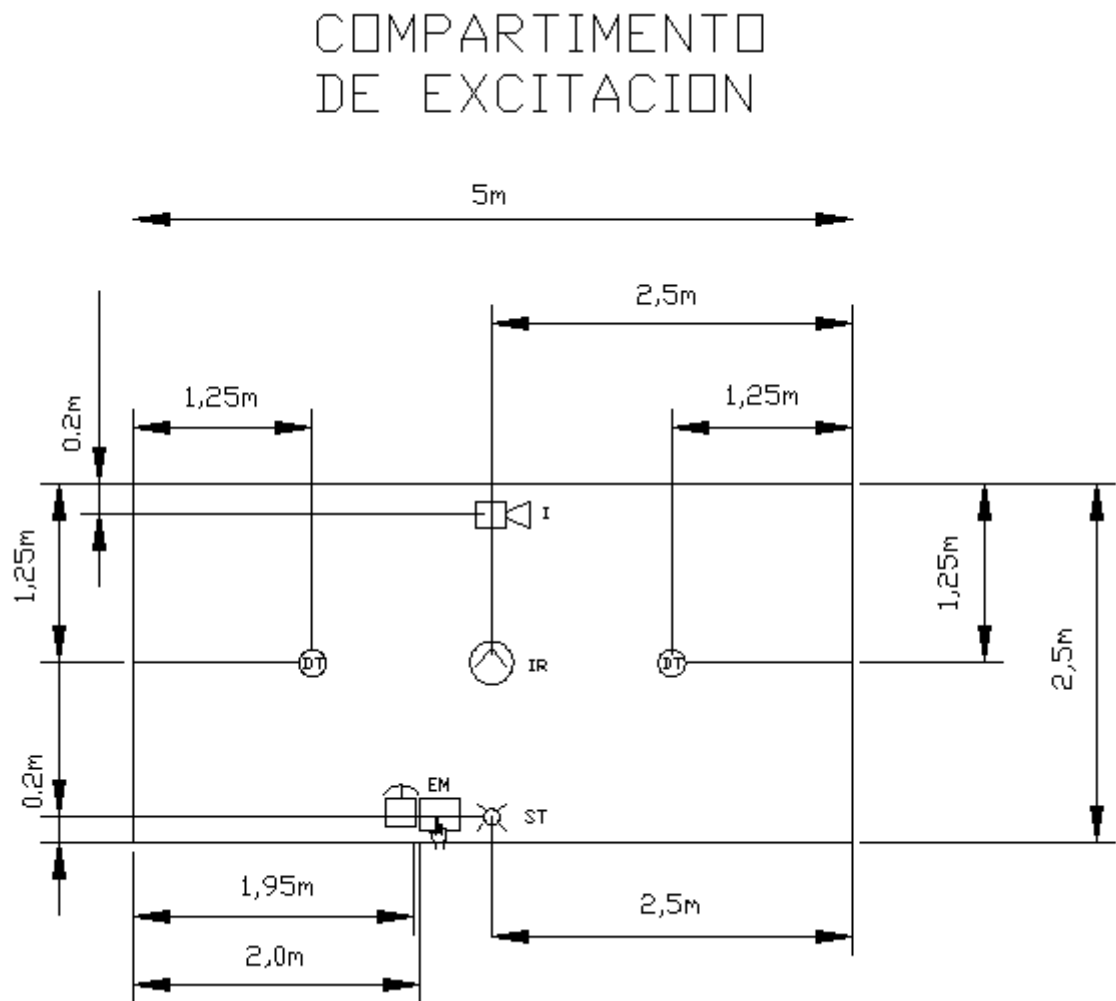


Figura 4.21 Compartimento de excitación

4.5.5.2 UBICACIÓN DE BOQUILLAS ROCIADORAS Y TUBERÍA

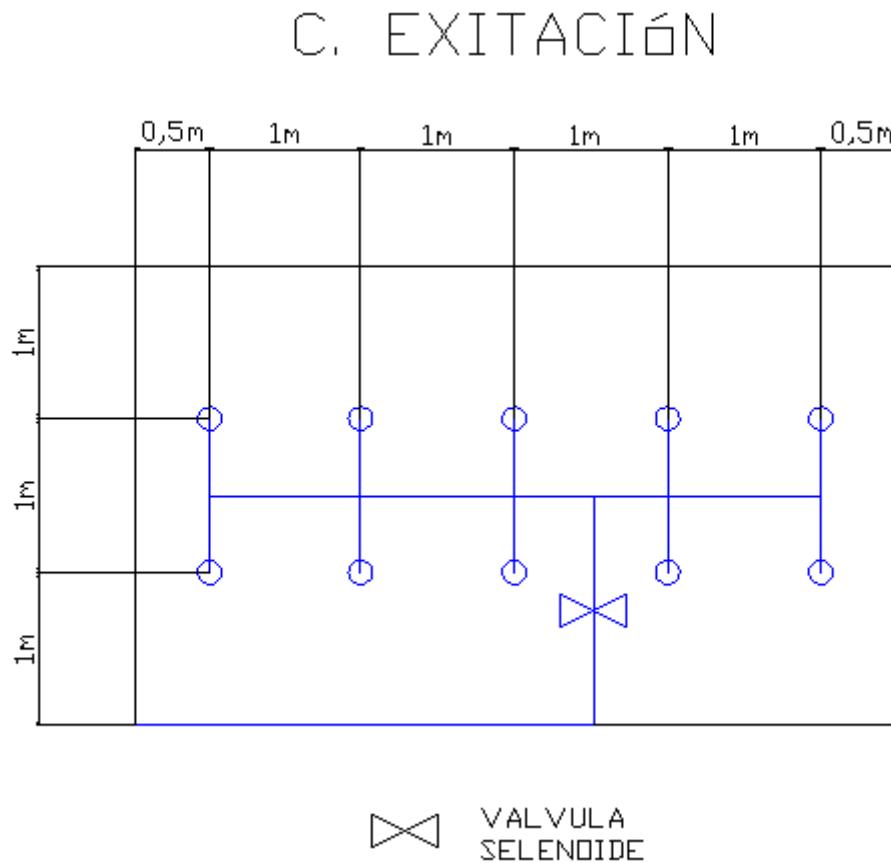


Figura 4.22 Compartimento de excitación

4.6 PLANOS ELÉCTRICOS

(Ver plano 5)

CAPÍTULO 5

EVALUACIÓN ECONÓMICA – FINANCIERA

5.1 EVALUACIÓN ECONÓMICA

5.1.1 INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN

5.1.1.1 Misceláneos

Tabla 5.1

| | |
|--------------------------------|------------|
| Materiales | 10 |
| Utiles de oficina | 20 |
| Combustibles y lubricantes | 30 |
| Uso de vehículo | 20 |
| Repuestos y suministros | 15 |
| Uso de computador | 50 |
| Uso de internet | 50 |
| Servicios básicos | 20 |
| Otros gastos de funcionamiento | 20 |
| SUB TOTAL 1 | 235 |

5.1.2 COSTOS DIRECTOS

5.1.2.1 Honorarios Profesionales

Tabla 5.2

| Cantidad | Posición | Horas - H | Valor H - H | Valor Total |
|------------------|------------------------------------|-----------|-------------|-------------|
| 1 | Director del proyecto | 30 | 20 | 600 |
| 1 | Coodirector del proyecto | 25 | 20 | 500 |
| 1 | Jefe de Central Térmica Santa Rosa | 10 | 20 | 200 |
| TOTAL 2.1 | | | | 1300 |

5.1.2.2 Remuneración a no profesionales

Tabla 5.3

| Cantidad | Posición | Horas - H | Valor H - H | Valor Total |
|------------------|----------|-----------|-------------|-------------|
| 1 | Operario | 6 | 5 | 30 |
| TOTAL 2.2 | | | | 30 |

5.1.2.3 Remuneración a estudiantes

Tabla 5.4

| Cantidad | Posición | Horas - H | Valor H - H | Valor Total |
|-----------|---------------------|-----------|-------------|-------------|
| 1 | Egresado de | 200 | 7 | 1400 |
| | Ingeniería Mecánica | | | |
| TOTAL 2.3 | | | | 1400 |

5.1.2.4 Adquisición de materiales y equipos

Tabla 5.5

| Cantidad | Descripción | Costo unitario | Costo total |
|-----------|----------------|----------------|-------------|
| 3 | Catálogos NFPA | 50 | 150 |
| 1 | Normas INEN | 10 | 10 |
| TOTAL 2.4 | | | 160 |

5.1.2.5 Otros costos directos

Tabla 5.6

| Cantidad | Descripción | Costo total |
|-----------|--|-------------|
| | Adquisición de software, libros y revistas | 150 |
| | Otros directamente imputables al proyecto | 50 |
| TOTAL 2.5 | | 200 |

| | | |
|-------------|--|------|
| SUB TOTAL 2 | | 3090 |
|-------------|--|------|

5.1.3 IMPREVISTOS

Tabla 5.7

| | |
|-----------------------|----|
| 3. IMPREVISTOS | 50 |
|-----------------------|----|

5.1.4 TOTAL

Tabla 5.8

| | |
|-------------------------|------|
| 4. TOTAL GENERAL | 3375 |
|-------------------------|------|

5.2 EVALUACIÓN FINANCIERA

5.2.1 COSTO DEL SCI

Tabla 5.9

| ITEM | DESCRIPCION | CANTI-DAD | COSTO UNI-TARIO | COSTO TO-TAL |
|--------------|--------------------------------|-----------|-----------------|--------------|
| 1 | PLC Koyo | 1 | 440 | 440 |
| 2 | Módulo PLC 10D IN | 2 | 120 | 240 |
| 3 | Módulo PLC 10D OUT | 2 | 120 | 240 |
| 4 | Batería PLC | 1 | 25 | 25 |
| 5 | Pantalla 5" | 1 | 850 | 850 |
| 6 | Cable PLC pantalla | 1 | 25 | 25 |
| 7 | Rele 1 polo mas base | 28 | 12 | 336 |
| 8 | Borne de 2 pisos | 58 | 2,5 | 145 |
| 9 | Batería 12V | 2 | 22 | 44 |
| 10 | Breaker 2 polos | 1 | 25 | 25 |
| 11 | Tablero y accesorios | 1 | 300 | 300 |
| 12 | Ingeniería programación | 1 | 600 | 600 |
| 13 | Sensor de temperatura Fenwal | 10 | 422 | 4220 |
| 14 | Sensores de llama | 5 | 500 | 2500 |
| 15 | Campana de alarma 24V | 5 | 120 | 600 |
| 16 | Luz estroboscópica | 5 | 150 | 750 |
| 17 | Estación manual | 5 | 80 | 400 |
| 18 | Estación de aborto | 5 | 80 | 400 |
| 19 | Válvula selenoide 2/2 | 15 | 150 | 2250 |
| 20 | Válvula manual 2/2 | 5 | 90 | 450 |
| 21 | Válvulas de corte de combusti- | | | |
| 22 | ble | 2 | 120 | 240 |
| 23 | Cilindros de CO2 (100 lb) | 12 | 300 | 3600 |
| 24 | Boquillas rociadoras | 48 | 120 | 5760 |
| 25 | Tubería CO2 | 100 | 10 | 1000 |
| 26 | Cable FTP | 800 | 1,5 | 1200 |
| | Montaje eléctrico | 1 | 1200 | 1200 |
| 27 | Montaje mecánico | 1 | 1500 | 1500 |
| TOTAL | | | | 29340 |

5.2.2 PROYECCIÓN DE FLUJO DE CAJA ESTIMADO

Tabla 5.10

| | |
|-----------------------|---------|
| COSTO SCI | 29340 |
| COSTO TURBINA | 5000000 |
| TASA DESCUENTO | 5,00% |

| AÑOS | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| AHORROS | | 200000 0 | 200000 0 | 200000 0 | 200000 0 | 200000 0 | 200000 0 | 200000 0 | 200000 0 | 200000 0 | 200000 0 |
| ACTIVO FIJO MANTENIMIENTO | 502934 0 | | | | | | | | | | |
| COSTO OPERACION | | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 |
| FLUJO NETO | -502934 0 | 198000 0 | 198000 0 | 198000 0 | 198000 0 | 198000 0 | 198000 0 | 198000 0 | 198000 0 | 198000 0 | 198000 0 |

| FACTOR (1,05)ⁿ | 1,00 | 1,05 | 1,10 | 1,16 | 1,22 | 1,28 | 1,34 | | | |
|----------------------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|--|--|
| FLUJO NETO DESCONTADO | -5029340, 00 | 1885714, 29 | 1795918,3 7 | 1710398, 45 | 1628950, 90 | 1551381, 81 | 1477506, 49 | | | |
| VAN | 10259695 ,16 | | | | | | | | | |

CAPÍTULO 6

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS

6.1 ESPECIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES

Tabla 6.1 Lista de actividades

| ACTIVIDAD GLOBAL | ACTIVIDADES ESPECIFICAS |
|--|--|
| 1. Establecimiento de la organización Encargada de la ejecución del proyecto | 1.1 Convocatoria a concurso de merecimientos 1.2 Entrevista 1.3 Selección del personal 1.4 Fijación de responsabilidades |
| 2. Elección de la tecnología | 2.1 Visita a fabricantes de equipos 2.2 Estudios y decisión final |
| 3. Estudios técnicos detallados de equipos y obras de ingeniería civil | 3.1 Estudio de normas 3.2 Estudio de sensores y actuadores 3.3 Estudio del software 3.4 Estudio de planos eléctricos y cableado 3.5 Estudio de planos de localización de elementos |
| 4. Preparación de licitaciones | 4.1 Licitación de equipos 4.2 Licitación de montaje eléctrico 4.3 Licitación de montaje mecánico |
| 5. Evaluación de propuestas y adjudicación de contratos | 5.1 Contrato de equipos 5.2 Contrato para montaje eléctrico 5.3 Contrato para montaje mecánico |
| 6. Financiación del proyecto | 6.1 Gestiones con entidades bancarias 6.2 Gestiones con directivos del proyecto |
| 7. Supervisión | 7.1 Supervisión en montaje eléctrico 7.2 Supervisión en montaje mecánico |
| 8. Establecimiento de la organización encargada de la operación del proyecto | 8.1 Entrevista y selección del personal 8.2 Capacitación del personal |
| 9. Arreglos sobre suministros | 9.1 Suministros de equipos 9.2 Suministros de materia prima |
| 10. Comercialización previa a la realización | 10.1 Gestión con empresas demandantes 10.2 Gestión con distribuidores |
| 11. Aprobaciones requeridas | 11.1 Aprobación de fuentes de financiación |

Fuente: Proyectos: Formulación, evaluación y control, Germán Arboleda Ve

6.2 MATRIZ DE SECUENCIAS

Tabla 6.2

| ACTIVIDADES INMEDIATAS PROCEDENTES | ACTIVIDADES INMEDIATAS SIGUIENTES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|--|
| | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 2.1 | 2.2 | 3.1 | 3.2 | 3.3 | 3.4 | 3.5 | 4.1 | 4.2 | 4.3 | 5.1 | 5.2 | 5.3 | 6.1 | 6.2 | 7.1 | 7.2 | 8.1 | 8.2 | 9.1 | 9.2 | 1.0.1 | 1.0.2 | 1.1.1 | |
| 1.1 | | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.2 | | | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.3 | | | | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.4 | | | | | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.1 | | | | | | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.2 | | | | | | | x | x | | x | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.2 | | | | | | | | | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.3 | | | | | | | | | | | | x | x | x | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.3 | | | | | | | | | | | | | | | x | x | x | | | | | | | | | | | | |
| 5.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | x | | | | | | | | | | | |
| 6.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | x | | | | | | | | | | |
| 6.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | x | x | | | | | | | | |
| 7.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | x | | x | x | | | | |
| 8.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | x | | | | | | |
| 8.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | x | | | | | | |
| 9.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | x | x | | |
| 10.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

6.3 MATRIZ DE TIEMPOS

Tabla 6.3

t(días)

| ACTIVIDADES ESPECÍFICAS | to | tp | tmp | t | σ |
|--|----|----|-----|-------|----------|
| 1.1 Convocatoria a concurso de merecimientos | 5 | 8 | 7 | 6,83 | 0,50 |
| 1.2 Entrevista | 2 | 3 | 3 | 2,83 | 0,17 |
| 1.3 Selección del personal | 2 | 4 | 3 | 3,00 | 0,33 |
| 1.4 Fijación de responsabilidades | 2 | 3 | 2 | 2,17 | 0,17 |
| 2.1 Visita a fabricantes de equipos | 4 | 8 | 5 | 5,33 | 0,67 |
| 2.2 Estudios y decisión final | 2 | 3 | 2 | 2,17 | 0,17 |
| 3.1 Estudio de normas | 12 | 15 | 10 | 11,17 | 0,50 |
| 3.2 Estudio de sensores y actuadores | 4 | 8 | 5 | 5,33 | 0,67 |
| 3.3 Estudio del software | 2 | 4 | 3 | 3,00 | 0,33 |
| 3.4 Estudio de planos eléctricos y cableado | 4 | 5 | 4 | 4,17 | 0,17 |
| 3.5 Estudio de planos de localización de elementos | 2 | 4 | 3 | 3,00 | 0,33 |
| 4.1 Licitación de equipos | 4 | 6 | 5 | 5,00 | 0,33 |
| 4.2 Licitación de montaje mecánico | 3 | 7 | 5 | 5,00 | 0,67 |
| 4.3 Licitación de montaje eléctrico | 3 | 7 | 5 | 5,00 | 0,67 |
| 5.1 Contrato de equipos | 3 | 5 | 3 | 3,33 | 0,33 |
| 5.2 Contrato para montaje mecánico | 3 | 5 | 3 | 3,33 | 0,33 |
| 5.3 Contrato para montaje eléctrico | 3 | 5 | 3 | 3,33 | 0,33 |
| 6.1 Gestiones con entidades bancarias | 5 | 10 | 7 | 7,17 | 0,83 |
| 6.2 Gestiones con directivos del proyecto | 3 | 4 | 5 | 4,50 | 0,17 |
| 7.1 Supervisión en montaje mecánico | 13 | 20 | 15 | 15,50 | 1,17 |
| 7.2 Supervisión en montaje eléctrico | 8 | 12 | 10 | 10,00 | 0,67 |
| 8.1 Entrevista y selección del personal | 2 | 3 | 2 | 2,17 | 0,17 |
| 8.2 Capacitación del personal | 3 | 5 | 5 | 4,67 | 0,33 |
| 9.1 Suministros de equipos | 3 | 4 | 3 | 3,17 | 0,17 |
| 9.2 Suministros de materia prima | 2 | 4 | 3 | 3,00 | 0,33 |
| 10.1 Gestión con empresas demandantes | 3 | 5 | 4 | 4,00 | 0,33 |
| 10.2 Gestión con distribuidores | 3 | 5 | 3 | 3,33 | 0,33 |
| 11.1 Aprobación de fuentes de financiación | 4 | 7 | 5 | 5,17 | 0,50 |

Fuente: Proyectos: Formulación, evaluación y control, Germán Arboleda Vele

6.4 RED DE ACTIVIDADES

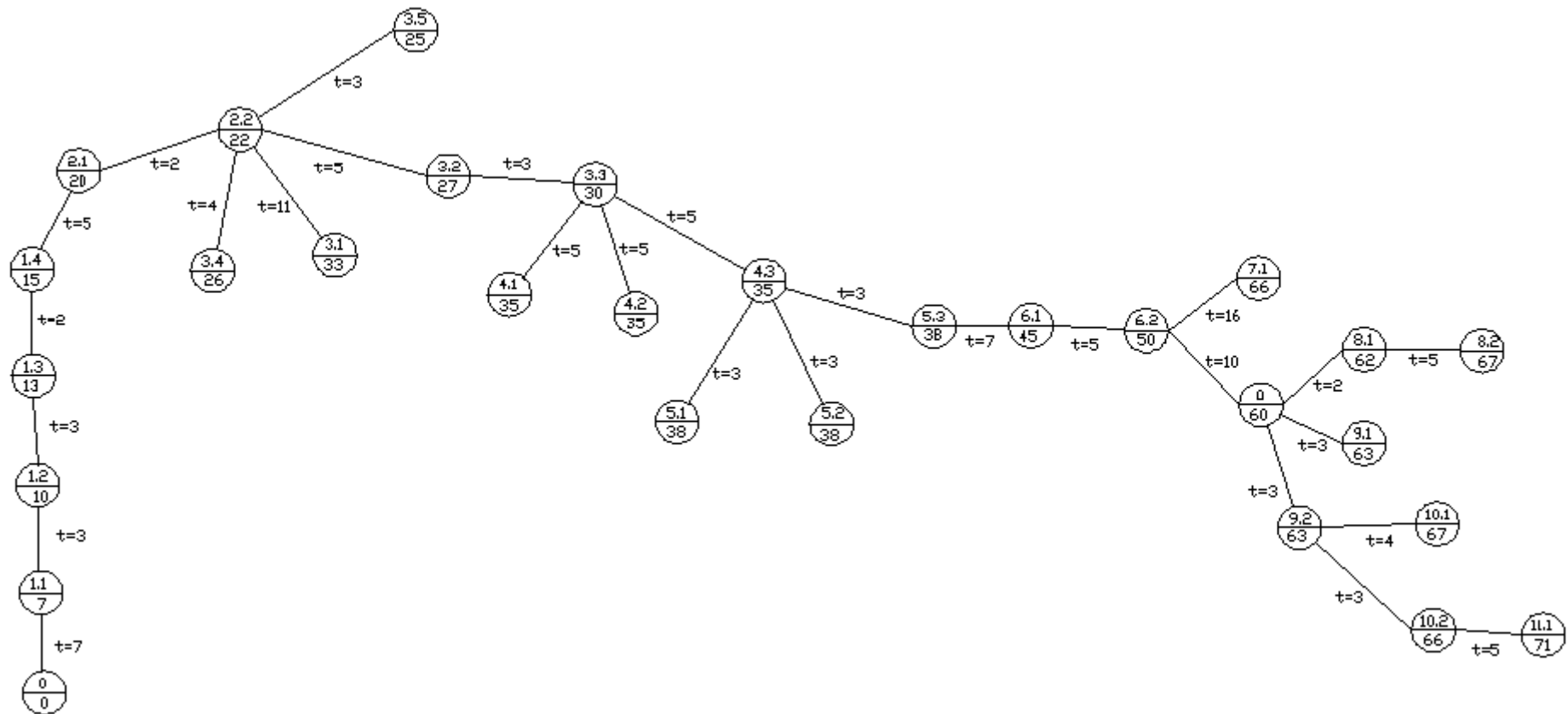


Figura 6.1 Red de actividades

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- Se cumplió con el objetivo general del proyecto ya que se hizo todo el estudio necesario para una futura implementación de un sistema automático de detección y extinción de incendios en base al funcionamiento de las instalaciones.
- Se hizo el estudio necesario para identificar las probables causas de incendio de las unidades de generación en base a métodos de evaluación de riesgos relacionados con incendios. Estos métodos nos dan un valor que representa el riesgo de incendios de los diferentes compartimentos de las turbinas a gas.
- Se seleccionaron los sensores en base a la norma NFPA (Nacional Fire Protection Association) para los diferentes compartimentos de las unidades de generación de la Central Térmica Santa Rosa.
- Se selecciono un sistema de extinción en base a bióxido de carbono ya que es aplicable a todos los compartimentos de las unidades de generación según la norma NFPA (Nacional Fire Protection Association), además el sistema actual consta de bióxido de carbono por lo que facilita la remodelación.

- Se realizó la lógica de programación del PLC para un sistema automático de detección y extinción de incendios de las unidades de generación. El sistema también comprende de un tablero de visualización de todo el proceso desde un locación remota, lo que permite que el personal este permanentemente informado del sistema de las turbinas a gas de la Central Térmica Santa Rosa.
- El sistema a implementarse en las unidades de generación es un sistema inteligente que detecta independientemente llama, humo o calor en los diferentes compartimentos por separado, para la extinción ocurre lo mismo ya que por medio de la programación del PLC la inundación del agente extintor es zonificada, es decir la inundación se produce solo en los compartimentos donde sea necesario.
- El proyecto esta realizado principalmente en base a la norma NFPA (Nacional Fire Proteccion Asociation), esta norma se tomo en cuenta para la evaluación de riesgos, selección de sensores, selección de actuadores, instalación y montaje de sensores, instalación y montaje de actuadores, recomendaciones para el uso de bióxido de carbono; también se utilizaron normas españolas como la NTP (Norma elaborada por el Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España), también se tomaron en consideración normas nacionales como la INEN para los métodos de evaluación de riesgos.

7.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda elaborar un plan de emergencia en caso de incendio así como una debida capacitación al personal de la planta. Este plan de emergencia comprende rutas de emergencia, manejo de extintores, etc.

- El proyecto esta basado principalmente en la NORMA NFPA, para la implementación se recomienda revisar las especificaciones del fabricante en el caso de sensores de temperatura, de llama y de rociadores que pueden variar según la marca.
- Se recomienda elaborar un plan de mantenimiento para el sistema que contenga las actividades y tiempos de las acciones necesarias para un mantenimiento confiable.
- Se recomienda el uso de extintores portátiles con su debida capacitación así como la revisión anual de presiones y cantidades del agente extintor en los extintores.